



**MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA  
RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI DE TIZI-OUZOU  
FACULTE DES SCIENCES BIOLOGIQUES ET DES SCIENCES  
AGRONOMIQUES**



## **THESE DE DOCTORAT**

**Spécialité : Sciences Biologiques**

**Option : Ecologie et Biodiversité animales des écosystèmes continentaux**

**Présentée**

**Par : LEMBROUK Lillia**

# **IMPACT DE LA POLLUTION METALLIQUE INDUSTRIELLE SUR LA DIVERSITE DE LA PEDOFAUNE ET DE LA FLORE DE LA KABYLIE SELON UN GRADIENT ALTITUDINAL.**

**Devant le jury composé de :**

**Président : M<sup>r</sup> AMROUN Mansour, Professeur à l'U.M.M.T.O.**

**Rapporteur : M<sup>me</sup> ALI AHMED SADOUDI Djamila, Professeur à l'U.M.M.T.O.**

**Examineur: M<sup>r</sup> DAOUD Youcef, Professeur à l'ENSA El Harrach.**

**Examineur: M<sup>r</sup> LOUNICI Hakim, Professeur à l'université de Bouira.**

**Examineur: M<sup>r</sup> MADANI Khodir, Professeur à l'université de Bejaia.**

**Examinatrice: M<sup>me</sup> BOUDIAF NAIT KACI Malika, Maitre de conférences A à l'U.M.M.T.O.**

**Soutenue le 12 mai 2019**

## Remerciements

---

Mes remerciements vont tout particulièrement à ma directrice de thèse **M<sup>me</sup> ALI AHMED SADOUDI D.**, professeur à l'université Mouloud MAMMERI de Tizi-Ouzou, pour la confiance qu'elle m'a accordé pour l'encadrement de mon travail et sa supervision. Je lui dois une immense reconnaissance et un grand respect pour son encouragement.

Je remercie **Mr. AMROUN M.**, professeur à l'U.M.M.T.O pour avoir accepté de présider le jury et d'examiner ce travail.

Mes vifs remerciements vont aussi à tous les membres de jury pour avoir accepté d'examiner mon travail :

- **Mr DAOUD Y.**, Professeur à l'ENSA El Harrach.
- **Mr LOUNICI R H.**, Professeur à l'université de Bouira.
- **Mr MADANI K.**, Professeur à l'université de Bejaia.
- **M<sup>me</sup> BOUDIAF NAIT KACI M.**, Maitre de conférences A à l'U.M.M.T.O.

J'exprime toute ma gratitude à **Mr ASLA T.** et **Mr OUDJIANE A.** enseignants chercheurs à l'U.M.M.T.O. pour leur disponibilité et leur écoute depuis ma graduation. Je les remercie pour leurs remarques objectives et leurs conseils précieux, surtout, toute leur aide.

Je tiens également à remercier le professeur **MEJDOUB F.** pour son orientation, son dévouement et les échanges particulièrement enrichissants que nous avons eus tout au long de mon cursus universitaire.

Merci à **Mr BERRADJ Y.** pour son accompagnement à chaque échantillonnage au sein de l'Electro-Industries, sans oublier **Mr BOUMRAH D.**, directeur HSE. à l'ENIEM. ainsi que toute son équipe.

Merci également aux docteurs de l'UMMTO.: **MEDDOUR R.**, **SETBEL S.**, **BELGHANEM M.**, pour leur précieuse aide.

## **Remerciements**

---

*Les dosages des métaux lourds n'auraient pas pu être réalisés au niveau du laboratoire du Centre de Recherche Nucléaire d'Alger sans l'aide et la compréhension Mr BELAMERI M., Mr TOUMERT I., pour leurs disponibilités, et leur participation active dans le ces dosages.*

*Ce travail a été réalisé au sein du laboratoire de production, Sauvegarde des espèces menacées et des récoltes, Influence des variations climatiques, dirigé par M<sup>me</sup> ALI AHMED SADOUDI D. professeur à l'UMMTO. Pour cela je profite de dire merci à M<sup>me</sup> ALI AHMED S., M<sup>me</sup> ALI AHMED C. et Mr MEZANI S. qui me répondaient présents à chaque fois que je les ai sollicités.*

*Mes remerciements s'adressent également à tous ceux ou celles ayant participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail. A tous ceux qui m'ont accueilli à bras ouverts et qui, par leur savoir-vivre m'ont permis d'apprécier ma région à sa juste valeur.*

*Enfin, et bien que de simples remerciements ne suffisent pas pour exprimer tout ce que je leurs dois, des remerciements particuliers à tous les membres de ma famille ainsi que mon amie Yamina.*

***A Céline***

|                                                                                                                                                                                                                              |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tableau 1 :</b> Synthèse des fonctions essentielles jouées par les organismes vivants du sol.....                                                                                                                         | 12 |
| <b>Tableau 2 :</b> organes végétaux et leurs fonctions.....                                                                                                                                                                  | 14 |
| <b>Tableau 3 :</b> nombre d'espèces par groupes taxonomiques en Algérie.....                                                                                                                                                 | 19 |
| <b>Tableau 4:</b> Coordonnés de l'Electro-Industries.....                                                                                                                                                                    | 36 |
| <b>Tableau 5:</b> déchets de l'EI. et leurs mode de traitement.....                                                                                                                                                          | 36 |
| <b>Tableau 6:</b> Coordonnés de l'ENIEM.....                                                                                                                                                                                 | 37 |
| <b>Tableau 7:</b> déchets de l'ENIEM. et leurs mode de traitement.....                                                                                                                                                       | 38 |
| <b>Tableau 8:</b> Valeurs moyennes mensuelles des températures (°C), précipitations (mm), humidité relative de l'air (%) et vent (m/s), enregistrées dans la région de Tizi-Ouzou durant la période d'étude (2014/2015)..... | 41 |
| <b>Tableau 9 :</b> Valeurs moyennes saisonnières corrigées des températures (°C), précipitations (mm), extrapolées pour les stations de Taddart, Azazga et Tizi Rached, durant l'année agricole 2014/2015.....               | 46 |
| <b>Tableau 10:</b> Résultats des analyses physico-chimiques des sols des stations étudiées.....                                                                                                                              | 60 |
| <b>Tableau 11:</b> Résultats des analyses chimiques des métaux lourds des sols des stations d'étude.....                                                                                                                     | 60 |
| <b>Tableau 12:</b> Ensemble des groupes floristiques inventoriés dans les stations d'études.....                                                                                                                             | 66 |
| <b>Tableau 13:</b> Dominance de Berger-Parker de la flore des stations d'études.....                                                                                                                                         | 72 |
| <b>Tableau 14 :</b> Ensemble des groupes faunistiques identifiés dans les stations étudiées.....                                                                                                                             | 74 |
| <b>Tableau 15 :</b> Résultats de la qualité de l'échantillonnage au niveau des stations d'études.....                                                                                                                        | 83 |

|                                                                                                                    |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tableau 16 :</b> Fréquences d'occurrence des espèces inventoriées dans les stations d'étude.....                | 86 |
| <b>Tableau 17:</b> Dominance de Berger-Parker de la faune du sol des stations d'études.....                        | 88 |
| <b>Tableau 18:</b> Résultats de l'analyse de la variance pour les stations d'étude.....                            | 92 |
| <b>Tableau 19:</b> Résultats du test de NEWMAN-KEULS pour le facteur pollution au niveau des stations d'étude..... | 92 |

|                                                                                                                   |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figure 1 :</b> différents constituants du sol.....                                                             | 6  |
| <b>Figure 2 :</b> différents groupes de végétation.....                                                           | 13 |
| <b>Figure 3 :</b> Schéma général des modalités d'action d'un polluant sur un écosystème.....                      | 33 |
| <b>Figure 4 :</b> Situation géographique de la Wilaya de Tizi-Ouzou.....                                          | 34 |
| <b>Figure 5:</b> Situation géographique de la région d'étude.....                                                 | 35 |
| <b>Figure 6:</b> Aires de stockage des déchets à l'EI.....                                                        | 37 |
| <b>Figure 7:</b> Aires de stockage des déchets à l'ENIEM.....                                                     | 39 |
| <b>Figure 8 :</b> Projection de la zone d'étude sur le climagramme d'Emberger.....                                | 43 |
| <b>Figure 9 :</b> Courbe d'accroissement de la pluie avec l'altitude.....                                         | 45 |
| <b>Figure 10:</b> Pastilles de sol destinées à l'analyse par XRF.....                                             | 49 |
| <b>Figure 11 :</b> Transition des rayons X.....                                                                   | 50 |
| <b>Figure 12:</b> Vue transversale de l'ensemble tube RX - cible secondaire.....                                  | 51 |
| <b>Figure 13:</b> Schéma simplifié de l'Appareil de Berlese-Tullgren.....                                         | 53 |
| <b>Figure 14 :</b> Spectromètre de l'étalon blanc de référence utilisé par EDXRF (Ag, 35kv, 20 $\mu$ A, 30s)..... | 61 |
| <b>Figure 15 :</b> Spectromètre par EDXRF des métaux lourds préexistants dans le sol de la station Yakouren.....  | 62 |
| <b>Figure 16 :</b> Spectromètre par EDXRF des métaux lourds recensés dans le sol de la station Taddart.....       | 63 |
| <b>Figure 17 :</b> Spectromètre par EDXRF des métaux lourds recensés à la station Electro-Industries.....         | 63 |
| <b>Figure 18 :</b> Spectromètre par EDXRF des métaux lourds recensés à la station ENIEM.....                      | 64 |

|                                                                                                                                                      |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figure 19 :</b> Spectromètre par EDXRF des métaux lourds recensés à la station Tizi Rached.....                                                   | 65 |
| <b>Figure 20:</b> évolution du nombre des espèces floristiques récoltées dans les stations étudiées.....                                             | 67 |
| <b>Figure 21 :</b> Distribution et noyaux d'affinité des groupes floristiques et des stations étudiées dans le plan factoriel $F_1 \times F_2$ ..... | 68 |
| <b>Figure 22:</b> ACP représentative de la distribution des caractères climatiques et de l'altitude dans les stations étudiées.....                  | 69 |
| <b>Figure 23 :</b> ACP représentative de la distribution des caractères édaphiques dans les stations étudiées.....                                   | 69 |
| <b>Figure 24:</b> ACP représentative de la distribution des métaux lourds dans les stations étudiées.....                                            | 70 |
| <b>Figure 25:</b> Abondance relative des ordres floraux recensés dans les stations étudiées.....                                                     | 71 |
| <b>Figure 26:</b> Indice de diversité de Shannon-Weaver de la flore des stations étudiées.....                                                       | 72 |
| <b>Figure 27 :</b> Equitabilité de la flore des stations d'étude.....                                                                                | 73 |
| <b>Figure 28:</b> Abondance relative des individus recensés dans le sol des stations étudiées.....                                                   | 75 |
| <b>Figure 29 :</b> Distribution et noyaux d'affinité des groupes faunistiques et des stations étudiées dans le plan factoriel $F_1 \times F_2$ ..... | 76 |
| <b>Figure 30:</b> ACP représentative de la distribution des caractères climatiques et de l'altitude dans les stations étudiées.....                  | 77 |
| <b>Figure 31 :</b> ACP représentative de la distribution des caractères édaphiques dans les stations étudiées.....                                   | 78 |
| <b>Figure 32:</b> ACP représentative de la distribution des métaux lourds dans les stations étudiées.....                                            | 78 |

|                                                                                                                                                        |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figure 33:</b> Variation saisonnière de la pédofaune recensée au niveau des stations d'études.....                                                  | 79 |
| <b>Figure 34 :</b> Distribution et noyaux d'affinité des groupes faunistiques et des saisons dans le plan factoriel $F_1 \times F_2$ .....             | 80 |
| <b>Figure 35:</b> Distribution et noyaux d'affinité des espèces de Gastéropodes et des stations étudiées dans le plan factoriel $F_1 \times F_2$ ..... | 81 |
| <b>Figure 36:</b> Distribution et noyaux d'affinité des espèces d'Insectes et des stations étudiées dans le plan factoriel $F_1 \times F_2$ .....      | 82 |
| <b>Figure 37 :</b> Espèces de pédofaune inventoriées dans le sol des stations étudiées.....                                                            | 84 |
| <b>Figure 38:</b> Indice de Shannon-Weaver pour le sol des stations étudiées.....                                                                      | 89 |
| <b>Figure 39:</b> Equitabilité du sol des stations d'étude.....                                                                                        | 90 |
| <b>Figure 40:</b> Relation pédofaune flore.....                                                                                                        | 91 |

Les résultats obtenus au cours de la recherche ont fait objet de :

✓ ***Publications internationales***

1. Inventory of the soil fauna of Kabylia according to a pollution gradient, Bioscience research: Journal by Innovative Scientific Information & Services Network, Print ISSN: 1811- 9506 Online ISSN: 2218-3973, 2018 15(2): 792-804.

Auteurs: **LEMBROUK L.& SADOUDI-ALI AHMED D.**

2. Impact of industrial pollution generated by two companies (the Azazga - Electro Industries and the National company of Industries Electro- Menager of Oued aissi) on the soil fauna, IMPACT: International Journal of Research in Applied, Natural and Social Sciences (IMPACT: IJRANSS) ISSN(P): 2347-4580; ISSN(E): 2321-8851 Vol. 4, Issue 12, 2016: 65-78.

Auteurs: **LEMBROUK L.& SADOUDI-ALI AHMED D.**

✓ ***Communications internationales***

**LEMBROUK L.& SADOUDI-ALI AHMED D.**

1. Impact de la pollution industrielle générée par deux entreprises (l'Eléctro-Industries d'Azazga et l'Entreprise Nationale des Industries de l'Electro-Menager d'Oued Aissi) sur la faune du sol, présentée au 1<sup>er</sup> Congrès International de Biotoxicologie et Bioactivité, le 26-27 Novembre 2014, Oran, Algérie.
2. Influence de la pollution industrielle sur l'évolution de la faune du sol, présentée au III<sup>ème</sup> Congrès International de Biotechnologies et Valorisation des Bio-Ressources (AT-BVBR), du 20 au 23 mars 2015, Tabarka, Tunisie.
3. Comparaison de l'impact de la pollution industrielle générée par les entreprises : Electro-Industries d'Azazga et Entreprise Nationale des Industries de l'Electro-Menager d'Oued Aissi, présentée au 26<sup>ème</sup> forum international des sciences biologiques et de la biotechnologie de l'ATSB, du 23 au 26 mars 2015, Monastir, Tunisie.
4. Contribution à la détermination du taux de pollution des grandes entités industrielles de la wilaya de Tizi-Ouzou, présentée au Symposium International société, Agro-

Biotechnologie, Environnement et Développement Durable, du 27 au 29 mai 2015 à l'Université Ibn Khldoun de Tiaret, Algérie.

5. Evaluation de la qualité physico-chimique et du niveau de contamination métallique du sol d'Oued Aissi, Algérie, présentée et publiée dans le proceeding du 3<sup>ème</sup> Congrès International de la Biodiversité Végétale, Marrakech (Maroc) du 9 au 11 octobre 2015, 40-41.
6. Identification des métaux lourds dans le sol de l'Electro-Industries d'Azazga, Algérie, présentée au 1<sup>er</sup> colloque international de la biologie appliquée (CIBA), du 29 novembre au 01 décembre 2015, Oran, Algérie.

✓ ***Communications nationales***

1. Biodiversité de la pédofaune du sol dans la région d'Oued Aissi, présentée au Colloque National sur la Biodiversité en Algérie : Connaissance, Valorisation et Conservation (BBD, ANAO), tenu au cours de la journée mondiale de la Biodiversité du 22 mai 2016 à l'Université de Batna 2, Algérie.
2. Inventaire des peuplements de pédofaune dans la région de Tizi-Ouzou, présentée aux journées Nationales sur la Biodiversité animale, Dégâts et lute, les 24 et 25 mai 2017, ENSA d'El-Harrach, Algérie.

|                                   |          |
|-----------------------------------|----------|
| <b>INTRODUCTION GENERALE.....</b> | <b>1</b> |
|-----------------------------------|----------|

**CHAPITRE I**

**Revue bibliographique**

|                                                                        |    |
|------------------------------------------------------------------------|----|
| I.1. Sol.....                                                          | 5  |
| I.1.1. Compartiments du sol.....                                       | 5  |
| I.1.2.Fonctionnalités des sols.....                                    | 7  |
| I.1.2.1. Moteur de vie et de recyclage.....                            | 7  |
| I.1.2.2. Rôle de réservoir.....                                        | 7  |
| I.1.2.2.1. Réservoir d'eau.....                                        | 7  |
| I.1.2.2.2. Réservoir de nutriments.....                                | 8  |
| I.1.2.3. Fonction d'épuration, de régulation et de neutralisation..... | 8  |
| I.1.2.3.1. Epuration de l'eau.....                                     | 8  |
| I.1.2.3.2. Régulation des écoulements aquatiques.....                  | 8  |
| I.1.2.3.3. Régulation des flux de gaz à effet de serre.....            | 9  |
| I.1.2.3.4. Neutralisation de nombreux polluants.....                   | 9  |
| I.1.2.4. Support de développement pour les activités humaines.....     | 9  |
| I.2. Vie dans le sol.....                                              | 10 |
| I.2.1. Biodiversité.....                                               | 10 |
| I.2.1.1. Flore.....                                                    | 12 |
| I.2.1.1.1. Classification de la flore.....                             | 13 |
| I.2.1.1.2. Anatomie des plantes.....                                   | 14 |

## ***Table des matières***

---

|                                                                             |    |
|-----------------------------------------------------------------------------|----|
| I.2.1.1.3. Rôle de la flore.....                                            | 14 |
| I.2.1.1.4. Distribution de la flore.....                                    | 14 |
| I.2.1.2. Pédofaune.....                                                     | 14 |
| I.2.1.2.1. Classification de la faune du sol.....                           | 15 |
| I.2.1.2.2. Rôle de la pédofaune.....                                        | 15 |
| I.2.1.2.2.1. Importance de la pédofaune dans la structuration des sols..... | 16 |
| I.2.2. Etat de la biodiversité dans le monde.....                           | 17 |
| I.2.3. Etat de la biodiversité en Algérie.....                              | 18 |
| I.2.4. Relation sol-biodiversité.....                                       | 20 |
| I.3. Pollution.....                                                         | 21 |
| I.3.1. Pollution industrielle.....                                          | 22 |
| I.3.1.1. Pollution industrielle dans le monde.....                          | 22 |
| I.3.1.2. Pollution industrielle en Algérie.....                             | 23 |
| I.3.2. Pollution du sol par les métaux lourds.....                          | 23 |
| I.3.2.1. Généralité sur les métaux lourds.....                              | 24 |
| I.3.2.1.1. Propriétés.....                                                  | 24 |
| I.3.2.1.1. 1.Spéciation.....                                                | 24 |
| I.3.2.1.1. 2.Disponibilité biologique.....                                  | 25 |
| I.3.2.1.1.3.Toxicité.....                                                   | 25 |
| I.3.2.1.2. Caractéristiques des métaux étudiés.....                         | 26 |

## ***Table des matières***

---

|                                                                                                         |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| I.3.2.1.2.1.Arsenic (As).....                                                                           | 26 |
| I.3.2.1.2.2. Cadmium (Cd).....                                                                          | 26 |
| I.3.2.1.2.3.Chrome (Cr).....                                                                            | 26 |
| I.3.2.1.2.4.Cuivre (Cu).....                                                                            | 27 |
| I.3.2.1.2.5.Mercure (Hg).....                                                                           | 27 |
| I.3.2.1.2.6.Nickel (Ni).....                                                                            | 28 |
| I.3.2.1.2.7.Plomb (Pb).....                                                                             | 28 |
| I.3.2.1.2.8.Zinc (Zn).....                                                                              | 28 |
| 1.4. Relation : Métaux lourds - Sol - Organismes vivants.....                                           | 29 |
| I.4.1. Origine des métaux lourds dans le sol.....                                                       | 29 |
| I.4.2. Comportement des métaux lourds dans le sol.....                                                  | 29 |
| I.4.3. Relation biodiversité-pollution.....                                                             | 30 |
| I.4.4. Les contaminants métalliques dans les organismes vivants et surveillance de l'environnement..... | 30 |
| I.4.4.1. Assimilation.....                                                                              | 31 |
| I.4.4.2. Bioconcentration.....                                                                          | 31 |
| I.4.4.3. Bioamplification.....                                                                          | 32 |

**CHAPITRE II**  
**Matériel et Méthodes**

|                                                                                              |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| II.1. Présentation de la région d'étude.....                                                 | 34 |
| II.1.1.Situation géographique.....                                                           | 34 |
| II.1.2. Présentation des sources de pollution industrielle de la région.....                 | 35 |
| II.1.2.1.L'Electro-Industries d'Azazga (EI.).....                                            | 35 |
| II.1.2.2. L'Entreprise Nationale des Industries Eléctro-Ménagères d'Oued-Aissi (ENIEM.)..... | 37 |
| II.1.3. Données climatiques sur la région d'étude.....                                       | 40 |
| II.2. Matériel et méthodes.....                                                              | 46 |
| II.2.1.Analyse du sol.....                                                                   | 46 |
| II.2.1.1.Analyses pédologiques.....                                                          | 46 |
| 1. Granulométrie.....                                                                        | 47 |
| 2. pH.....                                                                                   | 47 |
| 3. Calcaire total.....                                                                       | 47 |
| 4. Matière organique.....                                                                    | 48 |
| 5. Conductivité électrique (CE).....                                                         | 48 |
| II.2.1.2. Analyse chimique des métaux lourds.....                                            | 48 |
| 1. Principe de la technique XRF.....                                                         | 49 |
| 2. Dispositif expérimental Avec le tube à rayons X.....                                      | 50 |
| II.2.2.Etude biologique du milieu d'étude.....                                               | 51 |
| II.2.2.1.Echantillonnage de la flore.....                                                    | 52 |
| II.2.2.2.Echantillonnage de la faune du sol.....                                             | 52 |

## *Table des matières*

---

|                                                                                            |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| II.2.2.2.1.Méthode de prélèvement.....                                                     | 52 |
| II.2.2.2.2.Méthode d'extraction des micro-organismes et conservation des échantillons..... | 53 |
| II.2.2.2.3.Identification et dénombrement de la flore récoltée.....                        | 54 |
| II.2.2.2.3.1.Tri.....                                                                      | 54 |
| II.2.2.2.3.2. Identification et détermination.....                                         | 55 |
| II.2.3. Analyse écologique.....                                                            | 56 |
| II.2.3.1. Qualité de l'échantillonnage.....                                                | 56 |
| II.2.3.2. Richesse spécifique.....                                                         | 56 |
| II.2.3.3. Abondance des espèces.....                                                       | 56 |
| II.2.3.4. Dominance de Berger-Parker.....                                                  | 56 |
| II.2.3.5. Indice de diversité de Shannon-Weaver (H').....                                  | 57 |
| II.2.3.6. Equitabilité.....                                                                | 57 |
| II.2.3.7. Occurrence et constance des espèces.....                                         | 58 |
| II.2.4. Analyse statistique.....                                                           | 58 |
| II.2.4.1. Analyse en composantes principales (ACP).....                                    | 58 |
| II.2.4.2. Analyse factorielle des correspondances (AFC).....                               | 59 |
| II.2.4.3. Analyse de la variance (ANOVA).....                                              | 59 |

**CHAPITRE III**  
**Résultats et discussion**

|                                                                                      |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------|----|
| III.1.Caractéristiques édaphiques des stations d'étude.....                          | 60 |
| III.2.Dosage des métaux lourds.....                                                  | 60 |
| III.3. Caractérisation de la biocénose.....                                          | 66 |
| III.3.1. Composition floristique.....                                                | 66 |
| III.3.1.1. Composition floristique globale.....                                      | 66 |
| III.3.1.2. Analyse écologique de la flore.....                                       | 67 |
| III.3.1.2.1. Richesse spécifique.....                                                | 67 |
| III.3.1.2.2.Répartition des groupes floristiques dans les différentes stations.....  | 68 |
| III.3.1.2. 3. Abondance relative.....                                                | 70 |
| III.3.1.2.4. Dominance de Berger-Parker.....                                         | 72 |
| III.3.1.2.5. Indice de Shannon-Weaver (H').....                                      | 72 |
| III.3.1.2.6. Equitabilité.....                                                       | 73 |
| III.3.2. Composition faunistique.....                                                | 74 |
| III.3.2.1.Composition faunistique globale.....                                       | 74 |
| III.3.2.2.Résultats de l'inventaire.....                                             | 74 |
| III.3.2.2.1. Abondance relative.....                                                 | 74 |
| III.3.2.2.2. Répartition des groupes faunistiques dans les différentes stations..... | 76 |
| III.3.2.2.3. Variation saisonnière de la pédofaune recensée.....                     | 79 |

## *Table des matières*

---

|                                                                                                        |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| III.3.2.2.4. Répartition des espèces de pédofaune selon les caractéristiques des stations d'étude..... | 81  |
| III.3.2.3. Analyse écologique de la faune du sol.....                                                  | 83  |
| III.3.2.3.1. Qualité de l'échantillonnage(Q).....                                                      | 83  |
| III.3.2.3.2. Richesse spécifique (S).....                                                              | 83  |
| III.3.2.3.3. Occurrence et constance des espèces inventoriées.....                                     | 85  |
| III.3.2.3.4. Dominance de Berger-Parker.....                                                           | 88  |
| III.3.2.3.5. Indice de Shannon-Weaver (H').....                                                        | 89  |
| III.3.2.3.6. Equitabilité.....                                                                         | 89  |
| III.3.3.Relation plante-sol-invertébrés.....                                                           | 90  |
| III.3.4. Analyse de la variance (ANOVA).....                                                           | 92  |
| III.4.Discussion.....                                                                                  | 93  |
| CONCLUSION.....                                                                                        | 104 |

Références Bibliographiques

Annexes

# Introduction

## Introduction

---

Le sol, comme ressource essentielle pour les sociétés humaines et les écosystèmes ainsi qu'un des réservoirs les plus importants de la biodiversité (HEYWOOD, 1995) n'est, pas une ressource renouvelable à l'échelle de temps humaine, il est soumis à des pressions de plus en plus importantes (production agricole et forestière, développement urbain et industriel, réseaux de transport...) et à des dégradations (érosion, contaminations ponctuelles et diffuses d'origine atmosphérique, tassement) (LAVELLE & SPAIN, 2001). Pendant de nombreuses années, la planète a été considérée, d'une part, comme un réservoir inépuisable de matières premières et, d'autre part, comme une destination habituelle pour les déchets domestiques, industriels et agricoles pouvant constituer un risque pour l'Homme et l'environnement en entraînant des perturbations au niveau des êtres vivants (faune et flore) et des compartiments abiotiques fondamentaux (eau, sol, atmosphère) des milieux.

La fin du XXe siècle a été marquée par la prise de conscience sur l'importance de notre patrimoine naturel et des conséquences néfastes de la pollution humaine sur l'environnement et la santé (GOBAT et *al.*, 1998). De ce fait, la nécessité d'adopter une gestion économe des ressources afin de réduire la pollution, de préserver les ressources naturelles mais aussi de permettre aux industriels de réaliser des gains économiques, et ce dans le cadre d'un développement durable ; cela est apparue dans les années 60 par l'observation de graves problèmes d'eau, de pollution atmosphérique et la prise de conscience du public face aux problèmes environnementaux. De ce fait, le sol est un enjeu majeur de la recherche en écologie, concernant, à la fois, son rôle dans les écosystèmes, son déterminisme et sa valorisation dans le domaine de la préservation de l'environnement (SOLBRIG et *al.*, 1994, ACADEMIE FRANÇAISE DES SCIENCES, 1995) en utilisant des outils capables d'aborder de manière aussi globale et intégrée que possible les problèmes de la pollution, dans le souci d'améliorer les connaissances et le contrôle des phénomènes mis en cause.

L'analyse directe des polluants émis par les entreprises est très onéreuse ; bien qu'indispensable en fournissant des données physico-chimiques quantifiées par mesure des concentrations de polluants présents et leurs effets sans qu'il y ait connaissance de l'impact sur le milieu vivant. D'où la recherche de moyens de bio-surveillance des effets des polluants émis par les décharges dans l'eau, le sol, l'atmosphère et les écosystèmes environnants. Le recours aux organismes vivants présente l'intérêt d'observer la vie sous ses différentes formes et permet de servir de signal d'alarme dans les conditions de perturbation. Le développement de la bio-

## Introduction

---

indication ouvre ainsi la voie à une surveillance plus large et écologique intégrant les effets sur l'environnement grâce à des organismes sentinelles.

Pour mettre en place, suivre et assurer les actions de protection et de gestion, il convient de définir des indicateurs qui permettent d'identifier et de quantifier les perturbations, les transformations du sol et les impacts sur les écosystèmes. De ce fait, les paramètres biologiques intègrent l'ensemble des stress environnementaux (pollution chimique, état physique du sol, variations climatiques, modifications biologique, etc.) et renseignent sur l'état global du sol et notamment du devenir des polluants organiques et métalliques du sol (LAVELLE & SPAIN, 2001; LAVELLE *et al.*, 2006).

Ce constat a, également, été fait par la Commission Européenne par une stratégie thématique pour la protection des sols (CE, 2006) grâce à son importance en tant qu'habitat et biodiversité ainsi que le développement de bioindicateurs (BISPO *et al.*, 2009).

Dans l'optique de réduire la toxicité des rejets, les industriels se sont équipés de stations de détoxification physico-chimique des eaux usées, mais l'action de ces stations est essentiellement une modification physique et chimique de l'espèce polluante par son transfert d'une phase aqueuse (eaux usées) vers une phase solide (les boues de précipitation). Cette solution ne permet ni de récupérer facilement les métaux en vue d'une nouvelle utilisation, ni de réduire la quantité des rejets (LAFOREST, 1999).

Le développement industriel et l'urbanisation sont en croissance presque exponentielle dans le nord algérien. Cette dernière a permis des progrès considérables pour l'humanité mais a aussi engendré de nombreuses conséquences néfastes pour l'environnement et pour l'Homme (BARRO, 2010).

La contamination croissante de l'environnement par divers métaux lourds et micropolluants organiques constitue, aujourd'hui, un nouveau sujet d'inquiétude, pour tous ceux que préoccupent les problèmes d'hygiène publique et de protection de la nature (DEHAINE, 1992). 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 puisque la pollution

## Introduction

---

métallique (dans le sédiment) d'un point de vue réglementaire demeure absente des préoccupations nationales surtout en absences de normes de références concernant les sédiments.

Parmi les travaux réalisés sur la faune du sol citons ceux de ROTH (1972) en utilisant des pièges à eau colorés, utilisés comme pots Barber, de MAVOUNGOU *et al.*, (2001) consistant l'évaluation des effets anthropiques sur l'entomofaune dans le complexe d'aires protégées de Gamba (Gabon), de SOLDATI (2002) sur les coléoptères des milieux ouverts dans les Pyrénées-Orientales, de HAUTIER *et al.*, (2003) sur l'évaluation de la biodiversité de l'entomofaune circulante au Nord du Bénin, de ACHOURA *et al.*, (2010) sur la faune arthropodologique des palmeraies d'El-Kantara, de BOUKLI-HACENE (2012) sur la bioécologie des coléoptères et, enfin, ceux de SELMANE & BENSLAMA (2015) sur la variation saisonnière de la pédofaune d'une palmeraie dans la région sud-est algérienne.

Dans la région de Tizi Ouzou, divers travaux ont porté sur l'inventaire des arthropodes notamment ceux de MERABET (2014) sur l'inventaire des arthropodes dans trois stations au niveau de la forêt de Darna (Djurdjura) et LEMBROUK & SADOUDI-ALI AHMED (2016) sur l'impact de la pollution industrielle générée par deux entreprises (l'Eléctro-Industries d'Azazga et l'Entreprise Nationale des Industries de l'Electro-Menager d'Oued Aissi) sur la faune du sol.

Pour compléter ce dernier travail, nous avons réalisé la présente étude sur la biodiversité de la faune et de la flore du sol dans cinq stations différentes suivant un gradient de pollution ainsi que l'impact de cette pollution industrielle sur la biodiversité floristique et faunistique.

Pour répondre à cette thématique, nous avons opté pour une comparaison des taux de métaux lourds suivant un transect depuis la forêt de Yakouren jusqu'à la zone industrielle d'Oued Aissi tout en passant par des points de transit situés dans les daïras d'Azazga et de Tizi Rached dont les grandes potentialités industrielles font d'elles des centres d'intérêt majeurs, à savoir l'Electro-Industries d'Azazga et l'ENIEM. d'Oued-Aissi.

Nous avons opté pour la méthode du quadrat (25×30 cm) et les prélèvements sont réalisés durant les quatre saisons des années 2014-2015 (Printemps, Eté, Automne et Hiver) à raison de trois prélèvements par saison. L'extraction de la faune s'est faite par la technique de Berlese Tulgren simplifiée, cependant que la flore est récoltée durant la saison printanière d'une manière

## Introduction

---

aléatoire et exhaustive et consiste à ramasser toutes les espèces végétales vues à l'œil nu pour l'identification et l'étude écologique des relations pédofaune-flore ainsi que les interactions entre elles.

Nous avons organisé notre travail en chapitres dont le premier englobe des généralités sur le sol, la pédofaune et les métaux lourds ainsi que les différentes relations entre eux. Le deuxième fait référence à la situation géographique et les caractéristiques climatiques de la région d'étude ainsi que le protocole d'échantillonnage et les différentes méthodes de traitement des données. Le troisième chapitre expose les différents résultats obtenus. Nous clôturons ce travail avec une conclusion générale et quelques perspectives de recherche.

# Chapitre I

## Revue bibliographique

« Un sol prend naissance dès que la moindre vie végétale et animale vient s'installer dans les premiers débris de décomposition d'une roche » (SOLTNER, 1992). 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).

## ***I.1. Sol***

Le sol est une entité naturelle, superficielle et souvent meuble, résultant de la transformation, la décomposition et l'altération de la roche mère au contact de l'atmosphère et des êtres vivants sous l'action de l'eau et de l'air (SOLTNER, 2005). 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).

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). C'est un écosystème à part entière, dynamique et basé sur une multitude de cycles qui sont en interaction pour agir sur son propre fonctionnement. Il est à la fois indispensable à la vie qu'il abrite, et c'est en retour la vie biologique qui participe activement à sa formation à partir de la roche mère (FREYSSINEL, 2007).

Les perceptions les plus récentes définissent le sol comme étant un système interactif, un bioréacteur non renouvelable, variable dans l'espace avec des contours indéfinis (CALVET, 2013). De ce fait, le sol est considéré comme un « complexe bio-organo-minéral structuré » (GAVIGLIO, 2013).

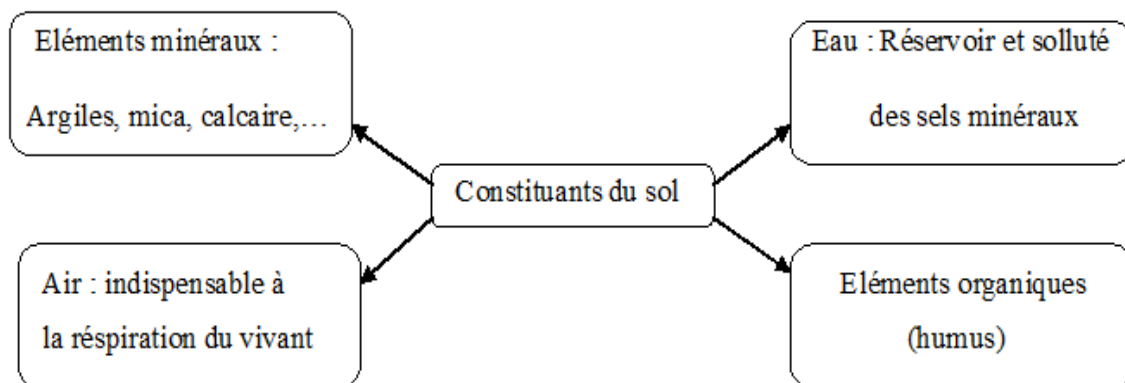
### ***I.1.1. Compartiments du sol***

La pédogénèse est à l'origine de la formation et l'évolution des sols malgré que ce soit un processus extrêmement lent (l'échelle est celle du siècle et du millénaire : un

centimètre par siècle en moyenne (OFS, 2002)). Le système sol est extrêmement complexe et varie grandement à la fois dans l'espace et dans le temps où la roche mère se fragmente peu à peu sous l'action des facteurs du milieu (le climat, les conditions géologiques (roche-mère), l'activité biologique, le relief, l'activité humaine, etc.). La biodiversité d'un sol aura un impact sur son taux de formation, ainsi que sur ses caractéristiques (JRC, 2010). Une couche d'humus se forme en surface et s'incorpore peu à peu dans le sol sous l'action de la microfaune. La faune et la flore provoquent une altération biochimique des minéraux initiaux se traduisant par de nouvelles formations (minéraux secondaires) telle que l'argile (GRESSELIN et *al.*, 2015).

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 (LOZET & MATHIEU, 1997).

Au cours du temps, le sol s'épaissit et se modifie ; il acquiert des constituants (matières organiques, argiles,...) et des structures (couleurs, agrégats, horizons,...) qui lui sont spécifiques (figure 1). Il est un mélange complexe de fragments de roches de granulométries variées, d'organismes et d'humus (ensemble complexe de résidus de matière organique partiellement décomposée et transformée).



**Figure 1** : différents constituants du sol (LEGRAS, 2014).

Pour mieux appréhender le sol, on peut le décomposer en plusieurs phases (SOLTNER, 1992) & (CALVET, 2013) :

- ✓ La phase solide est constituée de deux types d'éléments distincts :
  - Les éléments minéraux

- Les éléments organiques
- ✓ La phase liquide qui est de trois types :
  - liquide libre,
  - liquide utilisable
  - liquide inutilisable
- ✓ La phase gazeuse (CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>).

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).

### ***I.1.2.Fonctionnalités des sols***

Les sols occupent des fonctions vitales pour l'ensemble des êtres vivants (moteurs de vie). Ils représentent un réservoir de nourriture et un épurateur de nos milieux, ainsi qu'un support fondamental pour le développement des activités humaines, en particulier pour l'agriculture, l'urbanisation et l'industrie.

#### ***I.1.2.1. Moteur de vie et de recyclage***

Le sol, moteur de vie et support des nombreuses activités humaines, permet le recyclage de la matière vivante. Il joue ainsi un rôle global d'interface pour l'ensemble des écosystèmes terrestres. Sans la biodiversité qui l'habite, le sol meurt et ne peut plus assurer l'évolution, la croissance des végétaux et la décomposition des matières (GRESSELIN *et al.*, 2015).

#### ***I.1.2.2. Rôle de réservoir***

Les sols sont un réservoir d'eau et de nutriments indispensables à la vie.

##### ***I.1.2.2.1. Réservoir d'eau***

Selon GRESSELIN *et al.* (2015), le sol est une zone d'échanges entre l'atmosphère et les nappes phréatiques. Il stocke des volumes d'eau considérables en automne et en hiver, permettant ainsi la survie des plantes en période sèche. Les premières pluies de l'automne servent à reconstituer la réserve puis l'eau peut s'infiltrer en direction des nappes phréatiques.

Il est possible d'évaluer la réserve du sol en eau avec le bilan hydrique qui permet de calculer la quantité d'eau présente dans le sol.

#### ***I.1.2.2.2. Réservoir de nutriments***

Les trois éléments nutritifs majeurs du sol sont : l'azote, le phosphore et le potassium. Ces éléments sont indispensables au développement des organismes du sol et au maintien des chaînes alimentaires des écosystèmes. Ces nutriments sont fixés dans le sol par l'intermédiaire du complexe argilo-humique (GRESSELIN, 2015).

#### ***I.1.2.3. Fonction d'épuration, de régulation et de neutralisation***

Les sols permettent le stockage et le transit des eaux de pluie. Ils régulent les écoulements et jouent un rôle de filtre naturel pour épurer les eaux (GRESSELIN, 2015).

##### ***I.1.2.3.1. Epuration de l'eau***

Le sol joue un rôle de filtre participant à l'amélioration de la qualité de l'eau. Les micro-organismes et les autres composés qu'il renferme participent à la dégradation des produits épandus, qu'ils soient sous forme solide ou liquide, minérale ou organique.

Selon GRESSELIN et *al.* (2015), les capacités de filtrage d'un sol dépendent :

- de sa nature,
- de sa structure,
- de ses propriétés chimiques,
- et du climat (intensité des pluies, par exemple).

Or, les types de sols et le climat sont très variables : la texture du sol, la pluie ou l'irrigation peuvent être très différentes à quelques mètres ou centaines de mètres près. Il est donc particulièrement compliqué de modéliser précisément, même à partir d'une origine précise, les phénomènes de dispersions de pollutions dans les sols et en direction des nappes et des cours d'eau.

***I.1.2.3.2. Régulation des écoulements aquatiques***

La circulation de l'eau dans un sol dépend de sa porosité et de sa structure (connectivité entre les pores...). L'importance de la biodiversité dans le sol, par ses fonctions d'aération, participe ainsi à améliorer les possibilités de stockage et de mise à disposition de l'eau. En cas de pluies importantes et intenses, une structure aérée contribue à ralentir les écoulements et à retenir l'eau mise à disposition pour les végétaux (GRESSELIN et *al.*, 2015).

***I.1.2.3.3. Régulation des flux de gaz à effet de serre***

Le sol joue le rôle de puits ou d'émetteur de carbone, principalement sous forme de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>).

L'évolution du stock de carbone organique dans les sols résulte de l'équilibre entre le volume des apports végétaux au sol et la vitesse de minéralisation. Certains changements d'usage ou de pratiques agricoles favorisent le stockage de carbone dans les sols, comme la conversion des cultures en prairies ou en forêts. Au contraire, la mise en culture des prairies ou des forêts entraîne une diminution du stock de carbone (GRESSELIN et *al.*, 2014).

***I.1.2.3.4. Neutralisation de nombreux polluants***

Grâce à ses propriétés physico-chimiques et sa riche activité biologique, le sol comporte non seulement comme un tampon mais en plus, il « traite », transforme et neutralise les différentes substances polluantes pour les rendre inoffensives (PIERZYNSKI et *al.*, 2005).

***I.1.2.4. Support de développement pour les activités humaines***

Les sols sont le support des activités humaines : l'agriculture, l'urbanisation et la construction de voiries en sont les principales illustrations (GRESSELIN, 2015).

En plus des territoires utilisés pour les sites d'implantations, les sols fournissent à l'industrie des ressources pour certains matériaux. Leur exploitation, a parfois, eu des conséquences néfastes en particulier pour les tourbières qui ont été exploitées pour le chauffage domestique par le passé et plus récemment par l'industrie (GRESSELIN et *al.*, 2015).

## **I.2. 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 fourmis, les lombrics et les taupes. Ces organismes contribuent directement à l'aération du sol et le transport de l'humus de la surface vers les couches inférieures.

### **I.2.1. Biodiversité**

Les sols représentent un réservoir immense de la biodiversité. Plus de 25 % des espèces vivantes actuellement décrites vivent totalement ou partiellement dans le sol (GRESSELIN *et al.*, 2015). Ces organismes sont présents à des niveaux d'abondance étonnamment élevés. Le niveau d'abondance et de diversité varie d'un sol à l'autre, en fonction de divers facteurs tels que la teneur en matière organique, la texture, le pH et les pratiques de gestion du sol (JRC, 2010).

Pour la plupart, ils vivent dans les premiers 10 centimètres et jusqu'à environ 30 centimètres de profondeur dans le sol. Cette biodiversité se répartit depuis le gène, les micro-organismes, la faune, jusqu'aux organismes situés au-dessus du sol (ROBERT, 2002).

Selon la convention sur la diversité biologique, Art. 2 (1992), la biodiversité, ou diversité biologique, désigne la variabilité des organismes vivants de toute origine y compris, entre autres, les écosystèmes terrestres, marins et autres écosystèmes aquatiques et les complexes écologiques dont ils font partie. La biodiversité correspond à l'ensemble de la diversité du monde vivant. Elle englobe la faune et la flore, c'est-à-dire la totalité des formes que prennent les êtres vivants (animaux, végétaux, micro-organismes) au sein des environnements dans lesquels ils évoluent et se multiplient (J R C, 2010).

La classification du vivant a pour objectif d'éclairer les causes de la diversité du monde vivant. Ce problème motive les scientifiques depuis plusieurs siècles, et les réponses qu'ils y apportent ont, complètement, changé. La classification du vivant a donc, elle aussi, changé (GIORDAN, 2008). Elle se base sur deux grands principes :

- Le principe d'homologie
- La méthode de Hennig

La biodiversité existe à différents niveaux d'organisation interdépendants qui s'emboîtent et qui sont au nombre de trois (LE GUYADER, 2008 et MARIS, 2010) :

1. La diversité génétique (ou diversité intraspécifique) se définit par la variabilité des gènes au sein d'une même espèce, que ce soit entre les individus ou les populations. Cette diversité au sein d'une même espèce est essentielle pour lui permettre de s'adapter aux modifications de son environnement par le biais de l'évolution.
2. La diversité spécifique (ou diversité interspécifique) est la plus connue puisqu'elle est plus visible. Elle correspond à la diversité des espèces vivantes, unité de base de la systématique, par leur nombre, leur nature et leur abondance.
3. La diversité écosystémique correspond à la diversité des écosystèmes présents sur Terre qui forment la biosphère. C'est au niveau des écosystèmes que se situe la diversité des interactions des populations naturelles entre elles et avec leur environnement.

La biodiversité est, quant à elle, un facteur important de résilience des écosystèmes sols et l'altération des roches. Bien qu'un nombre restreint d'espèces clefs suffise à remplir les fonctions essentielles des sols (décomposition de la matière organique, cycle des nutriments et stabilisation de la structure) (Tableau 1), et bien que la présence d'autres espèces assumant les mêmes fonctions ne soit pas absolument indispensable, le maintien de la biodiversité offre une certaine garantie en cas de modification du milieu. En effet, les espèces différentes participant pourtant aux mêmes fonctions réagissent de manière distincte aux facteurs limitants. Elles ne sont donc pas toutes affectées par une perturbation du milieu (présence de substances toxiques, changement du régime hydrique, changement des conditions physico-chimiques) (ANDRE et MAES, 2006).

**Tableau 1 :** Synthèse des fonctions essentielles jouées par les organismes vivants du sol (GIRARD et *al.*, 2005).

| Fonctions                                                                 | Organismes impliqués                                                                                             |
|---------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Décomposition de la matière organique                                     | Invertébrés détritivores, champignons, bactéries, actinomycètes                                                  |
| Recyclage des nutriments                                                  | Principalement micro-organismes et racines, quelques invertébrés du sol et de la litière                         |
| Echanges gazeux et séquestration du carbone                               | Principalement micro-organismes et racines, carbone protégé dans les agrégats créés par la méso et la macrofaune |
| Entretien de la structure du sol                                          | Invertébrés fousseurs, racines, mycorhizes, autres microorganismes                                               |
| Régulation des processus hydrologiques du sol                             | Invertébrés fousseurs, racines                                                                                   |
| Relations symbiotiques et asymbiotiques avec les plantes et leurs racines | Rhizobium, mycorhizes, actinomycètes, autres micro-organismes de la rhizosphère, fourmis                         |
| Détoxification du sol                                                     | Principalement micro-organismes                                                                                  |
| Suppression des nuisibles, des parasites et des maladies                  | Plantes, mycorhizes, autres champignons, bactéries, nématodes, collemboles, vers de terre, prédateurs            |
| Sources d'aliment et de médicaments                                       | Racines, insectes, vers de terre, vertébrés et leurs sous-produits                                               |

La biodiversité ne se limite pas à la somme des espèces, mais représente l'ensemble des interactions entre les êtres vivants, ainsi qu'avec leur environnement physico-chimique, sur plusieurs niveaux :

#### ***1.2.1.1. Flore***

La flore est l'ensemble des espèces végétales présentes dans un espace géographique ou un écosystème déterminé. Les botanistes nomme polémoflore ou florule, la flore typique des anciens lieux de guerre ou marquant les couloirs de passages d'armées (GAUDEFROY & MOUILLEFARINE, 1872).

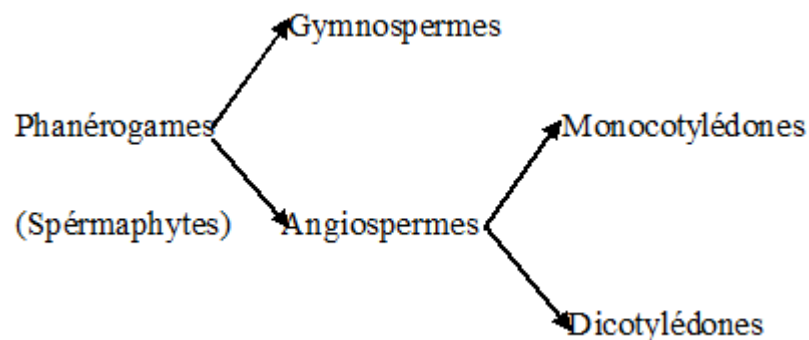
Selon les statistiques de MEDJAHDI (2010), l'Algérie occupe la septième position du point de vue richesse en nombre de taxons floristiques parmi les quatorze pays méditerranéen.

QUEZEL en 1995 a mentionné 2700 espèces tandis que toutes les considérations porteraient un total de 3232 espèces présentes en Algérie (3753 avec les sous-espèces et les variétés) réparties sur 917 genres et 131 familles (MEDJAHDI, 2010).

#### ***1.2.1.1.1. Classification de la flore***

Classer les végétaux est un acte difficile suite à la grande variété morphologique qui ne facilite pas la détermination des caractères homologues, et, en particulier, l'état ancestral ou dérivé de ces caractères. De plus, certaines structures évoluent en fonction du développement du végétal. De ce fait, la classification des végétaux s'appuie sur différents critères biochimiques, cytologiques, anatomiques ou morphologiques. Tandis qu'à l'heure actuelle, les comparaisons moléculaires tiennent une part importante dans l'établissement des phylogénies végétales (BOUSQUET, 2014).

En 2014, BOUSQUET classe les végétaux suivant certains critères de classement en différents groupes (Figure 2).



**Figure 2 :** différents groupes de végétation (MIQUEL, 2001).

#### ***I.2.1.1.2. Anatomie des plantes***

Un végétal, en général, peut être subdivisé en (Tableau 2) :

**Tableau 2** : organes végétaux et leurs fonctions

| Organe  | Rôle                                                                       |
|---------|----------------------------------------------------------------------------|
| Racine  | fixer la plante et puiser les nutriments                                   |
| Tige    | Porte les feuilles, les bourgeons et les ramifications (branches, rameaux) |
| Feuille | photosynthèse, respiration et transpiration                                |
| Fleur   | Organes reproducteurs                                                      |

#### ***I.2.1.1.3. Rôle de la flore***

La flore, comme la faune, provoquent une altération biochimique des minéraux initiaux, se traduisant par de nouvelles formations (minéraux secondaires) tel que l'argile. Elle participe aussi à la structuration du sol et à la dégradation des polluants. (GRESSELIN et *al.*, 2015).

#### ***I.2.1.1.4. Distribution de la flore***

La distribution de la flore dépend de la topographie et du climat du milieu surtout que la plante subit plus étroitement les contraintes du milieu physique (climat et sol) (COCHARD, 2017), mais dans la nature, les végétaux intègrent la stratégie d'adaptation à tous les habitats, même les plus extrêmes qui renferment un minimum d'organismes caractéristiques.

Au cours des dernières années, les préoccupations de préservation de la biodiversité ont créé un changement de représentation pour différents acteurs, orienté, non seulement, vers les espaces et espèces patrimoniaux (rares, menacés, emblématiques) mais également vers d'autres types de milieux et d'espèces plus communs et familiers. Ces espèces communes revêtent une importance particulière pour la fonctionnalité et la qualité des milieux, ainsi que par l'ensemble des services écosystémiques rendus (GASTON ET FULLER, 2008).

#### ***I.2.1.2.Faune du sol***

La pédofaune ou faune du sol est l'ensemble de la faune effectuant tout ou partie de son cycle de vie dans le sol (BACHELIER, 1978 ; DEPRINCE, 2003). D'après DINDAL

(1990), c'est une communauté animale qui rassemble les organismes présents de manière permanente ou temporaire dans le sol, à sa surface, ou dans les annexes (bois mort, sous les pierres, etc.).

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 active. Tous ces animaux souterrains interagissent avec leur milieu, tout en ayant un impact sur sa structure et sa composition (GOBAT *et al.*, 2003).

#### ***I.2.1.2.1. Classification de la faune du sol***

En biologie, les niveaux systématiques constituent la classification couramment utilisée. Ils regroupent les êtres vivants en le Règne, Embranchement, Classe, Ordre, Famille, Genre et Espèce. Ce classement est basé sur les caractères génétiques et phénotypiques. Une classification plus fonctionnelle peut être utilisée en liant les organismes à leur milieu et notamment aux ressources qu'elle propose (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 pour classer la pédofaune.

D'après GRESSELIN *et al.*,(2015), les espèces de la pédofaune sont classiquement regroupées en trois classes :

- la microfaune (les protozoaires, les nématodes, les rotifères, les tardigrades...),
- la mésofaune (acariens et collemboles principalement),
- et la macrofaune (arthropodes, annélides...).

#### ***I.2.1.2.2. Rôle de la faune du sol***

Selon GRESSELIN *et al.*,(2015), la faune du sol joue un rôle complémentaire à celui de la microflore en contribuant à l'enfouissement de la matière organique, à sa fragmentation et à son assimilation. Elle seconde en cela les micro-organismes dont le rôle principal est de la décomposer. A l'image de tout autre écosystème terrestre, chaque espèce contribue au processus de recyclage et d'assimilation des nutriments (Idem).

Les interactions, au sein de la faune du sol, sont nombreuses, complexes et variées. Tout comme la relation prédateur/proie et dans certains cas le parasitisme, le commensalisme se produit également (JRC, 2010). Les vers de terre, les cloportes et les coléoptères se positionnent au sommet de la chaîne. Leur travail d'enfouissement et de fragmentation est complété par celui des myriapodes puis des collemboles et des acariens. En bout de chaîne, après l'action des nématodes, la matière organique, suffisamment fragmentée, s'offre à l'attaque des champignons et des bactéries. Seuls ces deux derniers ont la capacité de digérer certains composés organiques. N'ayant, cependant, pas celle de se déplacer, ils vivent souvent en dormance en attendant, d'une part, que les conditions (température, hygrométrie) leur soient favorables, d'autre part que la pédofaune les mette en relation avec leur nourriture.

Pour la plupart d'entre eux, leur rôle ne s'arrête pas au découpage de la matière organique. Ils la pré-digèrent, contribuent au mélange des matières minérales et fécales, aèrent le sol... Les vers de terre sont ainsi d'excellents laboureurs. Ils participent à l'amélioration de la structure du sol, à sa résistance à l'érosion, à sa restructuration et à sa restauration après tassement. Ils remuent en moyenne 1,5 tonne de terre par jour (GRESSELIN et *al.*, 2015).

Cette chaîne simplifiée où seuls les brouteurs paraissent jouer un rôle est en fait beaucoup plus complexe qu'il n'y paraît. Dans la réalité, elle accueille, comme dans tous les écosystèmes de surface, son lot de parasites, d'associations symbiotiques et de prédateurs. En tout, bien que très variable d'une saison à une autre, le poids cumulé de ces organismes, grands et petits, brouteurs et prédateurs, atteint en moyenne 2,5 tonnes à l'hectare pour un sol de prairie (GRESSELIN et *al.*, 2015).

#### ***1.2.1.2.2.1. Importance de la faune du sol dans la structuration des sols***

Le sol réalise l'interface entre le milieu vivant et le milieu minéral. Les organismes du sol ont pour fonction principale de réaliser le recyclage de la matière organique constituant les déchets et les rejets des animaux et des végétaux. Dans cette décomposition de la matière organique, les invertébrés assurent un rôle de préparation en vue d'une minéralisation complète assurée par les micro-organismes. Les invertébrés interviennent en fragmentant la litière, multipliant ainsi les surfaces d'attaque potentielles par les bactéries. En ingérant cette litière et en rejetant des déchets riches en nutriments, ils facilitent l'action ultérieure des souches mycéliennes et bactériennes (GRESSELIN et *al.*, 2015).

Le processus de fragmentation de la litière peut être résumé de la manière suivante (MATHEY, 1984) :

Les feuilles tombées au sol, sont lessivées par la pluie avec les éléments préliminaires en surface envahis par la microflore. A ce moment, les feuilles sont d'abord attaquées par des Collemboles et certains Acariens qui perforent l'épiderme. Les petites larves de Diptères agrandissent les trous et perforent les feuilles de part en part, ce qui favorise la pénétration de la microflore à l'intérieur. Les macro-invertébrés interviennent ensuite : les grandes larves de Diptères (Tipulidés, Bibionidés, Scatopsidés), les Diplopodes, les Isopodes et les limaces découpent les feuilles. Leurs excréments sont mangés, soit par eux-mêmes, soit par des Collemboles, des Acariens ou de petites larves de Diptères. Cependant que les vers de terre, fousseurs, entraînent des feuilles entières molles dans leurs terriers pour les fragmenter.

L'augmentation de la surface de la litière (de 15 à 20 fois la surface initiale) par découpages successifs peut être considérée comme la plus importante contribution des invertébrés à sa réduction finale, ce qui permet un développement considérable des populations bactériennes ou fongiques. Une seconde action très importante consiste à exercer un brassage à travers les différents horizons du sol soit par entraînement en profondeur de fragments végétaux, soit par dépôt d'excréments dans le sol, soit encore par rejet en surface de terre ingérée en profondeur.

Du point de vue des milieux perturbés et excessivement chargés en métaux, on assiste à une accumulation caractéristique et importante de la litière non dégradée (STROJAN, 1978). Il est en général associé à une baisse de l'activité biologique et de l'efficacité de la décomposition.

### ***1.2.2. Etat de la biodiversité dans le monde***

À l'échelle mondiale, la biodiversité n'est pas répartie uniformément sur l'ensemble de la planète. En général, elle augmente en allant des pôles vers l'équateur. Sur les continents, elle diminue avec l'altitude mais elle est plus importante que celle des océans qui augmente avec la profondeur (BCEUF, 2016). La biodiversité terrestre est marquée par les forêts tropicales qui représentent l'écosystème renfermant la biodiversité la plus élevée lorsqu'elle est mieux conservée dans les paysages peu fragmentés par l'homme (BARLOW et al., 2016). En fait, les végétaux supérieurs et les vertébrés, sont relativement bien connus. En revanche,

les données relatives aux invertébrés demeurent lacunaires et il n'existe toujours pas d'ouvrages thématiques synoptiques.

Depuis le Sommet de la Terre de 1992, il est établi que la biodiversité est gravement menacée par les activités humaines et s'appauvrit d'année en année à un rythme sans précédent (ASH et FAZEL, 2007 ; SCDB, 2010 et 2014), cela est confirmé par BARBAULT (1997) qui renvoie le concept de biodiversité à la présence de l'Homme : « l'homme qui la menace, l'homme qui la convoite, l'homme qui en dépend pour un développement durable de ses sociétés ».

En 2005, le rapport de synthèse d'envergure mondiale '*Évaluation des écosystèmes pour le millénaire*' évalue, sur des bases scientifiques, l'ampleur et les conséquences des modifications subies par les écosystèmes sur la condition humaine. Il s'agit de la première estimation complète de l'état des écosystèmes dans le monde. Ce rapport reflète que l'humanité a plus profondément et plus rapidement modifié les écosystèmes depuis ces cinquante dernières années que depuis toute l'histoire de l'humanité afin d'assouvir ses besoins, ce qui a entraîné une grave perte de la diversité biologique, largement irréversible (PNUE, 2005).

Cinq menaces majeures pesant sur la biodiversité ont été identifiées : la première est la destruction des habitats, suivie par la surexploitation (chasse, pêche), les espèces envahissantes, le changement climatique et la pollution (MACE et al., 2005 ; ASH & FAZEL, 2007).

La biodiversité doit être gérée pour une meilleure sauvegarde selon trois approches : la protection, la conservation et la restauration (BETTS et al., 2017) en intensifiant les efforts afin d'éviter une nouvelle vague d'extinction globale.

### ***1.2.3. Etat de la biodiversité en Algérie***

Le 5ème rapport de l'Algérie au titre de la convention de la biodiversité (CDB), basée sur l'inventaire de 2014, a répertorié 13318 espèces au niveau du territoire national algérien, dont 4250 marines et 9068 terrestres démontrant ainsi que les écosystèmes continentaux soient plus riches que leurs homologues marins (MATE, 2015).

L'évolution pour les 3 grandes catégories de groupes taxonomiques à savoir les vertébrés, les invertébrés et les végétaux, fait état d'une nette progression des invertébrés qui passent de 3792 en 2000, à 6444 en 2014 dont 3337 espèces continentales et 3107 marines. Le nombre d'espèces protégées en Algérie atteint 904 espèces dont 546 sont des végétaux alors que la faune comprend 127 invertébrés et 231 vertébrés. Ces estimations sont appelées à croître dans la mesure des pans entiers de la côte algérienne et des régions continentales terrestres restant inexplorés. Le groupe des vertébrés est relativement bien connu en Algérie et le nombre d'espèces demeure globalement stable. Les poissons montrent également une constante progression dans la mesure où on recense aujourd'hui près de 328 espèces (MATE, 2015). Cependant que la flore s'enrichit en présentant 290 espèces endémiques suite aux menaces persistantes (DOBIGNARD et CHATELAIN, 2010-2013 in MATE, 2015). Le tableau 3 illustre le nombre d'espèces par groupe taxonomique en Algérie selon le 5ème Rapport National au titre de la CDB (2014) et MATE (2015).

**Tableau 3 :** nombre d'espèces par groupes taxonomiques en Algérie (MATE, 2015).

| Taxons      | Espèces terrestres        | N.   | Espèces marines                  | N.  |
|-------------|---------------------------|------|----------------------------------|-----|
| Protistes   | Virus                     | 50   |                                  |     |
|             | Bactéries                 | 100  |                                  |     |
|             | Champignons supérieurs    | 495  |                                  |     |
|             | Champignons actinomycètes | 250  |                                  |     |
| Flore       | Lichens                   | 575  | Algues Unicellulaires            | 303 |
|             | Mousses                   | 458  | Algues Macrophytes               | 495 |
|             | Spermaphytes              | 3152 | Spermaphytes                     | 4   |
| invertébrés | Insectes                  | 2610 | Mollusques                       | 663 |
|             |                           |      | Annélides et Polychètes          | 740 |
|             |                           |      | Crustacés                        | 864 |
|             | Autres                    | 727  | Divers groupes des fonds meubles | 89  |
|             |                           |      | Divers groupes des fonds durs    | 597 |
|             |                           |      | Divers groupes zooplanctoniques  | 154 |
| vertébrés   | Poissons                  | 71   | Poissons                         | 328 |
|             | Amphibiens                | 14   | Reptiles                         | 2   |
|             | Reptiles                  | 80   | Mammifères                       | 11  |
|             | Oiseaux                   | 378  |                                  |     |
|             | Mammifères                | 108  |                                  |     |

L'Algérie présente une vulnérabilité écologique se traduisant par une fragilité de ses écosystèmes. Cela est le défi que l'Algérie a entrepris pour le relever, en adoptant une approche intersectorielle par sa contribution à la Conférence des Nations Unies sur le Développement durable à Rio qui reflète plusieurs acquis en termes de sauvegarde de la biodiversité, à savoir la conservation de la biodiversité des zones arides et sahariennes, la protection et la conservation des écosystèmes fragiles par adoption de plan de gestion, etc.

Afin de fructifier ces acquis, et dans le cadre d'un partenariat avec le FEM et le PNUD, le Gouvernement algérien bénéficie du projet "Planification nationale sur la diversité biologique et mise en œuvre en Algérie du Plan Stratégique de la Convention sur la Diversité Biologique 2011-2020 et des Objectifs d'Aichi". Ce projet vise à intégrer les engagements de l'Algérie aux termes de la Convention sur la diversité biologique (CDB) dans ses programmes nationaux de planification du développement multisectoriels, par le biais d'un processus renouvelé et participatif de planification en matière de diversité biologique. Il vise également l'élaboration d'une stratégie conforme aux orientations globales du Plan stratégique de la CDB pour 2011-2020 (MATE, 2015).

#### ***1.2.4. Relation plante-sol-invertébrés***

Le sol est le support de la végétation, son "garde-manger" et son réservoir en eau (GIRARD et *al.*, 2005). Son alimentation hydrique est gouvernée par les relations sol-plante fondées sur les caractéristiques du sol et des plantes (OLIOSO, 2006). En effet, le sol agit par l'intermédiaire de ses propriétés physiques, chimiques et biologiques. Il intervient par sa composition en éléments minéraux, en matière organique et par sa structure et joue un rôle important dans la nutrition du végétal, déterminant ainsi l'espérance du rendement en grain. La plante, par son système racinaire en croissance, se comporte comme un ensemble de capteurs souterrains répartis spatialement et jouant le rôle de surface d'échange avec le sol, et d'un système de transport de l'eau jusqu'au collet, à la surface du sol. Le sol constitue donc pour le végétal une retenue d'éléments nutritifs dont le niveau de disponibilité marque le rayon de développement racinaire (MEARTENS & CLAUZEL, 1982; BONNEFOY, 2007).

Ces sols, au cours de leur évolution, renferment aussi 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). C'est le cas de la faune du sol dont

la couverture pédologique lui 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 *et al.*, 2005). De ce fait, 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).

### ***I.3. Pollution***

La pollution demeure l'un des problèmes mondiaux les moins bien connus, un impact confirmé par l'OMS, qui estime que les pollutions environnementales contribuent à 19 % de l'incidence du cancer dans le monde et sont responsables de 1,3 million de décès chaque année (OMS, 2016).

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).

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 ».

Selon MEINEL (2015), « la pollution est quelque chose en d'hors de sa place » puisque nous utilisons des produits en ignorant souvent ce que nous créons involontairement dans le processus. DORION (2015), définit la pollution comme étant un rejet de substances nocives dans l'environnement générées par l'activité humaine.

Ces modifications et ces rejets peuvent affecter l'Homme directement ou indirectement à travers les ressources agricoles, en eau et autres produits biologiques.

### ***1.3.1. 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 ; tant dit que l'électronique recoure de plus en plus à des oligoéléments telles que l'arsenic, le nickel, le sélénium, le plomb, les cyanure, etc. (RAMADE, 2007).

#### ***1.3.1.1. Pollution industrielle dans le monde***

Les activités industrielles peuvent exercer des pressions qui ont des impacts directs ou indirects sur l'environnement, comme elles peuvent être une source de risques pour le personnel et les populations avoisinantes. Ces impacts résultent, en premier lieu, de l'activité de l'Homme qui provoque des effets directes par l'extraction et la transformation de matières premières qui polluent les sols, l'eau ou l'atmosphère suite à la libération de déchets et d'effluents liquides ou gazeux sans nier les nuisances locales (bruits, odeurs et poussières). A cela s'ajoute l'impact indirect par l'implication de branches primaires telles que la culture, l'élevage, l'extraction,... ou tertiaire telles que le transport de marchandise, voir l'utilisation de produits issus de l'industrie : automobiles, engrais, pesticides...

Selon le rapport de l'OMS de 2016, la pollution tue plus que le sida et le paludisme. Elle cause 16 % des décès enregistrés dans le monde chaque année ; c'est l'équivalent de 7 millions de personnes qui meurent prématurément à cause de la pollution dans le monde en 2015 et un total de 9 millions de morts si on compte les décès liés à la pollution des sols et de l'eau (1,8 million) et ceux liés à la pollution en milieu professionnel (0,8 million).

80 % des villes du monde ont un taux de pollution de l'air alarmant (Riyad, Delhi, Caire et Pékin qui figurent sur la liste noire de l'OMS) qui causerait 3 millions de décès par an. Plus de neuf personnes sur dix à travers le monde respirent un air ambiant trop pollué. Ce constat

s'appuie sur la qualité de l'air extérieur observée dans 3000 lieux à travers le monde durant l'année 2014.

Ce sont les pays en développement qui payent le plus lourd tribut de cette pollution industrielle car il y a moins de normes et de contrôles, notamment les entreprises alimentent les marchés locaux.

### ***I.3.1.2. Pollution industrielle en Algérie***

En Algérie, le terme pollution fait penser surtout à la pollution industrielle telle que l'industrie électronique, 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).

Les 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. par son certificat ISO 14001 depuis 2008, et à la Sonatrash qui a très bien améliorée ses techniques de travail, etc. (MATE, 2015 & AUDIT ENVIRONNEMENTALE de l'ENIEM., 2016).

Prenant l'exemple du golfe d'Annaba qui est la plus importante zone touristique et économique côtière située à l'Est de l'Algérie. Il est contaminé par de grandes quantités de polluants d'origine urbaine, agricole, portuaire et aussi les activités industrielles (SOLTANI et al., 2012).

### ***I.3.2. Pollution du sol par les métaux lourds***

On parle de pollution du sol par les métaux lourds quand ces derniers sont en excès et que cet excès devient toxique pour le développement vital d'un ou plusieurs maillons du monde vivant, dans le sol, mais aussi dans l'eau et dans l'air en contact avec le sol (RUELLAN, 2010).

Les métaux lourds sont des polluants engendrés par l'activité humaine qui ont un fort impact toxicologique. Les métaux toxiques sont nombreux, mais on peut citer surtout l'arsenic, le cadmium, le plomb et le mercure qui ont des impacts sur les végétaux, les produits de consommation courante et sur l'Homme (DI BENEDETTO, 1997).

L'expression métaux lourds est souvent utilisée abusivement pour désigner les polluants minéraux incluant non seulement des métaux (cadmium, cuivre, cobalt, mercure, nickel, plomb, zinc,...) mais éventuellement des non métaux tels que le bore ou le sélénium (CADY, 1998).

Ce terme de métaux lourds est employé par RAMADE (1993) pour l'ensemble des métaux ayant une masse atomique élevée ; cela est affirmé par STEKETEE (2010), qui définit les métaux lourds comme étant un ensemble d'éléments ayant une densité élevée de plus de 5 kg/dm<sup>3</sup>. Cette notion a une connotation négative et évoque un risque de toxicité ou de danger.

#### ***I.3.2.1. Généralité sur les métaux lourds***

##### ***I.3.2.1.1. Propriétés***

###### ***I.3.2.1.1. 1. Spéciation***

Le terme de spéciation a été utilisé dans la chimie des sols et des sédiments pour désigner la forme chimique et structurale sous laquelle se trouve un élément métallique. La spéciation a été définie comme étant la détermination d'une forme spécifique ou d'une configuration selon laquelle un élément peut être présent dans un groupe d'atomes correspondant à différentes matrices (HETLAND et al., 1991).

Dans l'environnement, les éléments traces métalliques se trouvent sous différentes formes chimiques et la mesure de leur concentration totale ne suffit pas pour déterminer leur

réactivité, mobilité, biodisponibilité et toxicité d'où l'intérêt majeur de les quantifier sous leurs formes biodisponibles.

C'est pour cela que la forme du composé est importante tant pour l'assimilabilité que pour le transport à travers le sol, et qu'une bonne compréhension de la spéciation est très importante pour pouvoir évaluer les différents risques (STEKETEE, 2010).

#### ***I.3.2.1.1. 2.Disponibilité biologique***

Un grand nombre de « métaux lourds » remplit des fonctions essentielles dans les systèmes d'enzymes des bactéries, des plantes, des animaux et de l'Homme. Ces éléments traces se trouvent sous forme assimilable dans le sol ou dans l'alimentation.

Les métaux lourds sont souvent considérés comme immobiles, mais ce n'est pas toujours le cas, car leur mobilité dépend du degré d'acidité (pH) qui est le plus important et du potentiel d'oxydoréduction ainsi que la composition de l'eau souterraine (STEKETEE, 2010).

Les teneurs des différents composants varient fortement en fonction du type de sol, ce qui signifie que la capacité d'un sol à lier des métaux varie également selon les différents composants du sol (la capacité de liaison du sable est la plus faible contrairement à celle de la matière organique qui est la plus élevée) (STEKETEE, 2010).

#### ***I.3.2.1.1.3.Toxicité***

La toxicité est un phénomène très complexe, résultant d'interactions multiples entre des substances néfastes et des organismes vivants. On distingue alors 3 formes différentes de toxicité : aiguë provoquant la mort ou de graves troubles physiologiques, subaiguë ou à long terme. De plus, la toxicité d'un métal est déterminée par la nature chimique de l'environnement aqueux et par la spéciation des métaux (forme chimique sous laquelle le métal est considéré). Elle est aussi en fonction du niveau trophique, du facteur de bio-concentration de chaque espèce, du phénomène de bioamplification ainsi que de la forme même sous laquelle le micro-polluant est ingéré.

Selon STEKETEE, (2010), les métaux peuvent avoir des effets toxiques différents suivant leur nature, leur spéciation, leur dose et de la durée de leur exposition.

Il n'existe pas seulement un grand nombre de métaux différents, mais également différentes formes de composés à seuils différents, ainsi pour certains métaux lourds avec un seuil faible, aucun effet négatif n'est à prévoir, mais pour d'autres avec un niveau acceptable, des effets nocifs sont bien définis (STEKETEE, 2010).

Le mercure, par exemple, peut être présent sous forme métallique (gouttelettes de mercure), sous forme d'oxyde, sous forme de sel (chlorure mercurique, sulfure de mercure) ou sous forme de composé organomercurique (méthylmercure). Ces formes de composés varient en termes de toxicité et d'assimilabilité. Par conséquent la toxicité d'un métal n'est pas correcte en terme général.

Une intoxication humaine subite au contact de sol ou d'eau souterraine pollué(e) est pratiquement à exclure, contrairement aux effets chroniques qui peuvent apparaître en cas de consommation prolongée de légumes provenant de jardins pollués, d'exposition prolongée à la poussière de sols pollués (par exemple à proximité d'une ancienne usine sidérurgique) ou de présence d'enfants sur des terrains très pollués (STEKETEE, 2010).

### ***1.3.2.1.2. Caractéristiques des métaux étudiés***

#### ***1.3.2.1.2.1. Arsenic (As)***

De très forte toxicité, il est aussi bien présent dans les tissus des plantes que des animaux jusqu'à ce qu'il devienne synonyme de " poison" dans l'esprit du public. Il est assez répandu dans la biosphère (1-100 ppm) et sa présence a été décelée dans les pyrites.

Les dérivés arseniciaux sont utilisés dans les tanneries, dans la fabrication de certaines peintures, dans la métallurgie, la coloration des verres et des céramiques et dans l'agriculture. Sa présence dans l'environnement est liée à des rejets industriels ainsi qu'à l'utilisation d'engrais phosphatés et de détergents (NOPPE, 1996).

#### ***1.3.2.1.2.2. Cadmium (Cd)***

Le cadmium, constituant mineur de l'écorce terrestre n'est pas présent à l'état pur dans la nature. Ses minerais sont liés à ceux du plomb et du zinc. Ses sels sont très toxiques. Il est présent en faible quantité dans la biosphère (0.1-0.2 ppm). Ses principales sources dans l'environnement proviennent de la métallurgie du zinc; des synthèses de produits organiques;

de la fabrication des ciments, des piles électriques et des peintures; des produits des raffineries et de la galvanoplastie (DEHAINE, 1992).

#### ***I.3.2.1.2.3.Chrome (Cr)***

Le chrome existe sous deux formes (trivalent et hexavalent) et le Cr(VI) est approximativement cent fois plus toxique que les sels de Cr (III) (FORSTNER et WITTMAN, 1981 in NOPPE, 1996). Les minerais de chrome (chromite,...) sont assez répandus sur le globe et essentiellement utilisés par l'industrie métallurgique, l'industrie des pierres réfractaires et l'industrie chimique (A.F.E.E, 1979). Il est également indispensable à la vie, car il est utilisé comme cofacteur dans les réactions de l'insuline et stimule la synthèse de plusieurs enzymes (BENNOUNA, 1990).

#### ***I.3.2.1.2.4.Cuivre (Cu)***

Métal largement répandu dans le globe (0.01% de la croûte terrestre), sous la forme de cuprite, de chrycolle, ou de malachite (DEHAINE, 1992). En raison de ses propriétés physiques particulières (conductivité électrique, thermique et résistance à la corrosion), le cuivre est un métal qui a un large éventail d'utilisations industrielles. Les sels de cuivre sont utilisés dans de nombreux domaines (agriculture, industrie textile, fabrication de pigments, industrie photographique) (A.F.E.E, 1979). De plus, il est reconnu comme élément essentiel de l'alimentation des oiseaux, des plantes et des mammifères, et participe au métabolisme de la purine et au développement du système nerveux (BENNOUNA, 1990). La toxicité du cuivre ( $\text{Cu}^{2+}$ ) est assez importante pour les êtres vivants à des doses relativement faibles (HELLAWELL, 1988).

#### ***I.3.2.1.2.5.Mercure (Hg)***

Elément non essentiel et hautement toxique pour la vie des organismes, est rare dans la croûte terrestre et présent à des quantités infimes dans les roches. C'est le seul métal liquide à température ordinaire et le seul à être volatil (RAMADE, 1993). Les origines naturelles du mercure sont les éruptions volcaniques et l'érosion hydrique qui, par lessivage, entraîne dans les cours d'eau puis dans les océans une fraction du mercure contenu dans les roches superficielles (RAMADE, 1978). Certaines bactéries des sédiments benthiques ont un rôle

essentiel, car elles transforment le mercure minéral en monométhylmercure. Ce dernier reste dans l'hydrosphère, où il est incorporé aux chaînes alimentaires.

Les principales causes de pollution par cet élément sont les usages industriels et agricoles. La toxicité élevée et l'action insidieuse des formes minérales et organiques constituent une menace redoutable pour la faune terrestre et aquatique sur des surfaces de plus en plus étendues (RAMADE, 1972).

#### ***I.3.2.1.2.6.Nickel (Ni)***

Les minerais de nickel les plus communs sont les sulfures, les oxydes, les silicates et les arsenicaux. Les formes exploitées sont les amas sulfurés et les latérites nickélifères. Leur exploitation a provoqué de graves dommages à l'environnement, en particulier, la végétation avoisinant les mines (RAMADE, 1993). La principale source du rejet de nickel dans les eaux résiduaires industrielles est représentée par l'industrie métallurgique, notamment les opérations de revêtement faisant intervenir le nickel (A.F.E.E, 1979).

#### ***I.3.2.1.2.7.Plomb (Pb)***

Métal assez répandu dans le globe (8-20 ppm) et présent dans divers minerais (galène...). Le plomb est relâché dans l'environnement suivant divers processus naturels, mais depuis le développement d'industries telles que la métallurgie, la combustion des charbons, l'emploi des peintures et surtout l'utilisation de composés à base de plomb dans les carburants, les quantités de plomb émises dans le milieu naturel sont considérables (A.F.E.E, 1979). Les métabolismes du plomb et du calcium sont similaires concernant le dépôt et la mobilisation dans les os. De plus, absorbé en grande quantité chez l'Homme, il devient toxique (NOPPE, 1996).

#### ***I.3.2.1.2.8.Zinc (Zn)***

Le zinc est un métal d'un blanc bleuâtre qu'on trouve dans la nature principalement sous forme de blende, de calamine et de smithsonite (DEHAINE, 1992).

Selon BENNOUNA (1990), le zinc est un métal essentiel pour la croissance et le développement normal d'espèces animales et végétales, il devient nuisible quand il est en excès.

Le zinc, métal en feuilles, sert dans le bâtiment et dans la fabrication des piles électriques et des pigments ainsi que les engrais superphosphates. C'est un métal très commun des effluents industriels alors que son oxyde est utilisé comme catalyseur de vulcanisation dans la préparation des caoutchoucs (NOPPE, 1996).

## ***1.4. Relation Métaux lourds - Sol - Organismes vivants***

### ***1.4.1. Origine des métaux lourds dans le sol***

Tous les métaux lourds ont une part naturelle constituante de la croûte terrestre et sont donc toujours présents dans le sol, dans l'eau souterraine et dans l'eau de surface. Les concentrations naturelles dans le sol se situent généralement dans une plage de 1 à 100 mg/kg, mais des valeurs inférieures ou supérieures sont possibles pour certains métaux. L'argile et la matière organique contiennent naturellement plus de métaux que de sable. Ceci est dû d'une part à la composition des minéraux formant l'argile et le sable et, d'autre part, à la genèse du sol. L'argile et la matière organique ont une capacité beaucoup plus importante à combiner des métaux que le sable et peuvent donc assimiler des métaux présents dans de l'eau de surface ou de l'eau souterraine, si bien que les teneurs augmentent progressivement. Une concentration peut également avoir lieu si des plantes assimilent des métaux ; la matière organique se minéralise alors à long terme en humus ou tourbe (STEKETEE, 2010).

### ***1.4.2. Comportement des métaux lourds dans le sol***

Selon STEKETEE (2010), les métaux lourds sont souvent considérés comme immobiles, mais ce n'est pas toujours le cas puisque qu'ils sont mobilisés par un changement des conditions à la suite d'une intervention humaine, par exemple un accident avec de l'acide ou un panache avec du sel. La mobilité dépend des facteurs suivants :

1. La spéciation (la forme de la composition physico-chimique de métaux) ;
2. La composition du sol ;
3. Les conditions du sol, en particulier le pH et le potentiel d'oxydo-réduction.

Il est également important de savoir que des composés métalliques peuvent subir des transformations. Cela signifie que des composés stables et peu solubles peuvent se transformer en composés solubles, et vice-versa.

Il existe un rapport entre la mobilité des métaux et la disponibilité biologique (l'assimilabilité par des organismes), mais ce rapport n'est pas direct. Les métaux ne peuvent effectivement être assimilés que sous forme dissoute, mais la solubilité peut changer au moment où les métaux passent par l'intestin (par exemple quand un ver mange de la terre). Outre ces transformations dans l'organisme, la disponibilité biologique dépend des mêmes facteurs que de ceux qui déterminent le comportement des métaux dans le sol (STEKETEE, 2010).

#### **I.4.3. Relation biodiversité-pollution**

La pédofaune participe à la biodiversité du sol et joue un rôle fondamental dans la production et l'entretien de l'humus (JABIOL et *al.*, 2007) au moment que les caractéristiques du sol leur présentent des contraintes particulières, ce qui ne favorisent pas la diversité de leurs organismes et leurs adaptations (DEPRINCE, 2003). Ces êtres vivants, participant à la biologie et l'écologie du sol et comme bio-indicateurs : les Lombric, Nématodes, Collembolles et Gastéropodes (PONGE, 1983 ; ARPIN et *al.*, 1984 ).

#### **I.4.4. Les contaminants métalliques dans les organismes vivants et surveillance de l'environnement**

Les différents métaux (le fer, l'aluminium, le cuivre, le plomb, le zinc, l'argent, l'or,...) sont abondamment utilisés par l'Homme depuis l'Antiquité.

Si les métaux (oligo-éléments) sont souvent indispensables au métabolisme des êtres vivants surtout les végétaux qui sont le premier palier de la chaîne trophique, nombreux sont cependant toxiques lorsque leur concentration dépasse un seuil qui est en fonction de l'état physico-chimique de l'élément lui-même (cas du Fe, Cu, Zn, As,...) ; mais d'autres sont préjudiciables (Cd, Pb,...) (CHIFFOLEAU et *al.*, 2001).

Quand un écosystème subit une pollution, l'ensemble de ses compartiments (sol, eau et organismes vivants) est contaminé. Afin d'évaluer les risques liés à cette pollution, il s'agit alors non seulement d'en mesurer l'étendue mais aussi de comprendre les effets biologiques

engendrés. En effet, les analyses chimiques quantifient les concentrations en contaminants majeurs et recensés (Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques ou HAP, Polychlorobiphényle ou PCB, métaux "lourds" et pesticides) dans les différents compartiments eau, sol, sédiments, mais elles ne donnent aucune indication sur leur forme chimique ne traduisant alors en aucune façon leur biodisponibilité ou leur toxicité.

Les métaux traces d'origines naturelle ou anthropique sont considérés comme des contaminants bioaccumulables qui ont une toxicité variable selon leur nature et leur voie de pénétration (ingestion, respiration, contact avec la peau) (CHIFFOLEAU *et al.*, 2001). Cela est confirmé par LAUWERYS *et al.*, (2007) qui rapporte que l'effet d'un toxique sur l'organisme dépend essentiellement de la qualité du toxique ou des substances réactionnelles qu'il engendre. Les micro-organismes aquatiques sont les premiers maillons des chaînes alimentaires touchés par cette bioaccumulation.

L'irréversibilité de cette pollution est particulièrement préoccupante du fait qu'il est pratiquement impossible de récupérer aisément ces métaux, une fois dissipés dans la nature ; leur rémanence est la cause même d'une accumulation difficilement contrôlable.

Alors, les micropolluants minéraux transférés aux sédiments sont en partie métabolisés par les organismes vivants et mis en circulation dans les chaînes alimentaires où leur toxicité s'épanouit. Ces derniers ont divers devenir dans l'organisme des êtres vivants (figure 3).

#### **I.4.4.1. Assimilation**

MIQUEL (2001), affirme qu'il existe 2 voies principales d'exposition aux polluants : la voie externe, par contact, qui provoque un phénomène d'adsorption et la voie interne par assimilation ou absorption.

Toute absorption n'est pas nécessairement dangereuse, cela dépend des concentrations du polluant et il ne faut s'intéresser qu'à la fraction soluble du métal puisque la fraction insoluble étant éliminée par différentes voies : solide (fèces), liquide (urine), cutanée (sueur...). Cette partie soluble, bio-disponible et assimilable, se rencontre dans certains organes à fonction particulière (foie, reins) ou dans la composition physico-chimique de l'organe en favorisant le stockage du contaminant (Calcium/plomb dans les os) ou bien permettant les accumulations (MIQUEL, 2001).

#### ***I.4.4.2. Bioconcentration***

En général, tous les métaux lourds sont concernés par la bioconcentration (bioaccumulation par l'individu) et plus particulièrement le mercure, lorsqu'il est présent sous forme organique (méthyl-mercure).

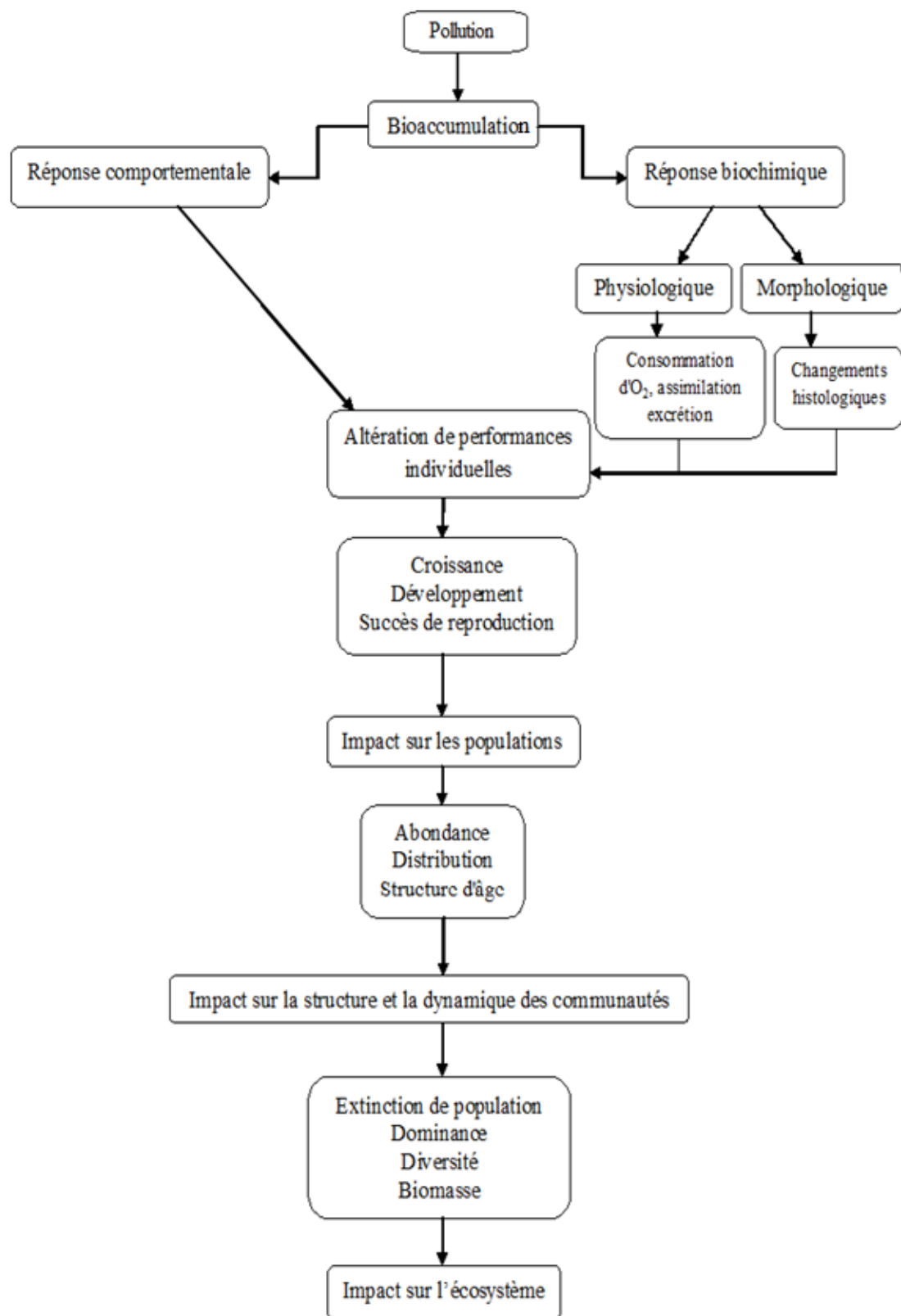
Ce processus d'accumulation s'exprime par un ratio (Facteur de Bioconcentration : BCF) entre la concentration du composé étudié dans le milieu et la concentration dans l'organisme. Il diffère selon les espèces et les métaux.

En effet, il semblerait que les fruits de mer, mollusques et crustacés, et dans une moindre mesure, certains poissons sont d'excellents capteurs de polluants. Tandis que le BCF dans les plantes est assez variable ((MIQUEL, 2001).

#### ***I.4.4.3. Bioamplification***

Les transferts trophiques de métaux lourds (bioaccumulation entre individus) suivent un processus classique. Un polluant, présent dans les algues et les micro-organismes est ingéré par un herbivore qui est la proie d'un carnivore, lui-même proie d'un super-carnivore, animal ou Homme (consommateur final) qui aura bio-accumulé les formes solubles des métaux en bout de cette chaîne alimentaire.

Selon les prédateurs et les métaux, les concentrations peuvent augmenter au fur et à mesure que l'on progresse dans la chaîne trophique, cas du plomb et surtout du mercure sous sa forme méthylée. Ce dernier s'accumulant à chaque étape, se retrouve ainsi concentré en bout de chaîne alimentaire (MIQUEL, 2001).



**Figure 3 :** Schéma général des modalités d'action d'un polluant sur un écosystème (RAMADE, 1992).

# Chapitre II

## Materiel et méthodes

## II.1. Présentation de la région d'étude

### II.1.1. Situation géographique

La région où est réalisée la présente étude se situe au Nord de l'Algérie, au niveau de la wilaya de Tizi-Ouzou à 36°42' latitude Nord et 4°13' longitude Est. Elle s'étend, dans ses limites actuelles, sur une superficie de 2958 Km<sup>2</sup>, soit 0,13% du territoire national. 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 4).



**Figure 4 :** Situation géographique de la Wilaya de Tizi-Ouzou (Google, 2018).

La wilaya de Tizi-Ouzou se situe dans la région de la grande Kabylie, en plein cœur du massif du 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'échantillonnage (Figure 5) dont les coordonnées lombaires sont les suivantes :

- ✓ Yakouren : 36° 44' 5" Nord, 4° 26' 19" Est
- ✓ Taddart : 36° 44' 40" Nord, 4° 22' 19" Est
- ✓ Electro-Industries : 36° 44' 57" Nord, 4° 19' 80" Est
- ✓ Tizi-Rached : 36° 40' 68" Nord, 4° 11' 30" Est
- ✓ ENIEM : 36° 42' 40" Nord, 4° 8' 35" Est



**Figure 5:** Situation géographique de la région d'étude (Google, 2018 modifiée).

## II.1.2. Présentation des sources de pollution industrielle de la région

### II.1.2.1. Electro-Industries d'Azazga (EI.)

L'entreprise Électro- Industries (EI.) d'AZAZGA est une Société Par Action (SPA) 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'Entreprises publiques Economiques ou Sociétés par action (EPE/ SPA), parmi les quelles figure l'EI.

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 (une station d'essence, une minoterie, une centrale à béton, une huilerie, ainsi que l'Agence Nationale des Barrages et de Transports) (Tableau 4).

**Tableau 4 :** Coordonnées de l'Electro-Industries.

| Station | Latitude      | Longitude    | Altitude |
|---------|---------------|--------------|----------|
| E.I.    | 36°44'21,57'' | 4°19'16,80'' | 151m     |

L'EI. se spécialise dans la fabrication et la commercialisation de moteurs électriques, alternateurs, transformateurs de distribution et groupes électrogènes. En parallèle l'EI. d'AZAZGA génère des déchets de toutes sortes (solides, liquides, et gazeux). Afin de pouvoir gérer toutes ces variétés de déchets, l'EI. est décomposée en plusieurs entités élémentaires (unité moteurs, unité transformateurs, la cantine, le service médical et le bloc administratif) (tableau 5).

**Tableau 5:** déchets de l'EI. et leurs mode de traitement (AUDIT ENVIRONNEMENTALE, 2016)

| Types de déchets |                                                         | Modes de gestion                                             |
|------------------|---------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
| <b>Solides</b>   | Déchets métalliques                                     | Récupérés par l'ERC*                                         |
|                  | Déchets de bois                                         | Récupérés par des triers.                                    |
|                  | Papier                                                  | Brûlés                                                       |
|                  | Déchets de peinture et de vernis                        | Brûlés                                                       |
|                  | Chiffons d'essuyage                                     | Brûlés                                                       |
|                  | Boues contenant des solvants halogènes                  | Stockées dans des fûts                                       |
|                  | Boues de la station de neutralisation                   | Stockées dans des fûts et des 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 utilisé.                                  | Stocké dans un conteneur                                     |
| <b>Liquides</b>  | Eaux usées industrielles                                | Traitées à la station de neutralisation et celle d'épuration |
|                  | Eaux usées domestiques                                  | Station d'épuration                                          |
|                  | Huiles                                                  | Stockées dans des fûts en attente d'une récupération         |
| <b>Gazeux</b>    | CO, CO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , SO <sub>2</sub> | Dégagés dans l'air après filtration                          |
|                  | Poussières                                              | Aspirées                                                     |

\*Entreprise de Récupération du centre

\*\*Entreprise Nationale des Produits Electro –Chimiques

L'EI. souffre du problème de stockage de certains de ses déchets qui sont mis dans des locaux inappropriés (Figure 6).



**Figure 6:** Aires de stockage des déchets à l'EI. (ORIGINELLE, 2015).

#### **II.1.2.2. Entreprise Nationale des Industries Électro-Ménagères d'Oued-Aissi (ENIEM.)**

L'ENIEM. a été créée en 1974 sous la tutelle de l'entreprise SONELEC. Elle est fonctionnelle depuis le 02 janvier 1983 et est transformée juridiquement en Société Par Actions (SPA) le 10 octobre 1989

L'ENIEM. est implantée dans la zone industrielle d'Oued Aissi, en plaine alluviale du Sébaou (Tableau 6) et constitue le maillon majeur du tissu industriel de la wilaya de Tizi-Ouzou.

**Tableau 6 :** Coordonnées de l'ENIEM.

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

Cette entreprise possède des capacités de production et une grande expérience 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. Cette production engendre divers déchets et rebus de production sous toutes les formes (Tableau 7) qui sont pris en charge par le département de gestion de l'environnement de l'entreprise.

**Tableau 7:** Déchets de l'ENIEM. et leurs mode de traitement (AUDIT ENVIRONNEMENTALE, 2016)

| Désignation           | Modes de gestion                          | Désignation                                    | Modes de gestion                                    |
|-----------------------|-------------------------------------------|------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| Ferraille             | Cédées pour recyclage                     | Fûts plastiques 200 L                          | -                                                   |
| Plastiques            | Cédés pour recyclage                      | Huiles usagées                                 | Reprises** par NAFTL                                |
| Bois                  | Cédés pour recyclage                      | Email                                          | Rejet en décharge                                   |
| Cartons               | -                                         | Métaux non ferreux                             | -                                                   |
| Batteries usagées     | -                                         | 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        | -                                         | 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        | -                                         | Boues d'eaux résiduares                        | 50 t/an stockées dans des fûts métalliques de 200 L |
| Polystyrène           | -                                         | Boues d'émaillage                              | Evacuées vers la décharge publique de l'oued Sébaou |
| Eaux usées            | Evacuées vers l'oued Sébaou sans analyses | Eaux Industrielles                             | Neutralisées et épurées avant l'évacuation          |

\*les fûts ayant contenu de l'iso-cyanate, très toxique et livrés à la fréquence moyenne de 30 fûts 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 selon la déclaration du premier responsable de HSE à l'entreprise.

\*\*NAFTAL ne reprend que les huiles usagées de leur marque (NAFTAL) selon la même source.

Les déchets de l'ENIEM. sont classés en quatre types : Déchets Ménagers et Assimilés, Déchets Inertes, Déchets Spéciaux et Déchets Spéciaux Dangereux. Ils sont collectés selon le « *bordereau de suivi de déchets industriels* », 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 entreposés dans un hangar aéré et posés sur une dalle en béton. Certains fûts sont rongés par la corrosion et nécessitent leur ré-emballage. Ace niveau aussi, des polluants organiques persistants (POPS) provenant des transformateurs déjà utilisés à base d'huile à askarel (PCB), sont stockés depuis plus de 20 ans selon le service HSE de l'entreprise (Figure 7).



**Figure 7:** Aires de stockage des déchets à l'ENIEM. (ORIGINELLE, 2015).

### II.1.3. Données climatiques sur la région d'étude

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 l'étude de la dynamique des populations. Il intervient dans la physiologie des végétaux en réglant la phénologie des plantes (la floraison, la feuillaison, la fructification, la coloration des feuilles des végétaux,...) déterminée par les variations saisonnières du climat ; Ce qui pourrait avoir une influence sur le comportement de la faune.

Les facteurs écologiques, en particulier ceux en rapport avec le climat n'agissent jamais de façon isolée, mais simultanément. L'étude de chacun de ces facteurs représente une approche indispensable pour la compréhension des phénomènes écologiques (RAMADE, 2003). DAJOZ (2006) rapporte que les êtres vivants ne peuvent se maintenir qu'entre certaines limites bien précises de température, d'humidité relative de l'air, de pluviométries et des vents.

La température est l'élément le plus important du climat, étant donné que tous les processus métaboliques en dépendent (DAJOZ, 2006). Elle caractérise, avec l'humidité de l'air et le sol, le microclimat du biotope (TURMEL&TURMEL, 1977). Ce facteur agit directement sur les activités biologiques et écologiques des êtres vivants, il contrôle leur croissance, leur répartition et leur activité locomotrice.

L'humidité est la quantité de vapeur d'eau qui se trouve dans l'air (DREUX, 1980). Elle est considérée comme un facteur climatique important, qui ne peut être séparé des autres paramètres qui l'accompagnent, telle la température, et interfèrent sur les organismes vivants (BOUSSAD, 2006). Selon DAJOZ (1985), l'humidité a une influence sur la longévité et la vitesse du développement des espèces, sur la fécondité et le comportement.

La pluviométrie constitue un facteur écologique fondamental car elle influe sur l'activité trophique et reproductrice des êtres vivants. RAMADE (1990) rapporte qu'en Méditerranée le régime des précipitations est hivernal.

Le vent a des propriétés très variables selon son origine, sa vitesse et le milieu dans lequel il souffle (KLEIN&SANSON, 1925). Selon SELTZER (1946), le vent fait partie des

facteurs les plus caractéristiques du climat, sa force est estimée d'après une échelle télégraphique dont les degrés sont les suivants : **0-1** vent calme, **1-2** vent faible, **2-3** vent modéré, **5-6** vent assez fort, **7-8** vent fort, **> 9** vent violent.

Dans la région de Tizi-Ouzou, les vents dominant soufflent depuis l'ouest et parfois de l'ouest-nord-ouest (O.N.M.T.O., 2015).

Les valeurs moyennes mensuelles des températures (°C), des précipitations (mm), de l'humidité relative de l'air (%) et du vent (m/s) enregistrés dans la région de Tizi-Ouzou, durant la présente étude sont représentées dans le tableau 10 (O.N.M.T.O., 2014 et 2015).

**Tableau 8 :** Valeurs moyennes mensuelles des températures (°C), des précipitations (mm), de l'humidité relative de l'air (%) et du vent (m/s), enregistrées dans la région de Tizi-Ouzou durant la période d'étude (2014/2015) (O.N.M.T.O., 2014 et 2015).

| Paramètres |         | Jan.  | Fév.  | Mar.  | Avr.  | Mai   | Juin | Juil. | Aou. | Sep. | Oct.  | Nov. | Déc. |
|------------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|------|------|-------|------|------|
| 2014       | T° (°C) | 9     | 6,5   | 13,5  | 15,5  | 20    | 22,6 | 27,7  | 27,2 | 23,6 | 20    | 16,2 | 11,9 |
|            | P (mm)  | 69,5  | 269,5 | 97,5  | 146,8 | 40,2  | 27,6 | 1,8   | 25,9 | 25,4 | 121,3 | 91,5 | 52,3 |
|            | H.R(%)  | 84    | 88    | 81    | 76    | 71    | 71   | 71    | 72   | 75   | 70    | 79   | 83   |
|            | V (m/s) | 0,2   | 1,2   | 0,7   | 1,1   | 0,6   | 1,3  | 1,8   | 1,3  | 1,4  | 1,0   | 0,9  | 1,0  |
| 2015       | T° (°C) | 10,7  | 8,9   | 14,2  | 15,7  | 17,4  | 22   | 26,7  | 26,9 | 24,2 | -     | -    | -    |
|            | P (mm)  | 265,3 | 236,6 | 122,5 | 78,1  | 189,7 | 0    | 0,4   | 14,2 | 37,8 | -     | -    | -    |
|            | H.R(%)  | 80,3  | 79,8  | 72,5  | 76,1  | 78    | 65   | 64    | 60   | 75   | -     | -    | -    |
|            | V (m/s) | 1,5   | 1,6   | 2,5   | 1,8   | 1,9   | 1,7  | 1,8   | 1,3  | 1,1  | -     | -    | -    |

Le tableau 8 permet une meilleure connaissance du climat de la région pendant la présente étude, surtout les températures moyennes mensuelles qui signalent un maximum au mois de Juillet (27,7°C) et un minimum au mois de Février (6.5°C) avec une moyenne annuelle de 18°C. Les pourcentages d'humidité relative les plus élevés sont notés durant la saison hivernale, qui dépassent les 80%, tandis que les plus faibles sont observés en été. Les vitesses du vent enregistrées, durant la période d'étude, sont faibles à modérées.

En parallèle, les précipitations permettent une meilleure appréciation de la pluviométrie surtout que notre région subit un climat méditerranéen (figure 8) dont la presque totalité des pluies tombent au printemps et à l'automne avec une moyenne de 600 à 1000 mm/an. Elle est

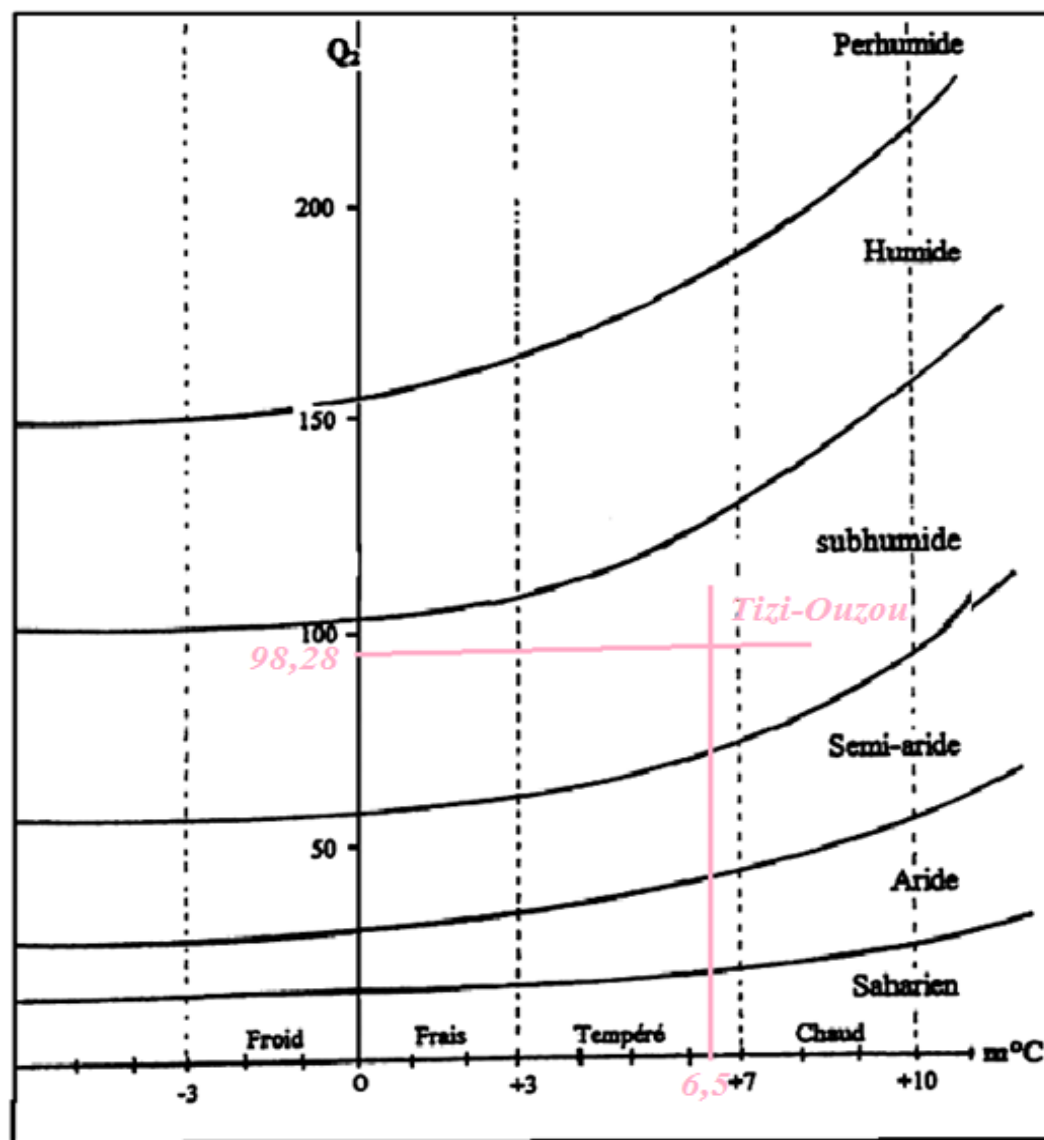
relativement bien arrosée avec un gradient pluviométrique qui évolue du littoral vers le massif de Djurdjura, et un autre qui augmente avec l'altitude. Ces précipitations sont irrégulières d'une année à une autre avec l'abondance des neiges sur le Djurdjura et l'extrémité orientale du massif central.

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 région étudiée sont irrégulières d'une année à une autre. En effet, ces précipitations sont abondantes en hiver, importantes au mois de Janvier avec 269,5 mm, et très rares durant la période estivale, elles sont de l'ordre de 0 mm en Juin comme le montre le tableau 10.

Le vent exerce une grande influence sur les êtres vivants, il a une action indirecte, en abaissant ou en augmentant la température surtout qu'elle est éolienne. Dans les lieux très ventés, la croissance des végétaux peut être inhibée et la faune éliminée totalement ou partiellement, le fait que ces êtres vivants ressentent l'impression de chaud ou de froid, ou encore la température du vent.

Notre région 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).



**Figure 8 :** Projection de la zone d'étude sur le climagramme d'Emberger.

Le Climagramme d'Emberger (Figure 8) permet de situer notre région d'étude dans l'étage bio-climatique sub-humide à hiver doux et tempéré. C'est une partie de la vallée de l'Oued Sébaou à climat méditerranéen avec une 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 balaient les montagnes et provoquent de la pluie et de la neige (c'est un climat fortement influencé par la situation géographique) (MEZANI, 2016).

Les précipitations permettent une meilleure appréciation de la pluviométrie. En temps ordinaire, dans la wilaya de Tizi-Ouzou, les pluies commencent à tomber à partir des mois de septembre-octobre. Elle est relativement bien arrosée avec un gradient pluviométrique qui évolue du littoral vers le massif du 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. Selon SELTZER(1946), les pluies de la Kabylie sont soudaines, violentes et torrentielles et leur intensité dépasse toujours 30 mm en 24 heures (MEZANI, 2016).

Pour les stations d'altitude (Yakouren et Taddart), nous avons utilisé les données fournies par la station météorologique de Yakouren et l'extrapolation des valeurs des températures obtenues aux stations de plaines (station de Tizi-Ouzou) suivant le gradient thermique de SELTZER (1946) (Tableau 8), qui stipule que l'abaissement des températures minimales est de 0,4°C pour 100m d'élévation en altitude, et celui des maximales est de 0,7°C pour la même altitude, ce qui correspond à une diminution de 0,55°C pour les moyennes mensuelles par 100m

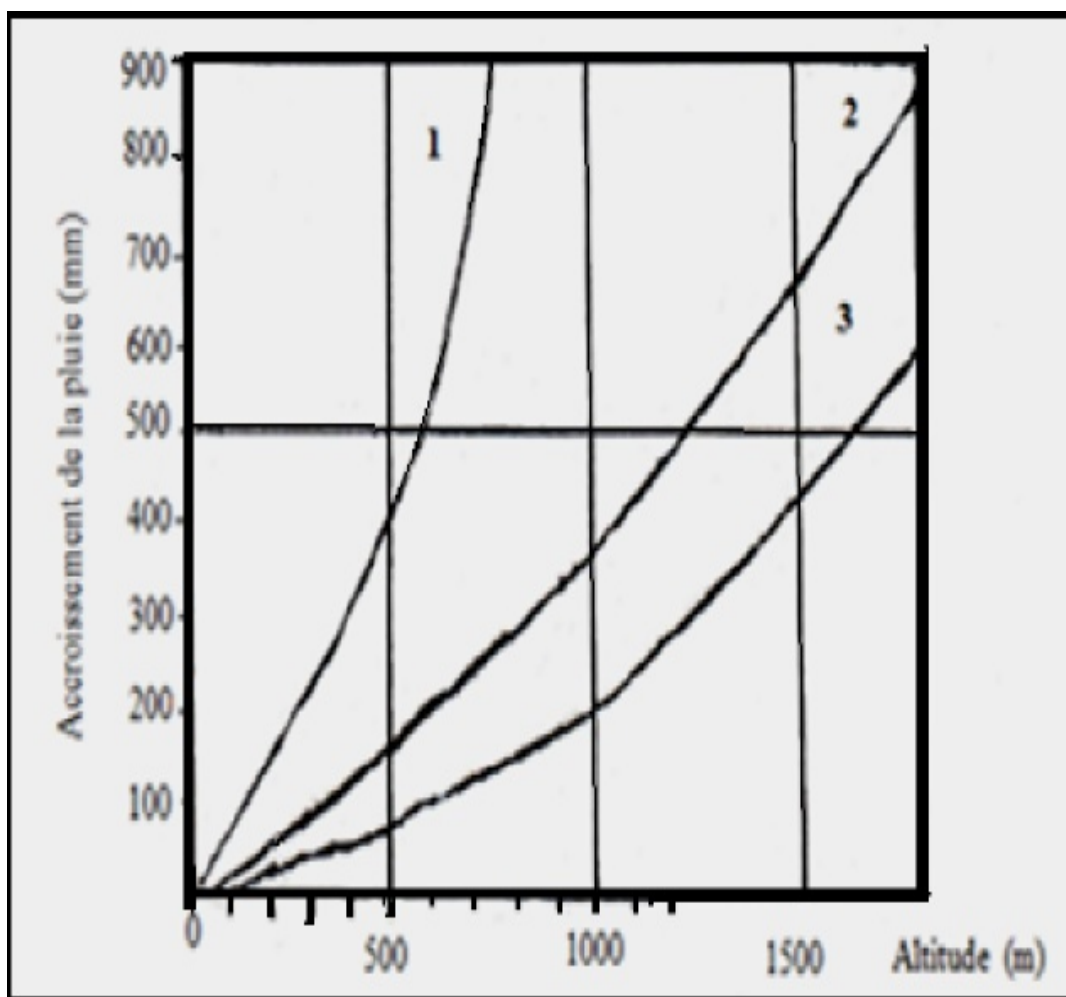
Les formules seront exposées comme suit :

Températures maxi. = tempé. maxi. de Tizi-Ouzou – [(Différence d'altitude x 0,7)]/100

Températures mini.= tempé. mini. de Tizi-Ouzou – [(Différence d'altitude x 0,4)]/100

Températures moy. mensu.=tempé. moy. mensu. de Tizi-Ouzou– [(Différence d'altitude x 0,55)]/100

Les précipitations moyennes au niveau des stations d'altitude sont aussi corrigées selon la méthode de SELTZER (1946), par rapport à la ville de Tizi-Ouzou (Tableau 10). Cette méthode consiste à déterminer l'augmentation de la pluie selon l'altitude, à partir des courbes d'accroissement de la pluie.



**Figure 9 :** Courbe d'accroissement de la pluie avec l'altitude (SELTZER, 1946).

Pour une meilleure précision du climat, la courbe d'accroissement de SELTZER pour la pluie avec l'altitude permet la correction des précipitations moyennes selon une des trois courbes proposées suite à la différence d'altitude entre les différentes stations d'étude et la station météorologique de Tizi-Ouzou qui est de l'ordre de 665m d'altitude. Compte tenu de cette valeur altitudinale, la projection sur la courbe concernant l'Atlas tellien correspond à un accroissement de précipitation égal à 272mm à répartir entre les différents mois (figure 9). Cette dernière est représentée par l'indice A. Pour calculer l'accroissement mensuel (Tableau 9), nous avons utilisé la formule suivante :

$$Ni = A \times B / X$$

Ni : Valeur à ajouter pour chaque mois.

A : Accroissement de la pluie obtenue par la projection graphique. Nous avons utilisé la courbe d'accroissement de la pluie réalisée par SELTZER (1946) pour l'Algérie (Figure 9).

B : Valeur de précision mensuelle.

X : Total des précipitations de l'année ou de la période.

**Tableau 9 :** Valeurs moyennes saisonnières corrigées des températures (°C), précipitations (mm), extrapolées pour les stations de Taddart, Azazga et Tizi Rached, durant l'année 2014/2015.

| Stations | T (°C) |      |      |      | P (mm) |       |      |      |
|----------|--------|------|------|------|--------|-------|------|------|
|          | H      | P    | E    | A    | H      | P     | E    | A    |
| Tad.     | 7.7    | 13.8 | 23   | 17.1 | 837.8  | 164.7 | 56.7 | 86.7 |
| E.I      | 10.2   | 16.3 | 25.5 | 19.6 | 478.6  | 143.8 | 49.5 | 80   |
| T.R      | 10.4   | 16.5 | 25.7 | 19.8 | 211.5  | 118   | 21   | 79.6 |

D'après les données corrigées consignées dans le tableau 9, les températures les plus basses surviennent en hiver avec un minimum de 7.7°C, tandis que les plus élevées sont notées durant la saison estivale avec 25.7°C. Nous constatons que la saison la plus pluviale est l'hiver avec un pic de 837.8 mm.

Durant la période d'étude, nous n'avons pas noté des chutes de neige dans les stations de plaines, tandis que dans les stations d'altitude (Yakouren et village Taddart), nous avons enregistré des chutes de neige durant presque toute la saison hivernale.

## II.2. Matériel et méthodes

La prise en compte de la pollution métallique dans le sol et les sédiments d'un point de vue réglementaire étant absente mais nous nous référons à quelques normes hollandaises et algériennes (annexe 01).

### II.2.1. Analyse du sol

#### II.2.1.1. Analyses pédologiques

Dans le but de réaliser l'analyse pédologique, nous avons prélevé du sol au niveau des stations d'étude (Yakouren, Taddart, EI, Tizi Rached et ENIEM.) à une profondeur de 20 cm

pendant les mois de l'année. Le sol prélevé est étalé sur du papier pour le sécher à l'air libre pendant deux semaines environ, puis broyées avant de le tamiser à travers un tamis à mailles de 2 mm de diamètre pour le conserver à sec à une température ambiante, prêt pour le dosage.

Une fois ces étapes achevées, nous avons procédé aux différentes analyses physico-chimiques, réalisées au laboratoire de l'Institut National de la Recherche Forestière (INRF.) de Bainem. Les analyses réalisées concernent la granulométrie, le pH, le calcaire total, la conductivité électrique et la matière organique.

### **1. 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 ( $H_2O_2$ ), 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.

### **2. 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.

### **3. 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  $CO_2$  dégagé.

#### 4. 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 :  $M.O.(%) = 1,72C(%)$ .

#### 5. 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.2.1.2. Analyse chimique des métaux lourds

Après leur tamisage à 2mm, les échantillons sont séchés à l'étuve à 60°C jusqu'à poids constant, broyés et tamisés à 125µm de manière à obtenir au minimum dix grammes de poudre. Pour l'analyse par spectrométrie de fluorescence X (XRF), 8g d'échantillon sont nécessaires pour la préparation de l'échantillon sous forme de pastille, sous presse à 40t/cm<sup>2</sup> avec un liant (polymère). Ceci permet de les conserver pendant une longue période (des mois, voir des années).

Pour l'analyse des éléments métalliques, les échantillons sont placés dans un passeur automatique du spectromètre de fluorescence X (XRF) (Figure 10). Cette analyse a été réalisée au laboratoire du Centre de Recherche Nucléaire d'Alger (CRNA.).



**Figure 10 :** Pastilles de sol destinées à l'analyse par XRF (ORIGINELLE, 2016)

La XRF est une méthode non destructive, très utilisée dans divers domaines de la recherche scientifique surtout l'industrie et la médecine dans le but de protéger l'environnement. Cette technique permet d'identifier la qualité des éléments par analyse globale et élémentaire, en allant du phosphore à l'uranium, par contre la teneur des éléments est dessinée par l'analyse quantitative avec une précision qui varie de quelques ppm jusqu'à 100% (MARCOEN et *al.*, 2000).

### 1. Principe de la technique XRF

Lors de l'excitation atomique, les électrons sont éjectés de l'atome. Les lacunes ainsi créées sont comblées par des électrons des couches supérieures avec une émission de rayonnements X caractéristique de l'élément *i* excité.

Les transitions atomiques sont soumises à des règles de sélection suivante:

$$\Delta L = \pm 1 \text{ et } \Delta J = 0, \pm 1$$

Où : L: est le nombre quantique orbital,

J: est le nombre quantique du moment cinétique total.

Les principales Transitions permises des électrons sont représentées sur la figure 11.

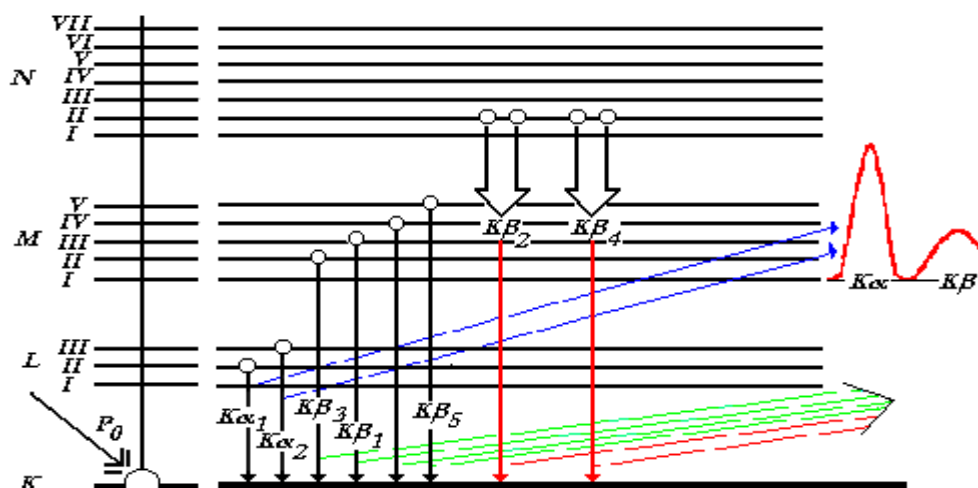


Figure 11 : Transition des rayons X

Les rayons X émis ne peuvent avoir une énergie supérieure à l'énergie cinétique des électrons qui les produisent. Selon la mécanique quantique, cette énergie caractéristique est donnée par la relation :

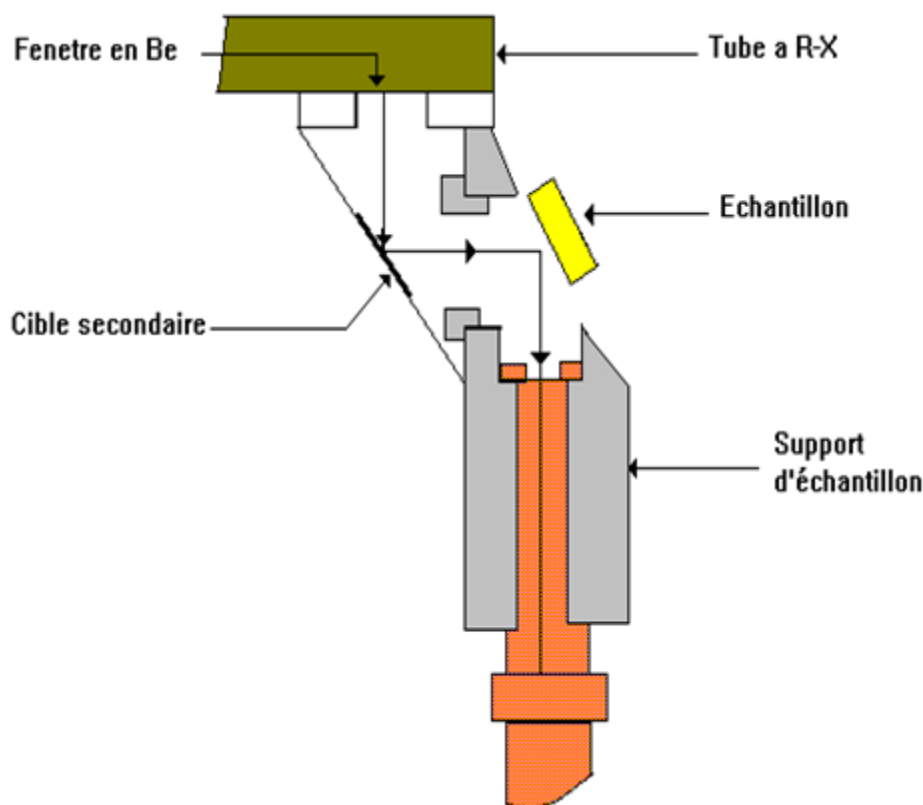
$$E \text{ (KeV)} = h \cdot \nu = h \cdot c / \lambda = 12.4 / \lambda \text{ (°A)}$$

Où : **h** : constante de Planck ( $4.119 \cdot 10^{-18}$  KeV. s) ; **C** : vitesse de la lumière ( $3 \cdot 10^8$  m/s)

Le bombardement d'un matériau par un rayonnement  $\gamma$  ou X issu d'une source radioactive ou un tube à rayons X conduit à l'émission de rayonnements X caractéristiques des éléments présents dans l'échantillon. L'excitation est produite principalement par effet photoélectrique.

## 2. Dispositif expérimental Avec le tube à rayons X

Le dispositif utilisé (figure 12) est constitué principalement d'un tube à rayons X de type SIEMENS délivrant une tension de 45 kV et un courant de 5 mA doté d'une cible primaire de molybdène et d'un détecteur semi-conducteur de type Si(Li) de résolution 175 eV pour la raie Ka (5.9 keV) du Mn.



**Figure 12:** Vue transversale de l'ensemble tube RX - cible secondaire

### ***II.2.2. Etude biologique du milieu d'étude***

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 la présente étude, nous nous intéressons à l'effet du rejet industriel des entreprises industrielles (EI. et ENIEM.) sur la pédofaune. L'échantillonnage s'étale sur plusieurs périodes. Il débute de la forêt de Yakouren vers la zone industrielle d'Oued Aissi sur un transect équidistant entre les différents points d'échantillonnage tout en passant par les deux entités industrielles de la région (EI. et ENIEM.) à raison d'un prélèvement par mois durant quatre saisons (Printemps, Eté , Automne et Hiver). En plus de l'analyse biologique, d'autres analyses sont réalisées à savoir l'analyse physico-chimique des sols et le dosage des métaux lourds.

### ***II.2.2.1.Echantillonnage de la flore***

Un relevé est un ensemble d'observations écologiques qui concernent un lieu déterminé (GODRON, 1968). L'échantillonnage consiste à relever les informations sur le milieu physique et la végétation dans la plus petite surface qui contient la quasi-totalité d'une surface floristiquement homogène (l'aire minimale).

Pour avoir des résultats représentatifs de l'ensemble de la région étudiée, il faut que la structure de la végétation, sa composition floristique et les conditions écologiques soient uniformes.

La récolte de la flore dans la région étudiée est aléatoire et exhaustive et consiste à ramasser toutes les espèces végétales observées à l'œil nu pour l'identification et l'étude écologique des relations pédofaune- flore ainsi que les interactions entre elles.

L'identification réalisée est confirmée par M<sup>r</sup> ASLA, M<sup>r</sup> BENGHANEM et M<sup>r</sup> MEDDOUR, enseignants chercheurs en agroforesterie au département de Biologie à l'Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou.

### ***II.2.2.2.Echantillonnage de la faune du sol***

#### ***II.2.2.2.1.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 cette étude, l'échantillonnage est aléatoire et s'est fait à l'aide d'un quadrat (25/10 cm) à raison d'un prélèvement chaque mois (depuis Avril 2014 à Mars 2015) avec un niveau d'échantillonnage de 0 à 20 cm de profondeur.

Ces prélèvements concernent un sol sain, considéré comme témoin prélevés en haute altitude au niveau de la forêt de Yakouren qui est loin de toute sorte de pollution anthropique. Les autres échantillons sont prélevés à équidistance (à peu près 10 km entre un échantillon et un autre) depuis le village Taddart et la ville d'Azazga (où se situe l'EI.) jusqu'à la zone industrielle d'Oued Aissi où se localise l'ENIEM.

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

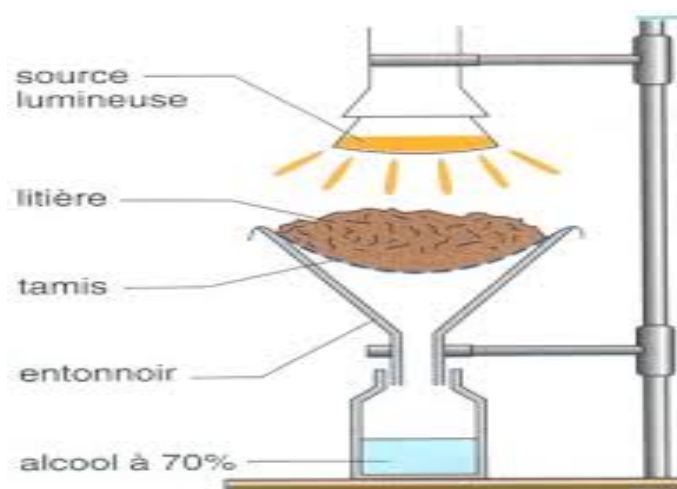
Cette méthode d'échantillonnage permet de capturer des organismes dans leur milieu et de faire un inventaire (FREYSSINEL, 2007).

#### ***II.2.2.2.2.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 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 récoltés sans l'intervention d'un opérateur (FREYSSINEL, 2007).

La technique consiste à modifier les conditions de vie des micro-organismes par l'utilisation d'agents thermodynamiques : l'éclairement, l'élévation de la température et le dessèchement incitant les animaux à quitter l'échantillon, grâce à leur tactisme (FREYSSINEL, 2007).

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 pilulier contenant de l'alcool éthylique à 75° où elle est piégée (Figure 13).



**Figure 13:** Schéma simplifié de l'Appareil de Berlese-Tullgren.

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 à savoir :

\* 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.

\* Souffler les entonnoirs chaque 24 heure, à l'aide d'un sèche cheveux, afin de libérer la faune coincée sur les bordures des embouts utilisés.

### **Remarques**

- Avant l'emplacement de l'appareil de Berlese, 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,...).

#### **II.2.2.2.3. Identification et dénombrement de la flore récoltée**

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

##### **II.2.2.2.3.1. 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,

acaréens, araignées, pseudo-scorpions, en larves et adultes pour les petits insectes. Une fois la séparation faite, 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.

#### **II.2.2.2.3.2. Identification et 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).

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 nous 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 (FREYSSINEL, 2007).

Notre Identification est orientée par des clés d'identification et des outils de détermination basés sur les caractères morphologiques du corps (annexe 2) parmi les quelles, 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 collembolés selon JORDANA et ARBEA, 1989 traduite de l'espagnol par HAMRA-KROUA (2005).

L'identification que nous avons réalisée en se basant sur les clés sus-citées est confirmée par Melle SETBEL Samira, enseignante à la faculté des sciences biologiques et agronomiques à l'université M. MAMMERI de Tizi-Ouzou.

Cette identification est complétée par l'aide de M<sup>lle</sup> SETBEL, Docteur d'Etat, spécialiste en entomologie au laboratoire de Biologie animale au département de Biologie à l'Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou.

### ***II.2.3. Analyse écologique***

Pour une meilleure approche de la structure des peuplements des sols des différentes stations étudiées, nous avons calculé les paramètres descriptifs suivants :

#### ***II.2.3.1. 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.2.3.2. 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, 1994).

#### ***II.2.3.3. 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 suivante :

$$F\% = n_i / N \times 100$$

#### ***II.2.3.4. 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 par 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.2.3.5. Indice de diversité 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 grand.

#### II.2.3.6. Equitabilité

L'équitabilité constitue une seconde dimension fondamentale de la diversité, (RAMADE, 1984). Elle 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 (1993), 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.2.3.7. Occurrence et constance des espèces

La fréquence d'occurrence (constance) d'une espèce donnée est le nombre de fois où elle apparaît dans l'échantillon (MULLER, 1985). Elle est calculée à partir de la formule suivante :

$$C = \frac{P_i}{P} \times 100$$

Avec **P<sub>i</sub>** = Nombre de relevés dans les quels l'espèce *i* est présente,

**P** = Nombre total de relevés.

La fréquence d'occurrence des différentes classes du peuplement ou espèces sont regroupées en classes de fréquences ou de constances (DAJOZ, 1971) qui sont déterminées en utilisant la règle de Sturge citée par DIOMANDE et *al.* (2001) selon les formules suivantes :

$$N_{\text{bre Cl.}} = 1 + (3.3 \log N)$$

$$I = 100\% / NC$$

Avec:

**N<sub>bre Cl.</sub>**: Nombre de classes

**I**: Intervalle de classe

**N**: Nombre total des espèces

**NC** : Nombre total de classes

## II.2.4. Analyse statistique

Afin d'évaluer l'impact de la pollution industrielle sur la biodiversité (flore et pédofaune), nous avons opté pour des analyses statistiques appropriées à notre thème d'étude, réalisées par le logiciel 'R'.

### II.2.4.1. Analyse en composantes principales (ACP)

Proposée par ROBERT en 1989, c'est une méthode essentiellement descriptive des données quantitatives qui permet 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 ainsi que les différents facteurs édaphiques.

#### ***II.2.4.2. 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 de la pollution, et celle des saisons sur les groupes faunistiques étudiés dans les stations d'étude appropriées en mettant en évidence les espèces dominantes de chaque groupe.

#### ***II.2.4.3. Analyse de la variance (ANOVA)***

Elle est proposée par DAGNELIE en 1975, afin d'étudier la variabilité des données expérimentales. Nous avons réalisé une analyse à deux facteurs (Pollution, Saisons) dans le but de déterminer la variabilité des groupes faunistiques et floristiques en fonction des saisons et de la pollution au niveau des différentes stations, puis estimer la variabilité des populations pour l'ensemble de ces facteurs ainsi que les différentes relations entre la flore et la pédofaune recensées.

Dans le cas significatif ( $P < 5\%$ ), cette analyse est complétée par le test de Newman et Keuls qui permet la comparaison des moyennes puis la détermination des groupes homogènes.

# Chapitre III

## Résultats et discussion

### III.1. Caractéristiques édaphiques des stations d'étude

Les résultats des analyses physico-chimiques des sols des différentes stations d'étude sont illustrés dans le tableau 10 qui est interprété selon les normes internationales (Annexe 1).

**Tableau 10 :** Résultats des analyses physico-chimiques des sols des stations étudiées.

| Sol des Stations | Analyses physiques |       |       |       |       | Analyses chimiques |                            |              |            |      | Texture |
|------------------|--------------------|-------|-------|-------|-------|--------------------|----------------------------|--------------|------------|------|---------|
|                  | A%                 | LF%   | LG%   | SF%   | SG%   | pH                 | CACO <sub>3</sub><br>Total | C.E<br>ds/cm | C<br>Total | M.O  |         |
| <b>Y.</b>        | 8.7                | 9.25  | 28.86 | 34.63 | 18.55 | 7.5                | 2.02                       | 0.2          | 3.43       | 5.89 | SL      |
| <b>Tad.</b>      | 38.55              | 15.6  | 19.42 | 11.8  | 14.62 | 7.4                | 2.3                        | 0.2          | 3.92       | 6.74 | AL      |
| <b>EI.</b>       | 14                 | 15.85 | 17.39 | 13.65 | 39.11 | 7.4                | 2.3                        | 0.2          | 2.82       | 4.84 | SL      |
| <b>TR.</b>       | 7.1                | 19.15 | 12.67 | 28.89 | 32.18 | 7.1                | 2.02                       | 0.2          | 0.37       | 0.67 | SL      |
| <b>ENIEM.</b>    | 8                  | 10.3  | 14.22 | 12.37 | 55.11 | 7.2                | 2.02                       | 0.2          | 2.02       | 3.47 | SL      |

La caractérisation physico-chimique des sols des stations d'étude nous a révélé une texture sablo-limoneuse à l'exception de la station Taddart qui est de texture argilo-limoneuse. Ils présentent tous des pH neutres. Ils sont faiblement salés avec une CE de l'ordre de 0.2 ds/cm et un très faible taux de calcaire. Cependant le taux de matière organique est variable d'une station à une autre et les taux les plus élevés sont enregistrés dans les stations d'altitude.

### III.2. Dosage des métaux lourds

Les résultats des analyses chimiques des métaux lourds effectuées sur les sols étudiés sont indiqués dans le tableau 11. Les résultats obtenus sont interprétés selon les normes Algériennes et Hollandaises (Annexe 1).

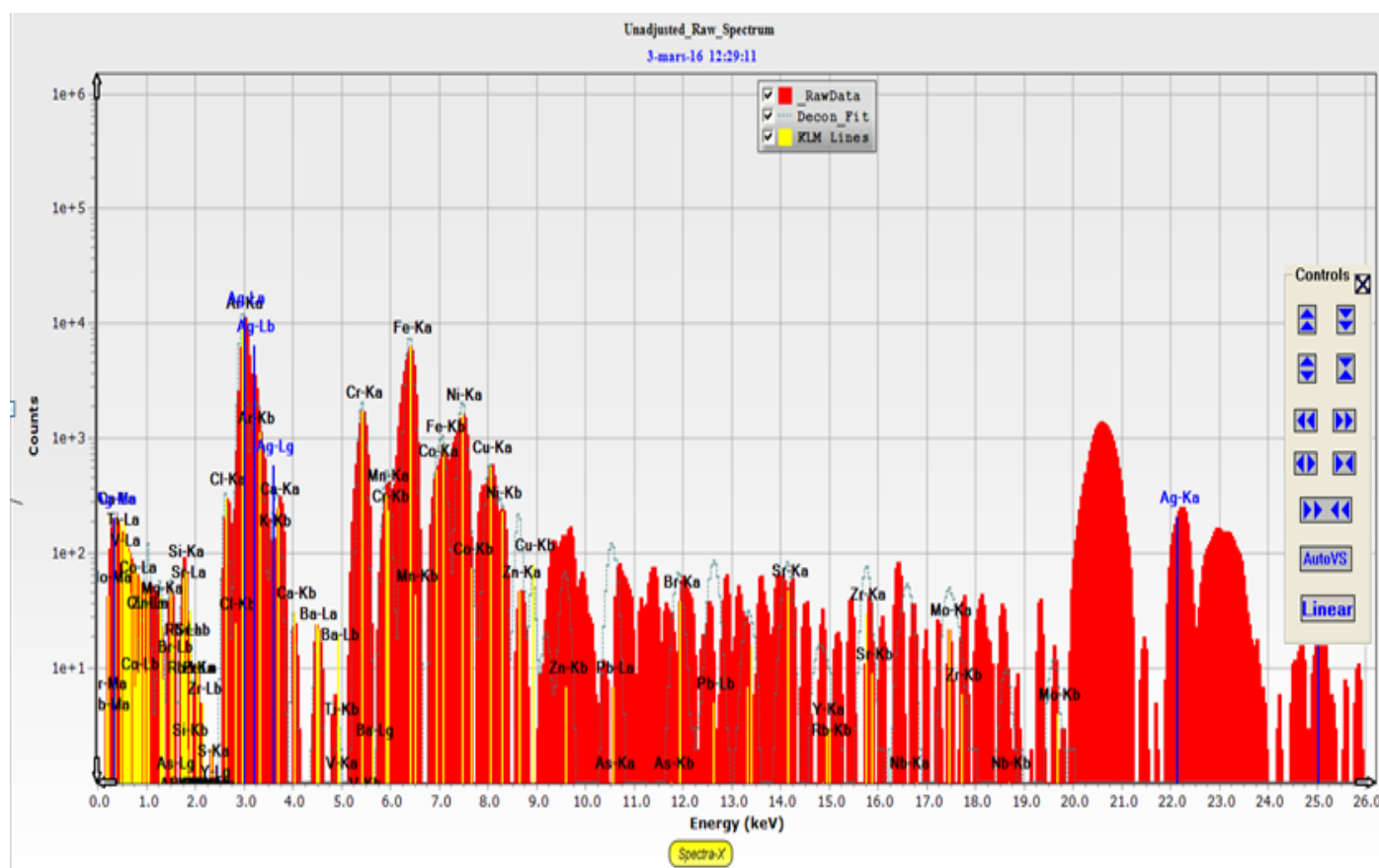
**Tableau 11 :** Résultats des analyses chimiques des métaux lourds des sols des stations d'étude.

| Sol des stations | Pb         | Cr         | Ni        | Zn         | Cu         | Fe           | Al         |
|------------------|------------|------------|-----------|------------|------------|--------------|------------|
|                  | mg/kg      |            |           |            |            | g/kg         |            |
| <b>Y.</b>        | 29.6 ± 5.2 | 45.5 ± 6.7 | 5.7 ± 1.0 | 34.4 ± 3.4 | 18.8 ± 1.3 | 18.5 ± 0.45  | 51 ± 2.7   |
| <b>Tad.</b>      | 25.0 ± 4.9 | 63.7 ± 7.9 | 4.7 ± 0.8 | 53.5 ± 5.2 | 20.4 ± 1.4 | 38.85 ± 0.97 | 68 ± 3.1   |
| <b>EI.</b>       | 30.1 ± 5.2 | 58.7 ± 7.7 | 7.5 ± 1.3 | 129 ± 8    | 19.9 ± 1.4 | 30.92 ± 0.77 | 48.4 ± 2.6 |
| <b>TR.</b>       | 10.4 ± 3.1 | 22.0 ± 4.7 | 7.6 ± 1.3 | 20.6 ± 2.0 | 6.4 ± 0.5  | 32.27 ± 0.81 | 67.7 ± 3.1 |
| <b>ENIEM.</b>    | 30.1 ± 5.2 | 98.3 ± 9.9 | 5.4 ± 0.9 | 310 ± 16   | 31.6 ± 2.2 | 27.4 ± 0.68  | 48.2 ± 2.6 |

Selon les résultats du tableau 11 nous constatons une différence entre les sols des stations d'étude où les stations EI. et ENIEM. sont les plus riches en métaux. L'ENIEM. qui est une zone industrielle subit un effet d'accumulation de la plupart métaux lourds dosés (Pb, Cr, Zn, Cu) suite à l'érosion et l'infiltration dues à sa localisation en basse altitude en pleine vallée du Sébaou.

Au niveau de la station EI. les déchets sont stockés à l'air libre et sur le sol directement. De plus, nous signalons la présence d'un bassin de rejets de divers produits toxiques (exemple des cyanures) ainsi que le rejet sortant depuis les stations de neutralisation et d'épuration qui sont défaillantes.

Les taux de métaux lourds contenus dans les sols étudiés sont illustrés dans les spectromètres par EDXRF des figures 14, 15, 16, 17, 18 et 19.



**Figure 14 :** Spectromètre de l'étalon blanc de référence utilisé par EDXRF (Ag, 35kv, 20  $\mu$ A, 30s).

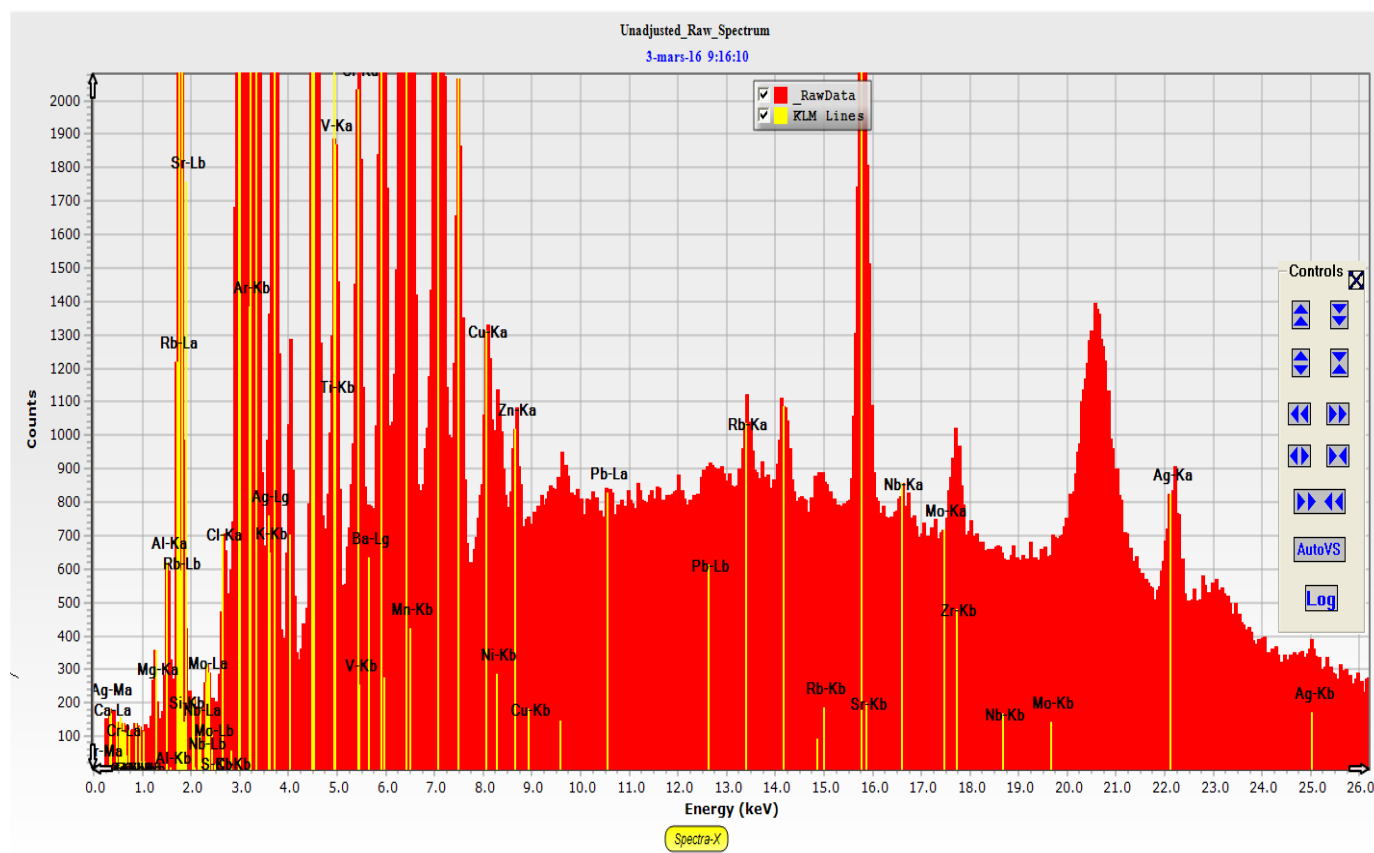
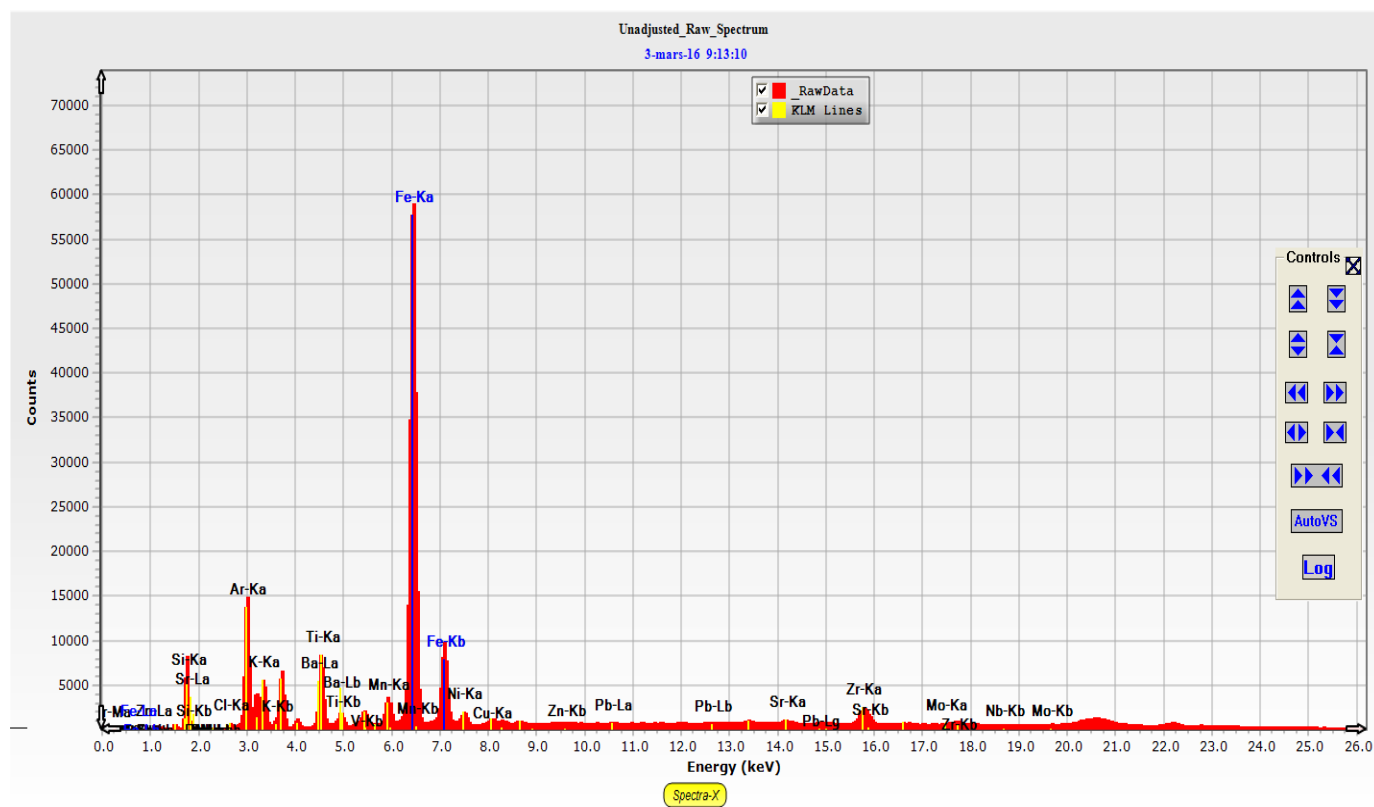


Figure 15: Spectromètre par EDXRF des métaux lourds existants dans le sol de la station Yakouren.

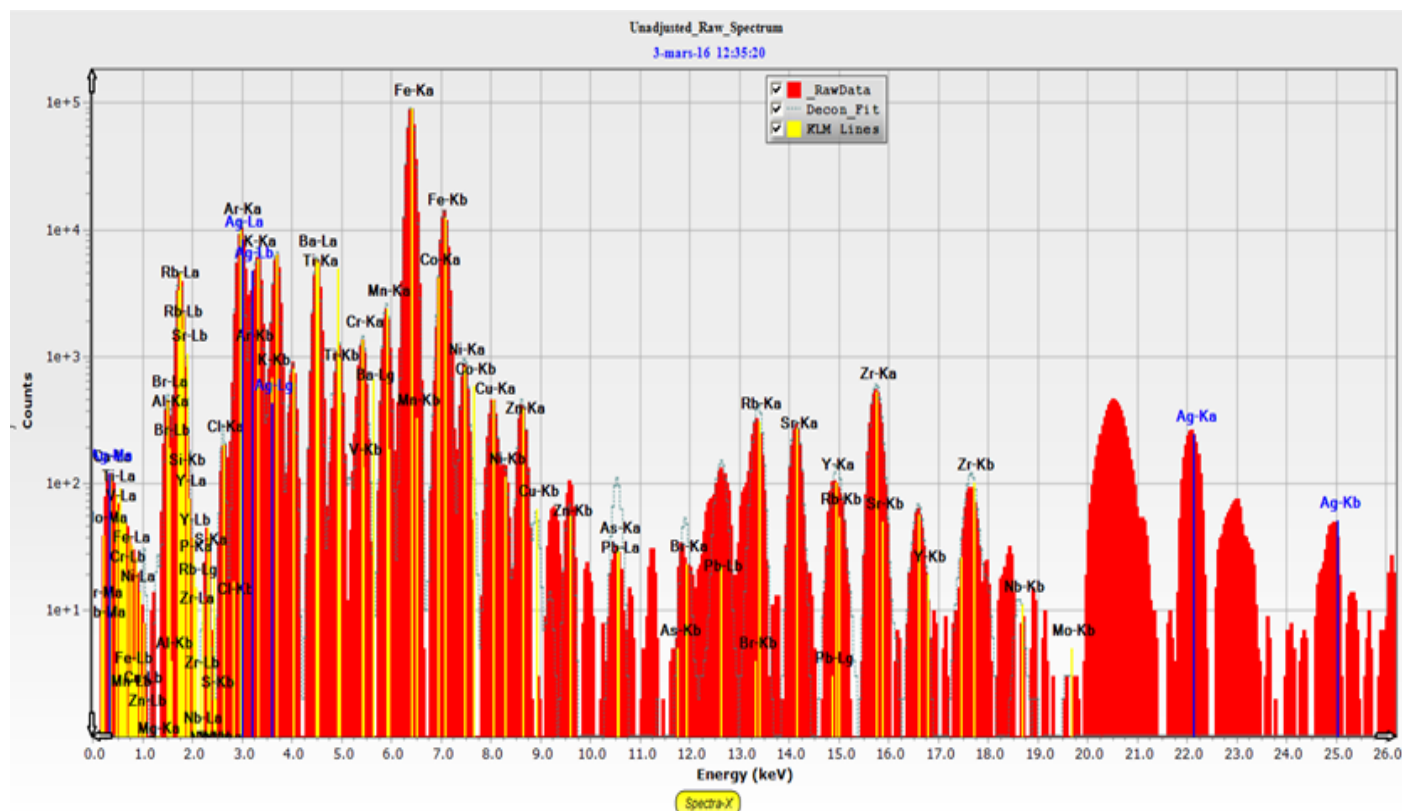


Figure 16 : Spectromètre par EDXRF des métaux lourds du sol de la station Taddart.

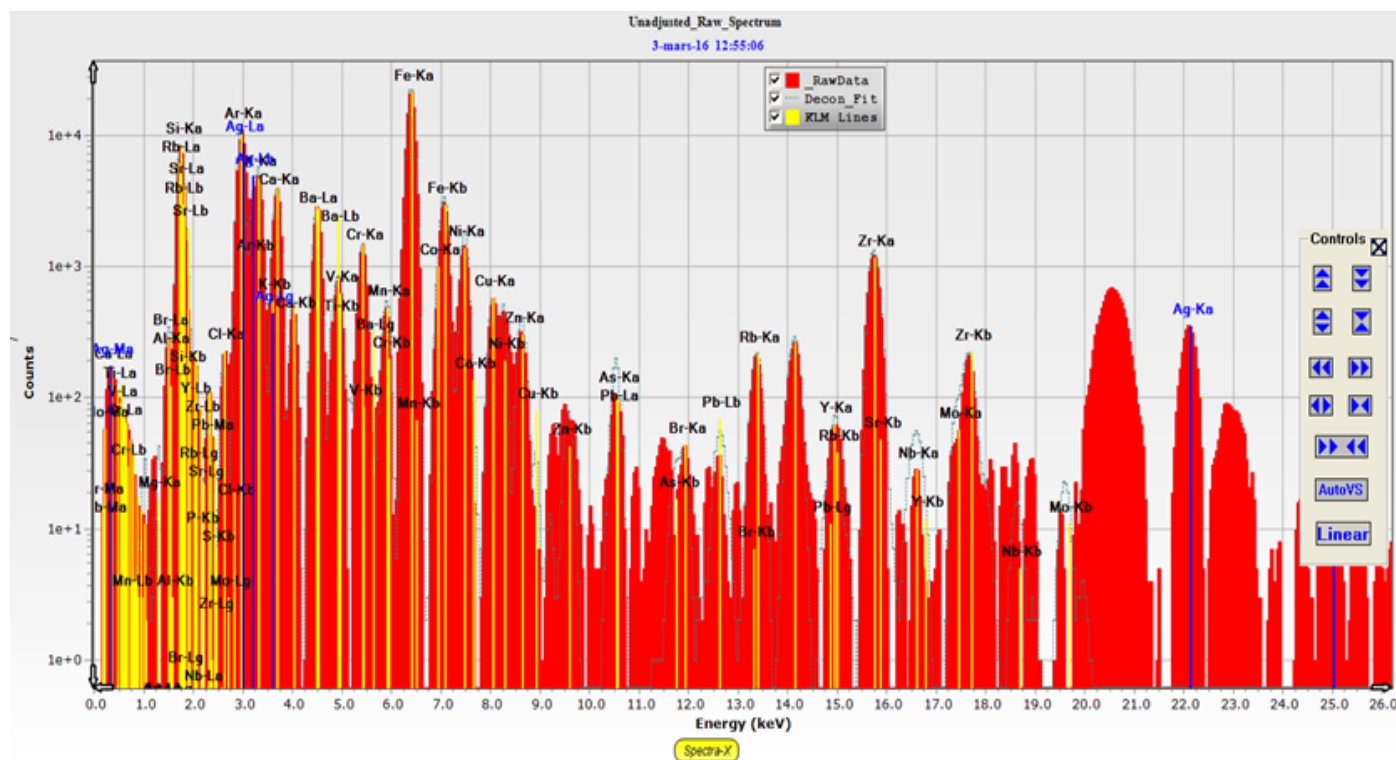


Figure 17 : Spectromètre par EDXRF des métaux lourds dosés dans le sol de la station Electro-Industries.

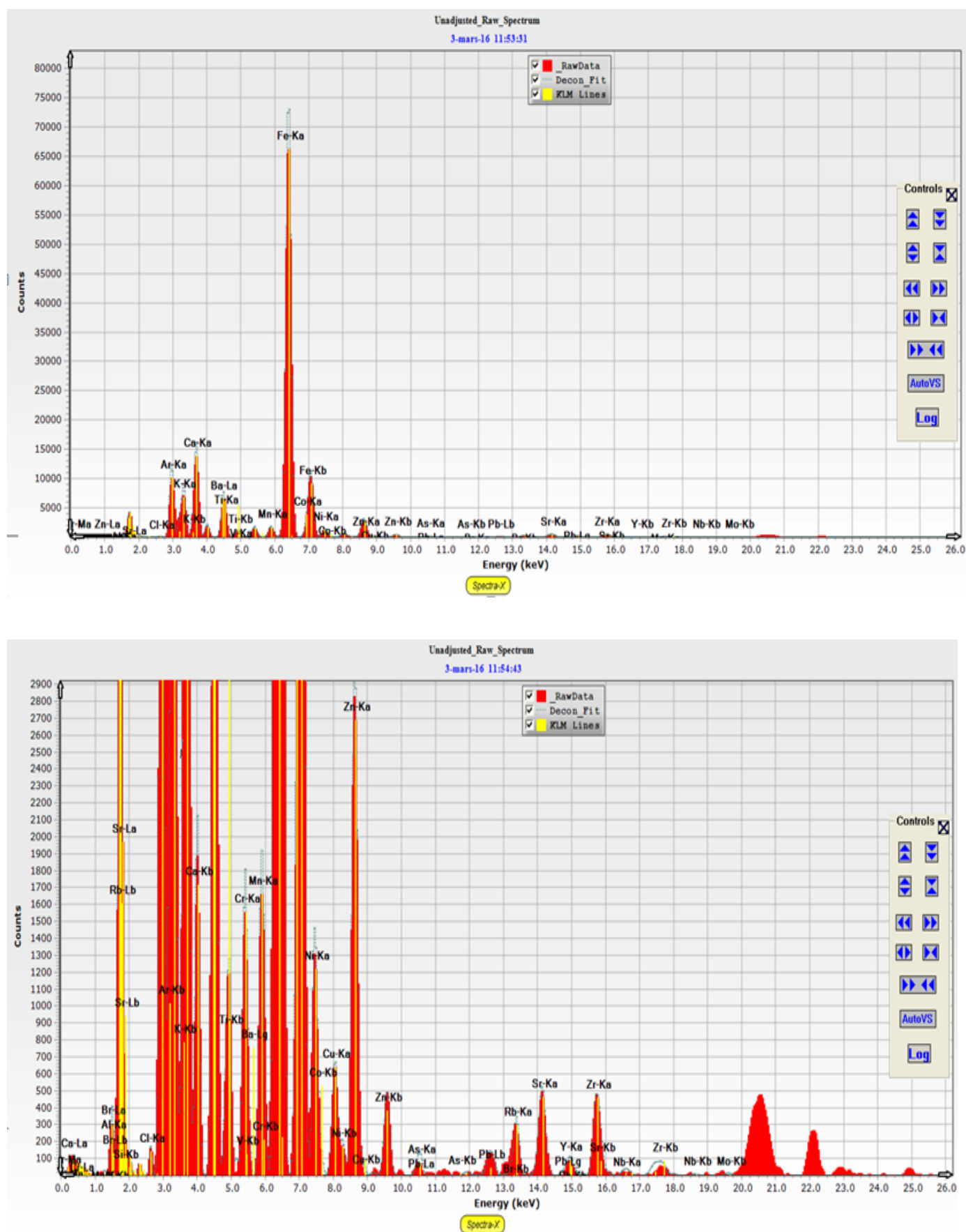
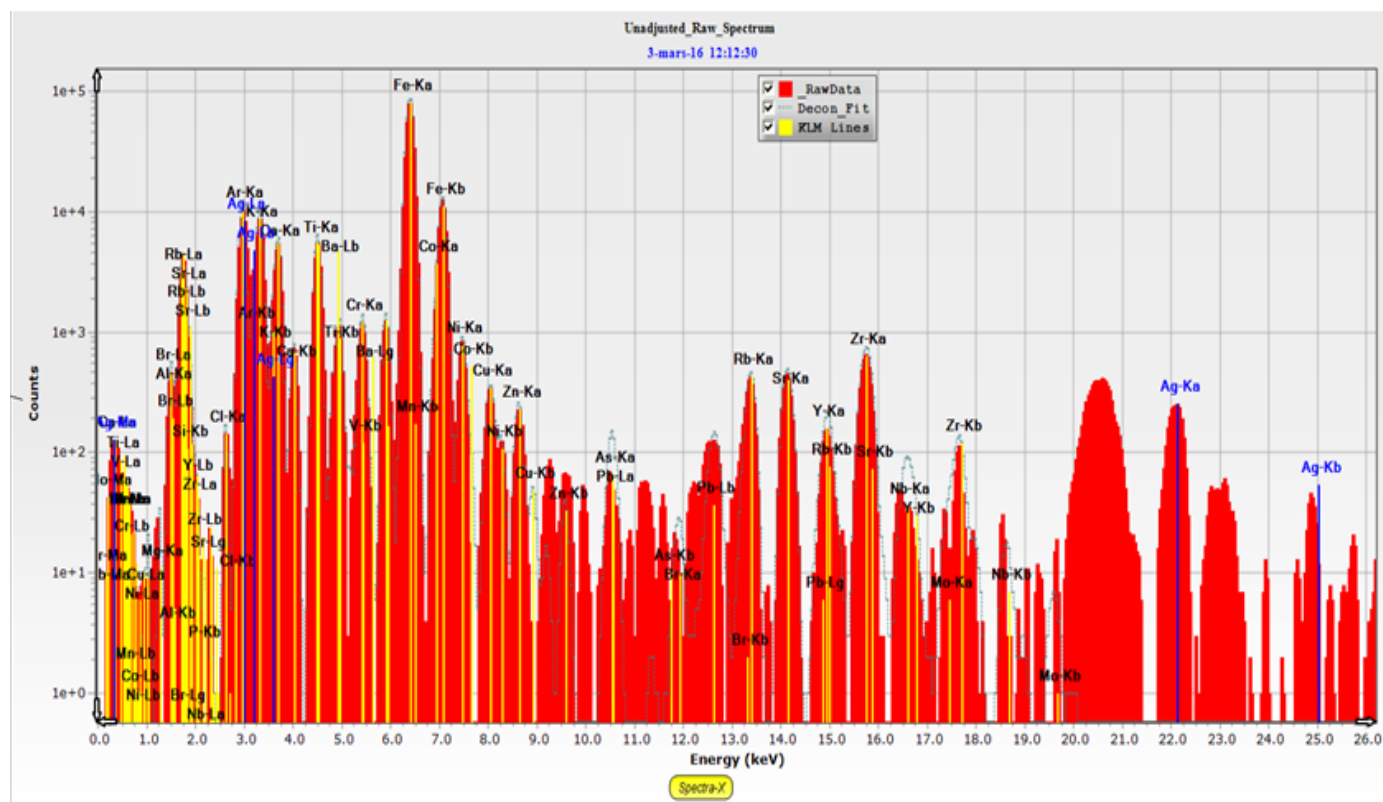


Figure 18 : Spectromètre par EDXRF des métaux lourds quantifiés dans le sol de la station ENIEM.



**Figure19:** Spectromètre par EDXRF des métaux lourds dosés dans le sol de la station Tizi Rached.

Les spectromètres obtenus par Analyse par spectrométrie de fluorescence (EDXRF) reflètent les résultats du tableau 13. Ces spectres représentent le degré d'absorption des métaux lourds par le sol des stations d'étude à une longueur d'onde de 20  $\mu$ A pendant 30 secondes à une vitesse de 35kv en utilisant des pastilles en argent pure à 99%.

L'intensité de l'absorption à la longueur d'onde caractéristique est liée à la concentration du métal lourd responsable de l'absorption. De ce fait, les pics correspondent à certains métaux lourds (Fe, Ni, Cr, Zn, Cl,...) qui sont plus intenses au niveau des stations EI qui renferme un taux élevé en Fe, Ni et Cr, ainsi que la station ENIEM qui présente un sol riche en Fe, Zn, Cl et Ni,...que ceux des hautes altitudes à savoir Yakouren qui est une station de référence qui présente un sol riche en Fer.

### III.3. Caractérisation de la biocénose

#### III.3.1. Composition floristique

##### III.3.1.1. Composition floristique globale

Le couvert végétal est un facteur écologique très important, surtout en Kabylie, où l'hétérogénéité topographique et l'action anthropique ont imprimé un paysage végétal à caractère très morcelé qui se présente sous forme de mosaïques assez complexes.

L'inventaire floristique que nous avons effectué dans les stations d'étude a révélé une biodiversité de 65 espèces appartenant à 27 familles, 25 ordres et 5 classes (Tableau 12).

**Tableau 12:** Ensemble des groupes floristiques inventoriés dans les stations d'études.

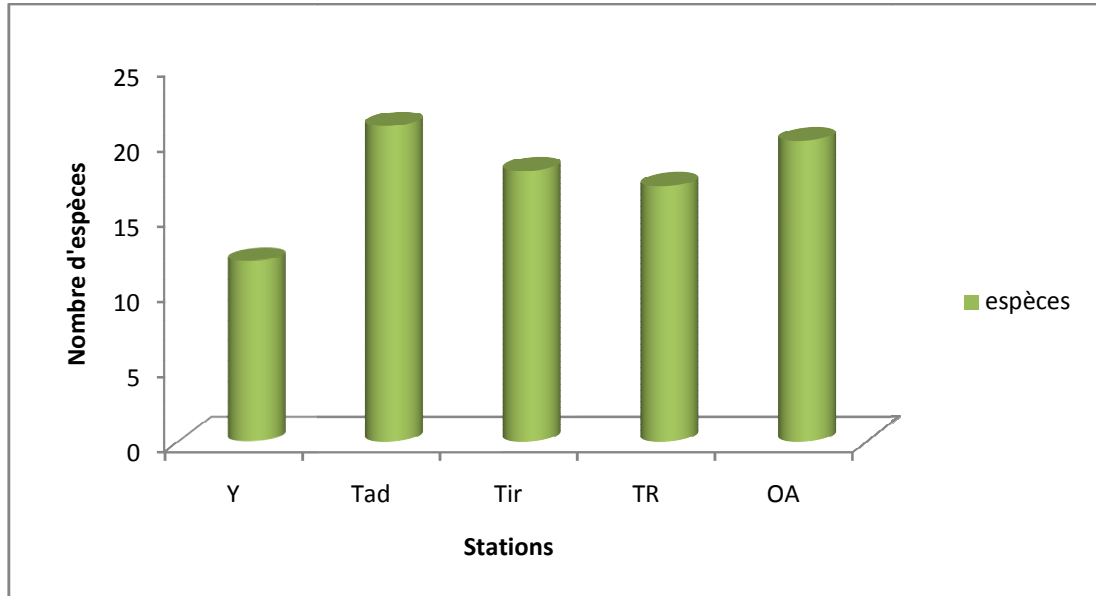
| Classes  | <i>Magnoliopsida</i> | <i>Liliopsida</i> | <i>Pteridophyta</i> | <i>Monocotylédones</i> | <i>Equisetopsida</i> |
|----------|----------------------|-------------------|---------------------|------------------------|----------------------|
| Ordres   | 18                   | 3                 | 1                   | 1                      | 2                    |
| Familles | 20                   | 3                 | 1                   | 1                      | 2                    |
| Espèces  | 53                   | 7                 | 1                   | 2                      | 2                    |

Le tableau 12 représente l'ensemble des groupes floristiques inventoriés dans nos stations d'échantillonnage (Yakouren, Azazga, Tizi-Rached et Oued aissi) suivant un gradient altitudinal des plus hautes montagnes de Yakouren vers la vallée du Sébaou pendant la saison printanière de l'année 2015. Ceci nous a permis de récolter 65 espèces appartenant à 5 classes (*Magnoliopsida*, *Liliopsida*, *Pteridophyta*, *Monocotylédones* et *Equisetopsida*) qui se répartissent sur 25 ordres et 27 familles. La classe des *Magnoliopsida* est la mieux représentée notamment l'ordre des Astérales qui occupe le premier rang avec 15 espèces.

### III.3.1.2. Analyse écologique de la flore

#### III.3.1.2.1. Richesse spécifique

Le nombre d'espèces de plantes inventoriées dans les stations d'échantillonnage est mentionné dans la figure 20.

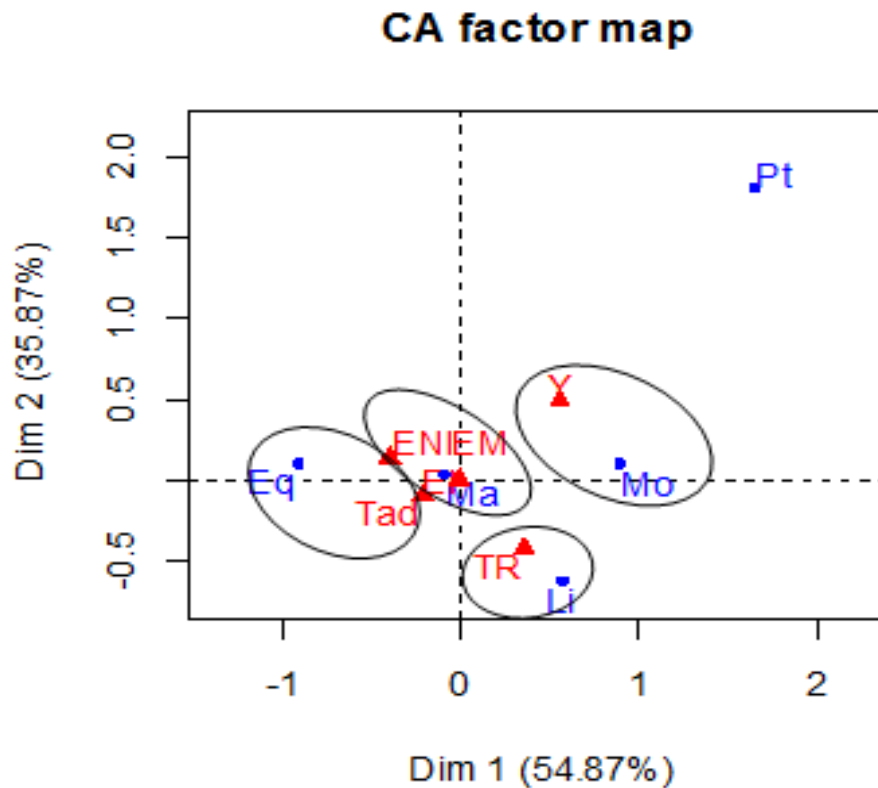


**Figure 20 :** Nombre des espèces floristiques récoltées dans les stations d'étude.

La variété de la végétation est issue de la variété des conditions climatiques suite à la variation de l'altitude entre les différentes stations d'étude où les espèces végétales sont réparties d'une manière inéquitable. Elles sont plus abondantes en moyennes altitudes suite aux conditions climatiques favorables à savoir une pluviométrie de 336.4 mm/an et une température moyenne annuelle de l'ordre de 15.4°C ainsi que la texture du sol, limono-argileuse, qui garde une certaine humidité du substrat et une bonne richesse en matières organiques.

### III.3.1.2.2. Répartition des groupes floristiques dans les différentes stations

La figure 21 illustre la répartition de la flore dans les différentes stations d'étude.

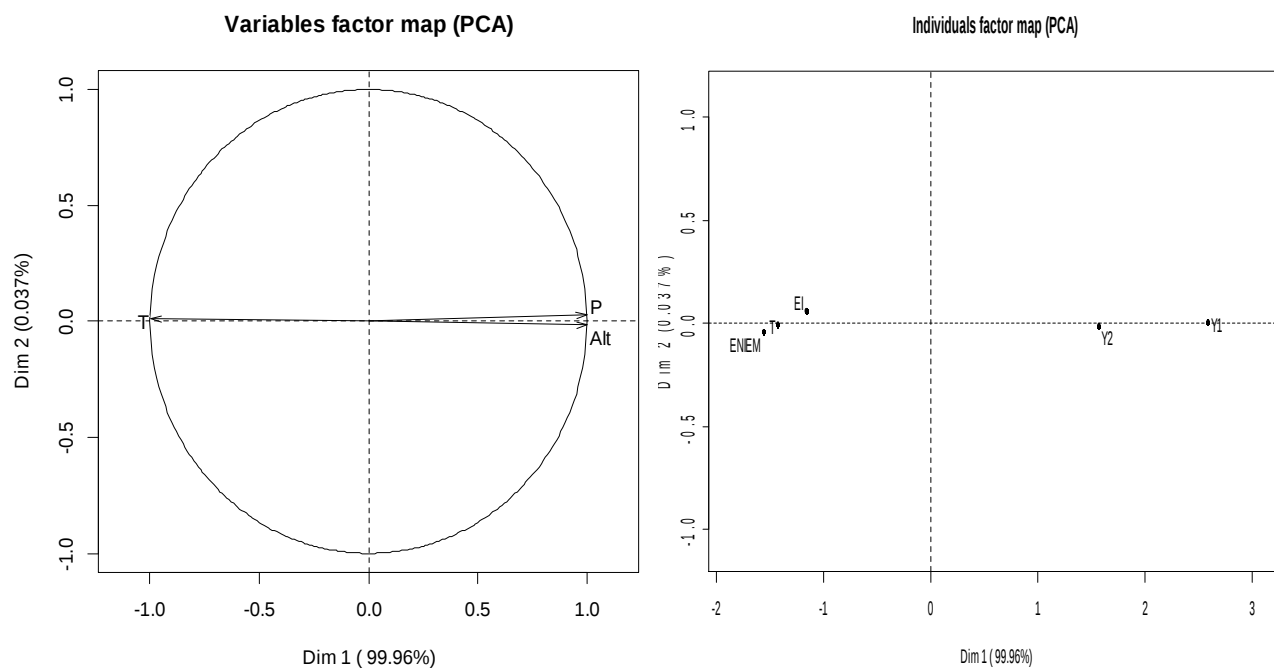


**Figure 21 :** Distribution et noyaux d'affinité des groupes floristiques et des stations étudiées dans le plan factoriel  $F_1 \times F_2$ .

Dans l'AFC de la figure 21 s'imposent 4 groupes homogènes :

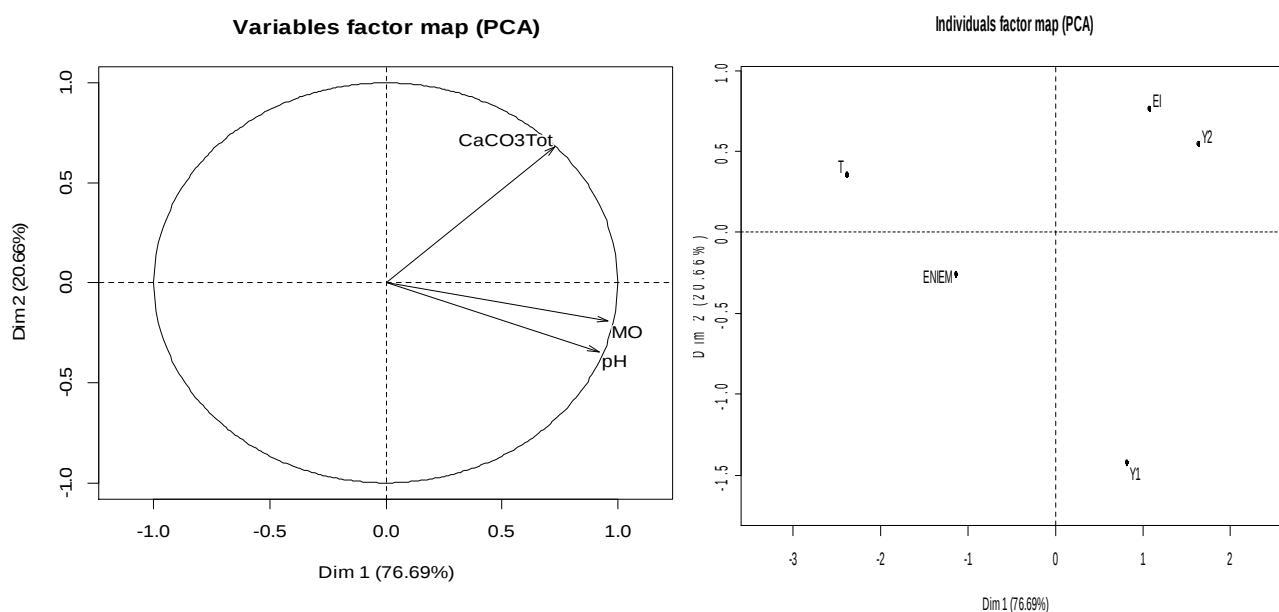
- ✓ **Groupe1**, relie la classe des Monocotylédones à la station Yakouren,
- ✓ **Groupe 2**, fait apparaître la relation de la classe Equisetopsida et la station Taddart,
- ✓ **Groupe 3**, relie la station Tizi-Rached et la classe Liliopsida,
- ✓ **Groupe 4**, relie les stations EI. et ENIEM.avec la classe Magnoliopsida.

Cette analyse de la figure précédente est bien expliquée par les résultats des figures 22, 23 et 24 qui expriment la relation des facteurs édaphiques, des caractères climatiques et des polluants (métaux lourds) avec la distribution spatiale des espèces végétales inventoriées.



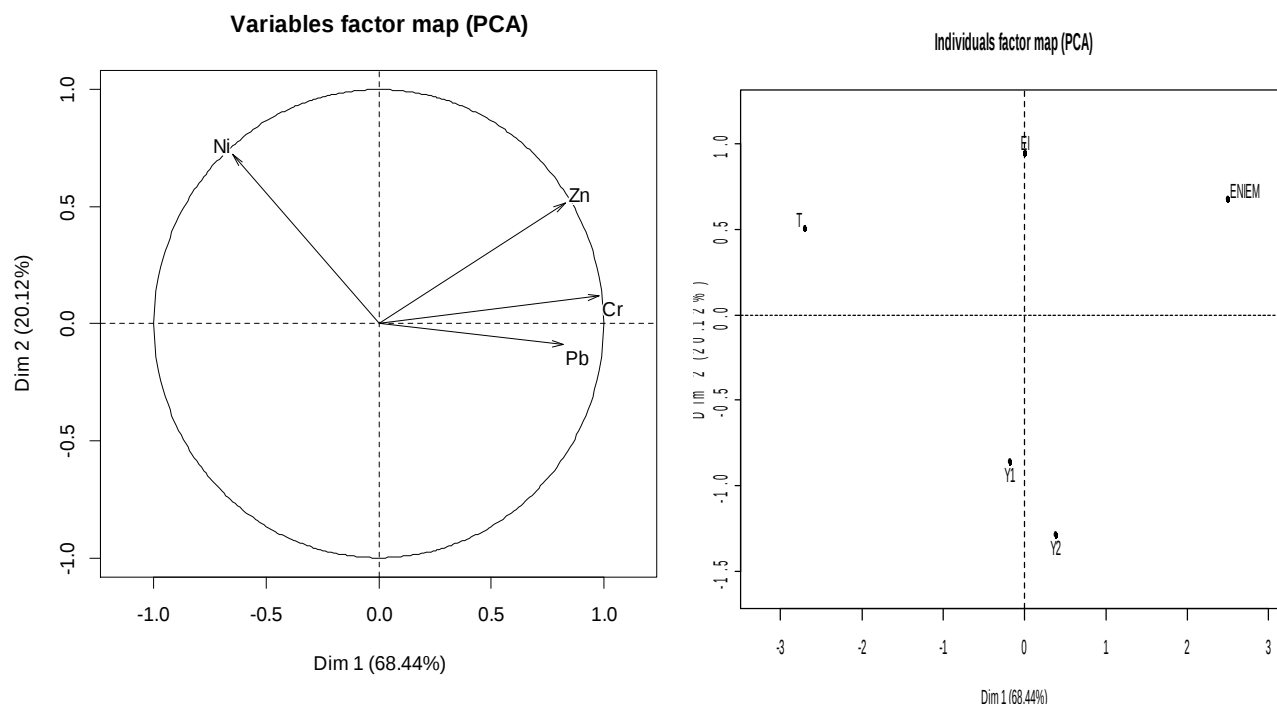
**Figure 22:** ACP représentative de la distribution des caractères climatiques et de l'altitude dans les stations étudiées.

D'après la figure 22, les stations Yakouren, en haute et moyenne altitude, sont corrélées aux précipitations et les stations EI., TR. et ENIEM., en basse altitude, sont corrélées aux températures ce qui crée la mosaïque floristique de cette région.



**Figure 23 :** ACP représentative de la distribution des caractères édaphiques dans les stations étudiées.

Selon la figure 23, les stations de l'ENIEM. et de Tizi-Rached sont celles qui renferment les quantités les plus faibles en MO. et de pH neutre. La station Y<sub>2</sub> (Taddart) est la plus riche en CaCO<sub>3</sub>.



**Figure 24:** ACP représentative de la distribution des métaux lourds dans les stations étudiées.

Selon la figure 24, le Zn, le Cr et le Pb sont corrélés positivement et s'opposent au Ni. Elle interprète l'importante influence des métaux lourds quantifiés (Pb, Cr, Zn ; Ni) surtout dans la station de l'ENIEM. suite à l'utilisation de l'acide chromique. Ce dernier est utilisé pour la passivation et la métallisation des réfrigérateurs afin de les protéger de la corrosion et leur procurer un aspect brillant ainsi que les processus de décapage (Fe) et le nickelage des cuisinières pour une meilleure protection contre la corrosion. La station Tizi-Rached est corrélée positivement avec le Ni et la station EI. renferme des métaux notamment le Zn et le Ni. Les stations Yakouren ne contiennent pas de métaux c'est pourquoi nous les avons considérées comme des stations de référence loin de toute source de pollution industrielle.

### III.3.1.2. 3. Abondance relative

L'échantillonnage de la flore au niveau des stations étudiées (Yakouren, Taddart, EI. Tizi-Rached et l'ENIEM.) nous a permis de récolter un total de 65 espèces dont les proportions sont exprimées par ordre et représentées dans la figure 25.

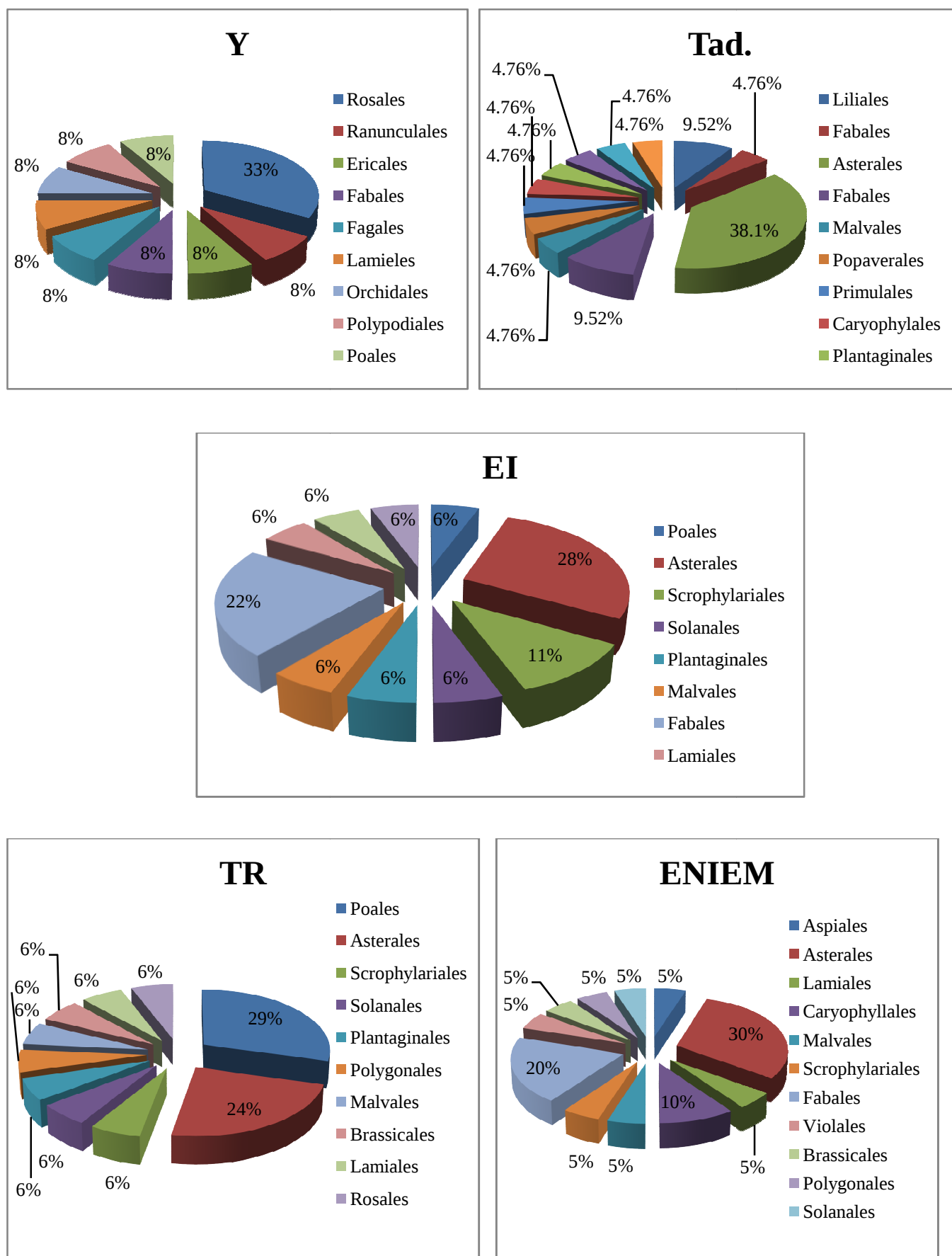


Figure 25: Abondance relative des ordres floraux recensés dans les stations étudiées.

D'après la figure 25, les plantes inventoriées sont réparties en 5 classes dont la classe des Magnoliopsida prédomine dans les différentes stations d'étude. La comparaison de cette abondance relative du sol des stations inventoriées fait ressortir une différence dans la composition et la répartition des divers groupes floristiques recensés.

#### III.3.1.2.4. Dominance de Berger-Parker

Le tableau 13 représente les résultats de la dominance de Berger-Parker (BP) pour la flore inventoriée dans les différentes stations d'étude.

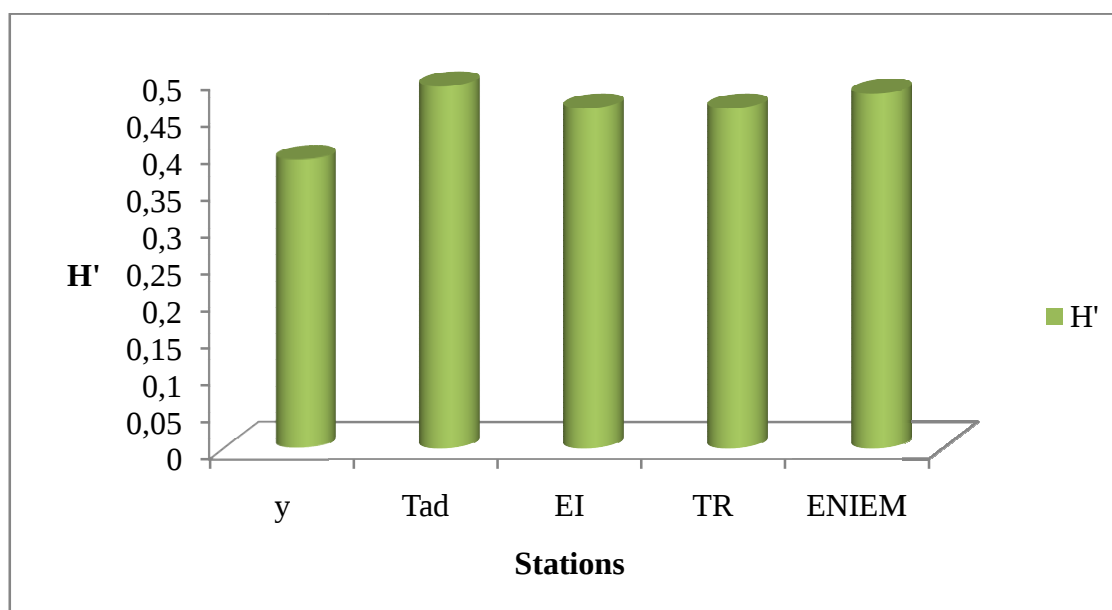
**Tableau 13 :** Dominance de Berger-Parker de la flore des stations d'étude.

| Stations             | Y.   | Tad. | EI.  | T R. | ENIEM. |
|----------------------|------|------|------|------|--------|
| <b>Dominance BP.</b> | 0.33 | 0.38 | 0.28 | 0.29 | 0.30   |

La classe des Magnoliopsida prédomine avec l'ordre des Astérales dans les stations d'étude à l'exception de la station de référence Yakouren où prédomine l'ordre des Rosales et la station Tizi Rached où prédominent l'ordre des Porales.

#### III.3.1.2.5. Indice de Shannon-Weaver ( $H'$ )

Les résultats obtenus sont illustrés dans la figure 26.



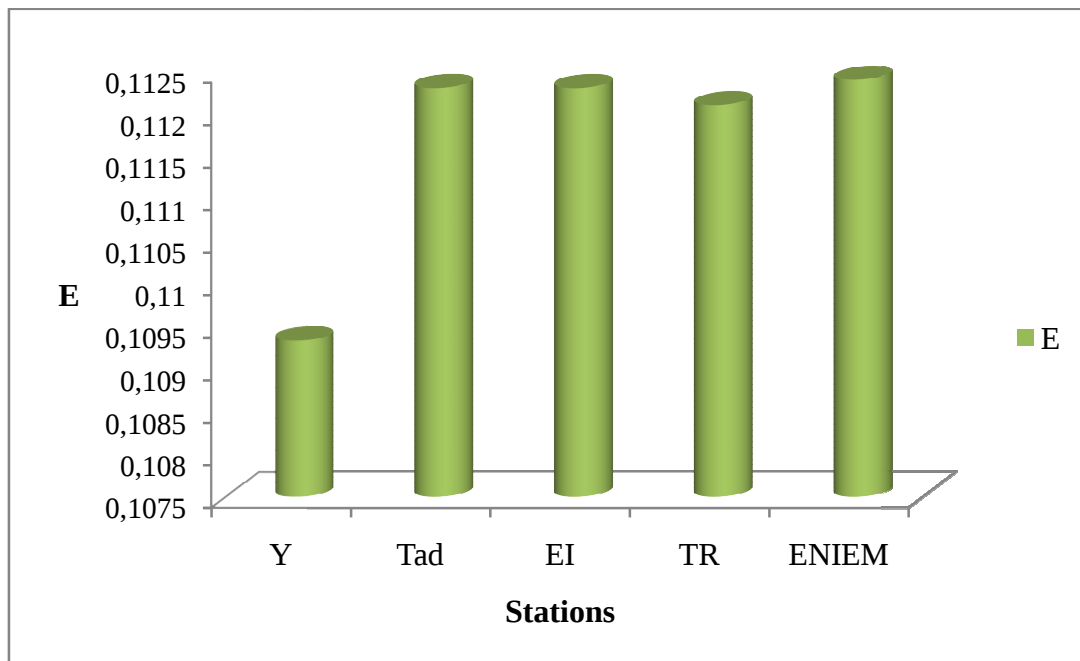
**Figure 26:** Indice de diversité de Shannon-Weaver de la flore des stations étudiées.

Il ressort de la figure 26 qu'au niveau des stations d'étude, l'indice de Shannon ( $H'$ ) est variable avec un maximum de 0.49 bits au niveau de la station Taddart et un minimum de 0.39 bits pour la station Yakouren.

La richesse du sol de l'ENIEM en MO, qui est la première source des éléments nutritifs pour la végétation, lui permet une certaine diversité floristique poussée suite au rejet final de cette entreprise industrielle riche en métaux lourds qui sont considérés comme oligoéléments.

#### III.3.1.2.6. Equitabilité

L'équitabilité est calculée pour les stations étudiées (Figure 27). 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 27 :** Equitabilité de la flore des stations d'étude.

Selon la figure 27, nous constatons que l'équitabilité est loin de 1 dans toutes les stations étudiées, ce qui indique que les peuplement végétaux inventoriés sont déséquilibrés. C'est au niveau de la station Taddart que la valeur maximale est enregistrée ( $E = 0.112307$ ) alors que la valeur minimale est enregistrée au niveau de la station Yakouren ( $E = 0.10933$ ).

### III.3.2. Composition faunistique

#### III.3.2.1. Composition faunistique globale

Les résultats de l'échantillonnage révèlent la présence d'un total de 15 Ordres réparties en 39 familles et 69 espèces (Tableau 14 et annexe 7).

**Tableau 14:** Ensemble des groupes faunistiques identifiés dans les stations étudiées.

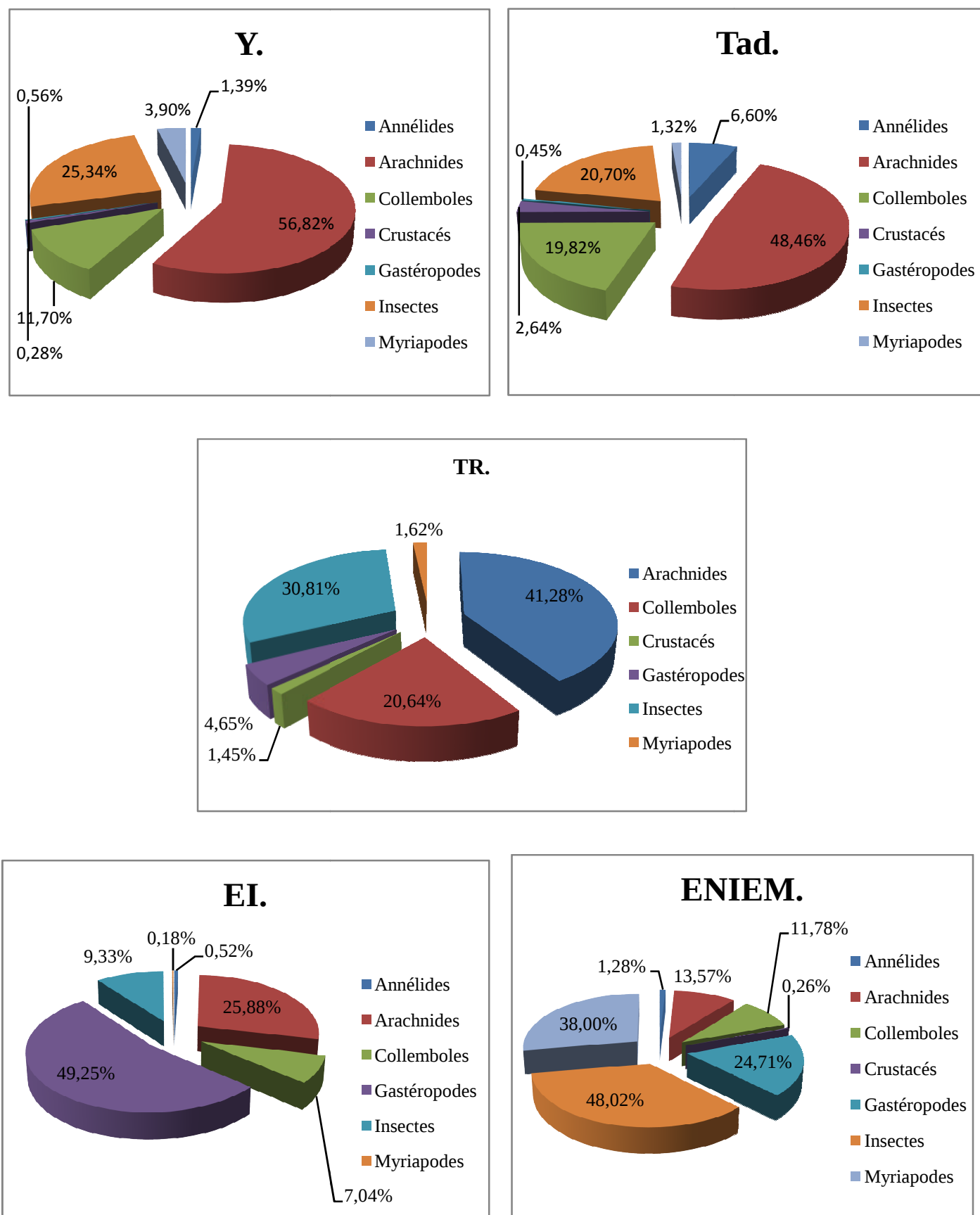
| Groupes  | Annélides | Arachnides | Collemboles | Crustacés | Gastéropodes | Insectes | Myriapodes |
|----------|-----------|------------|-------------|-----------|--------------|----------|------------|
| Ordres   | 1         | 3          | 2           | 1         | 1            | 5        | 2          |
| Familles | 1         | 12         | 4           | 2         | 4            | 13       | 3          |
| Espèces  | 1         | 15         | 8           | 2         | 6            | 34       | 3          |

Le tableau de l'annexe 3 représente une liste globale de l'ensemble des espèces de pédofaune recensées dans nos stations d'échantillonnage (Yakouren, Azazga, Tizi-Rached et Oued aissi) du mois d'Avril 2014 au mois de Mars 2015. Ceci nous a permis de récolter 2330 individus de 69 espèces appartenant à 7 classes (Annélides, Arachnides, Collemboles, Crustacés, Gastéropodes, Insectes, Myriapodes). Ces derniers se répartissent sur 15 ordres et 39 familles. La classe des insectes est la mieux représentée notamment l'ordre des Coléoptères qui occupe le premier rang avec 6 espèces.

#### III.3.2.2. Résultats de l'inventaire

##### III.3.2.2.1. Abondance relative

Au cours de notre échantillonnage au niveau du sol des stations étudiées (Yakouren, Taddart, EI. Tizi-Rached et l'ENIEM.) nous avons récolté un effectif total de 2316 individus dont les proportions sont représentées dans la figure 28.



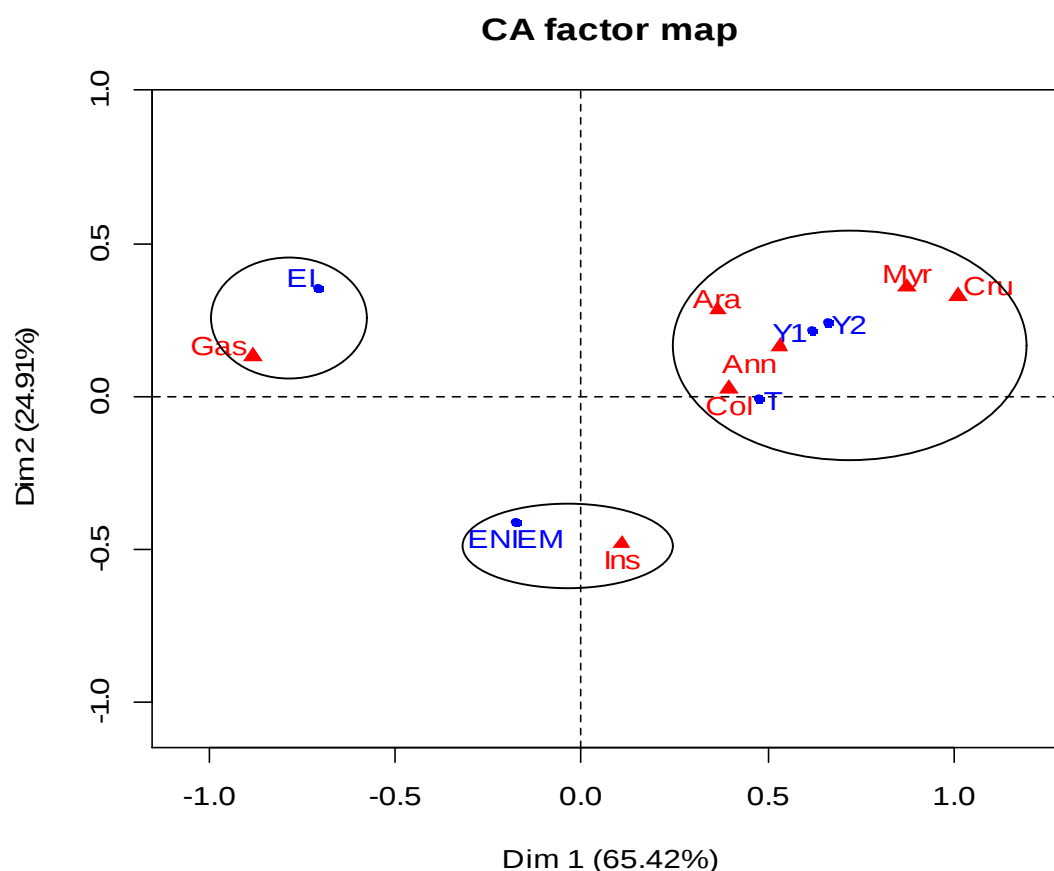
**Figure 28:** Abondance relative des individus de la pédofaune recensés dans le sol des stations étudiées.

D'après la figure 28, les individus inventoriés sont répartis en 7 classes dont la classe des Arachnides prédomine dans les stations Yakouren, Taddart et Tizi-Rached. Dans le sol de l'EI. nous signalons la dominance des Gastéropodes avec un taux de 49,25%. Les insectes dominent dans le sol de l'ENIEM. avec un taux de 48,02%.

La comparaison de l'abondance relative du sol des stations inventoriées fait ressortir une différence dans la composition et la répartition des divers groupes de pédofaune recensés avec, entre autre, l'absence des Annélides dans le sol de Tizi-Rached et des Crustacées dans le sol de l'EI. La dominance visible des Gastéropodes à l'EI. est due au taux d'humidité élevée suite au rejet industriel de cette entreprise, 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.

#### III.3.2.2.2. Répartition des groupes faunistiques dans les différentes stations

La figure 29 répartit les groupes de pédofaune dans les stations d'étude (Y, Tad., EI., TR. et ENIEM.).

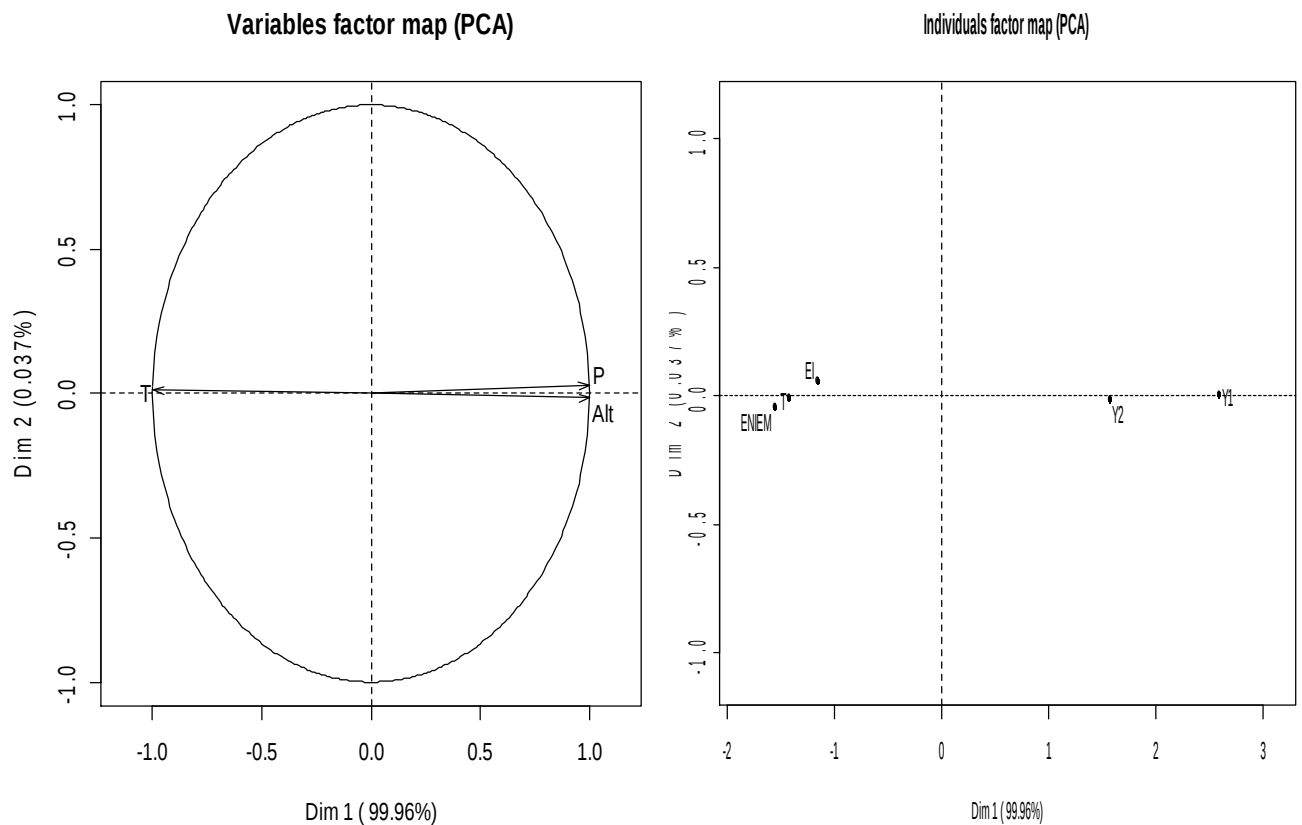


**Figure 29 :** Distribution et noyaux d'affinité des groupes faunistiques et des stations étudiées dans le plan factoriel  $F_1 \times F_2$ .

Dans l'AFC de la figure 29 s'imposent trois groupes homogènes :

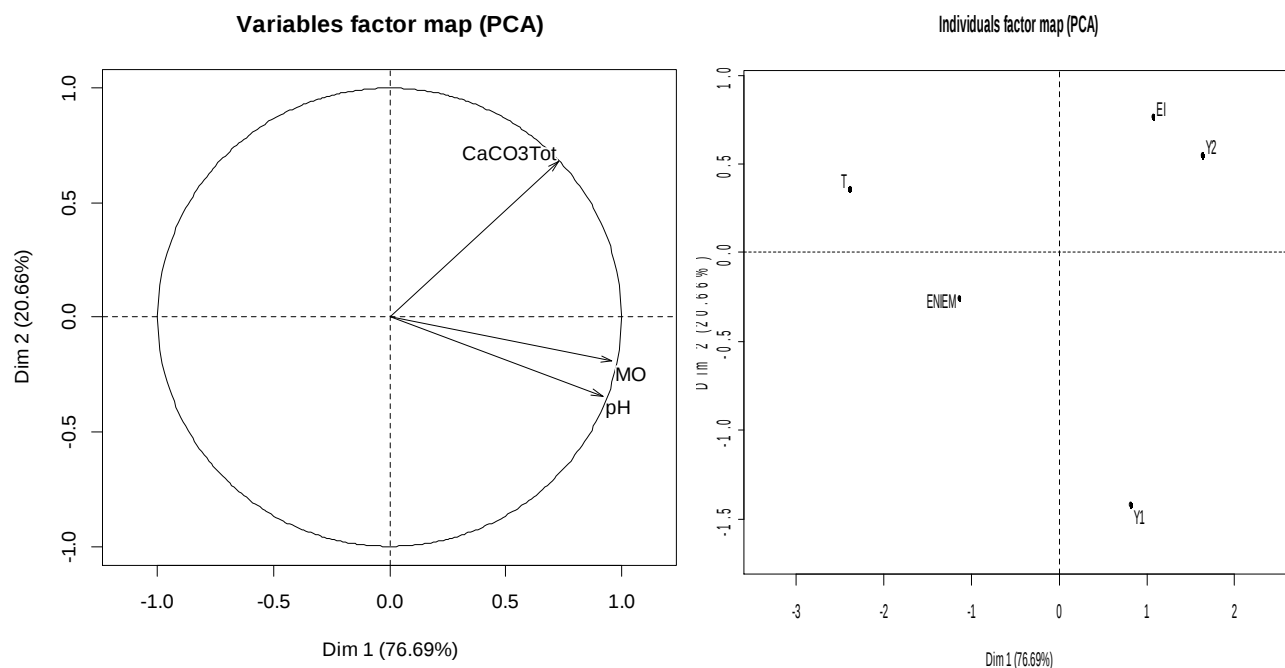
- ✓ **Groupe 1** : symbolise l'affinité et la dominance des Gastéropodes (Bio-indicateurs de pollution) dans la station de l'Electro-Industries riche en métaux lourds ;
- ✓ **Groupe 2** : symbolise l'affinité des Insectes prédominants (polluo-résistants) à la station de l'ENIEM, polluée par les métaux lourds ;
- ✓ **Groupe 3** : regroupe les Collemboles, les Annélides, les Arachnides, les Myriapodes et les Crustacées (polluo-sensibles) dans les stations de Yakouren et Tizi Rached.

L'analyse de la figure précédente est bien expliquée par les résultats des figures 30, 31 et 32 qui expriment la relation des facteurs édaphiques, des caractères climatiques et des polluants (métaux lourds) avec la distribution spatiale des espèces de pédofaune inventoriées.



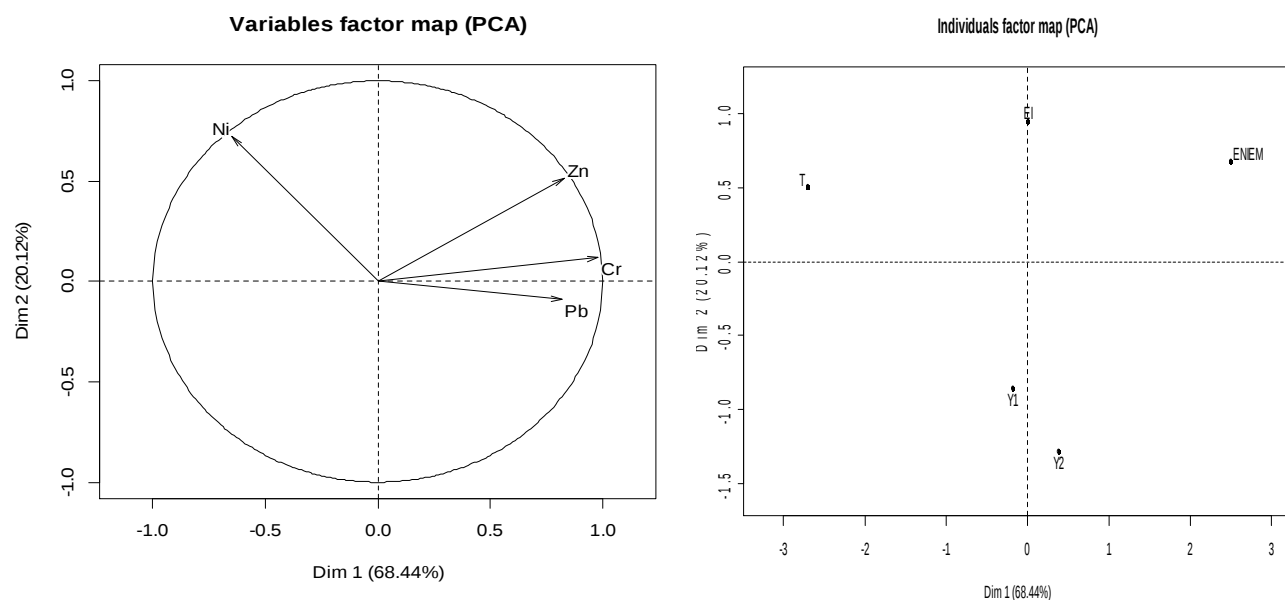
**Figure 30:** ACP représentative de la distribution des caractères climatiques et de l'altitude dans les stations étudiées.

D'après la figure 30, les stations Yakouren, en haute et moyenne altitude, sont corrélées aux précipitations et les stations EI., TR. et ENIEM., en basse altitude, sont corrélées aux températures.



**Figure 31 :** ACP représentative de la distribution des caractères édaphiques dans les stations étudiées.

Selon la figure 31, les stations ENIEM. et Tizi-Rached sont celles qui renferment les quantités les plus faibles en MO. et de pH neutre. La station Y<sub>2</sub> (Taddart) est la plus riche en CaCO<sub>3</sub>.



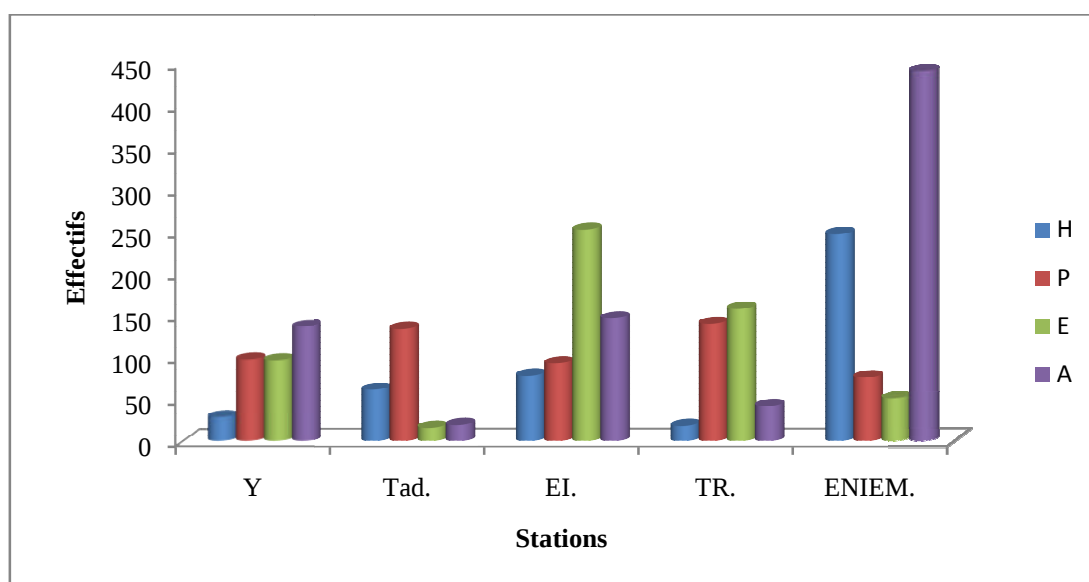
**Figure 32:** ACP représentative de la distribution des métaux lourds dans les stations étudiées.

Selon la figure 32, le Zn, le Cr et le Pb sont corrélés positivement et s'opposent au Ni. Elle interprète l'importante influence des métaux lourds quantifiés (Pb, Cr, Zn ; Ni) surtout dans

la station ENIEM. suite à l'utilisation de l'acide chromique. Ce dernier est utilisé pour la passivation et la métallisation des réfrigérateurs afin de les protéger de la corrosion et leur procurer un aspect brillant ainsi que les processus de décapage (Fe) et le nickelage des cuisinières pour une meilleure protection contre la corrosion. La station Tizi-Rached est corrélée positivement avec le Ni et la station EI. renferme des métaux notamment le Zn et le Ni. Les stations Yakouren ne contiennent pas de métaux c'est pourquoi nous les avons considérées comme des stations de référence loin de toute source de pollution industrielle.

### III.3.2.2.3. Variation saisonnière de la pédofaune recensée

La variation saisonnière de la pédofaune recensée au niveau des stations étudiées est représentée dans la figure 33.

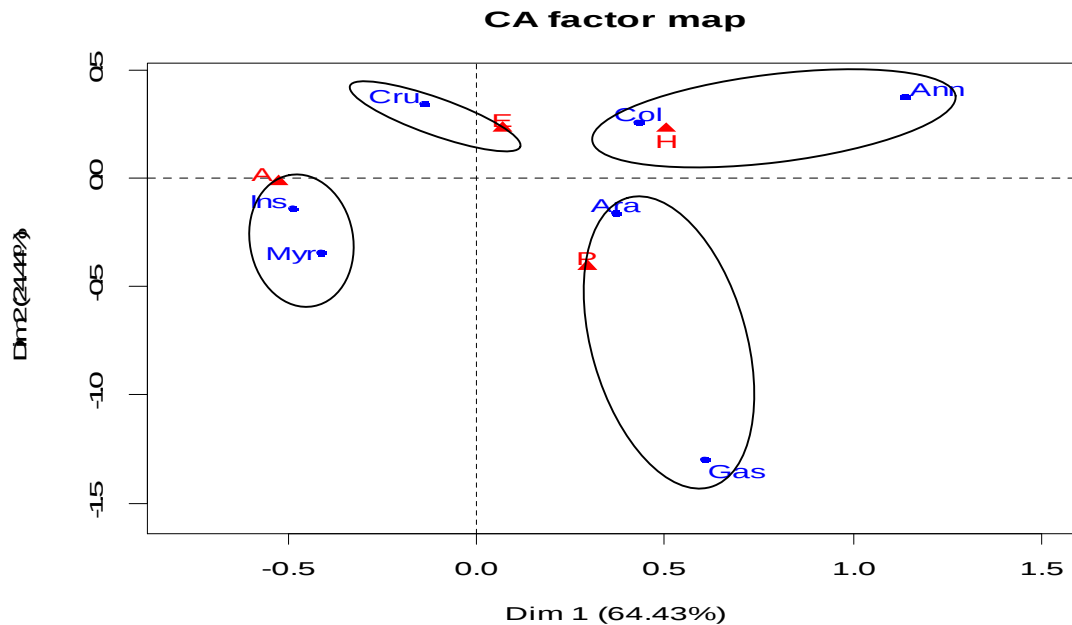


**Figure 33 :** Variation saisonnière de la pédofaune recensée au niveau des stations d'étude.

Selon la figure 33, les effectifs sont variables d'une station à une autre avec un effectif important en Automne à l'ENIEM. (441 individus), suivi par l'EI. (252 individus) et la station Tizi-Rached (158 individus) pendant l'Eté. A la station Yakouren, l'effectif important est recensé durant l'Automne (137 individus) et à la station Taddart, c'est au Printemps que nous avons recensé l'effectif le plus élevé de 134 individus. Cela serait dû à la pollution par les rejets de l'EI. et de l'ENIEM. riches en métaux lourds toxiques, qui perturberaient le cycle de développement de la plupart de ces êtres vivants limitant ainsi leur longévité à l'exception d'une minorité de Gastéropodes qui a adopté une certaine résistance vis-à-vis de cette pollution.

Les effectifs les plus faibles sont ceux de la saison hivernale suite aux conditions climatiques défavorables qui contraignent la majorité des animaux à rentrer en diapause.

La figure 34 englobe la distribution de la pédofaune recensée selon les saisons de l'année.



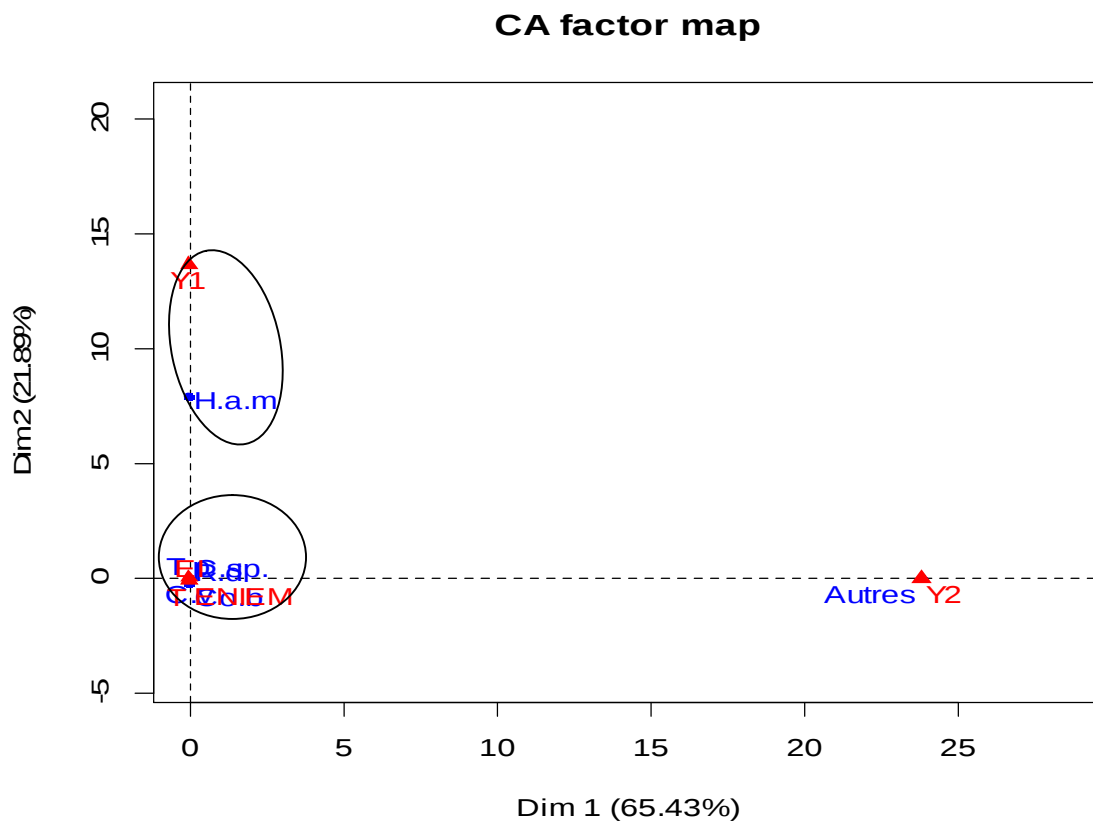
**Figure 34 :** Distribution et noyaux d'affinité des groupes faunistiques et des saisons dans le plan factoriel  $F_1 \times F_2$ .

L'AFC de la figure 34, permet de désigner quatre groupes d'affinité selon la distribution des groupes faunistiques en fonction des saisons de l'année :

- ✓ **Groupe 1** relie les Annélides et les Collemboles à la saison hivernale humide,
- ✓ **Groupe 2** fait apparaître la relation des Arachnides et des Gastéropodes avec le printemps (saison favorable à la pullulation de la microfaune),
- ✓ **Groupe 3** relie les Crustacées à la saison estivale sèche;
- ✓ **Groupe 4** relie les Insectes et les Myriapodes à l'automne.

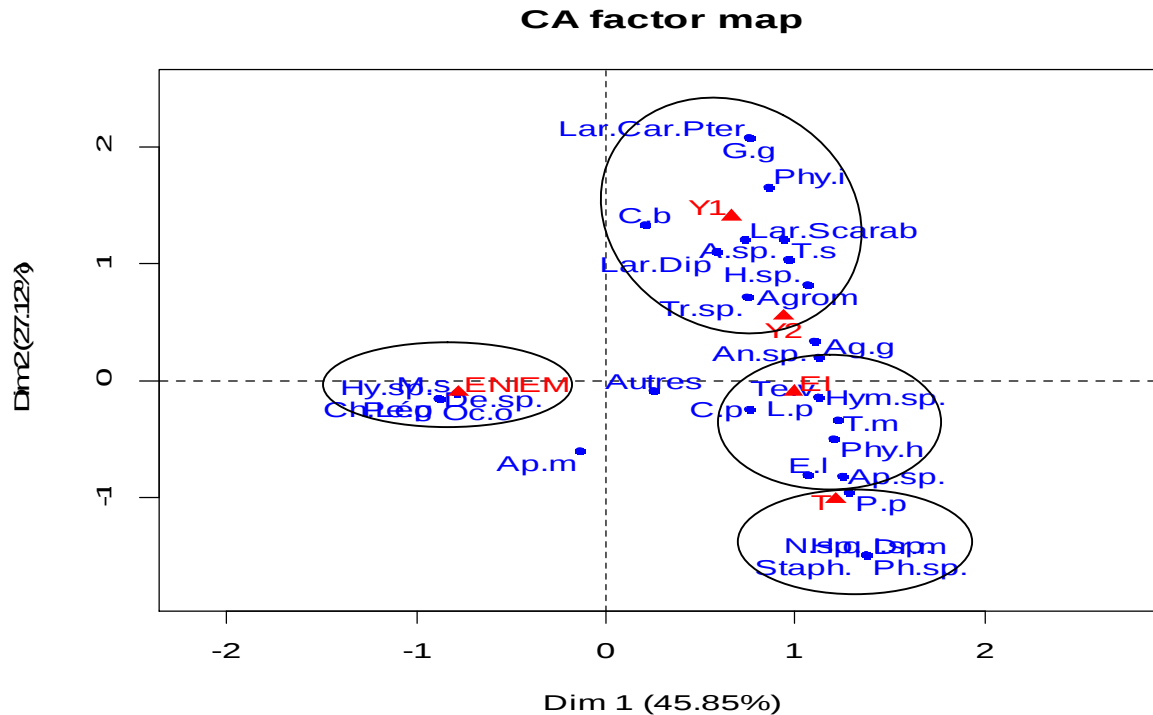
#### III.3.2.2.4. Répartition des espèces de pédofaune selon les caractéristiques des stations d'étude

La distribution des espèces de gastéropodes et des espèces d'insectes dans les différentes stations étudiées est représentée dans les figures 35 et 36.



**Figure 35:** Distribution et noyaux d'affinité des espèces de Gastéropodes et des stations étudiées dans le plan factoriel  $F_1 \times F_2$ .

Selon la figure 35, les stations l'EI., Tizi Rached et l'ENIEM. présentent une affinité avec certaines espèces de Gastéropodes (*Cernuella virgata*, *Cernuella sp.*, *Tebba pisana*, *Cochlicella barbara*, *Rumina decollata*) alors que la station Yakouren n'est reliée qu'avec une seule espèce qui est *Helix aspersa maxima*.



**Figure 36:** Distribution et noyaux d'affinité des espèces d'Insectes et des stations étudiées dans le plan factoriel  $F_1 \times F_2$ .

Selon la figure 36, nous distinguons quatre noyaux :

- ✓ La station de l'ENIEM. qui se caractérise par la dominance des espèces *Messor structor*, *Pheidole pallidula*, *Hymenoptera sp. ind.*, *Dermaptera sp. ind.*, *Ocypus olens*,
- ✓ La station de l'EI. forme un noyau d'affinité avec les espèces d'insectes *Culex pipiens*, *Lycaena phlaeas*, *Tettigonia viridissima*, *Tipula maxima*, *Phytomyza horticola*, *Empis livida*, *Hymenoptera sp. ind.*, *Apion sp.*
- ✓ La station de Tizi-Rached est caractérisée par la dominance des espèces *Pheidole pallidula*, *Halictus quadricinctus*, *Drosophila melanogaster*, *Nematocera sp. ind.*
- ✓ Les stations de Yakouren révèlent la dominance de *Cartaglyphis bicolor*, *Gryllotalpa gryllotalpa*, *Agriphila geniculea*, *Phytomyza ilicis*, *Anthicus sp.*, *Trechus sp.*, *Hymenoptera sp. ind.*, les larves de Carabidae : Pterostechinae.

**III.3.2.3. Analyse écologique de la faune du sol****III.3.2.3.1. Qualité de l'échantillonnage (Q)**

Le tableau 15 rapporte les résultats de la qualité de l'échantillonnage de la pédofaune des stations étudiées.

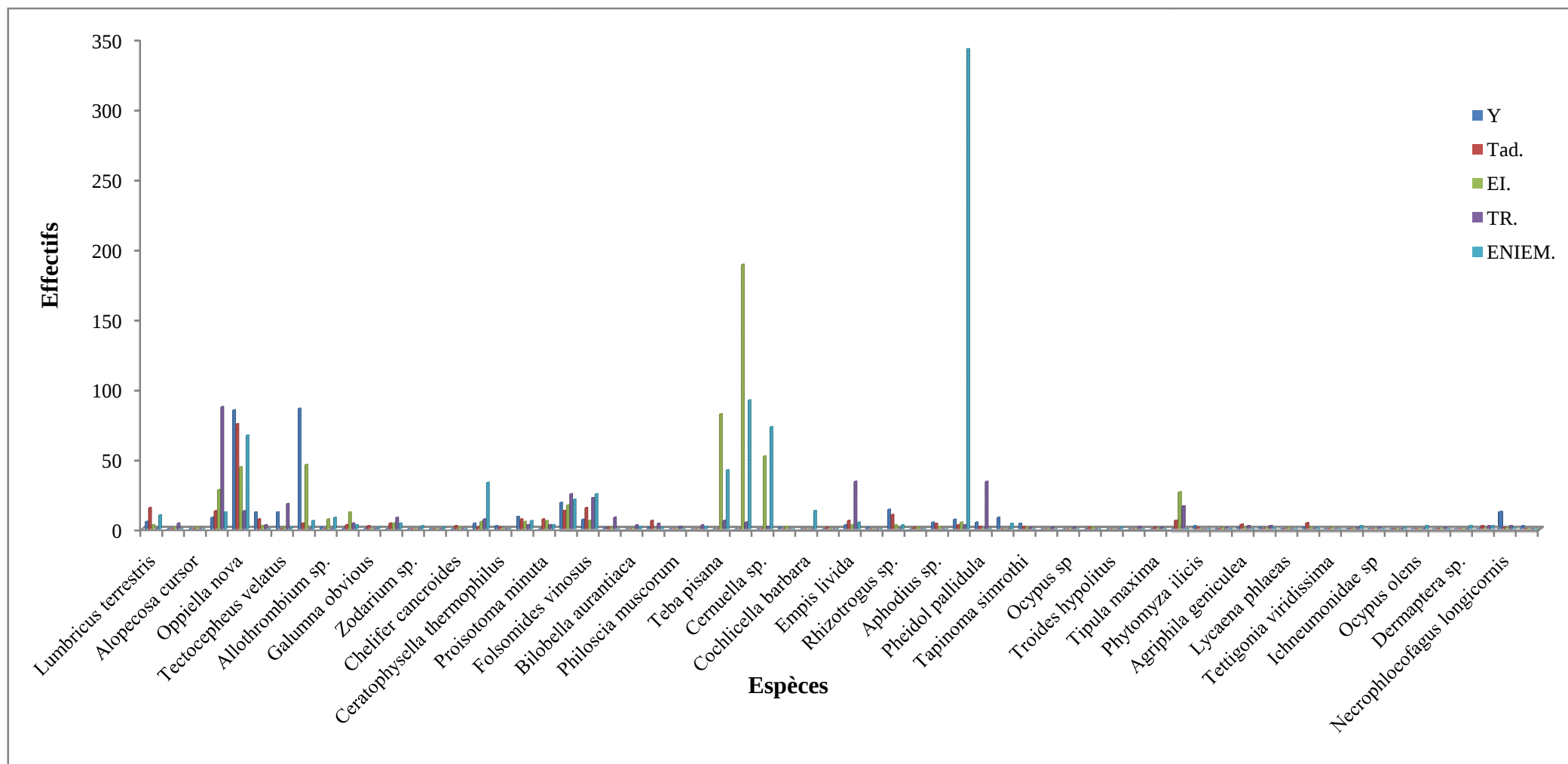
**Tableau 15 :** Résultats de la qualité de l'échantillonnage de la pédofaune au niveau des stations d'études.

| Stations | Y    | Tad. | EI.  | TR.  | ENIEM. |
|----------|------|------|------|------|--------|
| Q        | 0.51 | 0.60 | 0.65 | 0.65 | 0.66   |

Selon le tableau 15, les valeurs de la qualité d'échantillonnage obtenues dans les stations étudiées varient entre 0.51 et 0.66. Elles sont inférieures à 1 et peuvent être considérées comme bonnes, ce qui signifie que le nombre d'échantillons est suffisant.

**III.3.2.3.2. Richesse spécifique (S)**

La figure 37 représente la richesse spécifique du sol des stations d'étude.



**Figure 37 :** Espèces de pédofaune inventoriées dans le sol des stations étudiées.

D'après la figure 37 nous recensons une richesse spécifique totale de 64 espèces. Ces espèces auraient trouvés dans les sols analysés des conditions favorables à leur développement à savoir une bonne humidité, un pH et une texture favorables ainsi que de la matière organique. Dans l'ensemble des échantillons étudiés nous avons obtenu des effectifs variables ; plus importants dans le sol de l'ENIEM. Notamment l'espèce de fourmi *Messor structor* représentée par 343 individus et l'abondance remarquable des gastéropodes tels que *Cernuelle virgata* avec 92 individus et *Cernuella sp.* avec 73 individus. A l'EI. nous constatons la dominance des gastéropodes *Cernuella virgata* par 189 individus et *Teba pisana* qui présente un effectif de 82 individus.

Dans le sol des stations de Yakouren, Taddart et Tizi-Rached nous remarquons une richesse spécifique moindre par rapport aux stations EI. et ENIEM. avec un effectif important des Acariens (*Oppiella nova* et *Nothrus annauniensis*).

#### **III.3.2.3.3. Occurrence et constance des espèces inventoriées**

Les fréquences d'occurrence (constance) des espèces inventoriées dans les stations d'étude sont mentionnées dans le tableau 16.

Tableau 16: Fréquences d'occurrence des espèces inventoriées dans les stations d'étude.

| Espèces                            | FO. % |       |       |       |        | Espèces                                 | FO. % |       |       |       |        |
|------------------------------------|-------|-------|-------|-------|--------|-----------------------------------------|-------|-------|-------|-------|--------|
|                                    | Y.    | Tad.  | EI.   | TR.   | ENIEM. |                                         | Y.    | Tad.  | EI.   | TR.   | ENIEM. |
| <i>Lumbricus terrestris</i>        | 8.33  | 25    | 5     | 0     | 16.66  | <i>Rhizotrogus sp.</i>                  | 23.33 | 16.66 | 5     | 0     | 5      |
| <i>Dysdera corocata</i>            | 0     | 0     | 1.66  | 6.66  | 0      | Larves de Carabidae :<br>Pterostechinae | 16.66 | 0     | 0     | 0     | 0      |
| <i>Alopecosa cursor</i>            | 0     | 0     | 1.66  | 0     | 0      | Larves de diptères                      | 46.66 | 3.33  | 8.33  | 6.66  | 13.33  |
| <i>Nothrus annauniensis</i>        | 13.33 | 21.66 | 46.66 | 25    | 20     | <i>Hymenoptera sp.</i>                  | 0     | 1.66  | 1.66  | 0     | 0      |
| <i>Oppiella nova</i>               | 41.66 | 50    | 50    | 66.66 | 50     | <i>Aphodius sp.</i>                     | 8.33  | 6.66  | 3.33  | 0     | 0      |
| <i>Damaeus auritus</i>             | 20    | 11.66 | 3.33  | 21.66 | 0      | Agromizidae                             | 0     | 3.33  | 0     | 0     | 0      |
| <i>Tectocephus velatus</i>         | 20    | 0     | 1.66  | 5     | 1.66   | <i>Messor structor</i>                  | 11.66 | 5     | 8.33  | 5     | 25     |
| <i>Pergamasus sp.</i>              | 75    | 16.66 | 66.66 | 50    | 25     | <i>Pheidol pallidula</i>                | 8.33  | 3.33  | 0     | 56.66 | 0      |
| <i>Allothrobium sp.</i>            | 1.66  | 0     | 11.66 | 0     | 13.33  | <i>Cartoglyphis bicolor</i>             | 13.33 | 0     | 0     | 0     | 6.66   |
| Salticidae                         | 0     | 0     | 0     | 0     | 1.66   | <i>Tapinoma simrothi</i>                | 6.66  | 3.33  | 1.66  | 1.66  | 0      |
| <i>Cheiracanthium sp.</i>          | 0     | 5     | 20    | 6.66  | 5      | <i>Halictus quadricinctus</i>           | 0     | 0     | 0     | 1.66  | 0      |
| <i>Galumna obvious</i>             | 0     | 3.33  | 0     | 0     | 1.66   | <i>Ocybus sp.</i>                       | 0     | 0     | 0     | 1.66  | 0      |
| <i>Zelotes sp.</i>                 | 0     | 6.66  | 6.66  | 13.33 | 6.66   | <i>Anthicus sp.</i>                     | 0     | 1.66  | 1.66  | 0     | 0      |
| <i>Zodarium sp.</i>                | 0     | 0     | 0     | 0     | 3.33   | <i>Troides hypolitus</i>                | 0     | 0     | 0     | 0     | 1.66   |
| <i>Gonglidium rufipes</i>          | 0     | 0     | 0     | 0     | 1.66   | <i>Nematocera sp.</i>                   | 0     | 0     | 0     | 3.33  | 0      |
| <i>Chelifer cancroides</i>         | 0     | 3.33  | 1.66  | 0     | 0      | <i>Tipula maxima</i>                    | 0     | 1.66  | 0     | 1.66  | 0      |
| <i>Ceratophysella armata</i>       | 6.66  | 1.66  | 8.33  | 11.66 | 55     | <i>Phytomyza horticola</i>              | 0     | 10    | 43.33 | 28.33 | 0      |
| <i>Ceratophysella thermophilus</i> | 3.33  | 1.66  | 0     | 0     | 0      | <i>Phytomyza ilicis</i>                 | 3.33  | 1.66  | 0     | 0     | 0      |
| <i>Parisotoma notabilis</i>        | 15    | 11.66 | 8.33  | 5     | 10     | <i>Apion sp.</i>                        | 0     | 0     | 1.66  | 1.66  | 0      |
| <i>Proisotoma minuta</i>           | 0     | 11.66 | 10    | 5     | 5      | <i>Agriphila geniculea</i>              | 1.66  | 5     | 1.66  | 3.33  | 0      |
| <i>Folsomia penicula</i>           | 31.66 | 21.66 | 28.33 | 41.66 | 35     | <i>Culex pipiens</i>                    | 1.66  | 0     | 1.66  | 3.33  | 1.66   |
| <i>Folsomides vinosus</i>          | 11.66 | 25    | 10    | 36.66 | 41.66  | <i>Lycaena phlaeas</i>                  | 0     | 0     | 1.66  | 0     | 0      |
| <i>Entomobrya multifasciata</i>    | 1.66  | 1.66  | 1.66  | 13.33 | 0      | <i>Trechus sp.</i>                      | 1.66  | 6.66  | 1.66  | 0     | 1.66   |
| <i>Bilobella aurantiaca</i>        | 0     | 0     | 0     | 5     | 3.33   | <i>Tettigonia viridissima</i>           | 0     | 0     | 1.66  | 0     | 0      |
| <i>Oniscus asellus</i>             | 1.66  | 10    | 0     | 6.66  | 1.66   | <i>Apis mellifera</i>                   | 0     | 0     | 0     | 1.66  | 3.33   |
| <i>Philoscia muscorum</i>          | 0     | 0     | 0     | 3.33  | 0      | <i>Ichneumonidae sp.</i>                | 0     | 0     | 0     | 1.66  | 0      |

|                                |      |      |       |       |       |                                     |      |      |      |      |      |
|--------------------------------|------|------|-------|-------|-------|-------------------------------------|------|------|------|------|------|
| <i>Rumina decollata</i>        | 0    | 0    | 0     | 5     | 3.33  | <i>Pezottetix giornae</i>           | 0    | 0    | 0    | 0    | 1.66 |
| <i>Teba pisana</i>             | 0    | 0    | 66.66 | 10    | 58.33 | <i>Ocypus olens</i>                 | 0    | 0    | 0    | 0    | 3.33 |
| <i>Cernuella virgata</i>       | 0    | 0    | 83.33 | 8.33  | 66.66 | <i>Drosophila melanogaster</i>      | 0    | 0    | 0    | 1.66 | 0    |
| <i>Cernuella sp.</i>           | 0    | 0    | 50    | 3.33  | 50    | <i>Dermaptera sp.</i>               | 0    | 0    | 0    | 0    | 3.33 |
| <i>Helix aspra maxima</i>      | 1.66 | 0    | 3.33  | 0     | 0     | Chenilles de lepidopteres           | 0    | 0    | 0    | 0    | 3.33 |
| <i>Cochlicella barbara</i>     | 0    | 0    | 0     | 0     | 21.66 | <i>Lithobius forficatus</i>         | 0    | 3.33 | 0    | 3.33 | 3.33 |
| <i>Trichia hispida</i>         | 0    | 1.66 | 0     | 0     | 0     | <i>Necrophloeofagus longicornis</i> | 20   | 1.66 | 1.66 | 3.33 | 1.66 |
| <i>Empis livida</i>            | 5    | 6.66 | 5     | 56.66 | 8.33  | <i>Ommatoiulus sp.</i>              | 3.33 | 0    | 0    | 0    | 0    |
| <i>Gryllotalpa gryllotalpa</i> | 1.33 | 0    | 0     | 0     | 0     |                                     |      |      |      |      |      |

Dans la zone d'étude, le nombre de classes de constance calculées pour les espèces inventoriées est de 7 avec un intervalle de 14%. Cependant, en fonction de cet intervalle, nous pouvons déterminer les classes de constance suivantes :

- I.  $0 \leq FO\% \leq 14\%$ , l'espèce est rare,
- II.  $14\% < FO\% \leq 28\%$ , l'espèce est peu fréquente,
- III.  $28\% < FO\% \leq 42\%$ , l'espèce est accidentelle,
- IV.  $42\% < FO\% \leq 56\%$ , l'espèce est accessoire,
- V.  $56\% < FO\% \leq 70\%$ , l'espèce est régulière,
- VI.  $70\% < FO\% \leq 84\%$ , l'espèce est constante,
- VII.  $84\% < FO\% \leq 100\%$ , l'espèce est omniprésente.

Dans les stations d'étude, les fréquences d'occurrence sont variables. La majorité des espèces appartient à la classe rare (60 espèces en moyenne pour chaque station). Les autres classes sont peu représentées (pas plus de 6 espèces /classe). Tandis que la classe omniprésente est complètement absente.

#### III.3.2.3.4. Dominance de Berger-Parker

Les résultats de la dominance de Berger-Parker (BP) est mentionnée dans le tableau 17.

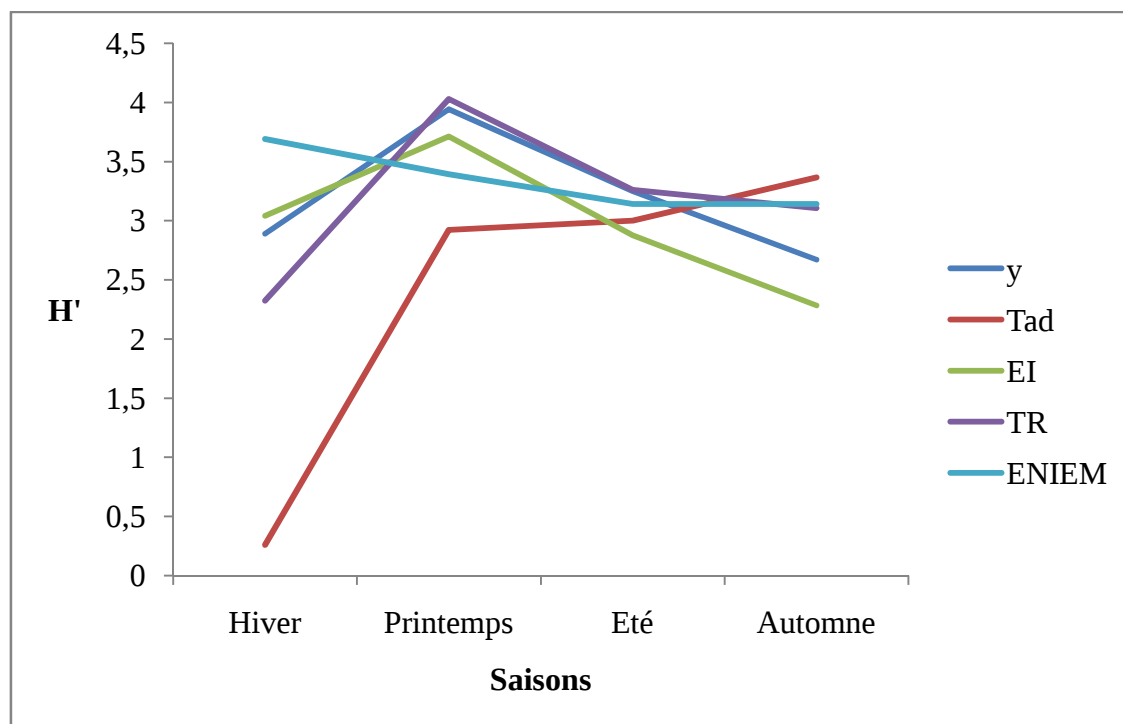
**Tableau 17:** Dominance de Berger-Parker de la pédofaune des stations d'étude.

| Stations             | Y.   | Tad. | EI.  | T R. | ENIEM. |
|----------------------|------|------|------|------|--------|
| <b>Dominance BP.</b> | 0.24 | 0.32 | 0.34 | 0.24 | 0.42   |

La dominance de Berger-Parker (BP) est exprimée par la dominance des Fourmis surtout *Messor structor* avec un effectif de 343 individus dans le sol de l'ENIEM. et la dominance des Gastéropodes représentés par *Cernuella virgata* avec 199 individus dans le sol de l'EI. Les Acariens dominant notamment l'espèce *Oppiella nova* avec 87 individus dans les stations Tizi-Rached et Yakouren.

### III.3.2.3.5. 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. Les résultats obtenus sont traduits dans la figure 38.

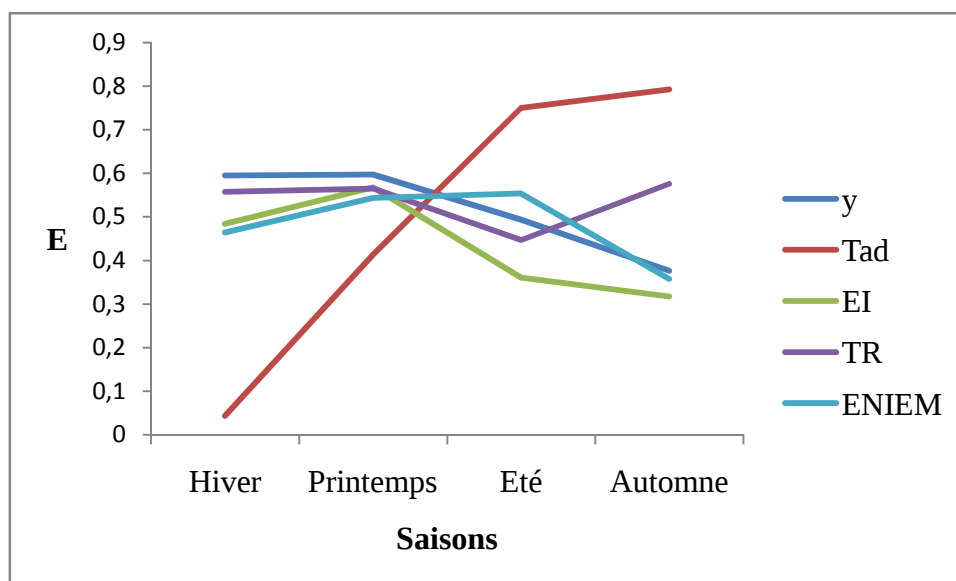


**Figure 38 :** Indice de diversité de Shannon-Weaver des stations étudiées.

Il ressort de la figure 38 qu'au niveau des stations d'étude, l'indice de Shannon ( $H'$ ) est très variable avec un maximum de 4.03 bits dans le sol de Tizi Rached et un minimum de 0.26 bits dans le sol de Taddart. Les valeurs les plus élevées sont enregistrées dans le sol de l'ENIEM.(sol pollué) suite à la grande richesse du rejet de cette entreprise industrielle en MO. Par contre dans le reste des stations, la diversité est moyenne avec un indice de Shannon plus important durant le Printemps.

### III.3.2.3.6. Equitabilité

L'équitabilité ou l'indice de diversité relative est calculé pour les stations étudiées et les résultats sont représentés dans la figure 39. 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 39 :** Equitabilité du sol des stations d'étude.

Selon la figure 39, nous constatons que l'équitabilité est inférieure à 1 dans toutes les stations étudiées. C'est au niveau de la station Taddart que les valeurs limites sont enregistrées ( $0.04 \leq E \leq 0.80$ ), la plus faible notée en Hiver et la plus forte en Automne. Cet indice renseigne sur l'existence d'espèces dominantes et des peuplements en déséquilibre ( $E \leq 0.04$ ).

### III.3.3. Relation plante-sol-invertébrés

La faune et la flore sont interdépendantes. La faune est essentielle à la survie de nombreuses espèces de plantes, certaines d'entre elles étant entièrement dépendantes d'un unique insecte pour leur pollinisation et donc leur reproduction éventuelle (JRC, 2010).

L'étude des relations faune-flore est extrêmement complexe du fait qu'elle prend en compte l'ensemble des organismes vivants dans le milieu en se basant sur des connaissances de base sur la végétation, la biologie des espèces, les niches écologiques, les régimes alimentaires, la reproduction et la dynamique des populations. La réalisation d'une telle étude passe en premier lieu, par un inventaire des espèces animales et végétales présentes dans les stations étudiées, puis une synthèse des connaissances pour chaque espèce pour rechercher les relations (Figure 40).



**Figure 40 :** relation pédofaune flore (ORIGINELLE, 2015).

Selon l'inventaire réalisé (Figure 40), la faune recensée montre différentes relations avec les espèces végétales qui jouent le rôle de support et d'abri pour une meilleure survie et surtout atteindre l'équilibre (consommation, pollinisation, dispersion, bio-monitoring, ...). Les juvéniles des escargots surtout *Helix aspersa* et *Cochlicella barbara*, au niveau des stations EI. et ENIEM. ont une préférence intense à certaines espèces végétales tel que *Malva sylvestris*, *Convolvulus altaeoides*, *Ficus carica*, *Inula viscosa*...

### III.3.4. Analyse de la variance (ANOVA)

L'analyse de la variance pour les variables : nombre d'individus, la pollution et le climat a révélé les résultats présentés dans les tableaux 18 et 19.

**Tableau 18:** Résultats de l'analyse de la variance pour les stations d'étude.

| Facteurs | Niveau     | Moyenne±<br>écart-type | Analyse de la variance (ANOVA) |     |                   |        |            |       |        |
|----------|------------|------------------------|--------------------------------|-----|-------------------|--------|------------|-------|--------|
|          |            |                        | S.C.E                          | DDL | C.M. <sub>f</sub> | Test F | Prob.      | ET.   | CV.    |
| Espèces  | Sp<br>vég. | 17.6                   | 883.6                          | 1   | 883.6             | 78.195 | 0.00004*** |       |        |
|          | Sp ani.    | 36.4                   | 90.4                           | 8   | 11.3              |        |            | 3.362 | 12.45% |

S.C.E : Somme des carrés et des écarts ; C.M.<sub>f</sub> : Carré moyen factoriel

DDL : Degré de liberté ;

F : Fonction calculé de Fisher-Snedecor

Proba. : Probabilité ;

\*\*\* : Effet hautement significatif au seuil 5%.

**Tableau 19:** Résultats du test de NEWMAN-KEULS pour le facteur pollution au niveau des stations d'étude.

| Espèces | LIBELLES | MOYENNES | GROUPES<br>HOMOGENES |   | SEUIL |
|---------|----------|----------|----------------------|---|-------|
| 2.0     | Sp. ani. | 36.4     | A                    |   | 5%    |
| 1.0     | Sp. vég. | 17.6     |                      | B |       |

A partir du tableau 19 nous constatons que  $P = 0,00004 < 0,001$  ce qui signifie qu'elle hautement significative, ce qui traduit la variation des espèces animales en fonction des espèces végétales qui commandent leur répartition.

Le test de NEWMAN et KEULS au seuil de 5% revele deux groupes homogènes A et B. Le groupe A représente la variabilité des espèces animales exprimée par une moyenne de 36.4 cependant que le groupe B représente la variabilité des espèces végétales avec une moyenne de 17.6.

### III.4. Discussion

La protection de la biodiversité et de l'environnement est l'une des préoccupations majeures de l'humanité, elle est même devenue un leitmotiv durant ces dernières années eu égard au réchauffement de la planète. Cela ne peut se faire qu'avec l'évaluation de la biodiversité, généralement, basée sur la structure et la composition des communautés, car la biodiversité est un concept multidimensionnel (PURVIS & HECTOR, 2000) qui reflète la complexité biologique des communautés (HEDDE et *al.*, 2013 ).

L'inventaire et l'analyse floristiques de la végétation vasculaire naturelle d'un milieu sont essentiels pour connaître la composition globale des taxons existants c'est-à-dire la phytodiversité, la biogéographie des espèces recensées et l'écologie du milieu d'étude (HAMMADA et *al.*, 2004).

Mesurer la biodiversité, telle qu'elle a été définie à l'origine par WILSSON (1988), signifie « compter l'ensemble des espèces présentes en un endroit donné ». La végétation est donc utilisée comme le reflet fidèle des conditions stationnelles, elle en est l'expression synthétique selon BEGUIN et *al.* (1979) et RAMEAU (1987).

DAHMANI (1996) signale que l'analyse de la richesse floristique des différents groupements, de leurs caractères biologiques et chronologiques permettrait de mettre en évidence leur originalité floristique, leur état de conservation et, par conséquent, leur valeur patrimoniale.

La diversité floristique de l'Algérie est représentée à partir de la sub-division biogéographique de QUEZEL & SANTA (1962 -1963), et de la carte internationale du tapis végétal de BARREY et *al.* (1974). Sur le plan biocénotique, les relevés (tableaux II et III) disposés suivant un gradient altitudinal décroissant illustrent les aspects biologiques et structuraux de la mosaïque des communautés végétales présentes dans les stations et leurs liens dynamiques.

Selon CLUSEAU (1999) la diversité de la pédofaune a un rôle majeur dans le fonctionnement des sols et des écosystèmes surtout la dégradation et le recyclage des matières organiques. Cela est bien confirmé par LAVELLE (1997) qui a montré que les différents groupes d'organismes du sol influencent fortement les propriétés et les processus du sol.

En 2001, la FAO a bien déterminée les fonctions essentielles remplies par les organismes du sol : conservation de la structure du sol, régulation des processus hydrologiques, séquestration du carbone et échanges gazeux, détoxification du sol, recyclage des nutriments décomposition de la matière organique, limitation des parasites et maladies, contrôle de la croissance végétale, relations symbiotiques avec les plantes et leurs racines, sources d'aliments et de médicaments...

Les résultats d'échantillonnage des cinq stations étudiées révèlent une biodiversité animale de 69 espèces appartenant à 7 classes de pédofaune qui se répartissent en 15 ordres et 39 familles avec la dominance de la classe des Insectes qui renferme 34 espèces. Au sein de cette classe, l'ordre des Coléoptères occupe le premier rang avec 6 espèces. L'inventaire de la flore, à ce niveau, reflète une diversité biologique représentée par 65 espèces végétales appartenant à 5 classes (Magnoliopsida, Liliopsida, Pteridophyta, Monocotylédones et Equisetopsida) qui se répartissent sur 25 ordres et 27 familles. La classe des Magnoliopsida est la mieux représentée notamment l'ordre des Astérales qui occupe le premier rang avec 15 espèces. D'après MYERS et *al.* (2000), les zones de climat méditerranéen sont considérées comme des *hotspots* (points chauds) de biodiversité qui se caractérisent, à la fois, par des niveaux exceptionnels d'endémisme végétal et par des niveaux critiques de pertes d'habitats. Ces résultats confirment ceux obtenus par QUEZEL (1978, 1985) qui a travaillé sur la flore de la région méditerranéenne, DAGET et *al.*, (1977) et DAGET (1980) qui ont traité le statut thérophytique des pelouses méditerranéennes du Languedoc, ainsi que PIGNATI (1978) qui s'est penché sur les tendances évolutives de la flore et de la végétation méditerranéennes.

*Les Magnoliopsida* sont le plus souvent appelées les dicotylédones, des plantes vertes très importantes en botanique. Toutes ses espèces sont des plantes à fleurs, certaines sont des herbacées mais certaines ligneuses existent, comme les magnolias (MOORE et *al.*, 2007).

Les espèces végétales recensées sont plus abondantes en moyennes altitudes suite aux conditions climatiques favorables avec une pluviométrie de 336.4mm/an et une température moyenne annuelle de l'ordre de 15.4°C ainsi que la texture du sol, limono-argileuse, qui garde une certaine humidité du substrat et une bonne richesse en matière organique. Cela confirme que le climat joue un rôle essentiel dans la détermination de la répartition des plantes qui se répartissent d'une manière inéquitable selon la différence d'altitude. Ce rôle est particulièrement souligné par EMBERGER (1930, 1971) à propos de la végétation méditerranéenne.

BARBERO et *al.* (1982) ont caractérisé bioclimatiquement la végétation forestière sur le pourtour méditerranéen. Ils abordent la notion d'étage de végétation en tenant compte des

facteurs climatiques majeurs et en particulier la température moyenne annuelle qui permet de traduire par ses variations les successions globales altitudinales et latitudinales de la végétation. De ce fait, la pluie et la température sont la charnière du climat BARY et *al* (1979) qui définit le bioclimat méditerranéen dont fait partie la Kabylie (QUEZEL & MEDAIL, 2003).

DJEBAILI (1978) définit la pluviosité comme étant le facteur primordial qui permet de déterminer le type de climat. En effet, celle-ci conditionne le maintien et la répartition du tapis végétal d'une part, et la dégradation du milieu naturel par le phénomène d'érosion d'autre part ; notamment, au début du printemps. Pour BELGAT (2001), l'intensité des pluies et leurs fréquences jouent un rôle prépondérant sur :

- La stabilité ou l'instabilité des sols, combinés aux facteurs physiques du sol, elles peuvent favoriser ou défavoriser la stabilité structurale du sol.
- Elles agissent sur la solubilité et la migration des nutriments dans le sol.
- En conséquence elles participent à la répartition spatiale des espèces.
- Elles accélèrent ou bloquent l'évolution des matériaux organiques et minéraux, et elles interviennent dans la formation des sols.

La température est le second facteur constitutif du climat, influant le développement de la végétation à cause de l'aridité (GRECO, 1966) où l'amplitude thermique a une influence certaine et une action directe sur le cycle biologique du couvert végétal. Sa valeur est écologiquement importante à connaître puisqu'elle présente la limite thermique extrême à laquelle chaque année les végétaux doivent résister (DJEBAILI, 1984).

Les vents estivaux de terre, caractérisés par une grande violence et un fort pouvoir desséchant, tel que le sirocco au Maghreb, courant chaud, toujours sec qui intervient de 15 à 22 jours environ surtout en été avec un maximum de fréquence au mois de juillet selon DJEBAILI (1984), font tomber l'humidité atmosphérique à moins de 30 % et contribuent à propager les incendies par accélération de l'évapotranspiration qui accentue l'aptitude des végétaux à s'enflammer (QUEZEL & MEDAIL, 2003). De ce fait, GODRON (1971) confirme que la "sécheresse estivale" est le premier caractère discriminant de la méditerranéité.

Au dessus de 600-700m, la neige apparaît presque régulièrement chaque hiver où elle fond très rapidement. Ce n'est que sur les sommets au-delà de 1000 m que l'enneigement peut durer (HADJADJ-AOUL, 1995), c'est le cas de notre région d'étude en grande Kabylie.

Une combinaison des données pluviométriques et des températures, est très intéressante pour caractériser l'influence du climat de la région. D'après les études de LIONELLO et *al.* (2006) sur les changements globaux, ont montré que la région méditerranéenne pouvait être

soumise à des variations climatiques complexes. D'après VELEZ (1999), les conditions climatiques ont été particulièrement défavorables au cours des années 80, caractérisées par des sécheresses, extrêmement graves, qui ont fortement affecté l'ensemble des pays du bassin méditerranéen, en particulier le Maroc, l'Algérie, le Portugal, l'Espagne et la France. BENABADJI et BOUAZZA (2000) soulignent que les effets de l'été xérothère sont atténués par l'humidité relative notamment lorsqu'un couvert forestier ou préforestier existe. L'accroissement des processus anthropiques (pastoralisme et agriculture) constituent avec les variations climatiques les facteurs de dégradation du sol et de la végétation dans la région étudiée. Le HOUEROU (1971) souligne à ce sujet que les conséquences du climat sont à l'origine de l'un des mécanismes essentiels de la dégradation de la végétation méditerranéenne en général.

Selon LOISEL (1978), la végétation est le résultat de l'intégration des facteurs floristiques, climatiques, géologiques, historiques, géomorphologiques et édaphiques. D'un point de vue purement biogéographique la flore méditerranéenne actuelle correspond à divers ensembles hétérogènes liés à la paléo-histoire de la région déclarent QUEZEL en 1978 et 1985, QUEZEL et *al.* en 1980.

La biodiversité au niveau d'un paysage est donc la résultante des processus de perturbation, de succession et de l'organisation spatiale des gradients environnementaux qui en découle (FROISE, 1999). D'après COIFFAIT (1960), les sols favorables au développement des Coléoptères endogés seraient des sols ayant une teneur élevée en éléments fins susceptibles d'y maintenir une humidité favorable, c'est le cas des sols étudiés qui sont de texture sablo-limoneuse selon les analyses pédologiques effectuées.

Nos résultats confirment ceux obtenus par GIGOT et BODOT (1973) qui ont travaillé sur les invertébrés dans une garrigue de *Quercus coccefera*, où ils remarqué la dominance des Insectes. BOUSSAD et DOUMANDJI (2004), ont mentionné que ce sont les Insectes qui occupent le premier rang, à Oued Smar confirment que ce sont les insectes qui prédominent.

De nombreux autres auteurs ont signalé la prédominance des insectes dans le sol à savoir BOUKAROUÏ et *al.*, (2007), dans une étude sur l'entomofaune du pistachier fruitier à Beni Tamou (Blida), MIMOUN et DOUMANDJI (2008), dans la forêt de Beni Ghobri à Yakouren (Tizi-Ouzou) et FERNANE et *al.*, (2010), dans un milieu forestier de chêne vert près de Larbâa Nath Irathen (Tizi-Ouzou), ainsi que BESAADA et DOUMANDJI (2011) dans une forêt de pin d'Alep incendiée à Aldjiba du côté de Cherrhell (Tipaza).

Les organismes de la pédofaune (microflore et microfaune, mésofaune et macrofaune) jouent des rôles fondamentaux dans le fonctionnement des écosystèmes (LAVELLE & SPAIN, 2001). Selon BACHELIER (1978) et GOBAT *et al.* (2003), la distribution de la pédofaune dépend de la nature physico-chimique et de la profondeur du sol, de la variation des conditions climatiques du milieu, du rythme saisonnier et du régime alimentaire de la population animale considérée. Cependant, les traits fonctionnels des espèces se rapportent aux caractéristiques des organismes qui affectent leur aptitude individuelle et régissent leurs impacts et leurs réponses à leur environnement (VIOLE *et al.*, 2007). Cela est bien confirmé par LEMBROUK & SADOUDI en 2016, qui ont étudiées la diversité de la pédofaune sous l'effet de la profondeur, le rythme saisonnier et les conditions climatiques au niveau de la vallée du Sébaou (Algérie), cependant dans cette étude l'effet du rythme saisonnier est très apparent. En contre partie, la faune du sol a une participation active dans l'organisation physicochimique des constituants du sol et au maintien des propriétés édaphiques, ce qui a été démontrée par plusieurs travaux, citons COINEAU (1974), BACHELIER (1978), ARPIN & *al.*(1980), DEPRINCE (2003) et PONGE (2000, 2004).

Multiplés sont encore les autres facteurs abiotiques qui peuvent influencer la distribution des organismes de la faune du sol, tels que la texture du sol, le degré d'acidité ou pH, la nature chimique des litières, la salinité, le pouvoir osmotique des solutions, la nature des argiles, la lumière et même les champs électriques (BACHELIER, 1978). Ces facteurs abiotiques ont été analysés dans les stations d'étude pour obtenir une texture sablo-limoneuse, un pH neutre, une conductivité électrique et un taux de calcaire faible ainsi qu'une quantité variable en matières organique allant du très faible au niveau de la station Tizi-Rached vers le taux élevé au niveau des stations Yakouren, ce qui fait varier la qualité structurale du sol selon sa teneur en matière organique et aide au réchauffement des sols froids au printemps grâce à sa couleur sombre (noir ou brun foncé) (Joint Research Centre, 2010).

Les groupes faunistiques sont répartis en quatre selon les quatre saisons de l'année : Groupe 1 (Annélides+Collembolés durant la saison hivernale humide), Groupe 2 (Arachnides+Gastéropodes en pleine saison favorable à la pullulation de la microfaune qui est le printemps), Groupe 3 (Crustacées et la saison estivale sèche) et le Groupe 4 qui relie les Insectes et les Myriapodes à l'automne) et en trois groupes selon les stations étudiées (figure 2) : Gastéropodes- l'Electro-Industries, Insectes- ENIEM. et Collembolés, Annélides, Arachnides, Myriapodes et Crustacées dans les stations Yakouren et Tizi Rached, en suivant les caractères climatiques, les

facteurs édaphiques et les métaux lourds quantifiés (figures 3,4 et 5). Ces groupes de faune dépendent de leur milieu de vie par la disponibilité de certains facteurs édaphiques principalement l'humidité, la structure, la matière organique et le pH du sol (PONGE, 2010) malgré que le printemps soit la période la plus propice à la pullulation de certaines espèces (CLUZEAU et *al.*, 1999).

L'ACP réalisée, repartit les stations d'études selon les caractères climatiques qui s'opposent (les stations Yakouren en haute et moyenne altitude corrélées aux précipitations et les stations EI., TR. et ENIEM. en basse altitude corrélées aux températures) tout en mettant en évidence l'influence des caractères édaphiques où les stations de l'ENIEM. et de Tizi-Rached sont celles qui renferment les quantités les plus faibles en MO. et de pH. Alors que la station Taddart est la plus riche en  $\text{CaCO}_3$ . Les stations d'altitude (Yakouren) se caractérisent par des précipitations abondantes pendant l'hiver et le printemps, ce qui fait d'elles un facteur important agissant sur les animaux et les végétaux le long de leurs stades de développement (ACHOURA et *al.*, 2010). Dans les écotones altitudinaux, les espèces poussent près de leurs limites de tolérance par rapport aux facteurs climatiques où se marquent des réponses de la part de la végétation par une évolution des limites et des superficies des formations forestières, augmentation de la biomasse et modification de la biodiversité (KORNER et *al.*, 1994 ; CORONA, 2007).

L'eau, élément vital pour la faune du sol, dont le rapport eau-sol-faune est déjà étudié par RAPOPORT et TSCHAPER en 1967, cependant BELFIELD (1967), dans un pâturage de l'Ouest-Africain, a trouvé une corrélation directe entre l'apport artificiel d'eau au sol et sa population de microarthropodes. Par contre, la température agit de plusieurs façons sur les insectes, en perturbant leur rythme de croissance, en modifiant leur vitesse de développement et en fin les tuant à partir de certaines limites, mais chaque espèce possède une température préférentielle pour son activité. La température du sol varie très peu en profondeur (PIERRE, 1958), mais ses variations déterminent des migrations verticales de la faune, c'est l'exemple des vers de terre qui ont une limite supérieure de température supportée fortement influencée par leur conditionnement, mais, quel que soit ce dernier, les vers ne peuvent cependant tolérer de trop fortes températures (BACHELIER, 1978).

Les stations d'étude révèlent des températures et des précipitations variables suivant le gradient d'altitude depuis la montagne de Yakouren jusqu'à la vallée du Sébaou. La forêt de Yakouren se caractérise par de fortes précipitations surtout en hiver (une moyenne annuelle de

1030 mm/an selon l'INRF d'AZAZGA) et des températures clémentes en été suite à son rapprochement de la mer ; contrairement aux stations de la basse altitude (EI., TR. et ENIEM.) qui se caractérisent par des précipitations moyennes et irrégulières d'une année à une autre (de 600 jusqu'à 900 mm/an) et des températures élevées surtout en été (jusqu'à 46°C) selon l'Office National de Météorologie de Tizi-Ouzou.

Les sols analysés révèlent une bonne teneur en matière organique (comme le montre les analyses pédologiques). Cette accumulation est un indice pratiquement certain d'un dépôt de polluant de n'importe quelle nature (PONGE, 2010). Selon MOUTHON (1980), un enrichissement modéré du milieu en matières organiques provoque, sans qu'il y ait diminution de la richesse spécifique, une augmentation remarquable de la densité de la plupart des espèces, mais la faune du sol est eurybiote (extrêmement sensible aux faibles variations de l'humidité, du pH et de la MO.).

Le pH des sols étudiés est neutre, il favorise la survie de la pédofaune (*Parisotoma notabilis*, *Oniscus asellus*, *Drosophila melanogaster*, *Apis mellifera*,...), mais 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, c'est le cas de certains Carabes (Coléoptères), étudiés par KUHNELT (1969), qui recherchent des sols acides de pH 3 à 5, alors que d'autres recherchent des milieux neutres ou alcalins de pH 6 à 8. MARCUZZI (1964), dans les sols d'Apulie (Sud de l'Italie), a mis en évidence statistiquement une relation étroite entre la distribution des Tenebrionidae et certaines caractéristiques physico-chimiques des sols.

A ces influences s'ajoute celles des métaux lourds quantifiés (le Zn, le Cr et le Pb sont corrélés positivement et s'opposent au Ni) dans les stations de l'ENIEM, l'EI et Tizi Rached. Les métaux sont classés par GOYER, (1991), en quatre catégories selon leur degré de toxicité dont les métaux les plus toxiques sont As, Be, Cd, Hg, **Cr**, **Pb**, **Ni** parmi lesquels nous avons répertorié les trois derniers; alors que le **Zn**, le **Cu** et le **Fe** sont classés comme étant des métaux essentiels à la vie (oligo-éléments) avec une toxicité potentielle. Les stations Yakouren sont loin de toute source de pollution industrielle et ne sont influencées par aucun métal, ce qui leur confère le statut de «station de référence». Par contre les autres stations sont plus au moins atteintes de la pollution qui est détectée à des teneurs inférieures aux seuils de toxicité aigue ou chronique d'après les résultats obtenus qui concordent avec les résultats de MARTINEZ ALDAYA et al. (2006); LORS et al. (2006); GARCIA et al. (2008) et KOBETICOVA et al. (2009) ; mais cela affecte la faune dans ces sols étudiés dans sa structure, sa diversité ainsi que sa

richesse spécifique suite au changement de la qualité du milieu environnant et la toxicité des métaux lourds dans les sols et leur non – biodégradabilité (BERKOUKI, 2011), ainsi que leur liaison à l'humus qui empêche leur dispersion dans l'écosystème.

D'une manière générale, les sols pollués se caractérisent par un appauvrissement de leurs réseaux trophiques, lié à la perte de la biodiversité avec un seuil de tolérance qui peut être défini pour chaque groupe d'organismes (PONGE, 2010). Ces dégradations peuvent influencer les processus écosystémiques directement via leurs effets physico-chimiques ou indirectement via leurs effets sur la biodiversité (DIAZ et al., 2007), ce qui constitue le facteur majeur des changements de la biodiversité en déterminant des modifications voir des disparitions d'espèces (SALA et al., 2000). De ce fait, la détermination des polluants grâce aux animaux du sol pourrait fournir une méthode pas cher pour le dépistage précoce des risques environnementaux (YEARDLEY et al., 1996 ; DA LUZ et al. , 2004; MARTINEZ ALDAYA et al., 2006) malgré que La pollution des sols peut avoir des effets très néfastes sur ces organismes du sol, réduisant à la fois leur abondance et leur diversité (Joint Research Centre, 2010).

Ces résultats sont complétés par d'autres AFC qui mettent en évidence les espèces dominantes dans chaque groupe d'affinité dont les stations de l'EI, Tizi Rached et l'ENIEM. présentent une affinité avec certaines espèces de Gastéropodes (*Cernuella virgata*, *Cernuella sp.*, *Tebba pisana*, *Cochlicella barbara*, *Rumina decollata* ) alors que la station Yakouren n'est reliée qu'avec une seule espèce de gastéropodes qui est *Helix aspersa maxima* qui est ubiquiste, qui cherche les endroits humides et sombres et n'aime pas être exposé au soleil et aux fortes chaleurs (CHEVALLIER, 1977).

Selon CORTET et al. (1999) les Gastéropodes sont des indicateurs biologiques de la pollution et cela est confirmé par DECAENS et al., (2006) qui les considère comme des bioindicateurs de la qualité des sols ou de la pollution. Ce sont aussi des bio-accumulateurs de métaux lourds et montrent une préférence aux sols calcaires et aux litières humides (BACHELIER, 1978) suite à leur dépendance de la présence de carbonates pour leur coquille (Joint Research Centre, 2010). Cette affinité serait le résultat de l'humidité élevée du milieu suite au rejet industriel et la disponibilité du calcaire (DUCHAUFOR, 1994) ainsi que l'adaptation et la résistance à la pollution industrielle par les métaux lourds en raison de leurs caractéristiques éco-physiologiques (GOBAT et al., 2010).

De ce fait, les Gastéropodes possèdent une véritable "stratégie" d'adaptation au milieu et le déroulement de leur cycle biologique est sous l'étroite dépendance des facteurs de l'environnement comme la température, les conditions trophiques..., et peut varier sensiblement d'une espèce à une autre. Cette plasticité adaptative permet d'avoir une productivité maximale dans des conditions données et, ainsi, de compenser, d'une année à l'autre, la faible productivité due, par exemple, à un hiver rigoureux. On peut souligner, en outre, les avantages sélectifs d'un cycle annuel chez les Gastéropodes dans lequel les adultes, qui disparaissent après la ponte, n'entrent pas en compétition avec la génération naissante (MOUTHON, 1980).

Dans ces stations se remarque une affinité avec certains insectes, c'est le cas de la station de l'ENIEM. qui se caractérise par la dominance des espèces: *Messor structor*, *Pheidole pallidula*, *Ocypus olens*. La station de l'EI. forme un noyau d'affinité avec les insectes *Culex pipiens*, *Lycaena phlaeas*, *Tettigonia viridissima*, *Tipula maxima*, *Phytomyza horticola*, *Empis livida*. La station de Tizi-Rached est caractérisée par la dominance des espèces *Pheidole pallidula*, *Halictus quadricinctus*, *Drosophila melanogaster*. Enfin, les stations de Yakouren se distinguent par la dominance des espèces *Cataglyphis bicolor*, *Gryllotalpa gryllotalpa*, *Agriphila geniculea* et *Phytomyza ilicis*. Ces résultats sont confirmés par la dominance de Berger-Parker (BP) qui est exprimée par la dominance des Fourmis surtout *Messor structor* avec un effectif de 343 individus dans le sol de l'ENIEM. et la dominance des Gastéropodes représentée par *Cernuella virgata* avec 199 individus dans le sol de l'EI. Les Acariens dominent avec *Oppiella nova* avec 87 individus aux stations Tizi-Rached et Yakouren cependant que la station Taddart est représentée qu'avec 75 individus. A cela s'ajoute la dominance de la classe des Magnoliopsida par l'ordre des Astérales dans les stations d'étude à l'exception de la station de référence Yakouren où prédomine l'ordre des Rosales et la station Tizi Rached où prédominent l'ordre des Porales. Ces résultats sont confirmés par l'indice de diversité relative qui 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.

Les fourmis sont de plus en plus reconnues comme des outils utiles pour les gestionnaires des terres pour surveiller les écosystèmes en raison de leur grande diversité (plus de 12 000 espèces) et leur domination en densité et en biomasse dans presque tous les habitats. Leur taxonomie est bien connue, et leur échantillonnage est généralement facile et peu onéreux (Joint Research Centre, 2010). Elles sont une véritable usine chimique qui permet une communication complexe et leur permet de se reconnaître à leur odeur grâce à des

substances qui sont sur leur cuticule. Mais cette cuticule piège aussi des polluants, ce qui les classent comme bio-indicateurs (LENOIR, 2015).

Les populations de carabidés sont considérées comme des bioindicateurs utilisés directement et indirectement pour détecter et mesurer la pollution de l'environnement (ERWIN et *al.*, 1979). MIGLIORINI et *al.*, (2004) a indiqué qu'une partie importante du plomb métallique provenant des pellets usés s'accumulait dans le prédateur *Ocypus olens*. Cela est une confirmation aux résultats de MAURER (1974) qui affirme que la présence ou l'absence de plomb dans une carcasse d'animal a été considérée comme un indicateur de pollution par les véhicules à moteur.

Les Diptères dont les mouches, moustiques, taons,... sont des animaux très résistants aux pollutions organiques, c'est le cas de *Culex pipiens* qui est connu pour sa reproduction dans les eaux avec des degrés divers de pollution (RAGHAVAN, 1961) et selon VIVIER (1968) et HASABALLAH (2017), cette espèce est un indicateur de la pollution par les métaux lourds suite à son adaptation. *Tipula maxima*, quant à elle, supporte la pollution (SCHULZ et LIESS, 2001).

Dans l'étude réalisée, la biodiversité recensée est affectée par la pollution industrielle générée par les potentialités industrielles de la région, à l'exception des stations de référence (Yakouren). La station de l'ENIEM. est la plus touchée le fait qu'elle subit une accumulation de tous les polluants des autres stations suivant le gradient de pollution à cause de sa position géographique en basse altitude dans la vallée du Sébaou, ce qui lui cause une modification des processus biologiques ainsi que la stabilité de ses écosystèmes (BALVANERA et *al.*, 2006) . De ce fait, La diminution de l'abondance de certains animaux peut influencer la pérennité de certaines espèces végétales d'où leur disparition ou la diminution de leur abondance par la dégradation des milieux qui a une influence sur la survie de certaines espèces végétales (ALEXANDRE, 1977) ; néanmoins la modification de l'abondance de certaines plantes peut influencer la pérennité de certaines espèces animales, c'est le cas des animaux typiquement forestiers liés à la pérennité de la forêt (MUELLENBERG et *al.*, 1993).

Le calcul de l'indice de diversité de Shannon met en évidence l'abondance relative des différents taxons. L'indice de Shannon ( $H'$ ) de la pédofaune est très variable avec un maximum de 4.03 bits dans le sol de Tizi Rached et un minimum de 0.26 bits dans le sol de Taddart. Les valeurs les plus élevées sont enregistrées dans le sol de l'ENIEM.(sol pollué) suite à la grande richesse du rejet de cette entreprise industrielle en MO. Par contre dans le reste des stations, la

diversité est moyenne avec un indice de Shannon plus important durant le Printemps. L'indice de Shannon ( $H'$ ) de la flore recensée est variable avec un maximum de 0.49 bits au niveau de la station Taddart et un minimum de 0.39 bits pour la station Yakouren. La richesse du sol de l'ENIEM en MO, qui est la première source des éléments nutritifs pour la végétation, lui permet une certaine diversité floristique poussée suite au rejet final de cette entreprise industrielle riche en métaux lourds qui sont considérés comme oligoéléments. De ce fait, la pédofaune contribue fortement à accélérer le processus de biodégradation des débits végétaux et une meilleure minéralisation de la litière (GHILGAROV, 1971; REISINGER & KILBERTUS, 1978; SEASTEDT, 1984; PERSSON, 1989; ERTLEN, 2009).

Par le jeu des interactions entre les organismes, le sol apparaît biologiquement plus ou moins « tamponné » et il est souvent impossible d'implanter un organisme nouveau dans celui-ci sans en modifier au préalable l'équilibre (changement de litière végétale, apport de compost ou de fumier, modifications physico-chimiques du milieu, mise en culture). KARG (1967) a montré que le retrait de la litière dans un sol de forêt rapprochait la faune de ce sol de celle des sols cultivés renfermant 2 à 4 fois moins d'espèces, certaines des espèces du sol de forêt devenant par contre beaucoup plus abondantes. Cela est bien exprimé dans l'ANOVA réalisée qui fait apparaître l'abondance de la pédofaune, dans le milieu étudié, qui cherchant les espèces de flore correspondante à ses besoins de survie.

# Conclusion

Le présent travail est le premier du genre concernant l'impact des rejets des entreprises industrielles sur la pédofaune et la flore selon un gradient altitudinal. Nous nous sommes basés sur l'effet de la pollution métallique générée par la zone industrielle d'Oued Aissi et d'Azazga. L'effet toxique du rejet final des deux potentialités industrielles de la région à savoir l'EI. et l'ENIEM. est bien mis en évidence sur la pédofaune ainsi que le degré des perturbations provoquées; ce qui engendre un environnement pollué dans ces stations comparées aux stations de haute altitude. Ceci est la résultante du développement de la société, en général, et de l'industrie en particulier au dépend de la nature de l'écosystème, ce qui se reflète sur la diversité floristique et faunistique.

La récolte des prélèvements est scindée en 69 espèces animales appartenant à 7 classes (Annélides, Arachnides, Collembolés, Crustacés, Gastéropodes, Insectes, Myriapodes) qui se répartissent sur 15 ordres et 39 familles. La classe des insectes est la mieux représentée par l'ordre des Coléoptères qui occupe le premier rang. A ceci s'additionnent 65 espèces végétales appartenant à 5 classes (Magnoliopsida, Liliopsida, Pteridophyta, Monocotylédones et Equisetopsida) qui se répartissent sur 25 ordres et 27 familles. La classe des Magnoliopsida est la mieux représentée dont l'ordre des Astérales occupe le premier rang.

Le sol des stations étudiées reflète des teneurs en métaux lourds qui augmente contrairement au gradient altitudinal depuis la station de référence Yakouren jusqu'à la station ENIEM. qui est une zone industrielle qui subit un effet d'accumulation de la plus part des métaux lourds dosés (Pb, Cr, Zn, Cu) suite à l'érosion et l'infiltration à cause de sa position en basse altitude en pleine vallée du Sébaou. Le sol de la station EI. reflète un taux de métaux lourds plus au moins élevé suite 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 des stations de neutralisation et celle d'épuration défaillantes sans porter aucune importance au décret exécutif n°06-141 du 19 avril 2006 qui stipule que toute installation doit être entretenue de manière à réduire les rejets dans la nature.

La pédofaune affectée procure une stratégie adaptative afin que ses espèces survivent dans un biotope inadéquat et assurent leur pérennité, ce qui les classe soit polluo-resistantes comme les espèces de Gastéropodes et les fourmis ou polluo-sensibles pour la plupart des espèces resencées. A cet égard, notre étude représente une contribution majeure au choix des

## *Conclusion et perspectives*

---

paramètres biologiques potentiellement utilisables comme indicateurs de la qualité des sols, notamment au besoin exprimé par les politiques et les organismes de développement, de créer des outils permettant d'estimer le niveau de perturbation et de contamination d'un milieu afin de pallier les conséquences d'un dysfonctionnement de l'écosystème sol. La faune édaphique prise dans son ensemble répond de façon très fine à l'état de l'environnement. La perte de son habitat et sa nourriture influence cette faune.

Pour cela, il est suggéré d'approfondir les recherches en s'intéressant aux Gastéropodes et aux insectes inventoriés comme bio-indicateurs de la pollution par les métaux lourds en quantifiant ces derniers dans leurs corps. Aussi, pour réhabiliter les sols pollués par les éléments trace métalliques, on suggère l'établissant des plantations d'agroénergie et aussi l'utilisation des argiles comme éponges accumulatrices de polluants métalliques.

Tous ces résultats sont la conséquence inévitable du tain du développement de la société, en général, et de l'industrie en particulier au dépend de la nature puisque le rôle de la biodiversité des sols et son importance, au sein des écosystèmes et pour le développement économique n'est que très peu perçu.

A ce niveau, il est souhaitable que ces deux potentialités industrielles cessent d'empoisonner l'environnement en prenant en considération leurs rejets par l'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.

Enfin, la sensibilisation et l'information est également un domaine très important ou il faudra incontestablement innover en ciblant les différents acteurs (décideurs politiques, opérateur économiques, et grand public).

Ces entreprises industrielles ont marqué des améliorations au cours des dernières années, c'est le cas de l'EI qui a pu exporter l'ensemble de ses déchets organiques persistants (POPS) grâce à une entreprise Belge et l'ENIEM qui à mis en place des systèmes de management « qualité et environnement » conformément au référentiels ISO 9001/2015 et ISO 14001/2015 en cours de certification. A cela s'ajoute les perspectives suivantes :

## *Conclusion et perspectives*

---

- L'incitation au déstockage pour l'élimination de la taxe de stockage (valeur de 7000000 DA) /an, par application du principe du pollueur-payeur, puisque l'équivalent financier de cette taxe couvre le traitement des déchets stockés.
- La mise en applications des conventions et des lois pour la protection de l'environnement déjà signées surtout celles concernant les déchets a cyanure, les huiles Askarells et le recyclage des déchets par les agences agréées avec des contrats conformes à la législation environnementale.
- Transformation des installations industrielles à zéro rejet par récupération et réutilisation des déchets pour la production. Cette perspective s'impose dans ce cas, du fait que ces installations industrielles sont au voisinage d'une nappe phréatique.

# Références bibliographiques

## Références Bibliographiques

---

- A.F.E.E.(Association Française pour l'Etude des Eaux)-Synthèse bibliographique effectuée avec le concours du Bureau National de l'Information Scientifique et Technique (B.N.I.S.T.): les micropolluants minéraux dans les eaux superficielles continentales, rapport n°1: le mercure (1975) 103p, rapport n°2: le plomb, l'étain (1976) 132 p, rapport n°3: le zinc, le cadmium (1978) 118 p, rapport n° 6 : le chrome, le cuivre, le nickel (1979) 198p.
- Académie Française des sciences, 1995 : biodiversité et environnement. Rapport de l'Académie des sciences n°33, Lavoisier, Paris, 88p.
- ACHOUR A, BEHAMRA M., 2010 : Aperçu sur la faune arthropodologique des palmeraies d'El-Kantara. Courier du Savoir 10 : 93-101.
- BISPO A., GRAND C. et GALOIS L., 2009 : Le programme ADEME (Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie), "Bioindicateurs de qualité des sols" : Vers le développement et la validation d'indicateurs biologiques pour la protection des sols ; 20, Avenue du Grésillé BP 90406 49004 Angers Cedex 01, France ; Reçu: août 2009; Accepté: septembre 2009 Étude et Gestion des Sols, Volume 16, 3/4: 145-158.
- ALEXANDRE, D.Y., (1977) : Etude du rôle des céphalophes forestiers dans la dissémination de *Solanum verbascifolium* dans l'ouest ivoirien, ORSTOM Adiopodoumé, Côte d'Ivoire.
- ANDRE H M, DUCARME X, and LEBRUN P., 2002: Soil biodiversity: myth, reality or conning. *Oikos* 96: 3-24.
- ANDRE H. et MAES E., 2006 : "La fertilité et la biodiversité dans les sols (partie biodiversité)". In CEEW, 2007 : Rapport analytique sur l'état de l'environnement wallon 2006-2007, Ministère de la Région wallonne, Direction Générale des Ressources naturelles et de l'Environnement, Namur, pp 464-466.
- APG III, 2009 : l'Angiosperms Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants, classification par approche phylogénétique III (la troisième version de classification botanique des angiospermes) *Botanical Journal of the Linnean Society*, 161 : 105-121.
- APG IV, 2016 : complément de l'approche phylogénétique III.

## Références Bibliographiques

---

- ARPIN P., KILBERTUS G., PONGE J.-F. & VANNIER G., 1980 : Importance de la microflore et de la microfaune en milieu forestier. *Actualités d'écologie forestière* : sol, flore, faune, pp 87-150.
- ARPIN, P., PONGE, J. F., DABIN, B., & MORI, A. (1984). Utilisation des nématodes Mononchida et des collemboles pour caractériser des phénomènes pédobiologiques. *Revue d'Écologie et de Biologie du Sol*, 21(2), 243-268.
- ASH N., et FAZEL A., 2007 : « La biodiversité », PNUE, *Global Environment Outlook (GEO-4, Avenir de l'environnement mondial)*, pp 157-192.
- Audit environnementale de l'entreprise Electro-Industries, Zone industrielle de Azazga, Wilaya de Tizi Ouzou (EI), 2016, réalisée par le centre d'étude et de gestion de projets, Hydra, Alger.
- Audit environnementale de l'entreprise Entreprise Nationale de l'Electro-Menagers, Zone industrielle d'Oued Aissi, Wilaya de Tizi Ouzou (ENIEM), 2016, réalisée par le centre d'étude et de gestion de projets, Hydra, Alger.
- BACHELIER G., 1978 : La faune des sols ; son écologie et son action. Edition ORSTOM, 391p.
- BACHELIER G., 1979. La faune du sol, son écologie et son action, IDT n° 38. ORSTOM, Paris, 391 pp.
- BAGNOULS F., GAUSSEN H., 1957 : Les climats biologiques et leurs classifications. *Ann. Geogr.*, 66 (355), pp 193-220.
- BARBAULT R., 1997 : *Biodiversité, Introduction à la biologie de la conservation*. Les Fondamentaux, Hachette, Paris.
- BARBERO M., LOISEL R. & QUEZEL P., 1982 : Caractérisation bioclimatique des étages de végétation forestière sur le pourtour méditerranéen. Aspect méthodologique posé par la zonation. *Coll. Int. Ecol. Haute altitude*. 24. pp 191-202.
- BARLOW J., GARETH D. LENNOX, FERREIRA J., BERENGUER E., ALEXANDER C. LEES, NALLY R., THOMSON J., SILVIO FROSINI DE BARROS FERRAZ, JULIO LOUZADA, HUGOV., FONSECA OLIVEIRA, LUKE PARRY, RICARDO RIBEIRO DE CASTRO SOLAR, IMA C. G. VIEIRA, ARAGÃO L., BEGOTTI R., BRAGA R., CARDOSO T., RAIMUNDO COSME DE OLIVEIRA JR, CARLOS M. SOUZA

## Références Bibliographiques

---

- JR, NARGILA G. MOURA, SAMIA SERRA NUNES, JOÃO VICTOR SIQUEIRA, RENATA PARDINI, JULIANA M. SILVEIRA, FERNANDO Z. VAZ-DE-MELLO, RUAN CARLO STULPEN VEIGA, ADRIANO VENTURIERI & GARDNER T., 2016 : « Anthropogenic disturbance in tropical forests can double biodiversity loss from deforestation », *Nature*, n° 535, pp. 144-147.
- BARRO A., 2010 : L'urbanisation non maîtrisée et le risque industriel : cas de la centrale électrique de Kounoune. École Nationale d'Économie Appliquée (ENEA), Dakar, Sénégal, 97 p.
  - BARRY J-P., CELLES J-C. & FAUREL L., 1974 : Carte internationale du tapis végétal. Ech: 1/1000000. Alger. 1 carte.
  - BARY-LENGER A., EVRARD R. & BATHY P., 1979 - La forêt. Vaillant Carmine S. Imprimeur. Liège. 611 p.
  - BEGUIN C., GEHU J-M. & HEGG O., 1979 : La symphytosociologie : une approche nouvelle des paysages végétaux. Doc. Phytos. N.S. 4. pp 49-68. Lille.
  - BELFIELD W., 1967: The effects of overheadwatering on the meiofauna in a West African Pasture. In d'rogress in Soil Bwlogy~N, orth-Holland Publ. Comp. (Amsterdam) : 192-210.
  - BELGAT S., 2001 : Le littoral Algérien : Climatologie, géopédologie, syntaxonomie, édaphologie et relation sol-végétation. Thèse. Doct. Sci. Agr. I.N.A. El Harrach. 261 p.
  - BENABADJI N. & BOUAZZA M., 2000 : Contribution à une étude bioclimatique de la steppe à *Arthemisia herba alba* Asso. (Algérie occidentale). Cahier Sécheresse. II(2). Pp 117-123.
  - BENNOUNA T., 1990 : Bioaccumulation des métaux lourds chez les invertébrés dulçaquicoles, effets histopathologiques et moyens de défense développés par un poisson d'eau douce : le Gardon (*Rutilus rutilus*), Rapport de stage de DEA. De toxicologie de l'environnement de l'université de Metz, 40p.
  - BENSAAIDA F. et DOUMANDJI S., 2011 : inventaire des arthropodes dans la région de Cherrhell (Tipaza), saiminaire international sur la protection des végétaux, 18-21avril 2011, For Ecole Nati. Sup Agro. El Harrach, Dép. Zool. Agro, p 182.

## Références Bibliographiques

---

- BERKOUKI R., 2011 : Pollution du sol agricole par les métaux lourds. Editions universitaires européennes, p1.
- BETTS M., WOLF C., RIPPLE J., PHALAN B., MILLERS K., DUARTE A., BUTCHART S. et LEVI T., 2017, « Global forest loss disproportionately erodes biodiversity in intact landscapes », *Nature*, n° 547.
- BIGOT I. et BODOT P., 1973 : Contribution à l'étude biocénotique de la garigue à *Quercus coccefera*- composition biotique du peuplement des invertébrés, vie et milieu, vol 23, Fasc. 2 (Sér. C) : 229-249.
- BLONDEL J., 1969 : Synécologie des passereaux résidents et migrants dans le midi méditerranéen français. Thèse de doctorat. Sc. C.R.D.P. Marseille, 240p.
- BŒUF G, 2016 : La biodiversité dans l'océan, planète et vie, Ressources en sciences de la vie pour les enseignants, ENS, EDUSCOL.
- BONIN G., TATONI T. 1990 – Réflexions sur l'apport de l'analyse factorielle des correspondances dans l'étude des communautés végétales et leur environnement. *Ecologia Mediterranea*, 16 : 403-414.
- BONNEFOY, M ., 2007 : Blé dur : implantation et choix des variétés. Edi. Tec&Doc, 234p.
- BOUAZZA M., 1991 : Etude phytoécologique de la steppe à *Stipa tenacissima* L. au sud de Sebdou (Oranie, Algérie). Thèse doct. Univ. Aix-Marseille III. 119 p.
- BOUAZZA M., 1995 : Etude phytoécologique des steppes à *Stipa tenacissima* L. et à *Lygeum spartum* L. au Sud de Sebdou (Oranie, Algérie). Thèse. Doct. ès-Sci. Univ. Tlemcen.153 p.
- BOUKAROUI N., DOUMANDJI S. Et CHEBOUTI-MEZIOU N., 2007 : l'entomofaune du pistachier fruitier (*Pistachia vera* linné) dans la région de Blida, Journées Inter. Zool. Agri. for 8-10 avril 2007, Dép. zool. Agro. For Inst. Nati. Agro. El Harrach, p. 203.
- BOUKLI-HACENE S., 2012 : la bioécologie des coléoptères (Arthropodes-Insectes) du marais salé de l'embouchure de la Tafna (Tlemcen), Thèse de doctorat 142p, Université de Tlemcen.
- BOUSQUET T., 2014 : Introduction à la Botanique, Antenne de Basse-Normandie, conservatoire botanique national de BREST.

## Références Bibliographiques

---

- BOUSSAD F. et DOUMANDJI S., 2004 : La diversité faunistique dans une parcelle de *Vicia faba* (Fabacées) à l'institut technique des grandes cultures d'Oued smar, journée protec. Vég. 15 mars 2004, Dép. Zool. Agro for Inst. Nati. Gro. El Harrach, p. 19.
- BOUSSAD F., 2006. Relations invertébrés fève (*Vicia.faba L.*) comportement d'Aphis *Fabae Scopoli* sur quatre variétés de fève dans la banlieue d'El-Harrach. Thèse Magister. Agro. Inst. Nat. Agro. El-Harrach, 179 p.
- BUGGE CH., 1976 : La pollution industrielle, problèmes juridiques et administratifs. Edition P.U.F., 257p.
- CADY V. LE QUERE, TERCE M., CRUIZIAT P., 1998 : Opération Diatomée Collection Okisé, Editions Quae, pp 33.
- CALVET R., 2013 : Le sol, Editions France Agricole, 2eme Edition, Paris, P XXVII.
- CE, 2006 : la Commission Européenne pour la protection des sols.
- CHEVALLIER H., 1977 : La variabilité de l'Escargot Petit-Gris Hélix aspersa Miiller, bulletin du muséum national d'histoire naturelle 3<sup>e</sup> série, n° 448, mars-avril 1977, Zoologie 311 : 425-442.
- CHIFFOLEAU J., CLAISSE D., COSSA D., MICHEL P., FICHT A., GONZALEZ J., GUYOT T., MIRAMAND P., OGER C., PETIT F., 2001 : La contamination métallique (Programme scientifique Seine-Aval, Programme Seine-Aval), Volume 8, Editions Quae, p03, p32.
- CLUZEAU D., CANNAVACCIUOLO M. et PERES G., 1999 : Indicateurs microbiologiques des sols : les lombriciens – Méthode d'échantillonnage dans les agrosystèmes en zone tempérée. In 12ème Colloque Viticole et OEnologique Ed. ITV Paris : 25-35.
- COIFFAIT H., 1960 : Les Coléoptères du sol. Act. Sci. Ind., no 1260, Hermann éd. (Paris), 204 p.
- 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.
- CORONA C., 2007 : Evolution biostatique du paysage, géodynamique nivéo-périglaciaire et fluctuations climatiques récentes dans la haute vallée de la Romanche (Alpes du Nord, France). Thèse de l'université Joseph Fourier, Grenoble-France. Dissertation/Thesis. 758 p.

## Références Bibliographiques

---

- CORTET J., GOMOT-DE VAUFLERY A., POINSOT-BALAGUER N., GOMOT L., TEXIER C., CLUZEAU D., 1999 : The use of invertebrate soil fauna in monitoring pollutant effects. *European Journal of Soil Biology*. Vol. 35, Issue 3: 115-134.
- DA LUZ, T.N., RIBEIRO, R., SOUSA, J.P., 2004: Avoidance tests with Collembola and earthworms as early screening tools for site-specific assessment of polluted soils. *Environmental Toxicology and Chemistry* 23: 2188-2193.
- DAGET PH., 1980 : Sur les types biologiques botaniques en tant que stratégie adaptative, cas des thérophytes. In « Recherches d'écologie théorique ». Les stratégies adaptatives. pp 89-114.
- DAGET PH., POISSONET J. et POISSONET P., 1977 : Le statut thérophytique des pelouses méditerranéennes du Languedoc. *Colloques Phytosociologiques*, pp 80-99.
- DAGNELIE P., 1975 : Analyse statistique `a plusieurs variables, Gembloux, Presses agronomiques de Gembloux, 362 p.
- DAHMANI M., 1996 : Diversité biologique et phytogéographique des chênaies vertes d'Algérie. *Ecologia Mediteranea* XXII. (3/4). pp 19-38.
- DAHMANI M., 1996 : Diversité biologique et phytogéographique des chênaies vertes d'Algérie. *Ecologia Mediteranea* XXII. (3/4). pp 19-38.
- DAJOZ R., 1971 : précis d'écologie, Edition Dunod, Paris, 434 p.
- DAJOZ R., 1985 : Dynamique des populations. Edition Dunod, Paris, pp 134-155.
- DAJOZ R., 2000 : Précis d'écologie. Ed. DUNOD; Paris : 112-442.
- DAJOZ R., 2006 : Précis d'écologie -8<sup>eme</sup> édition- Sciences sup, édition Dunod, 640 p.
- DAVIS J., MACKNIGHT S., 1990: Environmental considerations for Port and Harbor developpements, World Bank Technical Paper 126p.
- DECAËNS T., AUBERT M., BAROT S., BLOUIN M., BUREAU F., MARGERIE P., . MORA P., ROSSI J.-P. , LAVELLE P., 2006: Soil invertebrates and ecosystem services, *European Journal of Soil Biology*, Volume 42, Supplement 1 : S3–S15.
- DEHAINE CH., 1992 : Contamination métallique et micro-organique des poissons d'eau douce, D.E.S.S. Gestion des Ressources Naturelles Renouvelables Option: Génie de l'Environnement Mission Ecologie Du Milieu, 32p.

## Références Bibliographiques

---

- DEPRINCE A, 2003 : "La faune du sol : diversité, méthodes d'étude, fonctions et perspectives". Le Courrier de l'environnement, n° 49, juin 2003.
- DI BENEDETTO M., 1997 : Méthodes spectrométriques d'analyse et de caractérisation, des métaux lourds, Dossier SAM ECOLE DES MINES SAINT-ETIENNE, p04.
- DIAZ S., LAVOREL S., BELLO F., QUÉTIER F., GRIGULIS K. and MATTHEW ROBSON T., 2007: Incorporating plant functional diversity effects in ecosystem service assessments, *PNAS* 104 (52) 20684-20689; published ahead of print December 19, doi:10.1073/pnas.0704716104: 1-18.
- DINDAL D. L., 1990 : Soil biology guide, Wiley and sons Inc., New-York, 1349 p.
- DIOMANDE D., GOURENE G., TITO de MORAIS L., 2001 : Stratégies alimentaires de *Synododontis bastiani* (Siluriformes : Mochokidae) dans le complexe fluvio-lacustre de la Bia, Cote d'Ivoire, *Cybium*, 25(1), 7-21.
- DJEBAILI S., 1978 : Recherches phytosociologiques et écologiques sur la végétation des hautes plaines steppiques et de l'Atlas Saharien algérien. Thèse Doct. Univ. Sc. Tech. Languedoc. Montpellier. 229 p.
- DJEBAILI S., 1984 : Steppe algérienne, phytosociologie et écologie. O.P.U. Alger. 127p.
- DONZE M., 1990: Aquatic pollution and dredging in the European Community. Delwel Publishers, La Haye.
- DORION CH., 2015: Pollution *What if we do nothing?*, Edition ENCYCLOPEDIA BRITANNICA, 49 p.
- DOWDY W., 1944: The influence of temperature on vertical migration of invertebrates inhabiting different soil types. *Ecology* 25: 449–460.
- DREUX P., 1980 : Précis d'écologie, Edition Presse Université, le biologiste, Paris, France, 231 p.
- DUCHAUFOUR PH., 1994 : Pédologie, sol, végétation, environnement, Edition Masson, 289p.
- EMBERGER L., 1930 : Sur une formule climatique applicable en géographie botanique. *C.R. Acad. Sc.* 191. pp 389-390.

## Références Bibliographiques

---

- EMBERGER L., 1971 : Travaux de botanique et d'écologie. Ed. Masson. Paris. 520p.
- ERTLEN D., 2009 : Archivage pédologique et dynamiques environnementales. Thèse de doctorat en Géographie. Faculté de Géographie et d'Aménagement, Université de Strasbourg.
- ERWIN T L., BALL G E., WHITEHEAD D R., HALPERN A L., 1979: Carabid Beetles Their Evolution, Natural History, and Classification, Springer, Dordrecht: 507-521.
- FAO, 2001, oil biodiversity portal. Conservation and management of soil biodiversity and its role in sustainable agriculture. <http://www.fao.org/AG/AGUagIIsoilbiodl>.
- FAURIE C., FERRA C., MEDORI P., DEVAUX X.J., HEMPTINNE J.L., 2003 : Ecologie, approche scientifique et pratique, 5<sup>ème</sup> édition, Lavoisier Tec & Doc, Londres-Paris-New York, 407p.
- FERNANE A., DOUMANDJI S. et DOUMANDJI- METICHE B., 2010 : Etude de la biodiversité entomofaunistique dans la région de Larbaa Nath Irathen (Tizi-Ouzou), Journées Inter. Zool. Agri. for 19-21 avril 2010, Dép. zool. Agro. For Ecole Nati. Sup Agro. El Harrach.
- 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.
- FROISE B., 1999 : Ecologie du paysage : concept méthodes et applications Tec Ed Doc pp
- FROUZ J., ALI A., FROUZOVA J., LOBINSKE R., 2004: Horizontal and vertical distribution of soil macroarthropods along a spatio-temporal moisture gradient in subtropical central Florida. Environmental Entomology 33: 1282–1295.
- GARCIA JA, FRAGOSO C., 2002: Growth reproduction and activity of earthworms in degraded and amended tropical open mined soils: laboratory assays. Appl. Soil ecol 20: 43–56 p.
- GARCIA JA., RÖMBKE, J., TORRES DE BRITO, M., SCHEFFCZYK, A., 2008: Effects of three pesticides on the avoidance behavior of earthworms in laboratory tests performed under temperate and tropical conditions. Environmental Pollution 153: 450-456.

## Références Bibliographiques

---

- GAUDEFROY M. & MOUILLEFARINE M., (1872) : La florule obsidionale des environs de Paris en 1872, Bulletin de la Société Botanique de France, 19(8), 266-277.
- GAVIGLIO C., 2013 : Gestion des sols viticoles, Edition France Agricole, p1.
- GEOFFROY, J., 2000 : Inventaire et biodiversité des chilopodes de France: liste et classification des espèces, Bulletin de la Société Zoologique de France, 125 (2), 159-163.
- GHILGAROV M.S., 1971: «Invertebrates wich destroy the forest litter and ways to increase their activity». In : Productivité des écosystèmes forestiers, Actes Coll. Bruxelles 1969, UNESCO 1971, (Écologie et Conservation 4), pp. 433-441.
- GIORDAN A., 2008 : préface du livre « Comprendre et enseigner la classification du vivant » sous la direction de Guillaume LECOINTRE aux éditions BELIN.
- GIRARD J., WALTER C., REMY JC., BERTHELIN J. ET MOREL JL., 2005 : Sols et environnement, Edition Campus DUNOD, Paris, 816p.
- GOBAT J., ARAGNO M. ET MATTY W., 2003 : Bases de pédologie ; Biologie des sols : le sol vivant. 2<sup>ème</sup> Edition PPUR Edition Lausanne.569 p.
- GOBAT J., ARAGNO M. ET MATTY W., 2010 : Le sol vivant. 3<sup>ème</sup> Edition. Revue et augmenté. pp 150-165.
- GOBAT J., ARAGNO M., MATTHEY W., 1998 : Bases de pédologie, Biologie des sols, Le sol vivant. 1<sup>ère</sup> Edition, PPUR Edition Lausanne.817 p.
- GODRO M., DAGET P., EMBERGER L., 1968 : Code pour le relevé méthodique de la végétation et du milieu, C.N.R.S., Paris, 292 p.
- GODRON M., 1971 : Ecologie et évolution du monde vivant introduction le rayonnement solaire et ses rôles majeurs en écologie. Edition CILF, pp1-57.
- GOYER, R.A., 1991: Toxic Effects of Metals, 4th Edition ed., *Casarett and Doull's Toxicology the Basic Science of Poisons*, M.O. Amdour, J. Doull and C.D. Klaassen, Pergamon Press, New York.
- GRECO J., 1966 : L'érosion, la défense et la restauration des sols, le reboisement en Algérie. Pub. Univ. Agr. Révolution Agraire. Algérie.

## Références Bibliographiques

---

- GRESSELIN F., HERICHER S., LE GOUEE P., 2015 : Les sols «Les sols nourrissent l'humanité », Profil environnemental régional de Basse-Normandie, Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie, France.
- HADJADJ-AOUL S., 1995 - Les peuplements du Thuya de Berbérie (*Tetraclinis articulata* Vahl. Master) en Algérie. Phyto-écologie, syntaxonomie, potentialités sylvicoles. Thèse doct. ès-Sci. Univ. Aix -Marseille III. 155 p.
- HAMMADA S., DAKKI M., IBN TATTOU M., OUYEHYA A. & FENNANE M., 2004 : analyse de la biodiversité floristique des zones humides du Maroc, Flore rare, menacée et halophile. *Acta BotanicaMalacitana* 29, Malaga pp. 43-66.
- HASABALLAH A I., 2017: The mosquito *Culex pipiens* L. as indicator for heavy metal pollution: Biochemical and Histological Effects of Certain Heavy Metal Ions on the Mosquito, *Culex Pipiens* L. (Diptera: Culicidae), Noor Publishing: ISBN-10: 3330971622 ISBN-13: 978-3330971622, 128 p.
- HAUTIER L., PATINY S., THOMAS-ODJO A., GASPARD C., 2003: Evaluation de la biodiversité de l'entomofaune circulante au sein d'association culturelles au Nord Bénin, Notes fauniques de Gembloux, N° 52: 39-51.
- HEDDE M., VAN Oort F., Renouf E., Thénard J., Lamy I., 2013: Dynamics of soil fauna after plantation of perennial energy crops on polluted soils, *Applied Soil Ecology*, Volume 66: 29-39.
- HELLAWELL J.M., 1988: Toxic substances in rivers and streams, *Environ. Pollut.* : 61-85.
- HETLAND, S., MARTINSEN I., RADZUK B., THOMASSEN Y., 1991: Species analysis of inorganic compounds in workroom air by atomic spectroscopy. *Anal. Sci.*, 7, 1029-1032.
- HEYWOOD V H., 1995: Global Biodiversity Assessment. Ed. United Nations Environment Programme. Cambridge University Press, Cambridge: xi + 1140.
- JABIOL, B., BRETHERS, A., PONGE, J. F., TOUTAIN, F., & BRUN, J. J. (2007). L'humus sous toutes ses formes (p. 68). Engref.
- JIMÉNEZ J., DECAËNS T., 2000: Vertical distribution of earthworms in grassland soils of the Colombia llanos. *Biology and Fertility of Soils* 32: 463- 473.

## Références Bibliographiques

---

- JORDANA R. et ARBEA J. in RAMOS M. & *al.*, 1997 : Collembola, Poduromorpha, Familia Poduridae y Familia Hypogastruridae. Fauna Ibérica, vol. 8, Museo Nacional de Ciencias Naturales, CSIC, Madrid, 1-233.
- JRC: Joint Research Centre (Le centre commun de recherche), 2010: Atlas Européen de la biodiversité des sols, Commission européenne, Centre commun de recherche, L'Institut de l'environnement et du développement durable, Via E. Fermi, 2749, I-21027 Ispra (VA), Italie, <http://ies.jrc.ec.europa.eu/>
- KARG W., 1967 : Synjkkologische Untersuchungen von Bodenmilben aus forstwirtschaftlich und landwirtschaftlich genutzten Böden, Pedobiologia, 7, no 213, pp 198-214.
- KILBERTUS G. & VANNIER G., 1978 : Étude des relations microfaune-microflore du sol en prenant comme exemple quatre espèces d'insectes Collembolles, 103e Congrès national des sociétés savantes, Nancy, Sciences, fasc. III, 63–75.
- KLEIN et SANSON, 1925 : Météorologie et physique agricole 1925. Encyclopédie agricole, Baillière, Paris, 1925; 464 pages.
- KOBETIČOVÁ, K., HOFMAN, J., HOLOUBEK, I., 2009: Avoidance response of *Enchytraeus albidus* in relation to carbendazim ageing. Environmental Pollution 157: 704-706.
- KOLLER E., 2004: Traitement des pollutions industrielles : Eau, air, déchets, sols, boues, Edition DUNOD, Paris, pp 424.
- KORNER C., BENISTON M. et ANONYMOUS (1994). Impact of atmospheric changes on high mountain vegetation. In "Mountain environments in changing climates". ANONYMOUS (Eds). Routledge Publishing Company, New York, 155-166 p.
- KUHNELT W., 1969 : Écologie générale. Masson éd. Paris, 360 p.
- LAFOREST V., 1999: Technologies propres : Méthodes de minimisation des rejets et de choix des procédés de valorisation des effluents. Application aux ateliers de traitement de surface, thèse de doctorat, l'institut national des sciences appliquées de Lyon et l'école nationale supérieure des mines de Saint-Etienne, 208 p.
- LAUWERYS R., HAUFROID V., HOET P., LISON D., 2007 : Toxicologie industrielle et intoxications professionnelles, Edition Elsevier Masson, p13.

## Références Bibliographiques

---

- LAVELLE P., 1997, "Faunal activities and soil processes : adaptive strategies that determine ecosystem function", *Advances in Ecological Research*, 27 : 93-132.
- LAVELLE P. & SPAIN A.V., 2001: *Soil ecology*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. 654p.
- LAVELLE P., DECAËNS T., AUBERT M., BAROT S., BLOUIN M., BUREAU F., MARGERIE P., MORA P., ROSS J.-P., 2006 : Soil invertebrates and ecosystem services, *European Journal of Soil Biology* 42: S3–S15.
- LE GUYADER H., 2008 : *La biodiversité : un concept flou ou une réalité scientifique ?*, *Courrier de l'environnement de l'INRA* n° 55.
- LE HOUEROU H.N., 1971 : Les bases écologiques de la production pastorale et fourragère en Algérie. F.A.O. Rome. 60 p.
- LEGRAS M., 2014 : *Environnement, Compartiment sol*, PhD, Esitpa, Ecole d'Ingénieurs en Agriculture Rouen, 128p.
- LEGUAY J.P., 2007: *La pollution industrielle au moyen âge*. 5<sup>ème</sup> édition, Gisserot, pp14.
- LEMBROUK L.& SADOUDI-ALI AHMED D., 2016 : impact of industrial pollution generated by two companies (the Azazga - Electro Industries and the National company of Industries Electro- Menager of Oued aissi) on the soil fauna, *IMPACT: International Journal of Research in Applied, Natural and Social Sciences (IMPACT: IJRANSS)* ISSN(P): 2347-4580; ISSN(E): 2321-8851 Vol. 4, Issue 12, Dec 2016: 65-78.
- LENOIR A., 2015: les fourmis, biodiversité et pollution, conférence à l'espace des sciences, FRANCE.
- LIONELLO P., MALANOTTE -RIZZOLI P., BOSCOLO R., ALPERT P., ARTALE V. LI L., LUTERBACHER J., MAY W., TRIGO R., TSIMPLIS M., ULBRICH U. & XOPLAKI E., 2006 : *The Mediterranean Climate: An Overview of the Main Characteristics and Issues*. Introduction of the book "Mediterranean climate variability and predictability" edited by P. Lionello. Elsevier. pp 1-26.
- LOISEL R., 1978 : *Phytosociologie et phytogéographie ; signification phytogéographique du Sud-Est méditerranéen continental Français*. *Docum. phytosociologiques*, N.S. Vol II. Lille. pp 302-314.

## Références Bibliographiques

---

- LORS, C., MARTINEZ ALDAYA, M., SALMON, S., PONGE, J.F., 2006: Use of an avoidance test for the assessment of microbial degradation of PAHs. *Soil Biology and Biochemistry* 38: 2199-2204.
- MACE G., MASUNDIRE H., BAILLIE J., 2005: « Biodiversity », Évaluation des écosystèmes pour le millénaire, *Ecosystems and Human Well-being: Current State and Trends*, PNUE, pp 77-122.
- MAERTENS C, CLAUZEL Y, 1982 : Premières observations sur l'utilisation de l'endoscopie dans l'étude de l'enracinement in situ de plantes cultivées (*Sorghum vulgare* et *Lolium multiflorum*). *Agronomie* 2, pp 677-680.
- MARCOEN JM., NAUD J., BROHÉE J.C., CRELOT I., DELCARTE E., et AGNEESEENS R., 2000 : Le fond géopédochimique des sols Séminaire 'Intensification agricole et qualité des sols et des eaux', Rabat, 2-3 Novembre 2000, pp 87-88.
- MARCUZZI G., 1964: Observations on the relationships between Tenebrionid fauna and Soil. *Pedobio- IO&*, 4,3: 210-219.
- MARIS V., 2010 : *Philosophie de la biodiversité : petite éthique pour une nature en péril*, Buchet Chastel, 224 p.
- MARTÍNEZ ALDAYA, M., LORS, C., SALMON, S., PONGE, J.P., 2006: Avoidance bio-assays may help to test the ecological significance of soil pollution. *Environmental Pollution* 140: 173-180.
- MAURER R., 1974: The beetle and spider fauna of meadows affected by traffic pollution, *Oecologia*. doi: 10.1007/BF00384577., 14(4): 327-351.
- MAVOUNGO U., 2001 : Rapport préliminaire de la mission d'évaluation des effets anthropiques sur l'entomofaune dans le complexe d'aire protégées de Gamba Institut de Recherche monitoring et assessment en écologie tropicale et biodiversité programme I, R, E, T/ CENAREST 300 P.
- MEDJAHDI B., 2010 : Réponse de la végétation du littoral oranais aux perturbations : Cas des monts des Trara (Nord-ouest de l'Algérie), Th. Doc : Univ. Tlemcen. 366p.
- MEINEL F., 2015: *Pollution and Crisis in Greek Tragedy*, Edition Cambridge University Press, 290 p.

## Références Bibliographiques

---

- MERABET S., 2014 : Inventaire des arthropodes dans trois stations au niveau de la forêt de Darna (Djurjura), 108p, Université de Tizi Ouzou.
- MIGLIORINI M., PIGINO G., BIANCHI N. and LEONZIO C., 2004: The effects of heavy metal contamination on the soil arthropod community of a shooting range, *Environmental Pollution* (Barking, Essex : 1987), 129(2): 331-340.
- MIMOUN K. et DOUMANDJI S., 2007 : Place des insectes dans le régime alimentaire du Hérisson d'Algérie *Atelerix algerus* (LERDOULI, 1842) dans la forêt de Beni Ghobri (Tizi-Ouzou), Journées Inter. Zool. Agri. for 8-10 avril 2007, Dép. zool. Agro. For Inst. Nati. Gro. El Harrach, p. 197.
- MINISTÈRE DE L'AMÉNAGEMENT DU TERRITOIRE, ET DE L'ENVIRONNEMENT (MATE), 2015 : Etude diagnostique sur la Biodiversité & les changements climatiques en Algérie, projet MATE-PNUD-FEM « Planification nationale sur la diversité biologique et mise en œuvre en Algérie du plan stratégique de la convention sur la diversité biologique 2011-2020 et des objectifs d'Aichi », 111p.
- Ministère Délégué à la Recherche, à la Technologie et à l'Environnement, 1991 : Recommandations des services de l'environnement concernant les immersions des déblais de dragage provenant des enceintes portuaires du 9 novembre 1991.
- MIQUEL G., 2001 : Les effets des métaux lourds sur l'environnement et la santé, Rapport d'information n° 261, fait au nom de l'Office parlementaire d'évaluation des choix scient. Tech.
- MOORE M., BELL C., SOLTIS P. & SOLTIS D., « *Using plastid genome-scale data to resolve enigmatic relationships among basal angiosperms* », *PNAS*, vol. 104, 4 décembre 2007, p. 19363–8.
- MOUTHON J., 1980 : Contribution à l'Ecologie des Mollusques des eaux courantes-esquisse biotypologique et données écologiques. Thèse 3<sup>e</sup> cycle. Univ. Paris VI :169 p.
- MUHLENBERG, M., SLOWIK, J. ET WAITKUWAIT, W.E., (1993) : Réhabilitation des forêts classées dans l'Est de la Côte d'Ivoire, SODEFOR-GTZ, Côte d'Ivoire.
- MULLER Y., 1985 : L'avifaune forestière nicheuse des Vosges du Nord. Sa place dans le contexte médio-européen. Thèse Doc. Sci., Univ. Dijon, 318 p.

## Références Bibliographiques

---

- MYERS N., MITTERMEIER, R. A., MITTERMEIER, C. G., DA FONSECA, G. et KENT, J., 2000: "Biodiversity hotspots for conservation priorities, Nature 403: 853-858.
- NOPPE K., 1996 : Contamination métallique des sédiments des cours d'eau du bassin Artois-Picardie et son impact sur la contamination des chairs et des foies de poissons, Mémoire soutenu à l'Université Pierre et Marie Curie - Paris VI, 36p.
- Office Fédéral Suisse (OFS), 2002 : le sol vivant, Brochure réalisée par Cohabiter avec la nature, CH-3960 Sierre. Version du 28.07.2006. [www.cohabiter.ch](http://www.cohabiter.ch).
- Office Nationale de Météorologie de la wilaya de Tizi-Ouzou (O.N.M.T.O), 2015 : Relevés météorologiques des années 2014-2015 de la région de Tizi Ouzou, 1p.
- OLIOSO A., 2006 : Spatialisation des transferts sol-végétation-atmosphère de l'échelle de la parcelle à celle du paysage agricole en combinant modèles de fonctionnement de la végétation et du sol, modèles de transfert radiatif et systèmes de mesure de télédétection. Mémoire de HDR, spécialité "Physique de l'Environnement (Sciences de l'eau, Télédétection)", Université d'Avignon et des Pays de Vaucluse, Avignon (FRANCE), 330 p.
- Organisation Mondiale de la Santé (OMS), 2016 : WHO 2015, <http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2014/air-pollution/fr/>
- PAIS I., BENTON J., 1997: The Handbook of Trace Elements, CRC Press, 240 p.
- PERSSON T., 1989: «Role of soil animals in C and N mineralization», Plant and Soil 115, pp 241- 245.
- PIERRE F., 1958: Écologie et peuplement entomologique des sables 9ij5 du Sahara Mord-Occidental. CNRS, Pub. Centre Rech. Sahara., s6r. Biol., no 1 : 333 p.
- PIERZYNSKI G., J THOMAS SIMS et VANCE G., 2005: Soils and Environmental Quality, CRC Press, Boca Raton (USA), p1.
- PIGNATI S., 1978: Evolutionary trends in the Mediterranean flora and vegetation. Vegetatio. 37. pp 175-185.
- PONGE JF., 2010 : Impact des polluants du sol sur la biodiversité animale du sol, HAL Edition:1-3.

## Références Bibliographiques

---

- PONGE, J. F. (1983). Les collemboles, indicateurs du type d'humus en milieu forestier: résultats obtenus au Sud de Paris. *Acta Oecologica-Oecologia Generalis*, 4(4), 359-374.
- Programme des Nations unies pour l'environnement (PNUE), 2005 : « *Évaluation des écosystèmes pour le millénaire* », LA PROTECTION DE L'OZONE STRATOSPHERIQUE, n° 283.
- PURVIS, A. & HECTOR A., 2000: Getting the measure of biodiversity. *Nature* 405: 212 – 219.
- QUEZEL P. & MEDAIL F., 2003 : *Écologie et biogéographie des forêts du bassin méditerranéen*. Elsevier. Collection Environnement. Paris. 573 p.
- QUEZEL P. & MEDAIL F., 2003 : *Écologie et biogéographie des forêts du bassin méditerranéen*. Elsevier. Collection Environnement. Paris. 573 p.
- QUEZEL P. & SANTA S., (1962 -1963) : Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales. C.N.R.S. Paris. 2 vols. 1170 p.
- QUEZEL P., 1978: Analysis of the flora of Mediterranean and Saharan Africa. *Missouri Bot. Gard.* 65,2. pp: 411-416.
- QUEZEL P., 1985: Definition of the Mediterranean region and the origin of its flora. In Gomez-Campo Edit. : *Plant conservation in the Mediterranean area*. Junk. Dordrecht. 9 p.
- QUÉZEL P., 1995 : La flore du Bassin méditerranéen : origine, mise en place, endémisme, *Ecologia mediterranea*, XXI (1/2) : 19-39.
- QUEZEL P., GANISANS J. & GRUBER M., 1980 : Biogéographie et mise en place des flores méditerranéennes. *Naturalia Monspeliensia*, n° Hors série. pp 41-51.
- RAGHAVAN N.G.S., (1961): The vectors of human infections by *Wuchereria* species in endemic areas and their biology, *Bull. Wld. Hlth. Org.*, 24, pp 177–195.
- RAMADE F, 1972 : Le mercure tue, *Découverte Sciences Progrec*, pp 39-47.
- RAMADE F. 1990 : Des pesticides aux armes chimiques, *La recherche*, n° 219, 382-390.
- RAMADE F., 1978 : *Éléments d'écologie appliquée*, 2<sup>nd</sup> Edition, Mc Graw Hill, Paris, 451p.

## Références Bibliographiques

---

- RAMADE F., 1992 : Précis d'Eco toxicologie, Edition Masson, Paris p 09.
- RAMADE F., 1993 : Equitabilité in Dictionnaire encyclopédique de l'écologie et des sciences de l'environnement, Edition Science Internationale-Paris, 822p.
- RAMADE F., 1994 : Elément d'écologie-Ecologie fondamentale. Edition Science Internationale, Paris, 517p.
- RAMADE F., 2003 : Elément d'écologie-Ecologie fondamentale, Edition DUNOD, Paris, 689p.
- RAMADE F., 2007 : Introduction à l'écotoxicologue, Fondements et applications, Edition TEEC & DOC, Paris- Sud, 584p.
- RAMADE, F., 1984 : Eléments d'écologie. Ecologie fondamentale, Mac-Graw-Hill, Paris, 397 p.
- RAMEAU J-C., 1987 : Contribution phytoécologique et dynamique à l'étude des écosystèmes forestiers. Applications aux forêts du Nord-Est de la France. Université de Besançon. Thèse d'Etat.
- RAPOPORT EH. TSCHAPEK M., 1967: Soil water and soil fauna. Rev. &OZ. Biol. SoZ., IV, 1: 1-58.
- REBAH M., 2005 : Les risques écologiques en Algérie, Edition A.P.I.C. Alger, 221p.
- REISINGER O. & KILBERTUS G., 1980 : «Mécanismes et facteurs de biodégradation en milieu forestier». In : P. PESSON (éd.), Actualités d'Écologie Forestière, Gauthier-Villars, Paris, pp. 61-86.
- ROBERT M., 2002 : La séquestration du carbone dans les sols pour une meilleure gestion des terres. Rapport sur les ressources en sol du monde 96, FAO (Food and Agricultural Organization), 76p.
- ROBERT P., 1996 : Le sol : interface dans l'environnement, ressources pour le développement, 3<sup>ème</sup> cycle de recherche, sciences l'environnement, Edition Masson, Paris, 241p.
- ROTH M., 1972: Les pièges à eau colorés, utilisés comme pots de Barber, Extrait de la revue de Zoologie agricole et de pathologie végétale, 83 p.
- RUELLAN A., 2010 : Des sols et des hommes: un lien menacé, Édition IRD Editions, pp 58.

## Références Bibliographiques

---

- SALA O, F.STUART CHAPIN III,2 JUAN J. ARMESTO,4 ERIC BERLOW,5 JANINE BLOOMFIELD,6 RODOLFO DIRZO,7 ELISABETH HUBER-SANWALD,8 LAURA F. HUENNEKE,9 ROBERT B. JACKSON,10 ANN KINZIG,11 RIK LEEMANS,12 DAVID M. LODGE,13 HAROLD A. MOONEY,14 MARTI'N OESTERHELD,1 N. LEROY POFF,15 MARTIN T. SYKES,17 BRIAN H. WALKER,18 MARILYN WALKER,3 DIANA H. WALL16, 2000: Global Biodiversity Scenarios, Science vol. 287, DOI: 10.1126.5459: 1770-1774.
- SAPORTA G., 1996 : L'analyse de données évolutives, méthodes et applications. Edition TEC, 223p.
- SCHULZ R., LIESS M., 2001: Acute and Chronic Effects of Particle-Associated Fenvalerate on Stream Macro-invertebrates: A Runoff Simulation Study Using Outdoor Microcosms, Archives of Environmental Contamination and Toxicology, Volume 40, Issue 4 : 481–488.
- SEASTEDT T.R., 1984: «The role of microarthropods in decomposition and mineralization processes», Ann. Rev. Entomol. 29, pp 25-46.
- Secrétariat de la Convention sur la Diversité Biologique (CDB), 2014 : *4ème édition des Perspectives mondiales de la diversité biologique.*, Montréal, 155 p.
- Secrétariat de la Convention sur la Diversité Biologique (SCDB), 2010 : 3<sup>e</sup> édition des Perspectives mondiales de la diversité biologique, Montréal, 94 p.
- SELMANE M. & BENSLAMA M., 2015 : Contribution to the study of soil macrofauna under Palm groves in the North-East of the Algerian Sahara (Oued Souf area),Journal of Biodiversity and Environmental Sciences (JBES) ISSN: 2220-6663 (Print) 2222-3045 (Online) Vol. 6, No. 6: 203-213.
- SELTZER, 1946 : Le climat d'Algérie, I.N.S.T. météo, physique du globe, de l'U.N.I. Alger, 219p.
- SOLBRIG O T., VAN EMDEN H M., VAN OORDT P G W J., 1994: Biodiversity and global change, IUBS, Cab International, Wallingford, 227 p.
- SOLDATI F., 2002: Les coléoptères des milieux ouverts de la réserve naturelle de Jujols (Pyrénées- Orientales) et de ses envirs immédiats, Ed, OPIE-LR.MILLAS, 39p.

## Références Bibliographiques

---

- SOLTNER D., 1992 : Les bases de la production végétale. Tome 1 : le sol. Collection Sciences et Techniques Agricoles, 19<sup>e</sup> édition, Sainte Gemmes sur Loire.
- SOLTNER D., 2005 : Les bases de la production végétale-le climat-la plante. 21<sup>ème</sup> Edition Sciences et techniques agricoles, 111p.
- SOLTANI N., AMIRA A., SIFI K. et BELDI H., 2012 : Biosurveillance du golfe d'Annaba (Algérie) : mesures de biomarqueurs chez *Donax trunculus* et pollution métallique, *Bull. Soc. zool. Fr.*, 2012, 137(1-4) : 51-60.
- STEKETEE J., 2010 : Métaux lourds, cahier SKB (Fondation Développement et transfert de connaissances sur le sol) Université Delft, AK Gouda, Pays-Bas, p76.
- STEWART P., 1969 : Quotient pluviométrique et dégradation biosphérique : quelques réflexions. *Bull. Soc. Hist. Nat. Afr. Nord*, 65(1/2), pp 239-252.
- STROJAN C.L. ,1978 : The impact of Zinc smelter emissions on forest litter arthropods. *Oikos*, pp 6-31-41.
- TURMEL J.-M. et TURMEL F., 1977. L'écologie. Ed. Larousse, Paris, 255 p.
- VELEZ R., 1999 : Protection contre les incendies de forêt : principes et méthodes d'action. CIHEAM, Zaragoza. Options Méditerranéennes, Série B : Études et Recherches n° 26. 118 p.
- VIOLLE C., NAVAS ML., VILE D., KAZAKOU E., FORTUNEL C., HUMMEL I. AND GARNIER E., 2007 : Let the concept of trait be functional!, *Oikos* 116: 882-892.
- VIVIER P., 1968 : influence de la pollution organique sur la faune aquatique des eaux courantes, Développement d'une communication préparée pour le colloque d'hydrobiologie organisé par la Société zoologique de France à Dijon (mai 1968) qui, en raison des événements, n'a pu avoir lieu, <http://dx.doi.org/10.1051/kmae:1970009>.
- WILSON E.O., 1988: Biodiversity. National Academy Press. Washington. D.C. USA.
- YAAKOUBI A.A., CHALAOUD M., RAHMANI M., LYACHIONT ET OULHOTE Y., 2009 : Effet des margines sur la microflore du sol. *Agro-Solution*. Pp 1-9.
- YEARDLEY, R.B., LAZORCHAK, J.M., GAST, L.C., 1996: The potential of an earthworm avoidance test for evaluation of hazardous waste sites. *Environmental Toxicology and Chemistry* 15: 1532-1537.

# Annexes

**Tableau 1:** Normes hollandaises (DONZE, 1990 et DAVIS *et al.*, 1990) et algériennes (Ministère Délégué à la Recherche, à la Technologie et à l'Environnement, 1991) pour l'évaluation des polluants métalliques dans les sédiments.

|            | Normes Hollandaises |          |          |        | Normes algériennes |
|------------|---------------------|----------|----------|--------|--------------------|
|            | Référence           | Test     |          | Alarme |                    |
|            | 1                   | 2        | 3        | 4      |                    |
| Classes    | 1                   | 2        | 3        | 4      | Normes algériennes |
| Paramètres | Limite A            | Limite B | Limite C |        |                    |
| <b>Cd</b>  | 0.8                 | 7.5      | 30       |        | 3                  |
| <b>Cr</b>  | 100                 | 480      | 1000     |        | 250                |
| <b>Cu</b>  | 36                  | 90       | 400      |        | 150                |
| <b>Hg</b>  | 0.3                 | 1.6      | 15       |        | 1.5                |
| <b>Pb</b>  | 85                  | 530      | 1000     |        | 250                |
| <b>Zn</b>  | 140                 | 1000     | 2500     |        | 500                |
| <b>Ni</b>  | -                   | -        | -        |        | 75                 |

Les valeurs de référence A, B et C sont utilisées par les autorités hollandaises par rapport au taux de pollution du sédiment :

- ✓ Un sédiment dont la teneur en polluant ne dépasse pas la limite A, appartiendra à la classe 1 (sédiment naturel non pollué)
- ✓ Dans l'intervalle A-B (classe 2), le sédiment est pollué
- ✓ Dans l'intervalle B-C (classe 3), le sédiment est très pollué
- ✓ Dans le cas où les teneurs en polluants excéderaient la limite C (classe 4), le sédiment est fortement pollué.

**Tableau 2:** Limites de détection d'éléments dosés par XRF comparées aux normes en éléments traces dans les sols destinés à recevoir des boues (Journal Officiel Belge, 1995).

| Elément   | Limite de détection | Normes concernant les boues | Normes concernant les sols |
|-----------|---------------------|-----------------------------|----------------------------|
| <b>Hg</b> | 8                   | 5                           | 1                          |
| <b>Cd</b> | 45                  | 5                           | 1                          |
| <b>Cu</b> | 5                   | 600                         | 50                         |
| <b>Cr</b> | 10                  | 500                         | 100                        |
| <b>Pb</b> | 7                   | 500                         | 100                        |
| <b>Zn</b> | 7                   | 2000                        | 200                        |
| <b>Ni</b> | 10                  | 100                         | 50                         |

❖ Les valeurs précisées sont quantifiées en ppm.

**Tableau 3:** normes en éléments traces dans les sols selon PAIS & BENTON, 1997 (utilisées au CRNA).

| Eléments | Unité |                                             | Valeurs moyennes |
|----------|-------|---------------------------------------------|------------------|
| Na       | mg/kg |                                             |                  |
| Mg       | //    |                                             |                  |
| Al       | g/kg  | 4.5 – 100                                   |                  |
| Si       | //    | 300 en cas de SiO <sub>2</sub> ou silicates |                  |
| P        | mg/kg |                                             |                  |
| S        | //    |                                             |                  |
| Cl       | //    |                                             |                  |
| K        | //    |                                             |                  |
| Ca       | //    |                                             |                  |
| Ti       | //    | 1800 - 3600                                 | 2400             |
| V        | //    | 3 -230                                      | 90               |
| Cr       | //    | 5 -1000                                     | 65               |
| Mn       | //    | 200 - 3000                                  | 545              |
| Fe       | g/kg  | 38                                          |                  |
| Co       | mg/kg | 1 - 40                                      |                  |
| Ni       | //    | 1 -200                                      | 20               |
| Cu       | //    | 2 - 100                                     | 18               |
| Zn       | //    | 10 -300                                     |                  |
| Br       | //    |                                             |                  |
| Rb       | //    | < 20 - 210                                  | 50 - 120         |
| Sr       | //    | 50 - 1000                                   | 150              |
| Y        | //    |                                             |                  |
| Zr       | //    | 30 - 2000                                   | 250              |
| Nb       | //    | 5 - 100                                     | 14               |
| Mo       | //    | 0.5 - 40                                    | 2                |
| Ba       | //    | 100 - 3000                                  | 500              |
| Pb       | //    | 3 - 189                                     | 32               |

**Pb :** Niveau de fond naturel (10 à 67 mg / kg) et il est considéré comme phytotoxiques dans les sols à 100 - 400 mg / kg.

### **1. Préparation des échantillons**

L'échantillon analysé est d'abord séché à l'étuve à 60°C jusqu'à poids constant. Ensuite, une partie aliquote de l'échantillon est broyée et tamisée à 125µm de manière à obtenir au minimum dix grammes de poudre. Pour l'analyse XRF, 8g d'échantillon sont nécessaires pour la préparation de l'échantillon sous forme de pastille, sous presse à 40t/cm<sup>2</sup> avec un liant (polymère). Ceci permet de le conserver pendant une longue période (des mois, voir des années).

Pour l'analyse, les échantillons sont placés dans un passeur automatique du spectromètre XRF (Bruker SRS3000, dans le laboratoire du CRNA.).

### **2. Analyse XRF**

Le tube Rx envoie des rayons X primaires sur l'échantillon à analyser; celui-ci va produire des rayonnements de fluorescence X caractéristiques des éléments constitutifs de l'échantillon qui seront séparés selon leur longueur d'onde par l'intermédiaire de cristaux analyseurs. Ensuite, la mesure de leur intensité sera effectuée à l'aide d'un détecteur à gaz ou à scintillation et la concentration de chaque élément sera effectuée par un logiciel fourni avec le spectromètre (Spectraplus).

Chaque analyse complète (screening de tous les éléments) peut durer de 20 minutes à 2 heures selon que l'on désire réaliser une mesure semi-quantitative ou quantitative.

Dans nos essais, l'analyse quantitative des échantillons est réalisée par la méthode de la droite d'étalonnage. La durée de l'analyse est d'environ 2 heures. Les résultats sont traités à l'aide du logiciel Spectraplus.

#### **Notes bonnes :**

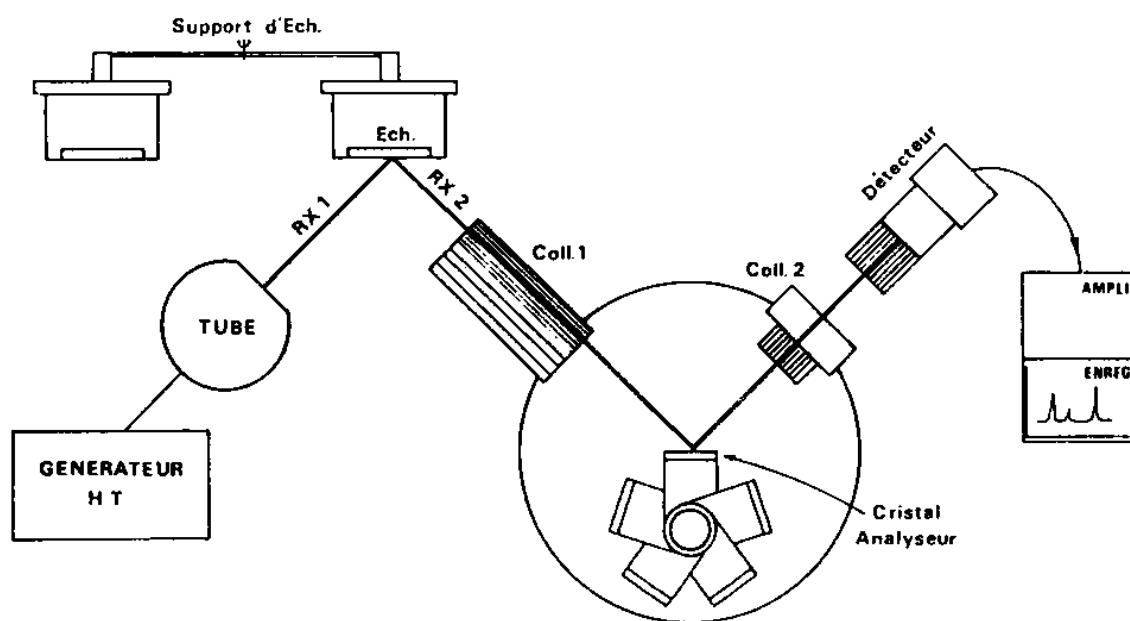
- Lorsque la concentration de l'élément est indiquée "0", cela signifie que l'élément n'a pas été dosé (car rarement présent dans ce type d'échantillon) ou que la limite de détection de la XRF ne permet pas de le mettre en évidence s'il est présent dans l'échantillon.

- La fluorescence X, ne permettant pas le dosage de H, et étant peu performante pour le dosage des éléments légers tels que C et O, nous devons calculer le pourcentage de matière organique et de CO<sub>2</sub> minéral par perte au feu à 500°C et 900°C respectivement. Ces analyses sont en effet essentielles pour avoir une analyse quantitative la plus juste possible. Les données obtenues sont ensuite intégrées dans le logiciel.

### 3. Comparaison avec les autres méthodes

L'AAS ou l'ICP-AES s'imposent comme des techniques complémentaires à la XRF pour la quantification d'éléments chimiques en teneurs très basses comme l'As, le Hg et le Cd (AAS) ou non détectables par XRF tels que certaines terres rares.

L'ICP-AES est plus performante que la XRF pour le dosage de certains éléments en traces mais pas pour les éléments majeurs. La XRF a cependant l'avantage de ne pas détruire les échantillons qui peuvent être "archivés" et réutilisés dans le cas de contre-analyses.



**Figure 1 :** Schéma d'un spectromètre XRF à dispersion de longueur d'onde.

## 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 rapporter 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 = "faucheux")
- 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**

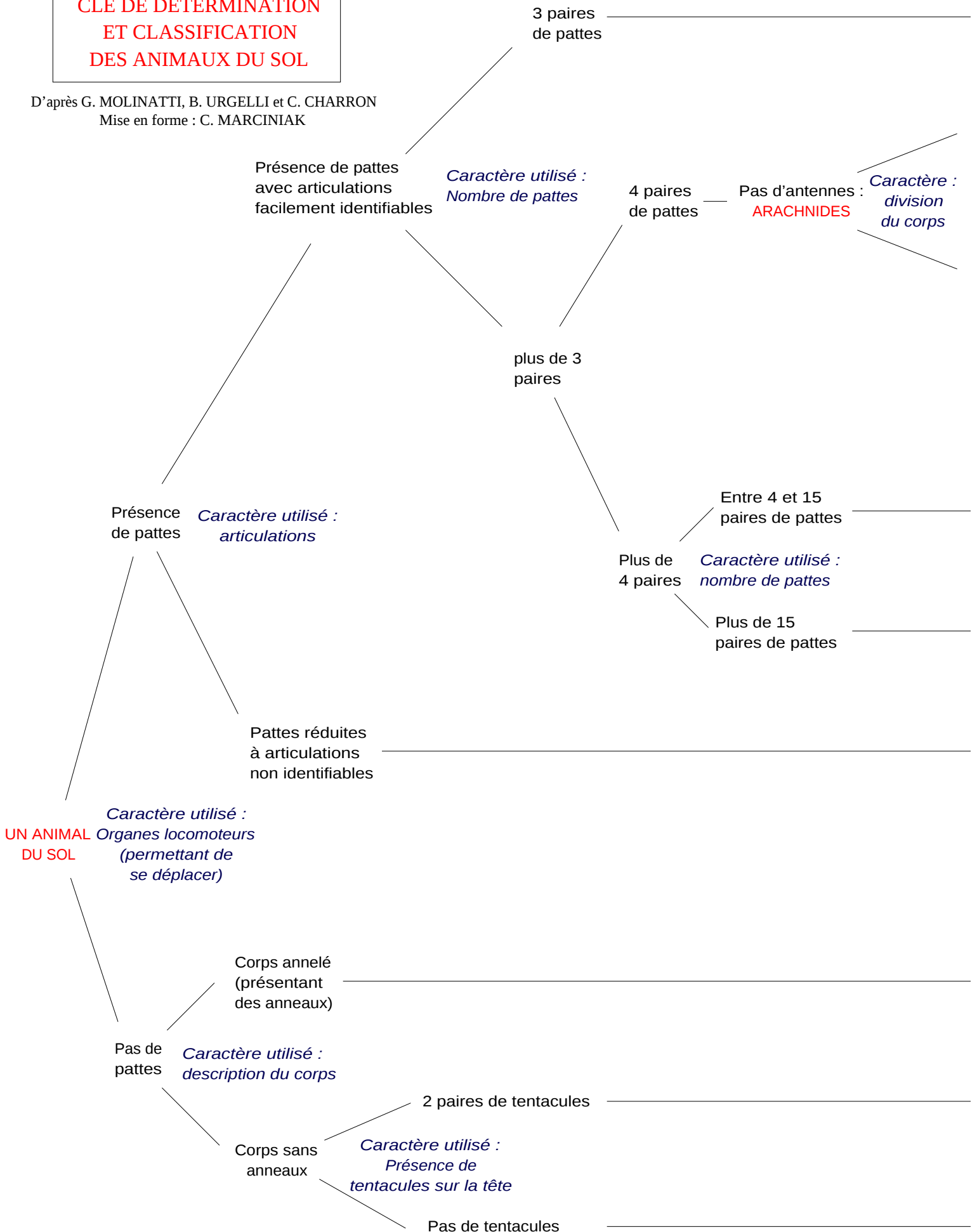
**16-** Corps grumeleux, vermiforme, mou et d'apparences multi-annelées, de coloration variée. Une paire d'appendices annelés en avant de la tête ("antennes"). De nombreuses paires d'appendices locomoteurs annelés le long du corps (= lobopodes, = oncopodes)  
..... **ONYCHOPHORA** (= ONYCHOPHORES, =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

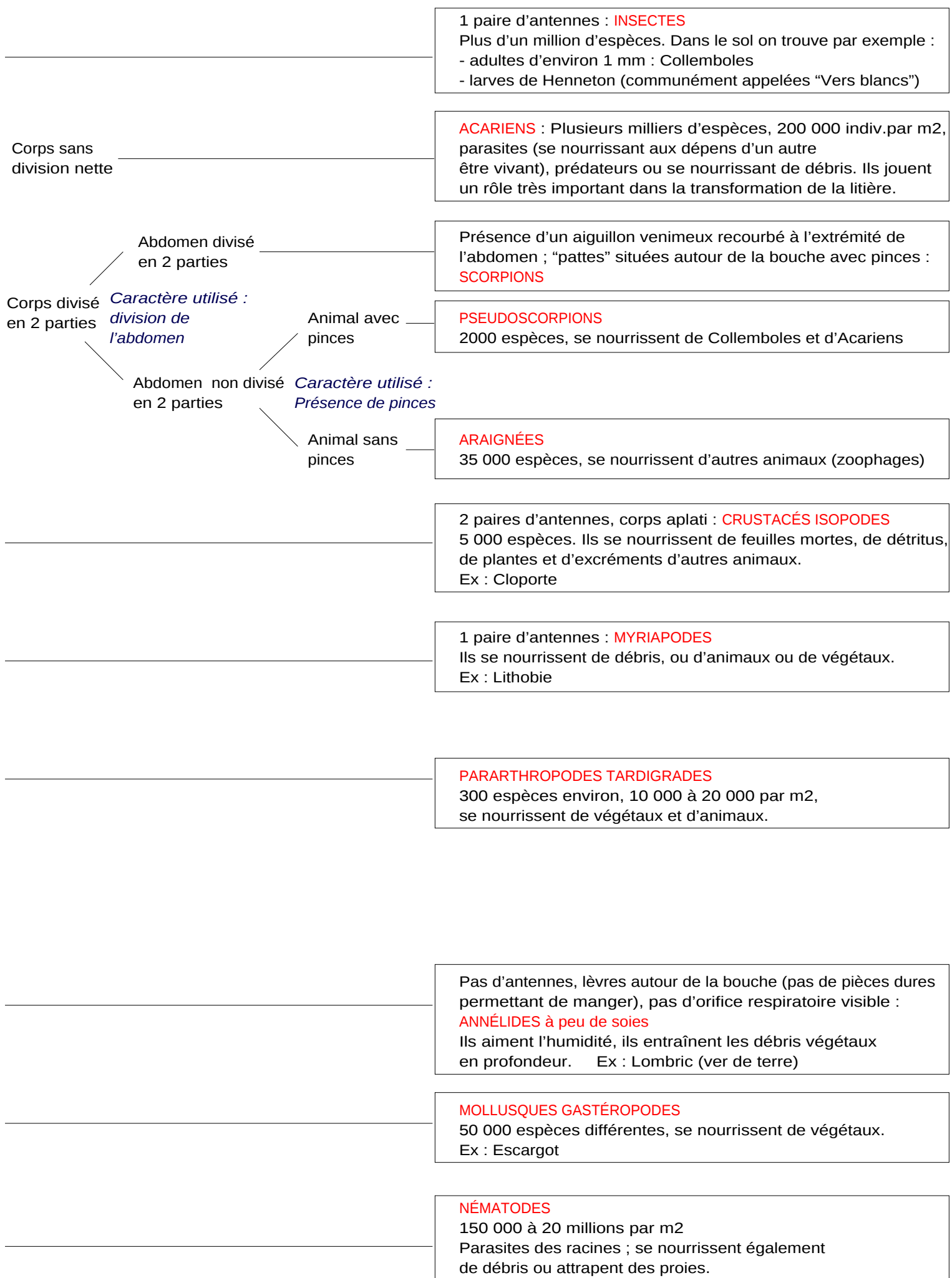
\* Autres caractères que ceux mentionnés ci-dessus.....**AUTRE GROUPE**  
**(GEOFFROY, 2000)**

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

# CLÉ DE DÉTERMINATION ET CLASSIFICATION DES ANIMAUX DU SOL

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





### 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 3ème 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<sup>ème</sup> 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<sup>ème</sup> segment thoracique) généralement avec micro sensilles latérales. Furca présente. Mucron avec lames obliques ou en forme de gant.....**F. ONDONTELLIDAE**, 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. Mucron de forme conique et relativement court. Griffe et empodium sans dents aliformes.....**F. PARONELLIDAE** BÖRNER, 1913; Genre: *Troglopebetes*, 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 nait une papille à segmentation apparente.....**F.DICYRTOMIDAE**, BÖRNER, 1906.

**3'-** Segment antennaire IV plus court que le III<sup>ème</sup>. 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 dorsales .....une seule famille **NEELIDAE**, FOLSOM, 1896.

**Tableau 6:** Totalité des espèces végétales recensées pendant l'échantillonnage (l'APG III, 2009 & APG IV, 2016).

| Sites     | Classes         | Ordres       | Familles      | Espèces                                                                                                                                                                                                                     |
|-----------|-----------------|--------------|---------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Yakourene | Magnoliopsida   | Rosales      | Rosacées      | <i>Rubus ulmifolius</i><br><i>Potentilla</i> sp.<br><i>Craetegus monogyna</i><br><i>Rosa sempervirens</i>                                                                                                                   |
|           |                 | Ranunculales | Ranunculacées | <i>Ficaria verna</i>                                                                                                                                                                                                        |
|           |                 | Ericales     | Ericacées     | <i>Erica arborea</i>                                                                                                                                                                                                        |
|           |                 | Fabales      | Fabacées      | <i>Cytisus triflorus</i>                                                                                                                                                                                                    |
|           |                 | Fagales      | Fagacées      | <i>Quercus canariensis</i>                                                                                                                                                                                                  |
|           |                 | Lamiales     | Lamiacées     | /                                                                                                                                                                                                                           |
|           | Liliopsida      | Orchidales   | Orchidacées   | <i>Orchis</i> sp.                                                                                                                                                                                                           |
|           | Pteridophyta    | Polypodiales | Aspleniacées  | <i>Asplernium</i> sp.                                                                                                                                                                                                       |
|           | Monocotylédones | Poales       | Poacées       | /                                                                                                                                                                                                                           |
| Taddart   | Liliopsida      | Liliales     | Liliacées     | <i>Asphodelus microcarpus</i><br><i>Alium</i> sp.                                                                                                                                                                           |
|           | Equisetopsida   | Fabales      | Fabacées      | <i>Scorpiurus miricatus</i>                                                                                                                                                                                                 |
|           |                 | Asterales    | Asteracées    | <i>Galactites tomentosa</i><br><i>Chrysanthemum myconis</i><br><i>Bellis anua</i><br><i>Sanchus</i> sp.<br><i>Inula vicosa</i><br><i>Reichardia picroides</i><br><i>Eryngium campestre</i><br><i>Eryngium tricuspidatum</i> |

|                                     |                 |                |                 |                                                                                                                                                            |
|-------------------------------------|-----------------|----------------|-----------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                     | Magnoliopsida   | Fabales        | Fabacées        | <i>Calycotome spinosa</i><br><i>Lotus ornithopodioides</i>                                                                                                 |
|                                     |                 | Malvales       | Malvacées       | <i>Malva sylvestris</i>                                                                                                                                    |
|                                     |                 | Papaverales    | Fumariacées     | <i>Fumaria sp.</i>                                                                                                                                         |
|                                     |                 | Primulales     | Primulacées     | <i>Anagalis arvensis</i>                                                                                                                                   |
|                                     |                 | Caryophyllales | Caryophyllacées | <i>Silene fuscata</i>                                                                                                                                      |
|                                     |                 | Plantaginales  | Plantagionacées | <i>Plantago lanceolata</i>                                                                                                                                 |
|                                     |                 | Fagales        | Fagacées        | <i>Quercus suber</i>                                                                                                                                       |
|                                     |                 | Violales       | Cistacées       | <i>Citus montspeliensis</i>                                                                                                                                |
|                                     |                 | Geraniales     | Oxalidacées     | <i>Oxalis pes-caprae</i>                                                                                                                                   |
| <b>Electro-industries<br/>(EI.)</b> | Monocotylédones | Poales         | Poacées         | <i>Avena sterilis</i>                                                                                                                                      |
|                                     | Magnoliopsida   | Asterales      | Asteracées      | <i>Galactites tomrntosa</i><br><i>Asteriscus maritima</i><br><i>Chrysanthemum myconis</i><br><i>Urospermum dalechampri</i><br><i>Andryala integrifolia</i> |
|                                     |                 |                |                 | <i>Verbascum sineatum</i><br><i>Bellardia trixago</i>                                                                                                      |
|                                     |                 |                |                 | <i>Convolvulus althaeoides</i>                                                                                                                             |
|                                     |                 |                |                 | <i>Plantago lanceolata</i>                                                                                                                                 |
|                                     |                 |                |                 | <i>Lavatera sp.</i>                                                                                                                                        |
|                                     |                 | Fabales        | Fabacées        | <i>Melilotus officinalis</i><br><i>Trifolium stellatum</i><br><i>Trifolium arvensis</i>                                                                    |
|                                     |                 |                |                 |                                                                                                                                                            |

|                    |                 |                 |                 |                                                                                                      |
|--------------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                    |                 |                 |                 | <i>Lotus ornithopodioides</i>                                                                        |
|                    |                 | Lamiales        | Lamiacées       | <i>Echium austral</i>                                                                                |
|                    |                 | Ranunculales    | Ranunculacées   | <i>Clematis flamula</i>                                                                              |
|                    | Liliopsida      | Poales          | Poacées         | <i>Bromus sp.</i>                                                                                    |
| <b>Tizi-Rached</b> | Liliopsida      | Poales          | Poacées         | <i>Bromus sp.</i><br><i>Phalaris sp.</i><br><i>Hordeum vulgare</i><br><i>Arundo donax</i>            |
|                    | Monocotylédones | Poales          | Poacées         | <i>Avena sterilis</i>                                                                                |
|                    | Magnoliopsida   | Asterales       | Asteracées      | <i>Cichorium intybus</i><br><i>Sanchus sp</i><br><i>Inula viscosa</i><br><i>Reichardia picroides</i> |
|                    |                 | Scrophylariales | Oleacées        | <i>Fraxinus augustifolia</i>                                                                         |
|                    |                 | Solanales       | Convolvulacées  | <i>Convolvulus althaeoides</i>                                                                       |
|                    |                 | Plantaginales   | Plantagionacées | <i>Plantago lanceolata</i>                                                                           |
|                    |                 | Polygonales     | Polygonacées    | <i>Rumex sp.</i>                                                                                     |
|                    |                 | Malvales        | Malvacées       | <i>Malva sylvestris</i>                                                                              |
|                    |                 | Brassicales     | Brassicacées    | <i>Sinapis arvensis</i>                                                                              |
|                    |                 | Lamiales        | Lamiacées       | <i>Mentha pulegium</i>                                                                               |
|                    |                 | Rosales         | Rosacées        | <i>Rubus ulmifolius</i>                                                                              |
|                    | Equisetopsida   | Aspiales        | Aspiacées       | <i>Daucus carota</i>                                                                                 |
|                    |                 |                 |                 | <i>Inula viscosa</i>                                                                                 |

|        |               |                 |                  |                                                                                                                                         |
|--------|---------------|-----------------|------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ENIEM. | Magnoliopsida | Asterales       | Asteracées       | <i>Galactites tomentosa</i><br><i>Crepis versicaria</i><br><i>Anacyclus trixago</i><br><i>Tolpis sp</i><br><i>Andryala integrifolia</i> |
|        |               | Lamiales        | Boraginacées     | <i>Echium australe</i>                                                                                                                  |
|        |               | Caryophyllales  | Caryophyllacées  | <i>Silene fuscata</i><br><i>Silene gallica</i>                                                                                          |
|        |               | Malvales        | Malvacées        | <i>Malva sylvestris</i>                                                                                                                 |
|        |               | Scrophylariales | Scrophylariacées | <i>Verbascum sinuatum</i>                                                                                                               |
|        |               | Fabales         | Fabacées         | <i>Lotus ornithopodioides</i><br><i>Tetragonolobus biflorus</i><br><i>Medicago polymorpha</i><br><i>Trifolium sp.</i>                   |
|        |               | Violales        | Tamaricacées     | <i>Tamarix Africana</i>                                                                                                                 |
|        |               | Brassicales     | Brassicacées     | <i>Sinapis arvensis</i>                                                                                                                 |
|        |               | Polygonales     | Polygonacées     | <i>Rumex bucephalophorus</i>                                                                                                            |
|        |               | Solanales       | Convalvulacées   | <i>Convolvulus althaeoides</i>                                                                                                          |

Tableau 4 : classification des espèces de pédofaune recensées pendant l'échantillonnage.

| Groupes             | Ordres            | Familles        | Espèces                            |
|---------------------|-------------------|-----------------|------------------------------------|
| <b>Annélides</b>    | Oligochètes       | Lumbricidae     | <i>Lumbricus terrestris</i>        |
| <b>Arachnides</b>   | Aranéides         | Dysderidae      | <i>Dysdera corocata</i>            |
|                     |                   | Gnaphosidae     | <i>Zelote sp.</i>                  |
|                     |                   | Lycosidae       | <i>Alopecosa cursor</i>            |
|                     |                   | Linyphiidae     | <i>Gonglidium rufipes</i>          |
|                     |                   | Zodariidae      | <i>Zodarium sp.</i>                |
|                     |                   | Eutichuridae    | <i>Cheiracanthium sp.</i>          |
|                     | Acariens          | Actinedae       | <i>Allothrombium sp.</i>           |
|                     |                   | Oribatidae      | <i>Galumna obvious</i>             |
|                     |                   |                 | <i>Nothrus annauniensis</i>        |
|                     |                   |                 | <i>Oppeiella nova</i>              |
|                     |                   |                 | <i>Tectocephus velatus</i>         |
|                     |                   | Parasitidae     | <i>Pergamasus sp.</i>              |
|                     |                   | Damaeidae       | <i>Damaeus auritus</i>             |
|                     |                   | Salticidae      | Espèce inconnue                    |
|                     | Pseudoscorpionida | Cheliferidae    | <i>Chelifer cancroides</i>         |
| <b>Collemboles</b>  | Poduromorpha      | Hypogastruridae | <i>Ceratophysella armata</i>       |
|                     |                   |                 | <i>Ceratophysella thermophilus</i> |
|                     | Entomobryomorpha  | Neanuridae      | <i>Bilobella aurantiaca</i>        |
|                     |                   | Entomobryidae   | <i>Entomobrya multifasciata</i>    |
|                     |                   |                 | <i>Folsomia penicula</i>           |
|                     |                   |                 | <i>Folsomides vinosus</i>          |
|                     |                   |                 | <i>Parisotoma notabilis</i>        |
|                     |                   |                 | <i>Proisotoma minuta</i>           |
| <b>Crustacés</b>    | Isopodes          | Oniscoidae      | <i>Oniscus asellus</i>             |
|                     |                   | Philosciidae    | <i>Philoscia muscorum</i>          |
| <b>Gastéropodes</b> | Stylommatophora   | Cochlicellidae  | <i>Cochlicella barbara</i>         |
|                     |                   | Hygromiidae     | <i>Cernuella virgata</i>           |
|                     |                   |                 | <i>Cernuella sp.</i>               |
|                     |                   |                 | <i>Helix aspra maxima</i>          |
|                     |                   |                 | <i>Trichia hispida</i>             |
|                     |                   | Helicidae       | <i>Teba pisana</i>                 |
|                     |                   | Sobulinidae     | <i>Rumina decollata</i>            |
|                     | Coléoptères       | Scarabeidae     | <i>Rhizotrogus sp.</i>             |
|                     |                   | Carabeidae      | <i>Trechus sp.</i>                 |
|                     |                   |                 | Larve sp.ind.                      |
|                     |                   | Anthicidae      | <i>Anthicus sp.</i>                |
|                     |                   | Aphodiidae      | <i>Aphodius sp.</i>                |
|                     |                   | Apionidae       | <i>Apion sp.</i>                   |
|                     |                   | Staphylinidae   | <i>Ocypus olens</i>                |

|            |              |                       |                                     |
|------------|--------------|-----------------------|-------------------------------------|
| Insectes   |              |                       | <i>Ocypus sp</i>                    |
|            | Diptères     | Agromyzidae           | <i>Phytomyza ilicis</i>             |
|            |              |                       | <i>Phytomyza horticola</i>          |
|            |              |                       |                                     |
|            |              | <u>Drosophilidae</u>  | <i>Drosophila melanogaster</i>      |
|            |              | <u>Empididae</u>      | <i>Empis livida</i>                 |
|            |              | Tipulidae             | <i>Tipula maxima</i>                |
|            |              | Culicidae             | <i>Culex pipiens</i>                |
|            |              |                       | <i>Nematocera sp.ind.</i>           |
|            |              | Agromizidae           | <i>Agromizidae sp. Ind.</i>         |
|            | Lépidoptères | <u>Papilionoidea</u>  | <i>Troides hypolitus</i>            |
|            |              |                       | <i>Lycaena phlaeas</i>              |
|            |              | <u>Crambidae</u>      | <i>Agriphila geniculea</i>          |
|            | Orthoptères  | <u>Gryllotalpidae</u> | <i>Gryllotalpa gryllotalpa</i>      |
|            |              | Dermaptera            | <i>Dermaptera sp. Ind.</i>          |
|            |              | Acrididae             | <i>Pezottetix giornae</i>           |
|            |              | <u>Tettigoniidae</u>  | <i>Tettigonia viridissima</i>       |
|            | Hyménoptères | Formicidae            | <i>Cartoglyphis bicolor</i>         |
|            |              |                       | <i>Messor structor</i>              |
|            |              |                       | <u><i>Tapinoma simrothi</i></u>     |
|            |              |                       | <i>Pheidol pallidula</i>            |
|            |              | Halictidae            | <i>Halictus quadricinctus</i>       |
|            |              | Apidae                | <i>Apis mellifera</i>               |
|            |              | Ichneumonidae         | <i>Ichneumonidae sp</i>             |
| Myriapodes | Chilopodes   | <u>Lithobiidae</u>    | <i>Lithobius forficatus</i>         |
|            |              | Geophilidae           | <i>Necrophloeofagus longicornis</i> |
|            | Diplopodes   | Iulidae               | <i>Ommatoiulus sp.</i>              |

# Articles



Available online freely at [www.isisn.org](http://www.isisn.org)

# Bioscience Research

Print ISSN: 1811-9506 Online ISSN: 2218-3973

Journal by Innovative Scientific Information & Services Network



RESEARCH ARTICLE

BIOSCIENCE RESEARCH, 2018 15(2): 792-804.

OPEN ACCESS

## Inventory of the soil fauna of Kabylia according to a pollution gradient.

Lembrouk L. and Sadoudi-Ali Ahmed D.

Production, safeguarding, threatened species and crops, Influence of climatic variations (PSEMRVC), M. Mammeri University of Tizi-Ouzou **Algeria**.

\*Correspondence: [maya-mira@hotmail.com](mailto:maya-mira@hotmail.com) Accepted: 06 Mar. 2018 Published online: 26 May 2018

We have opted for an inventory of soil fauna according to a pollution gradient following a transect from a forest (the Yakouren forest) to an industrial zone (Oued Aissi), passing through transit points with great industrial potentialities. wilaya of Tizi-Ouzou (Algeria), namely the Electro-Industry of Azazga and ENIEM. Oued-Aissi. We have adopted the quadrat method (25 × 30 cm) with samplings each season during the years 2014 and 2015 (Spring, Summer, Autumn and Winter) at the rate of three samples per season. Wildlife extraction is performed by the simplified Berlese-Tullgren Extractor by dry way after having harvested all the fauna visible to the naked eye. The collected specimens are sorted, identified and then counted. The listed fauna is divided into 15 orders divided into 49 families and 69 species. This shows the apparent impact of the season and pollution on the soil fauna, of which gastropods are the predominant bio indicators.

**Keywords:** soil, soil fauna, biodiversity, pollution, indicator species.

### INTRODUCTION

The Soil is an essential resource for human societies and the ecosystems. Since it is not a renewable resource on a human time scale, the soil is submitted to important increasing pressure (agricultural and forestry production, urban and industrial development, transportation networks, etc.) and degradation (erosion, punctual spot contaminations of spills atmospheric origins). Hence the need to ensure its protection to enable the sustainable development of societies (Lavelle and Spain, 2001).

Soil represent one of the most important reservoirs of biodiversity (Heywood, 1995) which is currently a major issue of ecological research, concerning at the same time role in the ecosystems, its determinism and its valorization in the field of the preservation of the environment (Solbrig et al., 1994, French Academy of Sciences, 1995).

In order to set up, monitor and ensure

protection and soil management's actions, indicators should be defined and that make it possible to identify and quantify the disturbances and transformations of the soil as well as the impacts on the ecosystems. As a result, biological parameters integrate all the environmental stresses (chemical pollution, physical state of the soil, climatic variations, biological modifications, etc.) and provide information on the overall state of the soil, in particular the becoming of the organic and metallic pollutants of the soil (Lavelle and Spain, 2001, Lavelle et al., 2006).

This observation of soil protection and management has also been made by the European Commission by a strategy of soil protection strategy (CE, 2006), the importance of soil as a habitat and a reservoir of the biodiversity, but also for the determination and development of bio indicators (ademe, 2009).

Studies on the vertical distribution of the soil fauna are focused on micro arthropods (Andre et

al., 2002) and earthworms (Jimenez and Decaëns, 2000, Garcia and Fragoso, 2002). Few studies, however, have focused on macroarthropod communities (Dowdy, 1944, Frouz et al., 2004).

Among the work that has been realised on soil fauna is that of Roth (1972) using colour water traps, used as Barber pots, by Mavoungou et al., (2001), which assesses the anthropogenic effects on the entomofauna in humans. the complex of protected areas of Gamba (Gabon), of Soldati (2002) on the beetles of the open environments in the Eastern Pyrenees., of Hautier et al., (2003) on the evaluation of the biodiversity of the circulating entomo fauna in northern Benin, Achoura et al., (2010) on the arthropodo logical fauna of the palm groves of El-Kantara, Boukli-Hacene (2012) on the bio ecology of beetles and, finally, those of Selmane and Benslama (2015) on the seasonal variation of the soil fauna of a palm grove in the south eastern region of Algeria.

In the Tizi Ouzou region, various studies have been carried out on the arthropod inventory, notably those of Merabet (2014) on the arthropod inventory in three stations in the Darna Forest (Djurdjura) and Lembrouk & Sadoudi-Ali Ahmed (2016) on the impact of industrial pollution generated by two companies (Eléctro-Industries of Azazga and the National Company of the Electro-Menager Industries of Oued Aissi) on the soil fauna.

To complete this last work, we have conducted the present study on the biodiversity of soil fauna in five different stations following a pollution gradient.

## MATERIALS AND METHODS

This study was carried out in the wilaya of Tizi-Ouzou (located 100 km east of Algiers) during the years 2014 and 2015. We were interested in the effect of industrial waste on the soil fauna with a succession of several sampling periods (one sampling per month during the four seasons) starting from a forest (Yakouren forest), of high altitude, towards the industrial zone of Oued Aissi, in the middle of the Sébaou Valley, on a transect altitudinal equidistant between the different sampling stations through the two industrial entities of the region (Electro-Industries of Azazga (EI) and the National Company of the Electro Ménager Industry of Oued Aissi: Eniem.) .

Random sampling was adopted. It is based on the quadrat method that allows us to take a sample each month with a sampling level of 0 to

20 cm deep in five different stations (Yakouren 1 and 2, Azazga, Tizi-Rached and Oued Aissi) .

The Yakouren station characterized by a Mediterranean climate with a cold winter, frequent snow and a clement and mild summer is far from any industrial and urban activity and it is represented by a rather dense oak forest (*Quercus suber*); this is why we have selected two sampling points. The other three stations (Azazga, Tizi-Rached and Oued Aissi) are located on the Sébaou Valley, at low altitude (151, 117 and 100 m altitude respectively). They are industrial and urban and are home to the major industrial entities of the region (EI at 36 ° 44 ', latitude North and 4 ° 19' longitude East and ENIEM at 36 ° 42 ', latitude North and 4 ° 08 'East longitude). The Mediterranean climate prevails in these resorts and is characterized by a mild and rainy winter and a hot and humid summer considering the proximity of the Taksebt dam with a vegetation classified in the thermo Mediterranean with olives dominance (*Olea europea*), vegetable crops and orchards (orange, apple, pear, fig, etc.) that contribute to the degradation of natural vegetation in this valley.

The extraction of soil micro-organisms consists of separating them from their substrate using the simplified Berlese-Tullgren extractor, by the dry method, after having harvested all the fauna visible to the naked eye.

Once the soil is harvested, it is sorted, identified and counted. The results are subjected to statistical analyzes (principal component analysis and factorial correspondence analysis).

## RESULTS

### Analysis of wildlife

Table I represents the set of the groups of soil fauna identified in the different sampling stations (Yakouren, Azazga, Tizi-Rached and Oued Aissi) over a period stretching from April 2014 to March 2015.

The harvested fauna belongs to 7 classes (Insects, Arachnids, Collembles, Gasteropods, Myriapods, Crustaceans and Annelids) which are divided into 15 orders and 39 families. The dominant class is that of insects with 34 species. This table is well explained in Table II which presents the numbers of the different orders identified in the five stations during the entire sampling period.

**Table I : All the faunistic groups identified in the studied stations.**

| Classes  | Annelids | Arachnids | Collembola | Crustaceans | Gastropods | Insectes | Myriapods |
|----------|----------|-----------|------------|-------------|------------|----------|-----------|
| Orders   | 1        | 3         | 2          | 1           | 1          | 5        | 2         |
| Families | 1        | 12        | 4          | 2           | 4          | 13       | 3         |
| species  | 1        | 15        | 8          | 2           | 6          | 34       | 3         |

**Table II: Number of soil fauna species harvested in the studied stations.**

| Classes     | Orders            | Y <sub>1</sub> | Y <sub>2</sub> | EI. | TR  | ENIEM | Σ    |
|-------------|-------------------|----------------|----------------|-----|-----|-------|------|
| Annelids    | Oligochaeta       | 5              | 15             | 3   | 0   | 10    | 33   |
| Arachnids   | Spiders           | 0              | 7              | 18  | 16  | 10    | 51   |
|             | Mites             | 204            | 101            | 128 | 136 | 96    | 673  |
|             | Pseudoscorpionida | 0              | 2              | 1   | 0   | 0     | 3    |
| Collembola  | Poduromorpha      | 6              | 2              | 5   | 10  | 35    | 58   |
|             | Entomobryomorpha  | 36             | 43             | 35  | 61  | 57    | 232  |
| Crustaceans | Isopods           | 1              | 6              | 0   | 5   | 2     | 14   |
| Gastropods  | Stylommatophora   | 1              | 1              | 324 | 16  | 193   | 535  |
| Insects     | Beetles           | 30             | 19             | 8   | 2   | 6     | 65   |
|             | Diptera           | 35             | 17             | 35  | 61  | 14    | 162  |
|             | Lepidoptera       | 1              | 3              | 2   | 2   | 3     | 11   |
|             | Orthoptera        | 1              | 0              | 1   | 0   | 3     | 5    |
|             | Hymenoptera       | 24             | 8              | 7   | 41  | 349   | 429  |
| Myriapods   | Centipedes        | 12             | 3              | 1   | 4   | 3     | 23   |
|             | Diplopods         | 2              | 0              | 0   | 0   | 0     | 2    |
| Σ           | 15                | 357            | 228            | 569 | 354 | 808   | 2316 |

Table II, complementary to Table I, includes all the numbers of the different species recorded during our sampling, which has allowed us to collect 2316 individuals grouped into 69 species belonging to 7 classes. The class of insects is best represented with five orders (Hymenoptera, Diptera, Coleoptera, Lepidoptera and Orthoptera) and a population of 672 individuals.

## 2. Distribution of the soil fauna

### 2.1. Distribution of faunal groups according to the seasons

Figure 1 shows the distribution of soil fauna identified by the seasons of the year.

The AFC in Figure 1 allows to designate four affinity groups according to the distribution of faunal groups infuncting to the seasons of the year:

- ✓ Group1, connects Annelids and Collembola to the humid winter season,
- ✓ Group 2, shows the relationship of Arachnids and Gasteropods with spring (favorable season to the proliferation of the microfauna),
- ✓ Group 3, connects crustaceans and the dry summer season,

- ✓ Group 4, connects Insects and Myriapods in fall season.

### 2.2. Distribution of faunistic groups in the different stations

Figure 2 divides the soil fauna groups in the study stations (Y<sub>1</sub>, Y<sub>2</sub>, EI., TR., and ENIEM.). In the AFC of Figure 2 are required three homogeneous groups:

- ✓ Group 1: symbolizes the affinity and the dominance of gastropods (Bio-indicators of pollution) in the station of the Electro-Industries rich in heavy metals,
- ✓ Group 2: symbolizes the affinity of the predominant insects (pollo-resistant) in the ENIEM station. polluted by heavy metals,
- ✓ Group 3: the groups Collembola, Annelids, Arachnids, Myriapods and Crustacea (pollo-sensitive) in the Yakouren and Tizi Rached stations.

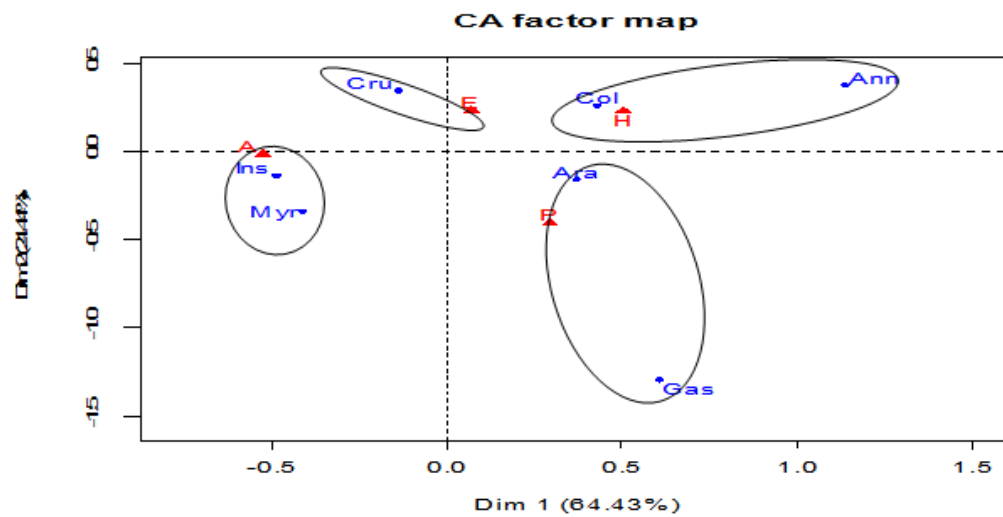


Figure 1: Distribution and affinity nuclei of faunal groups and seasons in the  $F_1 \times F_2$  factorial plane.

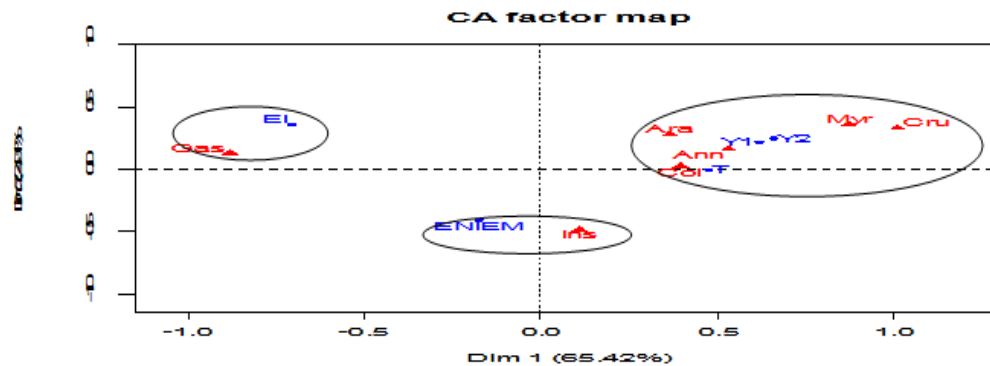


Figure 2: Distribution and affinity nuclei of faunal groups and stations studied in the  $F_1 \times F_2$  factorial plane.

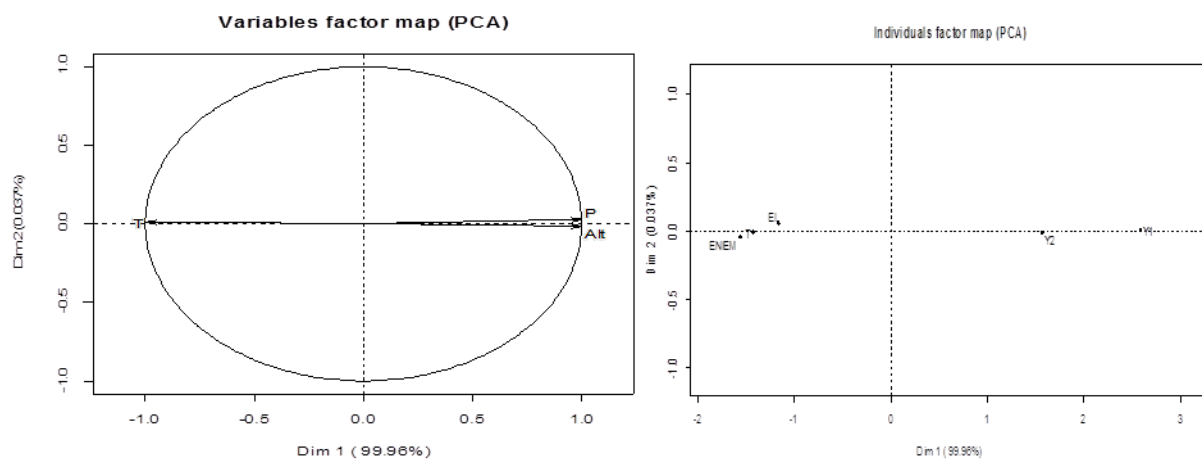


Figure 3: ACP Representative of the distribution of climatic characters and altitude in the studied stations.



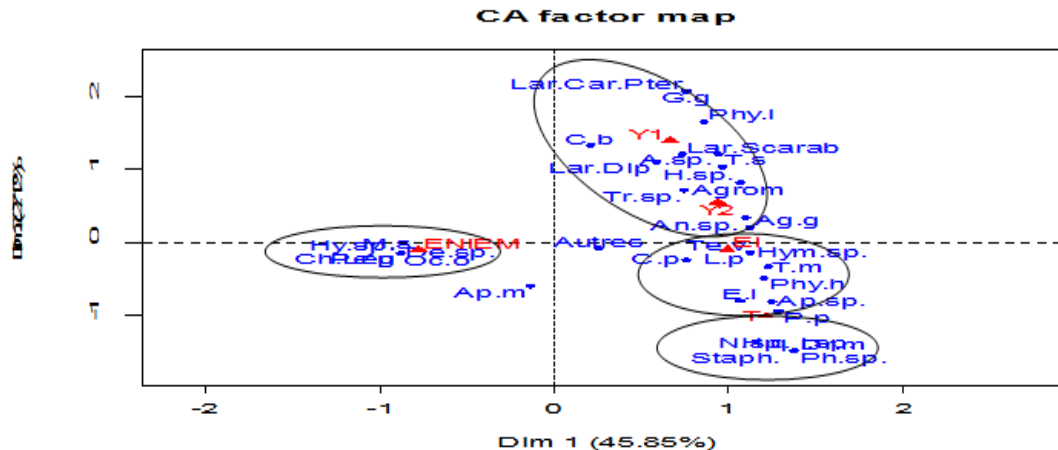


Figure 7: Distribution and affinity nuclei of insect species and stations studied in the  $F_1 \times F_2$  factorial plane.

According to Figure 3, Yakouren stations at high and medium altitude correlated with precipitation and stations EI., TR. and ENIEM. at low altitude correlated with temperatures.

According to Figure 4, Eniem. and Tizi-Rached stations are those that contain the lowest quantities in MO. and pH. The  $Y_2$  station is the richest in  $\text{CaCO}_3$ .

According to Figure 5, Zn, Cr and Pb are positively correlated and oppose the Ni. It interprets the important influence of quantified heavy metals (Pb, Cr, Zn, Ni) especially in the ENIEM station. The Tizi-Rached station is positively correlated with the Ni and the EI station. Seems to contain metals including Zn and the Ni. The  $Y_1$  and  $Y_2$  stations are not influenced by any metal, which makes them reference stations far from any source of industrial pollution.

### 2.3. Distribution of characteristic species of study stations

The distribution of gastropod species and insect species in the different stations studied is shown in Figures 6 and 7.

According to Figure 6, the stations of EI., Tizi Rached and ENIEM. have an affinity with certain species of gastropods (*Cernuella virgata*, *Cernuella sp.*, *Tebba pisana*, *Cochlicella barbara*, *Rumina decollata*) while the  $Y_1$  station is linked with only one species which is *Helix aspersa maxima*.

According to Figure 7, we distinguish four nuclei: The ENIEM. station. which is characterized by the dominance of the species: *Messor structor*,

*Pheidole pallidula*, *Hymenoptera sp. ind.*, *Dermaptera sp.ind.*, *Ocypus olens*, The EI. station forms a kernel of affinity with insect species: *Culex pipiens*, *Lycaena phlaeas*, *Tettigonia viridissima*, *Tipula maxima*, *Phytomyza horticola*, *Empis livida*, *Hymenoptera sp. ind.*, *Apion sp.* The station of Tizi-Rached is characterized by the dominance of the species: *Pheidole pallidula*, *Halictus quadricinctus*, *Drosophila melanogaster*, *Nematocera sp.ind.* The Yakouren ( $Y_1$ et $Y_2$ ) stations reveal the dominance of the following species: *Cartaglyphis bicolor*, *Gryllotalpa gryllotalpa*, *Agriphila geniculea*, *Phytomyza ilicis*, *Anthicus sp.*, *Trechus sp.*, *Hymenoptera sp. ind.*, Larvae of Carabidae: Pterostechinae.

### DISCUSSION

Biodiversity assessment is usually based on community structure and composition, as biodiversity is a multidimensional concept (Purvis & Hector, 2000) that reflects the biological complexity of communities (Hedde et al., 2013). According to Cluseau (1999) the diversity of soil fauna has a major role in the functioning of soils and ecosystems, especially the degradation and recycling of organic matter. This is well confirmed by Lavelle (1997) who showed that the different groups of soil organisms strongly influence the properties and processes of the soil.

In 2001, FAO has well determined the essential functions of soil organisms: conservation of soil structure, regulation of hydrological processes, carbon sequestration and gas

exchange, soil detoxification, nutrient recycling, decomposition of organic matter, pest and disease control, plant growth control, symbiotic relationships with plants and their roots, sources of food and drugs ...

The sampling results of the five studied stations reveal a biodiversity represented by 69 species belonging to 7 classes of pedofauna which are divided into 15 orders and 39 families with the dominance of the class of the Insects which contains 34 species. Within this class, the Coleoptera order ranks first with 6 species.

According to Coiffait (1960), the soils favorable to the development of endogenous beetles would be soils with a high content of fine elements that are likely to maintain a favorable humidity, this is the case of the studied soils which are of sandy-silty texture according to the soil analyzes carried out. This biodiversity varies according to the type of soils and the geographical regions and remains, however poorly known because of the difficulties of determining the real number of species (Dajoz, 2000).

Our results confirm those obtained by Gigot and Bodot (1973), who, while working on the invertebrates in a scrubland of *Quercus coccefera*, noticed the dominance of Insects. Boussad and Doumandji (2004), mentioned that it is the Insects which occupy the first rank, in Oued Smar. Boukaroul et al., (2007), in a study on fruit pistachio entomofauna in Beni Tamou (Blida), Mimoun and Doumandji (2008), in the forest of Beni Ghobri in Yakouren (Tizi-Ouzou) and Fernane et al., (2010), in the middle a green oak forest environment near Larbâa Nath Irathen (Tizi-Ouzou), and Besaada and Doumandji (2011) in an Aleppo pine forest burned in Aldjiba near Cherchell (Tipaza) confirm that it's the insects which predominate.

The organisms of the soil fauna (microflora and microfauna, mesofauna and macrofauna) play fundamental roles in the functioning of the ecosystems (Lavelle & Spain, 2001). According to Bachelier (1978) and Gobat et al., (2003), the distribution of soil fauna depends on the physico-chemical nature and soil depth, the variation in climatic conditions of the environment, the seasonal rhythm and the diet of the animal population considered. However, the functional traits of species are related to the characteristics of the organisms that affect their individual ability and govern their impacts and responses to their environment (Violle et al., 2007). This is well confirmed by Lembrouk & Sadoudi in 2016, who studied the diversity of the

soil fauna under the effect of the depth, the seasonal rhythm and the climatic conditions at the level of the Sébaou Valley (Algeria), however in this study the Seasonal rhythm effect is very apparent according to Figure 1.

There are many other abiotic factors that can influence the distribution of soil fauna organisms, such as soil texture, degree of acidity or pH, the chemical nature of litter, salinity, the osmotic power of solutions, the nature of clays, light and even the electric fields (Bachelier, 1978). These abiotic factors were analyzed in the study stations to obtain a sandy-silty texture, a neutral pH, an electrical conductivity and a low limescale rate as well as a variable amount of organic matter ranging from very low at the level to Tizi-Rached station towards the high rate at the Y<sub>1</sub> and Y<sub>2</sub> stations.

The faunistic groups are divided into four groups according to the four seasons of the year (Figure 1): Group 1 (Annelids + Collemboles during the wet winter season), Group 2 (Arachnids + Gastropods in high season favorable to the proliferation of the microfauna which is spring), Group 3 (Crustacea and the dry summer season) and Group 4 which links Insects and Myriapods in the fall) and in three groups according to the studied stations (Figure 2): Gastropods - Electro-Industries, Insects- ENIEM. And Collembola, Annelidae, Arachnidae, Myriapods and Crustaceae in Yakouren and Tizi Rached stations, following climatic characteristics, edaphic factors and quantified heavy metals (Figures 3, 4 and 5). These groups of fauna depend on their environment by the availability of certain edaphic factors, mainly moisture, structure, organic matter and soil pH (Ponge, 2010), despite the fact that spring is the most favorable period for the proliferation of certain species (Cluzeau et al., 1999).

The ACP completed, divided the study stations according to the climatic characteristics that oppose it (Yakouren stations at high and medium altitude correlated with precipitation and the stations EI, TR and ENIEM at low altitude correlated with the temperatures). Highlighting the influence of edaphic characters where ENIEM stations. and Tizi-Rached are those that contain the lowest quantities in MO. and pH. While the Y<sub>2</sub> station is the richest in CaCO<sub>3</sub>. The altitude stations (Y<sub>1</sub>, Y<sub>2</sub>) are characterized by abundant rainfall during winter and spring, which makes them an important factor acting on animals and plants along their developmental stages (Achoura et al., 2010).

Water, a vital element for soil fauna, whose water-soil-wildlife relationship is already studied by Rapoport and Tschaper in 1967, however Belfield (1967), in a pasture of West Africa, found a direct correlation between the artificial supply water on the ground and its population of micro arthropods. On the other hand, the temperature acts in several ways on the insects, by disturbing their growth rate, by modifying their speed of development and end killing them from certain limits at last, but each species has a preferential temperature for its activity. The soil temperature varies very little in depth (Pierre, 1958), but its variations determine vertical migrations of the fauna, it is the example of earthworms which have an upper limit of supported temperature strongly influenced by their conditioning, however, worms can not tolerate excessive temperatures (Bachelier, 1978).

The study stations reveal variable temperatures and rainfall depending on the altitude gradient from Yakouren Mountain to the Sébaou Valley. The Yakouren forest is characterized by heavy rainfall, especially in winter (an annual average of 1030 mm / year according to the INRF Azazga) and warm temperatures in summer due to its approach to the sea; unlike the low altitude stations (EI., TR. and ENIEM.) which are characterized by average and irregular rainfall from one year to another (from 600 to 900 mm / year) and high temperatures, especially in summer (up to 46 ° c) according to the National Office of Meteorology Tizi-Ouzou.

The soils analyzed reveal a good organic matter content. This accumulation is an almost definite indication of a pollutant deposit of any kind (Ponge, 2010). According to Mouthon (1980), a moderate enrichment of the medium in organic matter, causes without any reduction in species richness, a remarkable increase in the density of most species, but the fauna of the soil is eurybiote (extremely sensitive to weak changes in humidity, pH and MO).

The pH of the soils studied is neutral, it favors the survival of the soil fauna (*Parisotoma notabilis*, *Oniscus asellus*, *Drosophila melanogaster*, *Apis mellifera*, ...), but many animals can only live within certain pH limits. others, on the other hand, are very tolerant to variations in the acidity of the environment, as is the case with certain Carabes (Coleoptera), studied by Kuhnelt (1969), which are looking for acidic soils of pH 3 to 5, while others are looking for Neutral or alkaline places of pH 6 to 8. Marcuzzi (1964), in Apulia soils

(southern Italy), showed statistically a close relationship between the distribution of Tenebrionidae and certain physicochemical characteristics of soils.

To these influences are added those of quantified heavy metals (Zn, Cr and Pb are positively correlated and opposed to Ni) in the ENIEM, EI and Tizi Rached stations. The metals are classified by Goyer, (1991), in four categories according to their degree of toxicity whose most toxic metals are As, Be, Cd, Hg, Cr, Pb, Ni among which we have listed the last three; while Zn, Cu and Fe are classified as important metals for life (trace elements) with potential toxicity. Yakouren stations are far from any source of industrial pollution and are not influenced by any metal, which gives them the status of "reference station". On the other hand, the other stations are more or less affected by the pollution which is detected at lower levels than the acute or chronic toxicity thresholds according to the results obtained which are consistent with the results of Martinez Aldaya et al., (2006); LORS et al., (2006); Garcia et al., (2008) and Kobeticova et al., (2009); but this affects the fauna in these soils studied in its structure, its diversity as well as its specific richness due to the change of the quality of the environment and the toxicity of the heavy metals in the grounds and their non - biodegradability (Berkouki, 2011).

In general, polluted soils are characterized by impoverishment of their food webs, linked to the loss of biodiversity with a threshold of tolerance that can be defined for each group of organisms (Ponge, 2010). These degradations can influence ecosystem processes directly through their physicochemical effects or indirectly via their effects on biodiversity (Diaz et al., 2007), which is the major factor in biodiversity changes by determining changes or even disappearances of species (Sala et al., 2000). As a result, the determination of pollutants by soil animals could provide a cheap method for early detection of environmental risks (Yeardley et al., 1996, Da luz et al., 2004, Martinez Aldaya et al., 2006).

These results are complemented by other AFCs that highlight the dominant species in each affinity group including the stations EI., Tizi Rached and ENIEM. have an affinity with some gastropod species (*Cernuella virgata*, *Cernuella* sp., *Tebba pisana*, *Cochlicella barbara*, *Rumina decollata*) whereas the station Y<sub>1</sub> is connected with only one species of gastropod which is *Helix aspersa maxima* which is ubiquitous that looks for wet and dark places and does not like to be

exposed to the sun and high temperatures (Chevallier, 1977).

According to Cortet et al., (1999) Gastropods are biological indicators of pollution. They are also confirmed by Decaens et al., (2006) who considers them as bio indicators of soil quality or pollution. They are also bio-accumulators of heavy metals and show a preference for calcareous soils (Bachelier, 1978). This affinity is the result of the high humidity of the environment due to the industrial release and the availability of limestone (Duchaufour, 1994) as well as the adaptation and resistance to the industrial pollution by heavy metals because of their eco-physiological characteristics. (Gobat et al., 2010).

Therefore, gastropods have a real "strategy" of adaptation to the environment and the course of their life cycle is under the close dependence of environmental factors such as temperature, trophic conditions ..., and can vary significantly from one species to another. This adaptive plasticity makes it possible to have maximum productivity under given conditions and thus to offset, from one year to another, the weak productivity due, for example, to a harsh winter. In addition, we can highlight the selective advantages of an annual cycle in gastropods in which the adults, which disappear after the laying, do not compete with the nascent generation (Mouthon, 1980).

In these stations, it's noticed an affinity with certain insects; this is the case of the Eniem station. which is characterized by the dominance of the species: *Messor structor*, *Pheidole pallidula*, *Ocypus olens*. The El. station forms a kernel of affinity with insects: *Culex pipiens*, *Lycaena phlaeas*, *Tettigonia viridissima*, *Tipula maxima*, *Phytomyza horticola*, *Empis livida*. The Tizi-Rached station is characterized by the dominance of species: *Pheidole pallidula*, *Halictus quadricinctus*, *Drosophila melanogaster*. Finally, the Yakouren ( $Y_1$  and  $Y_2$ ) stations are distinguished by the dominance of *Cataglyphis bicolor*, *Gryllotalpa gryllotalpa*, *Agriphila genicula* and *Phytomyza ilicis*.

Ants are good indicators of biodiversity and the state of the ecosystems. They are a real chemical factory that allows a complex communication and allows them to be recognized to their smell thanks to substances that are on their cuticle. But this cuticle also traps pollutants, which classify them as bio-indicators (Lenoir, 2015).

Carabid populations are considered as bio indicators used directly and indirectly to detect

and measure environmental pollution (Erwin et al., 1979). Migliorini et al., (2004) reported that a significant portion of the metallic lead from spent pellets accumulated in the predator *Ocypus olens*. This is a confirmation of the results of Maurer (1974) which states that the presence or absence of lead in an animal carcass was considered as an indicator of pollution by motor vehicles.

Diptera whose flies, mosquitoes, horseflies, ... are animals very resistant to organic pollution, this is the case of *Culex pipiens* which is known for its reproduction in waters with varying degrees of pollution (Raghavan, 1961) and according to Vivier (1968) and Hasaballah (2017), this species is an indicator pollution through heavy metal due to its adaptation. *Tipula maxima*, for its part, supports pollution (Schulz and Liess, 2001).

In the carried out study, the recorded biodiversity is affected by the industrial pollution generated by the industrial potential of the region, with the exception of the reference stations (Yakouren). The Eniem. station is the most affected by the fact that it undergoes an accumulation of all the pollutants of the other stations following the pollution gradient because of its geographical position with low altitude in the Sebaou Valley, which causes to it a modification of the biological processes as well as the stability of its ecosystems (Balvanera et al., 2006).

## CONCLUSION

The environments of the studied stations, with the exception of the high altitude stations, reflect a pollution caused by the rejection of the waste of the large neighbouring industrial entities El. and ENIEM.); This stems from the development of the society in general and industry in particular depending on the natural ecology of the ecosystem that degrades biodiversity and the quality of natural environments.

The affected soil fauna provides an adaptive strategy so that its species survive in an inadequate biotope and ensure their pre-existence, which classifies them either as pollen-resistant as gastropod species and as ants or as pollutants for most soil fauna species. For this, it is suggested to deepen the research while focusing on gastropods and insects obtained as bio-indicators of pollution by heavy metals while quantifying the latter in the body of living bio accumulators

## CONFLICT OF INTEREST

The authors declared that present study was performed in absence of any conflict of interest.

### AUTHOR CONTRIBUTIONS

L. L. designed and performed the experiments and also wrote the manuscript.

SA D. reviewed the manuscript. All authors read and approved the final version.

---

### Copyrights: © 2017 @ author (s).

This is an open access article distributed under the terms of the [Creative Commons Attribution License \(CC BY 4.0\)](#), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author(s) and source are credited and that the original publication in this journal is cited, in accordance with accepted academic practice. No use, distribution or reproduction is permitted which does not comply with these terms.

---

### REFERENCES

- Achour A, Behamra M., 2010: Overview of the arthropodological fauna of the palm groves of El-Kantara. *Courier of Knowledge* 10: 93-101.
- Ademe, 2009: The ADEME program "Bio indicators of soil quality": Towards the development and validation of biological indicators for soil protection 145 A. Bispo, C. Grand and L. Galsomies ADEME (Environment Agency and Energy Management) 20, Avenue du Gresillé BP 90406 49004 Angers Cedex 01, France; Received: August 2009; Accepted: September 2009 Study and Management of Soils, Volume 16, 3/4: 145-158.
- Andre H M, Ducarme X, and Lebrun P., 2002: Soil biodiversity: myth, reality or conning. *Oikos* 96: 3-24.
- Bachelier G., 1978: Soil fauna; its ecology and its action. O.R.S.T.O.M. Edition 391p.
- Belfield W., 1967: The effects of overhead watering on the meiofauna in a West African Pasture. In *d'rogress in Soil Bwlogy-N, orth-Holland Publ. Comp. (Amsterdam)*: 192-210.
- Bensaada F. and Doumandji S., 2011: inventory of arthropods in the region of Chercell (Tipaza), international seminar on plant protection, 18-21 April 2011, For Coli Nati. Sup Agro. El Harrach, Dep. Zool. Agro, p 182.
- Berkouki R., 2011: Agricultural soil pollution by heavy metals. *European academic publications*, p1.
- Bigot I. and Bodot P., 1973: Contribution to the biocenotic study of the *Quercus coccefera* garigue- biotic composition of the invertebrate population, life and environment, vol 23, Fasc. 2 (Ser C): 229-249.
- Boukaroui N., Doumandji S. and Chebouti-Meziou N., 2007: the entomofauna of fruit pistachio (*Pistachia vera* linné) in the region of Blida, Inter Days. Zool. Agri. for April 8-10, 2007, Dep. zool. Agro. For Inst. Nati. Agro. El Harrach, p. 203.
- Boukli-Hacene S., 2012: the bioecology of beetles (Arthropods-Insects) of the salt marsh of the mouth of the Tafna (Tlemcen), Thesis of doctorate 142p, University of Tlemcen.
- Boussad F. and Doumandji S., 2004: Faunistic diversity in a plot of *Vicia faba* (Fabaceae) at the technical institute of field crops of Oued smar, protec day. Veg. March 15, 2004, Dep. Zool. Agro for Inst. Nati. Gro. El Harrach, p. 19.
- Chevallier H., 1977: The Variability of the Little Gray Snail *Helix aspersa* Miiller, Bulletin of the National Museum of Natural Histoibe 3rd Series, No. 448, March-April 1977, Zoology 311: 425-442.
- Cluzeau D., Cannavacciuolo M. and PERES G., 1999: Soil macrobio-logic indicators: earthworms - Sampling method in agrosystems in temperate zone. In 12th Wine and Oenological Conference Ed. ITV Paris: 25-35.]
- Coiffait H., 1960: The Coleoptera of the soil. *Act. Sci. Ind.*, No. 1260, Hermann ed. (Paris), 204 p.
- Cortet J. , Gomot-DE VauflerY A., Poinso-Balaguer N., Gomot L., Texier C., Cluzeau D., 1999 : The use of invertebrate soil fauna in monitoring pollutant effects. *European Journal of Soil Biology*. Vol. 35, Issue 3: 115-134.
- Da luz, T.N., Ribeiro, R., SOUSA, J.P., 2004: Avoidance tests with Collembola and earthworms as early screening tools for site-specific assessment of polluted soils. *Environmental Toxicology and Chemistry* 23: 2188-2193.
- Dajoz R., 2000: Accuracy of ecology. Ed Dunod; Paris: 112-442.
- Decaëns T., Aubert M., BAROT S., BLOUIN M., Bureau F., Margerie P., . Mora P., Rossi J.-P. , Lavelle P., 2006: Soil invertebrates and ecosystem services, *European Journal of Soil Biology*, Volume 42, Supplement 1 :

- S3–S15.
- Diaz S., Lavorel S., Bello F., Quétier F., Grigulis K. and Matthew Robson T., 2007: Incorporating plant functional diversity effects in ecosystem service assessments, *PNAS* 104 (52) 20684-20689; published ahead of print December 19, doi:10.1073/pnas.0704716104: 1-18.
- Dowdy W., 1944: The influence of temperature on vertical migration of invertebrates inhabiting different soil types. *Ecology* 25: 449–460.
- Duchaufour PH., 1994: *Pedology, soil, vegetation, environment*, Edition Masson, 289p.
- EC, 2006: the European Commission for soil protection.
- Erwin T L., Ball G E., Whitehead D R., Halpern A L., 1979: *Carabid Beetles Their Evolution, Natural History, and Classification*, Springer, Dordrecht: 507-521.
- FAO, 2001, oil bio diversity portal. Conservation and management of soil biodiversity and its role in sustainable agriculture. <http://www.fao.org/AG/AGUag/IIsoilbiodl>.
- Fernane A., Doumandji S. and Doumandji-Metich B., 2010: Study of entomofaunistic biodiversity in the region of Larbaa Nath Irathen (Tizi-Ouzou), Inter. Zool. Agri. for April 19-21, 2010, Dep. zool. Agro. For Nati School. Sup Agro. El Harrach.
- French Academy of Sciences, 1995: Biodiversity and Environment. Report of the Academy of Sciences No. 33, Lavoisier, Paris, 88p.
- Frouz J., ALI A., Frouzova J., Lobinske R., 2004: Horizontal and vertical distribution of soil macro arthropods along a spatio-temporal moisture gradient in subtropical central Florida. *Environmental Entomology* 33: 1282–1295.
- Garcia JA, Fragoso C., 2002: Growth reproduction and activity of earthworms in degraded and amended tropical open mined soils: laboratory assays. *Appl. Soil ecol* 20: 43–56 p.
- Garcia JA., Römbke, J., Torres DE Brito, M., SCHEFFCZYK, A., 2008: Effects of three pesticides on the avoidance behavior of earthworms in laboratory tests performed under temperate and tropical conditions. *Environmental Pollution* 153: 450-456.
- Gobat J. M, Aragno M. and Matty W., 2003: *Bases of pedology; Soil biology: the living soil*. 2<sup>nd</sup> Edition PPUR Edition Lausanne. 569 p.
- Goyer, R.A., 1991: *Toxic Effects of Metals*, 4th Edition ed., *Casarett and Doull's Toxicology the Basic Science of Poisons*, M.O. Amdour, J. Doull and C.D. Klaassen, Pergamon Press, New York.
- Hasaballah A I., 2017: The mosquito *Culex pipiens* L. as indicator for heavy metal pollution: Biochemical and Histological Effects of Certain Heavy Metal Ions on the Mosquito, *Culex Pipiens* L. (Diptera: Culicidae), Noor Publishing: ISBN-10: 3330971622 ISBN-13: 978-3330971622, 128 p.
- Hautier L., PATINY S., THOMAS-ODJO A., GASPARD C., 2003: Evaluation of the biodiversity of circulating entomofauna within cultural associations in North Benin, *Gembloux Wildlife Notes*, N ° 52: 39 -51.
- Hedde M., VAN Oort F., Renouf E., Thénard J., Lamy I., 2013: Dynamics of soil fauna after plantation of perennial energy crops on polluted soils, *Applied Soil Ecology*, Volume 66: 29-39.
- Heywood V H., 1995: *Global Biodiversity Assessment*. Ed. United Nations Environment Programme. Cambridge University Press, Cambridge: xi + 1140.
- Jiménez J., DECAËNS T., 2000: Vertical distribution of earthworms in grassland soils of the Colombia llanos. *Biology and Fertility of Soils* 32: 463- 473.
- Kobetičová, K., Hofman, J., Holoubek, I., 2009: Avoidance response of *Enchytraeus albidus* in relation to carbendazim ageing. *Environmental Pollution* 157: 704-706.
- Kuhnelt W., 1969: *General Ecology*. Masson ed. Paris, 360 p.
- Lavelle P, 1997, "Faunal activities and soil processes : adaptative strategies that determine ecosystem function", *Advances in Ecological Research*, 27 : 93-132.
- Lavelle P. & Spain A.V., 2001: *Soil ecology*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. 654p.
- Lavelle P., Decaëns T., Aubert M., barot s., blouin m., bureau f., margerie P., MORA P., ROSS J.-P., 2006 : Soil invertebrates and ecosystem services, *European Journal of Soil Biology* 42: S3–S15
- Lembrouk L. & Sadoudi-ALI Ahmed D., 2016 : impact of industrial pollution generated by two companies (the Azazga - Electro Industries and the National company of Industries Electro- Menager of Oued aissi) on the soil fauna, *IMPACT: International Journal of Research in Applied, Natural and Social Sciences (IMPACT: IJRANSS)* ISSN(P): 2347-4580; ISSN(E): 2321-8851

- Vol. 4, Issue 12, Dec 2016: 65-78.
- Lenoir A., 2015: Ants, Biodiversity and Pollution, Conference at the Science Space, France.
- Lors, C., Martínez Aldaya, M., Salmon, S., PONGE, J.F., 2006: Use of an avoidance test for the assessment of microbial degradation of PAHs. *Soil Biology and Biochemistry* 38: 2199-2204.
- Marcuzzi G., 1964: Observations on the relationships between Tenebrionid fauna and Soil. *Pedobio- IO&*, 4,3: 210-219.
- Martínez Aldaya, M., Lors, C., Salmon, S., PONGE, J.P., 2006: Avoidance bio-assays may help to test the ecological significance of soil pollution. *Environmental Pollution* 140: 173-180.
- Maurer R., 1974: The beetle and spider fauna of meadows affected by traffic pollution, *Oecologia*. doi: 10.1007/BF00384577., 14(4): 327-351.
- Mavoungou U., 2001: Preliminary report of the human impact assessment mission on the entomofauna in the protected area complex of Gamba Research Institute monitoring and assessment in tropical ecology and biodiversity program I, R, E, T / Cenarest 300 P.
- Merabet S., 2014: Inventory of arthropods in three stations at the level of Darna Forest (Djurjura), 108p, University of Tizi Ouzou.]
- Migliorini M., Pigino G., Bianchi N. and Leonzio C., 2004: The effects of heavy metal contamination on the soil arthropod community of a shooting range, *Environmental Pollution (Barking, Essex : 1987)*, 129(2): 331-340.
- Mimoun K. and Doumandji S., 2007: Place insects in the diet of the Algerian Hedgehog *Atelerix algerus* (LERDOULI, 1842) in the forest of Beni Ghobri (Tizi-Ouzou), *Inter Days. Zool. Agri. for April 8-10, 2007, Dep. zool. Agro. For Inst. Nati. Gro. El Harrach*, p. 197.
- Mouthon J., 1980: Contribution to the Ecology of Molluscs in running waters - biotypological sketch and ecological data. Thesis 3rd cycle. Univ. Paris VI: 169 p.]
- Pierre F., 1958: Ecology and entomological settlement of the sands of the Western Sahara. CNRS, Pub. Center Rech. Sahara., S6r. Biol., No. 1: 333 p.]
- Ponge JF., 2010: Impact of soil pollutants on soil animal biodiversity, HAL Edition: 1-3.]
- Purvis, A. & HECTOR A., 2000: Getting the measure of biodiversity. *Nature* 405: 212 – 219.
- Raghavan N.G.S., (1961): The vectors of human infections by *Wuchereria* species in endemic areas and their biology, *Bull. Wild. Hlth. Org.*, 24, pp 177–195.
- Rapoport EH. Tschapek M., 1967: Soil water and soil fauna. *Rev. & OZ. Biol. SoZ.*, IV, 1: 1-58.
- Roth M., 1972: Colored water traps, used as Barber pots, Excerpt from the journal of *Agricultural Zoology and Plant Pathology*, 83 p.
- Sala O, F.Stuart Chapin III,2 Juan J. Armesto,4 Eric Berlow,5 Janine Bloomfield,6 Rodolfo Dirzo,7 ELISABETH HUBER-SANWALD,8 Laura F. Huenneke,9 Robert B. Jackson,10 ANN KINZIG,11 RIK LEEMANS,12 DAVID M. LODGE,13 HAROLD A. MOONEY,14 MARTÍ'N OESTERHELD,1 N. LEROY POFF,15 MARTIN T. SYKES,17 BRIAN H. WALKER,18 MARILYN WALKER,3 DIANA H. WALL16, 2000: Global Biodiversity Scenarios, *Science* vol. 287, DOI: 10.1126.5459: 1770-1774.
- Schulz r., Liess M., 2001: Acute and Chronic Effects of Particle-Associated Fenvalerate on Stream Macro-invertebrates: A Runoff Simulation Study Using Outdoor Microcosms, *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, Volume 40, Issue 4 : 481–488.
- Selmane M. & Benslama M., 2015 : Contribution to the study of soil macrofauna under Palm groves in the North-East of the Algerian Sahara (Oued Souf area), *Journal of Biodiversity and Environmental Sciences (JBES)* ISSN: 2220-6663 (Print) 2222-3045 (Online) Vol. 6, No. 6: 203-213.
- Solbrig O T., VAN Emden H M., VAN OORDT P G W J., 1994: Biodiversity and global change, IUBS, Cab International, Wallingford, 227 p.
- Soldati F., 2002: Beetles in open habitats of the Jujols Nature Reserve (Pyrénées-Orientales) and its immediate surroundings, Ed, OPIE-LR.MILLAS, 39p.
- Violle C., Navas ML., VILE D., Kazakou E., Fortunel C., Hummel I. AND garnier E., 2007 : Let the concept of trait be functional!, *Oikos* 116: 882 - 892.
- Vivier P., 1968: influence of organic pollution on the aquatic fauna of running waters, Development of a communication prepared for the symposium of hydrobiology organized by the Zoological Society of France in Dijon (May 1968) which, because of events, could not take place,

<http://dx.doi.org/10.1051/kmae:1970009>.

Yeardley, R.B., Lazorchak, J.M., Gast, L.C., 1996:  
The potential of an earthworm avoidance test  
for evaluation of hazardous waste sites.  
Environmental Toxicology and Chemistry 15:  
1532-1537.

## IMPACT OF INDUSTRIAL POLLUTION GENERATED BY TWO COMPANIES (THE AZAZGA - ELECTRO INDUSTRIES AND THE NATIONAL COMPANY OF INDUSTRIES ELECTRO- MENAGER OF OUEDAÏSSI) ON THE SOIL FAUNA

L. LEMBROUK & D. SADOUDI -ALI AHMED

Department of Biological Sciences, M. Mammeri University of Tizi-Ouzou, Algeria

### ABSTRACT

We have undertaken a study on the impact of industrial pollution of the final discharge of two large industrial companies in the wilaya of Tizi -Ouzou (Algeria) on the pedofauna. This is about the Electro Industries of Azazga and the National Company of Industries appliances Oued Aissi. We opted for the method of the quadra (25 × 30 cm) with three depth levels N<sub>1</sub> (0-10 cm), N<sub>2</sub> (10-20 cm), N<sub>3</sub> (20-30 cm) during three seasons (winter, spring and summer). The extraction of the soil organisms is achieved by the simplified technique of Berlese Tulgrene. The gathered animals are sorted, identified and counted. In addition to the inventory, analyses are performed on the ground such as granulometry, pH, O.M. and the determination of heavy metals. The identified wildlife is divided into 18 levels divided into 60 families and 102 species with the apparent action of the season, the depth and the pollution thanks to gastropods which are bio - indicators.

**KEYWORDS:** Soil, Pedofauna, Industrial Waste, Pollution, Indicator Species

### INTRODUCTION

With the scale of population growth and the improvement of the standard of living that our planet has known over centuries, the effects of industrialization are revealed catastrophic for living beings, including humans.

The pollution caused by human activities (agriculture, industry,) on or in the soil, is directly or indirectly harmful to the soil quality (NICOLAS, 1997). The evaluation of this quality is done by chemical, physical and biological indicators which are more sensitive for the process of planning and disturbances.

This is why the protection of various components of the environment and biodiversity constitute real challenge for our society; it's for this that practical and legal measures of conservation of the environment are put in place in the context through a sustainable development (YAAKOUBI & al., 2009).

It is in this context that we are interested in studying the impact of industrial pollution of the final rejection of two companies that are Azazga Electro Industries and ENIEM. Of OuedAissi on soil organisms because the ground is one of the most important reservoir of biodiversity that corresponds several times to that of observed above the ground surface (HEYWOOD, 1995). The goal is to research in the soils of these companies, bio- indicators to go permits greater appreciation of this pollution

To well answer this theme, we opted for a comparison of the soil of a fauna of a polluted site (soil companies) and other healthy (a distance of about 1km from the first and located at a slope.) while achieving physical analysis of soils at both sites and chemical analysis including heavy metals.

## MATERIAL AND METHODS

In Algeria, it is in the North that the industrial potential and their industrial pollution sources are located. Our choice was, in the wilaya of Tizi-Ouzou (located 100 km east of Algiers), two companies that are Electro-Industries Azazga (EI), specializing in the manufacturing and marketing motors, transformers and generators, and the national company of the appliance industry (ENIEM.) of Oued Aissi who is known for manufacturing and assembly of appliances namely refrigerators, stoves, heaters, bathroom heaters, etc.

Our sampling in this area is random. It is based on the method of quadrat that allows us to take a sample each month (December to August) with a sampling level of 0-30 cm in three levels:

- The first level (N1) corresponds to layer 0 to 10 cm deep,
- The second level (N2) corresponds to the 10 to 20 cm depth of layer,
- The third level (N3) corresponds to the 20 to 30 cm depth of layer.

Healthy soil analyses of the two study sites were carried out, namely the size, pH, lime, organic matter, and chemical analyzes of heavy metals such as Lead, Chromium, Zinc, Cadmium, Copper, Aluminium and Silver.

The extraction of soil microorganisms consist of separating them from the substrate through the extractor Berlese-Tullgren simplified by dry way, after collecting all the fauna visible to the naked eye. Once harvested soil fauna is sorted, identified and counted, the results are subject to environmental analysis and comprehensive statistics (specific richness, abundance, dominance, index of Shannon-Weaver, equitability, variety analysis, principal component analysis, factor analysis of correspondence and correlation).

## RESULTS AND DISCUSSIONS

### Soil Analysis of Both Sites

The results of soil and physical-chemical analysis performed on the soil samples from both study sites, are shown in Tables 1 and 2.

**Table 1: Results of Soil and Physical-Chemical Analysis Performed on Soil Samples from Both Study Sites, Are Shown in Tables 1.2**

| Soil  |          | Physical Analysis |      |      |      |       |     | Chemical Analysis       |                         |           |         |       |      | Texture   |
|-------|----------|-------------------|------|------|------|-------|-----|-------------------------|-------------------------|-----------|---------|-------|------|-----------|
|       |          | A%                | LF%  | LG%  | SF%  | SG%   | pH  | CACO <sub>3</sub> Total | CACO <sub>3</sub> Actif | C.E ds/cm | C Total | M.O   | H%   |           |
| E.I.  | Healthy  | 39                | L.A. | 28,8 | 3,97 | 19,16 | 7,8 | 3,2                     | —                       | 1,9       | 4,63    | 7,96  | 1,6  | Siltyclay |
|       | Polluted | 25                | L    | 38,8 | 6,2  | 22,4  | 7,5 | 16,62                   | 5                       | 2,1       | 10,33   | 17,76 | 0,01 | Silty     |
| ENIEM | Healthy  | 22,5              | 16   | 41,6 | 8,16 | 11,6  | 8,2 | 9,7                     | 7,1                     | 2,3       | 2,10    | 3,61  | 3,3  | Silty     |
|       | Polluted | 23,5              | 15   | 40   | 9,5  | 11,9  | 8,3 | 8,9                     | 2,1                     | 1,8       | 2,31    | 3,97  | 3,02 | Silty     |

The physicochemical characterization of soils of IE (Table 1) allowed us to distinguish healthy soil silty clay texture, alkaline pH, and low salt and low limestone around 3 and well supplied with organic matter. It is occupied by natural vegetation of grasses. While the polluted soil is loamy texture, pH neutral, moderately salty and limestone. This floor is fitted with dense, deep roots and is very well supplied with organic matter, which explains its black color. In general, these soils are heavy, which forms an obstacle to a good permeability to water and air.

Soils of the ENIEM. Are of siltytexture that it is healthy (citrus fields) or the polluted which is occupied with natural vegetation and a dense network of grasses (reed) that reflects its pollution. These are slightly salty soils, brown in color, well supplied with organic matter, with an alkaline pH. They are moderately limestone, allowing the formation of

aggregates which facilitate the circulation of water and nutrients substances.

According to the results of Table 2, we notice that the contents of polluted soils of both heavy metal sites are high. The polluted soil of IE is richer in copper and especially mercury. Than that of the ENIEM. It is also noticed that the healthy soil of ENIEM is quite supplied with heavy metal.

**Table 2: Results of Heavy Metal Analyzes of Soil from E.I. and of ENIEM**

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

According to the results in Table 2, we notice a significant difference between healthy soils and polluted at the EI. where the heavy metal content is higher in the polluted soil (Pb = 33.6 mg, 48.4 mg = Cr, Zn = 70.6 mg) compared to the healthy soil (Pb and Cr < 20 mg Zn < 3mg). Whereas at the ENIEM. The results of heavy metal analysis show no significant difference between healthy soil and the polluted soil (Pb = 33.6 and 34.8 mg Cr = 45.4 and 47.1 mg, Zn = 90.9 and 94.3 mg for healthy soil than the polluted). The presence of heavy metals in soils is particularly problematic because of their non - biodegradability and toxicity (BERKOUKI, 2011).

#### Analysis of the Fauna of the Two Sites

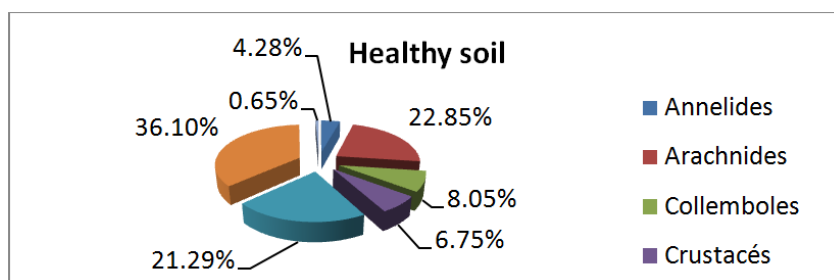
We were able to identify 18 orders distributed on 60 families and 102 species. At EI. a total of 59 species was collected in healthy soil against 67 in the polluted soil. At ENIEM. A total of 59 species was collected in healthy soil against 47 species in the polluted soil (Table 3).

**Table 3: All Faunal Groups Identified in the Study Sites**

| Groups   | Annelids | Arachnids | Springtails | Shellfish | Gastropods | Insects | Myriapods |
|----------|----------|-----------|-------------|-----------|------------|---------|-----------|
| Orders   | 1        | 2         | 3           | 1         | 1          | 8       | 2         |
| Families | 1        | 9         | 7           | 2         | 6          | 30      | 5         |
| Species  | 1        | 18        | 18          | 4         | 9          | 52      | 6         |

According to Table 3, the fauna of our study area is represented by insects, springtails, arachnids, gastropods, Myriapods, crustaceans and annelids. The insect class is the most dominant with 52 species. It is followed by springtails and arachnids with a total of 18 species.

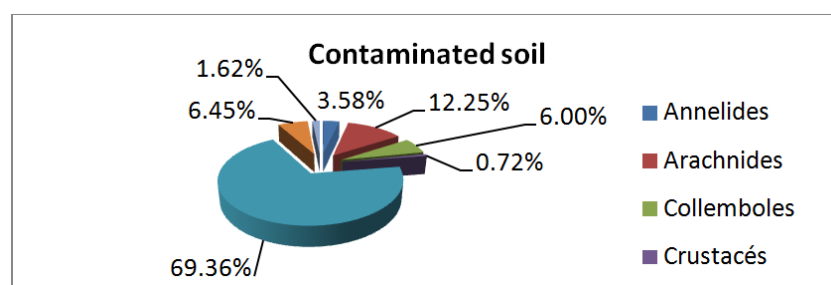
During our sampling at the level of healthy and polluted soils of EI. we have collected a total of 770 individuals in healthy soil and 1534 individuals in the polluted soil whose proportions are shown in Figures 1 and 2.



**Figure 1: Relative Abundance of Faunal Groups Identified in the Healthy Soil of EI**

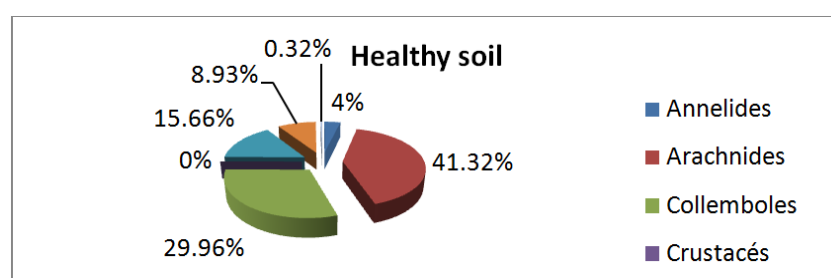
From Figure 1, the healthy soil of EI. Is represented firstly by Insects with a rate of 36.10%, followed by the Arachnids with 22.85% then gastropods with 21.29%, while Collembola and Crustaceans represent only 8.05% and 6.75% respectively.

From Figure 2, the polluted soil of EI. Shows significant dominance of gastropods with a rate of 69.36 % and 12.25 % with the Arachnida. Finally, annelids, Myriapoda and Crustaceans are poorly represented with respective rates of 3.58 %, 1.62 % and 0.72 %.



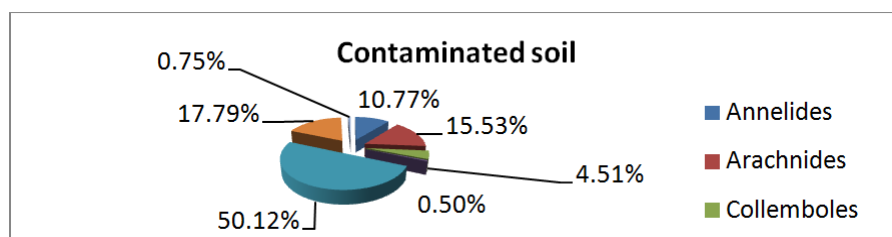
**Figure 2: Relative Abundance of Faunal Groups Identified in the Polluted Soil of EI**

In the soils of ENIEM. We have collected 951 individuals in healthy soil and 399 individuals in the polluted soil whose proportions are shown in Figures 3 and 4.



**Figure 3: Relative Abundance of Faunal Groups Identified in the Healthy Soil of ENIEM**

From Figure 3, the witness soil of ENIEM. Contains Arachnids as a dominant group with a rate of 41.32 % followed by Collembola with 29.96% and 15.66% with gastropods. We note, however, the lack of Crustaceans.

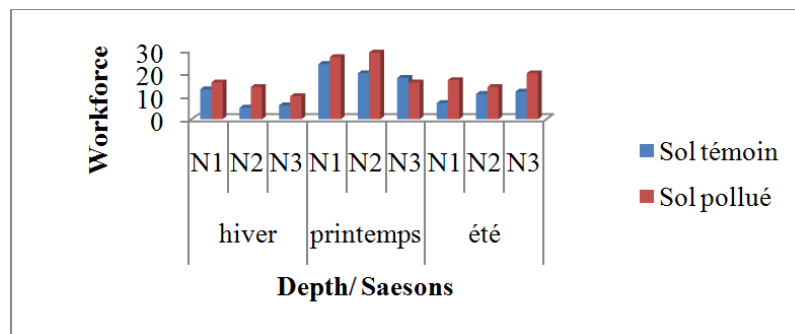


**Figure 4: Relative Abundance of Faunal Groups Identified in the Polluted Soil of ENIEM**

From Figure 4, the polluted soil of ENIEM. is characterized by the dominance of gastropods with a rate of 50.12 %, followed Insects and Arachnids with rates of 17.79 % and 15.53 %. Very low rates are observed for the Myriapods (0.75%) and the Crustaceans (0.50 %).

#### Effect of the Season and Depth

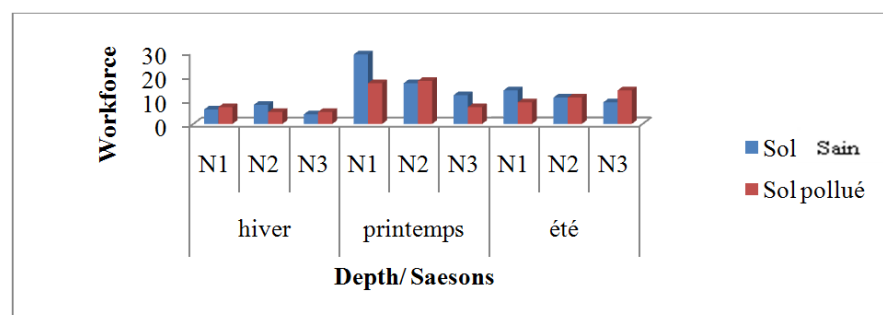
Figures 5 and 6 show the richness of healthy soils and polluted soils of the EI. And of ENIEM. According to depth during the different seasons.



**Figure 5: Specific Richness of EI. According to Season and Depth**

At EI. Analysis of specific richness (Figure 5) shows that the polluted soil is richer in species than the healthy soil during three seasons and depending on the depth where the number of species decreases from the level 1 to level 3. the maximum richness is observed in spring with a peak of 29 species in level 2 corresponding to the depth 10-20 cm and the weakest richness ( 5species ) is recorded in the healthy soil during the winter in level 2.

In Figure 6, we notice that specific richness is more important in the ENIEM. Healthysoil than in the contaminated soil especially in spring with a record peak of 29 species. This fauna is mainly more abundant in level 2 of the soil corresponding to the depth 10-20 cm.



**Figure 6: Specific Richness of ENIEM**

This richness is expressed by a set of species shown in Figures 7, 8, 9 and 10.

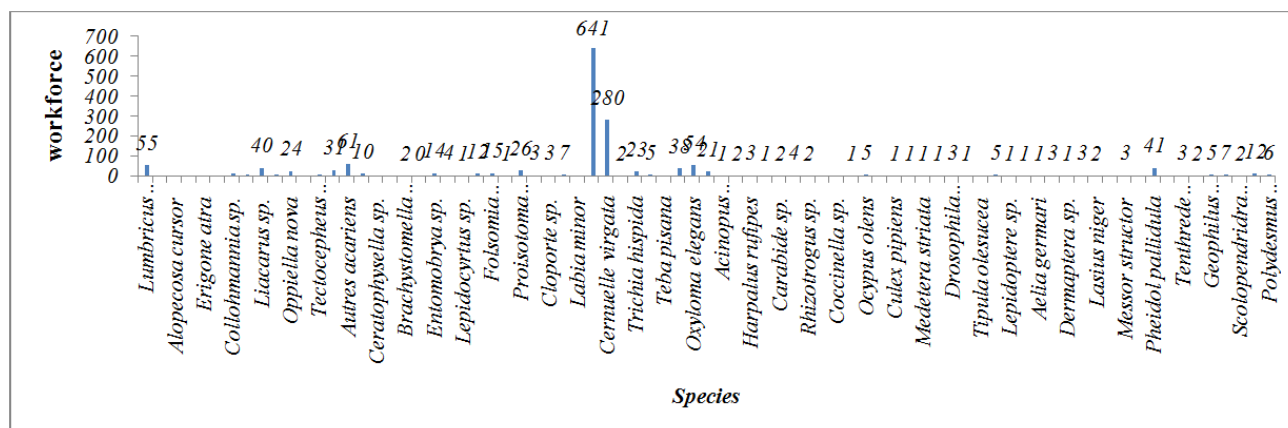


Figure 7: Species Inventoried Soil Fauna in the Polluted Soil of EI

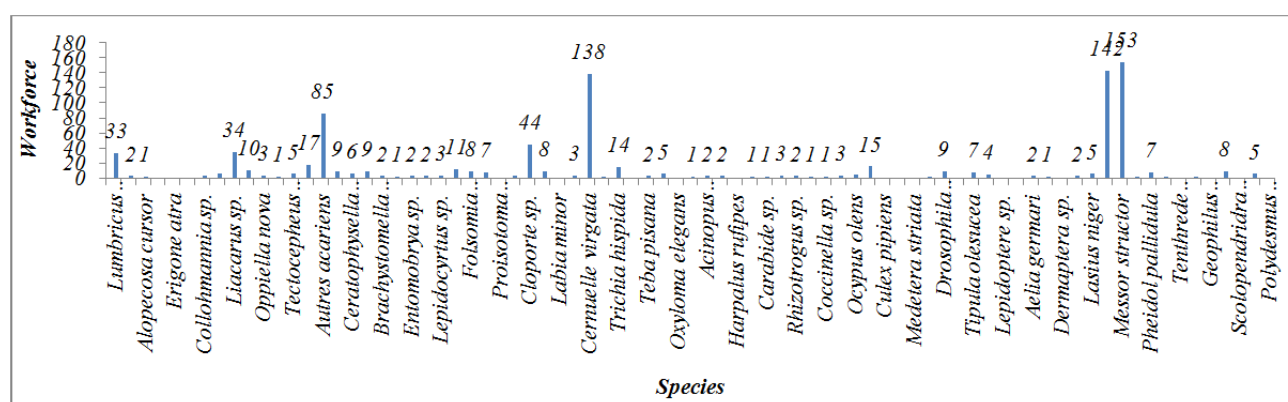


Figure 8: Species of Soil Organisms Inventoried in the Healthy Soil of EI

According to figures 7 and 8, we identify a specific richness of 59 species in the healthy soil and 67 species in the polluted soil at the EI. In healthy soil (Figure 8), we notice plenty of *Messor structor* with 153 individuals, *Lasius Niger* represented by 142 individuals and 138 individuals presented in *Cernuella virgata*. In the polluted soil we notice remarkable abundance of gastropods such as *Cernuella virgata* represented by 641 individuals, with 280 individuals *Trichia hispida* and *Teba Pisana* which represents lower work force of 54 individuals.

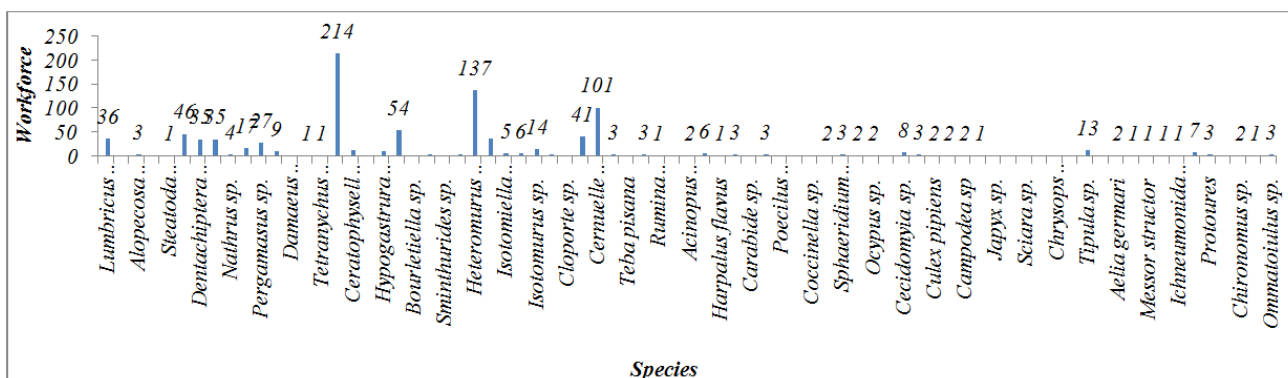


Figure 9: Species of Soil Organisms Inventoried in the Healthy Soil of ENIEM

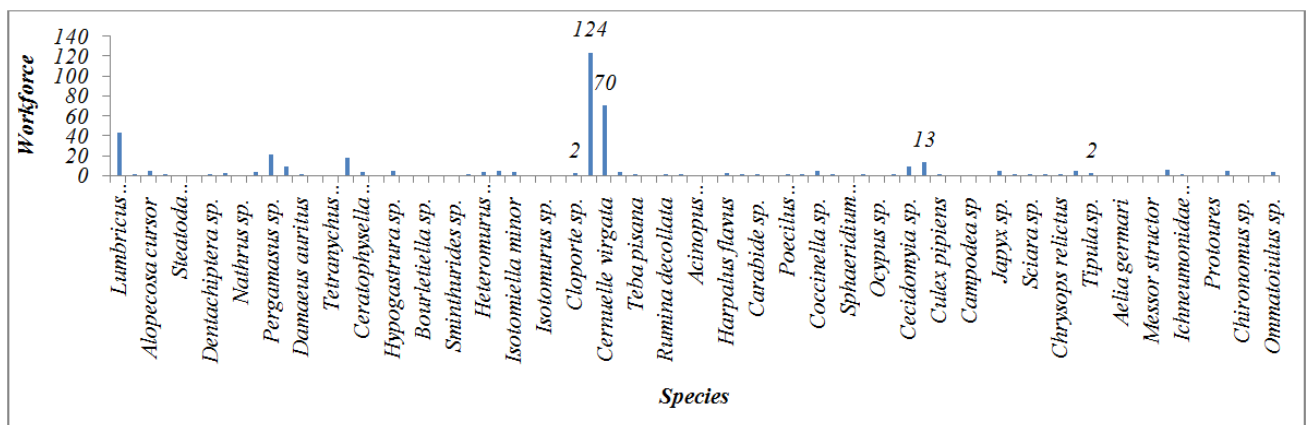


Figure 10: Species Inventoried Soil Fauna in the Polluted Soil of ENIEM

According to figures 9 and 10 we identify a specific richness of 59 species in the healthy soil and 47 species in the polluted soil of ENIEM. We find that these organism depend on their environment by the availability of some soil factors mainly moisture, structure, organic matter and pH. In all the samples studied we obtained the most important variable rates in healthy soil represented by *Tetranychus cynabarimus* (214 individuals), *Heteromerus major* with 137 individuals and 101 individuals with *Cernuella virgata*. In the polluted soil, the proportions of the majority of species is low with the exception of gastropods including species *Cernuella virgata* (124 individuals) and *Teba Pisana* (70 individuals) not to mention the high rate of *Lumbricus terrestris* which is 43 individuals.

## STRUCTURE AND COMPOSITION OF SOIL FAUNA INVENTORIED AT BOTH SITES

### Berger- Parker Dominance

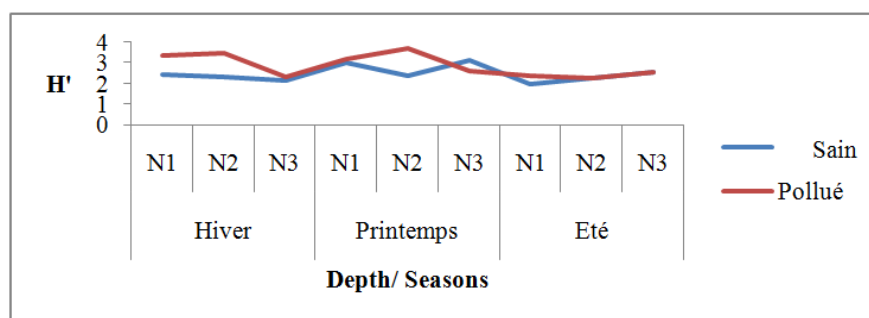
The dominance of Berger -Parker (BP) of studied stations (Table 4) is higher in polluted soils than in healthy soil with a maximum value of 0.41 in the polluted soil of EI. It is characterized by the dominance of ants especially *Lasius* sp with a workforce of 153 individuals in healthy soil and the dominance of gastropods represented by *Cochlicella barbarawith* 641 individuals in the polluted soil of EI. At the level of ENIEM. This dominance is expressed by the group of Collembola species including *Heteromerus major* with 137 individuals in healthy soil and the dominance of gastropods represented by *Cochlicella barbarawith* 124 individuals in the polluted soil.

Table 4: Dominance Berger-Parker Studied Stations

| Companies | Healthy Soil | Contaminated Soil |
|-----------|--------------|-------------------|
| EI.       | 0.17         | 0.41              |
| ENIEM.    | 0.14         | 0.31              |

### Shannon -Weaver Index (H')

We opted for the calculation of the Shannon-Weaver diversity index to highlight the relative abundance of different taxa, this is why we have separately calculated it For the healthy soil and the polluted soil. The obtained results are translated in figures 11 and 12.

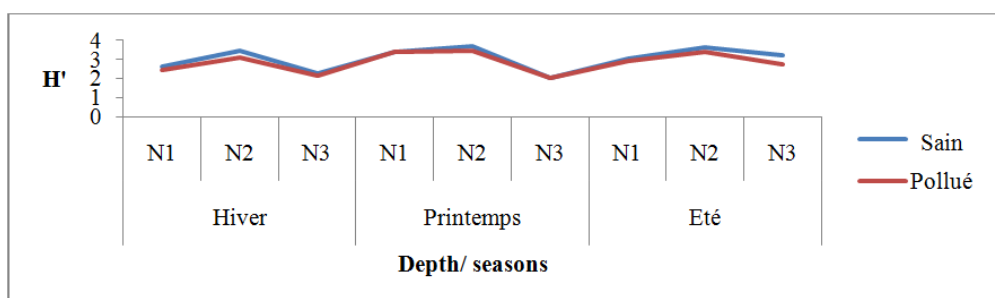


**Figure 11: Shannon -Weaver Index for the Soil of the EI**

It emerges from figure 11 that at the level of EI. The Shannon index ( $H'$ ) is variable with a maximum of 3.67 in the polluted soil and a minimum of 1.96 in the healthy soil.

The highest values are recorded in the polluted soil due to the great richness of the rejection of EI. in organic matter whereas in the healthy soil,  $H'$  values are below 3 what convey an average diversity of populating with a good representation of same taxa. This index is important in level 1 of the healthy soil, whereas in the polluted soil,  $H'$  is more important in level 2. Shannon index is highest during spring in comparison to other seasons be it in the healthy soil or in the polluted soil.

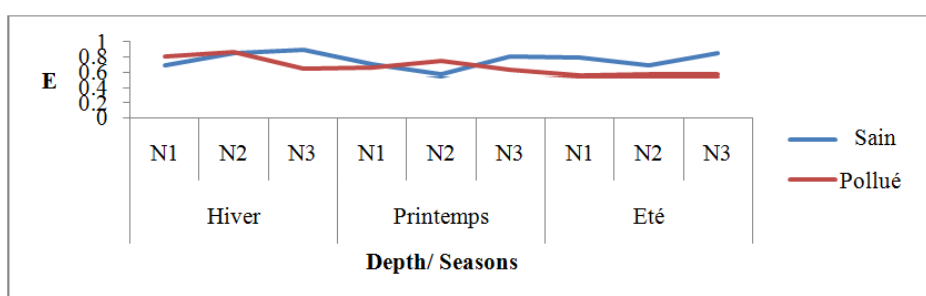
At the ENIEM. The results in Figure 12 show that Shannon index ( $H'$ ) varies with a maximum of 3.67 in the healthy soil and maximum of 2 in the polluted soil. The values of  $H'$  recorded in healthy and polluted soils are nearer; because of met pollution, they are more important during spring in level 2 for the two soils; healthy and polluted.



**Figure 12: Shannon -Weaver Index for the Soil of the ENIEM**

### Equitability

The Equitability or relative diversity index is calculated for both stations (EI and ENIEM.) and the results are shown in Figures 13 and 14.



**Figure 13: Equitability in the Soil of EI**

According to Figure 13, we notice that the Equitability is less than 1 be it in the healthy or the polluted soil.

The peak is at 0.89 in the healthy soil during the winter and the minimum is 0.55 in the polluted soil during the summer. This Equitability is higher in level 2 of the polluted soil and level 3 of healthy soil which expresses a very important faunal diversity.

In Figure 14, we notice that the Equitability reached a peak of 0.95 in healthy soil during summer and a minimum of 0.52 in the polluted soil during spring. This index is important in level 2 for both soils, which expresses their diversity and species richness.

In healthy soil, equitability index of PIELOU (1966) is relatively high, what stipulates the balance between species. Nevertheless, the equitability index for the polluted soil is smaller, suggesting that there is certainly a dominant species. It's the case of gastropods (*Cochlicella barbara* with 641 individuals).

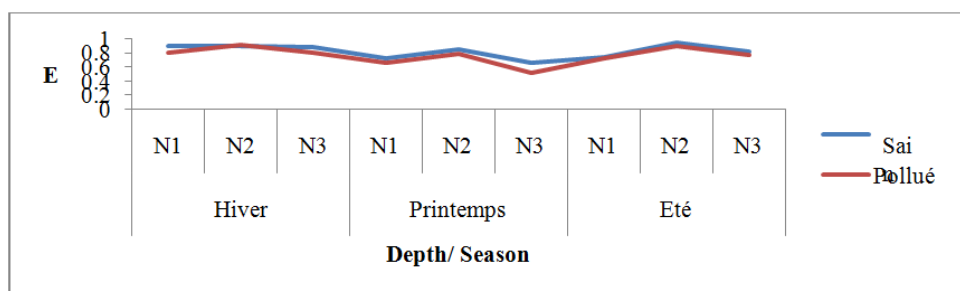


Figure 14: Equitability of the Soil of ENIEM

#### Profit for the ACP

##### Station 1(EI)

Given the interpretation of the axes, the cloud structure of the statements obtained by the ACP. can be summarized in a fairly well expressed gradient along the axis 1 and perfectly assimilated to the negative action of the combined pollution to gastropods in relation to other faunal groups identified that signify their bio-indication, as it shows correlations between the wildlife groups and the environmental factors (Figure 15).

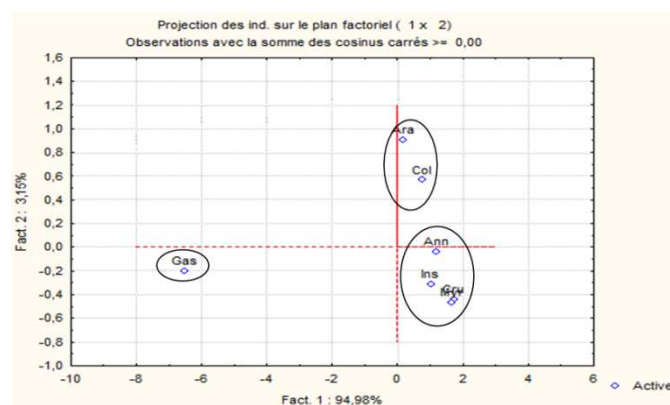


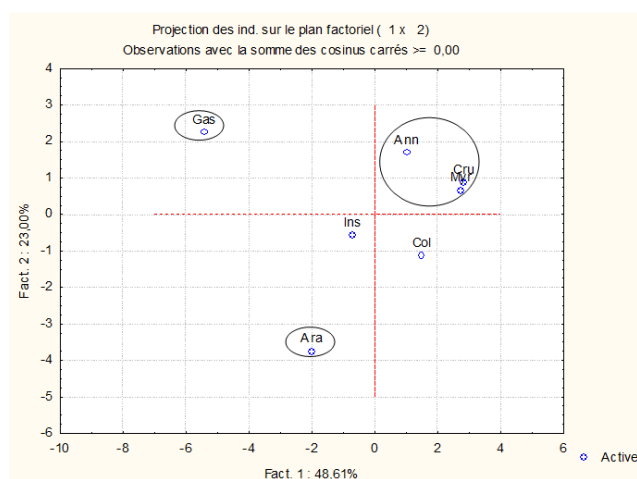
Figure 15: ACP. Representative of the Distribution of Wildlife Groups Harvested from the Polluted Soil of EI

Through Figure 15 we notice the resistance of gastropods against pollution, which makes them polluo - resistant species, while other faunal groups are polluo - sensitive. This is directly related to the depth that has a significant effect especially Annelids, Insects and Millipedes that migrate deep seeking favourable conditions for their survival following the seasonal pattern. Concerning the Collembola and the Arachnids they are affected, by the negative action of pollution and

depth.

### Station 2 (ENIEM)

Given the interpretation of the axes, the cloud structure of the statements obtained by the CPA. can be summarized in a fairly well expressed gradient along the axis 1 and perfectly assimilated to the negative effect of pollution on both soils healthy and polluted with the location of gastropods and Arachnids on the negative position with respect to other faunal groups identified (Figure 16).



**Figure 16: ACP. Representative of the Distribution of Wildlife Groups of ENIEM Harvested**

Figure 16 distinguishes faunal groups according to different environmental factors such as gastropods which indicate pollution, the Annelids, the Crustaceans and Millipedes are influenced by the depth, while the rest of the groups are sensitive to seasonal variations according to the depth and the presence of pollution.

### Results of the AFC

The spatial distribution of species is specified by a correspondence analysis (AFC.) executed on the matrix level species  $\times$  (18  $\times$  79espèces levels).

The two first axes accumulate 61.4% of inertia contained in the data matrix (F1 = 60%, F 2 = 1.4%).

Given the objectives of this study, it was not essential to determine the exact meaning of each axis, but rather to differentiate the consistent groups of species in terms of their ecology; then from the two axes (F1  $\times$  F2) we have distinguished the following groups:

- **Group A:** includes the susceptible species to pollution in the positive direction especially Collembolaas *Isotomiella minor*, *Entomobrya sp*, *Heteromurus major*, *Cryptopygus thermophilus*, *Proisotoma minuta* and same insects such as *Culex pipiens*, *Harpalus sp*,...
- **Group B:** includes species that tolerate and resist pollution in the negative sense as *Messor structor*, *Drosophila melanogaster*, *Japyx sp*, *Alopecosa cursor*, *Ommatoiulus sp*, *Lumbricus trrestrice*, but especially gastropods as *Cochlicella barbara*, *Cernuella virgata*, *Trichia hispida*, *Trochia pyramidata*, *Teba pisana*, *Rumina decollate*...

The results of this factorial plan confirm positive and negative correlations presented by the two significant axes of the effect of pollution on species.

The first two axes accumulate 72% of inertia contained in the data matrix ( $F1 = 44\%$ ,  $F2 = 28\%$ ).

From the two axes ( $F1 \times F2$ ), we have distinguished the following groups:

- **Group A:** comprises the majority of species of gastropods in the negative direction as *Cochlicella barbara*, *Cernuelle virgata*, *Trichia hispida*, *Trochia pyramidata*, *Teba Pisana*, *Rumina decollata*...
- **Group B:** includes the acarid species in the positive direction as *Nathrus sp*, *Pergamasus sp*, *Liacarus sp*, *Damaeus auritus*, *Tetranychus sp*, *Tectocepheus velatus*...

The results of this factorial plan confirm the positive and negative correlations presented by the two axes of the significant effect of pollution on species and the degradation of the ecosystem.

## DISCUSSIONS

The results of the analysis studied soils have shown that they are loamy, rich in limestone and organic matter, alkaline pH, with high levels of heavy metals in polluted soils due to the storage of waste in the open air and directly on the ground without preliminary precautions and this at both companies. Added to this, the basin discharges of toxic products such as cyanide already made at this level as well as the rejecting of stations and failing purification are rich in metals and used by farmers in the region to water their citrus fields for generations according to the testimony of the owners.

The results obtained in ENIEM., greater faunal richness in healthy soils than in polluted soils. This fauna is characterized by the dominance of gastropods, which are, according to CORTET & al., (1999) biological indicators of pollution and confirmed by DECAENS & al., (2006) as being bio-indicators of soil quality or pollution. They are also heavy metals bio-accumulators and show a preference for calcareous soils (BACHELIER, 1978). However at the EI., faunal richness is higher in polluted soil because of the high humidity and the high rate of organic matter provided by the industrial waste also with the dominance of gastropods which are abundant in wet litter. These are primary consumers of soil organic matter (BACHELIER, 1978) and according to MOUTHON (1980), a moderate environmental enrichment in organic material causes, without reduction in specific richness, a remarkable increase in the density of most species revealing their high degree of saproting. Therefore gastropods have a real "strategy" of adaptation to the environment and the course of their life cycle is under the close dependence of environmental factors such as temperature, the trophic conditions... and can vary sensibly from one species to another. This adaptive plasticity allows the species to have maximum productivity in given conditions and thus offset from one year over another the low productivity due for example to a severe winter. It may be noted also the selective advantages of an annual cycle in gastropods in which adults that disappear after laying eggs, do not compete with the rising generation (MOUTHON, 1980).

The biodiversity assessment is usually based on the structure and composition of communities because biodiversity is a multidimensional concept (PURVIS & HECTOR, 2000) that reflects the biological complexity of communities (HEDDE & al., 2013). By comparison of Figures 1 and 2, 3 and 4, we notice a makeable difference in the composition and distribution of the various groups pedofauna identified between healthy soil and the polluted soil of these industrial companies. The Healthy soil of EI. Shows similar rates (which do not exceed 40%) between different groups of soil fauna with the dominance of the insects due to their adaptation of the environment and surrounding natural conditions. The polluted soil shows a visible dominance of gastropods (with a rate of 70%) compared to other faunal groups. At the

level of ENIEM, Healthy soil shows an almost equal distribution of various representatives of pedofauna whose rates are around 40%. We notice the dominance of Arachnids. In the polluted soil of ENIEM, we notice an apparent dominance of Gastropoda

(Over 50%) compared to other faunal groups. This abundance is the result of the high humidity of the environment due to industrial waste, the availability of limestone (DUCHAUFOR, 1994) and the adaptation and resistance to industrial pollution by heavy metals due to their eco-physiological characteristics (GOBAT *et al.*, 2010). Functional features of the species are related to the characteristics of organisms that affect their individual aptitude and govern their impacts and the responses to their environment (VIOLLE *et al.*, 2007).

According BACHELIER (1978) and GOBAT *et al.*, (2003), the distribution of soil fauna depends on the physicochemical nature and the depth of the soil, the changes in climatic conditions of the environment, the seasonal rhythm and diet of the relevant animal population. Soil aeration has important consequences for most biological phenomena of the soil, whether it affects the establishment and functioning of the root system or microorganism's activity (KOLLER, 2004).

Considering the season, the results reveal that the soil of ENIEM., The number of soil organisms is higher in spring compared to summer and winter in the healthy soil while this rate remains constant during the three seasons in the polluted soil. This pedofauna is affected by the seasonal effect where spring is the best period for its outbreak (CLUZEAU *et al.*, 1999).

Regarding the depth in both stations, the number of individuals proportionally decreases with depth as a compact soil and low porosity may object to vertical migration of animals susceptible to temperature changes or moisture and may restrict or prohibit their existence (PESSON, 1971). This is the case of our soils that are rich in clays that does not favor migration of pedofauna by reducing the potential food and oxygen rate. We notice then that these organisms depend on their environment by the availability of some soil factors mainly moisture, the structure, the organic matter and the soil pH while an accumulation of organic matter on a much localized area on a ground is almost certain indication of pollutant deposit of any kind (PONGE, 2010). The diversity of the polluted soil compared to healthy soil can be explained by the quality of the industrial release of EI. That provides moisture and organic material for the species (as shown by soil analysis), necessary for their survival by developing adaptation and some resistance to this pollution.

Soil organisms (microflora and microfauna mesofauna and macrofauna) play key roles in the functioning of the ecosystems, (LAVELLE & SPAIN, 2001), but the pre-existing fauna in these studied soils is affected in its structure, its diversity and its specific richness due to their change in the quality of the surrounding environment and the toxicity of heavy metals in soils and their non - biodegradability (BERKOUKI, 2011). Nevertheless, it has allowed us to detect pollution of these soils at levels lower to the acute or chronic toxicity thresholds (MARTINEZ ALDAYA & *al.*, 2006; LORS *et al.*, 2006; GARCIA & *al.*, 2008; KOBETICOVA & *al.*, 2009).

## CONCLUSIONS

Generally the polluted soils are characterized by impoverishment of their food web, linked to biodiversity loss with a tolerance threshold which can be defined for each group of organisms (PONGE, 2010). Therefore, prevention of the

pollutant by soil animals could provide a cheap method for early detection of environmental dangers (YEARDLEY & *al.*, 1996; DA LUZ & *al.*, 2004; MARTINEZ ALDAYA & *al.*, 2006).

## REFERENCES

1. BACHELIER G., 1978 : **La faune des sols ; son écologie et son action**. Edition O.R.S.T.O.M. 391p.
2. BERKOUKI R., 2011 : **Pollution du sol agricole par les métaux lourds**. Editions universitaires européennes, p1.
3. CLUZEAU D., CANNAVACCIUOLO M. et PERES G., 1999 : **Indicateurs macrobiologiques des sols : les lombriciens – Méthode d'échantillonnage dans les agrosystèmes en zone tempérée**. In 12ème Colloque Viticole et OEnologique Ed. ITV Paris : 25-35.
4. CORTET J., GOMOT-DE VAUFLERY A., POINSOT-BALAGUER N., GOMOT L., TEXIER C., CLUZEAU D., 1999 : **The use of invertebrate soil fauna in monitoring pollutant effects**. *European Journal of Soil Biology*. Vol. 35, Issue 3:115-134.
5. DA LUZ, T.N., RIBEIRO, R., SOUSA, J.P., 2004. **Avoidance tests with Collembola and earthworms as early screening tools for site-specific assessment of polluted soils**. *Environmental Toxicology and Chemistry* 23, 2188-2193.
6. DECAËNS T., AUBERT M., BAROT S., BLOUIN M., BUREAU F., MARGERIE P., MORA P., ROSSI J.-P., LAVELLE P., 2006: **Soil invertebrates and ecosystem services**, *European Journal of Soil Biology*, Volume 42, Supplement 1, S3–S15.
7. DUCHAUFOR PH., 1994 : **Pédologie, sol, végétation, environnement**, Edition Masson, 289p.
8. GARCIA, M., RÖMBKE, J., TORRES DE BRITO, M., SCHEFFCZYK, A., 2008. **Effects of three pesticides on the avoidance behavior of earthworms in laboratory tests performed under temperate and tropical conditions**. *Environmental Pollution* 153, 450-456.
9. GOBAT J. M, ARAGNO M. ET MATTY W., 2003 : **Bases de pédologie ; Biologie des sols : le sol vivant**. 2<sup>ème</sup> Edition PPUR Edition Lausanne. 569 p.
10. GOBAT J. M, ARAGNO M. ET MATTY W., 2010 : **Le sol vivant**. 3<sup>ème</sup> Edition. Revue et augmenté : 150-165.
11. HEDDE M., VAN Oort F., Renouf E., Thénard J., Lamy I., 2013: **Dynamics of soil fauna after plantation of perennial energy crops on polluted soils**, *Applied Soil Ecology*, Volume 66 : 29-39.
12. KOBETIČOVÁ, K., HOFMAN, J., HOLOUBEK, I., 2009. **Avoidance response of Enchytraeus albidus in relation to carbendazim ageing**. *Environmental Pollution* 157 : 704-706.
13. KOLLER E., 2004: **Traitement des pollutions industrielles : Eau, air, déchets, sols, boues**, Edition DUNOD, Paris, 424 p.
14. LAVELLE P. & SPAIN A.V., 2001: **Soil ecology**. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. 654 p.
15. LORS, C., MARTINEZ ALDAYA, M., SALMON, S., PONGE, J.F., 2006. **Use of an avoidance test for the**

- assessment of microbial degradation of PAHs.** Soil Biology and Biochemistry 38, 2199-2204.
16. MARTÍNEZ ALDAYA, M., LORS, C., SALMON, S., PONGE, J.P., 2006: **Avoidance bio-assays may help to test the ecological significance of soil pollution.** Environmental Pollution 140, 173-180.
  17. MOUTHON (J.). 1980. Contribution à l'Ecologie des Mollusques des eaux courantes - esquisse biotypologique et données écologiques. Thèse 3<sup>e</sup> cycle. Univ. Paris VI, 169 p.
  18. NICOLAS J., 1997 : **Echantillonnage, Environnement**, CEBEDOC Editeur, STAVELOT, Belgique, 189p.
  19. PESSON P., 1971 : **la vie dans les sols : aspects nouveau, études expérimentales.** Coll. Géobiologie, écologie, aménagement, Edition Gauthier-Villars Paris, 417p.
  20. PIELOU, E. C., 1966: **The measurement of diversity in different types of biological collections.** Journal of Theoretical Biology, 13: 131-44.
  21. PONGE JF., 2010 : **Impact des polluants du sol sur la biodiversité animale du sol**, HAL Edition:1-3.
  22. PURVIS, A. & HECTOR, A. (2000): **Getting the measure of biodiversity.** Nature 405: 212 – 219.
  23. VIOLLE C., NAVAS ML., VILE D., KAZAKOU E., FORTUNEL C., HUMMEL I. AND GARNIER E., 2007 : **Let the concept of trait be functional!**, Oikos 116: 882 - 892.
  24. YAAKOUBI A., CHALAOUD M., RAHMANI M., LYACHIONT ET OULHOTE Y., 2009 : **Effet des margines sur la microflore du sol.** Edition Agro-Solution: 1-9.
  25. YEARDLEY, R.B., LAZORCHAK, J.M., GAST, L.C., 1996. **The potential of an earthworm avoidance test for evaluation of hazardous waste sites.** Environmental Toxicology and Chemistry 15 : 1532-1537.

## Résumé

Nous avons opté pour un inventaire de la flore, en premier, selon un gradient altitudinal, réalisé aléatoirement. La flore recensée est scindée en 65 espèces appartenant à 5 classes qui se répartissent sur 25 ordres et 27 familles. Les espèces végétales récoltées sont étroitement reliées à la pédofaune recensée selon un gradient de pollution suivant un transect depuis une forêt (la forêt de Yakouren) jusqu'à une zone industrielle (Oued Aissi) en passant par des points de transit dont les grandes potentialités industrielles de la wilaya de Tizi-Ouzou (Algérie), à savoir l'Electro-Industrie d'Azazga et l'ENIEM. d'Oued-Aissi. Nous avons adopté la méthode du quadrat (25×30 cm) avec des prélèvements chaque saison durant les années 2014 et 2015 (Printemps, Été, Automne et Hiver) à raison de trois prélèvements par saison. L'extraction de la faune est réalisée par l'extracteur de Berlese-Tullgren simplifié, par voie sèche, après avoir récolté toute la faune visible à l'œil nu.

Les spécimens recueillis sont triés, identifiés puis dénombrés. La faune recensée est scindée en 15 ordres répartis en 49 familles et 69 espèces. Il en ressort l'impact apparent de la saison et de la pollution sur la pédofaune dont les gastéropodes sont les bio-indicateurs prédominants.

**Mots clés :** sol, pédofaune, flore, biodiversité, pollution, espèces indicatrices.

## Summary

We have opted for an inventory of the flora according to an altitudinal gradient, made randomly. The recorded flora is divided into 65 species belonging to 5 classes, divided into 25 orders and 27 families. The plant species harvested are closely related to the soil fauna identified according to a pollution gradient following a transect from a forest (the Yakouren forest) to an industrial zone (Oued Aissi), passing through transit points with great industrial potentialities. wilaya of Tizi-Ouzou (Algeria), namely the Electro-Industry of Azazga and ENIEM. Oued-Aissi.

We have adopted the quadrat method (25 × 30 cm) with samplings each season during the years 2014 and 2015 (Spring, Summer, Autumn and Winter) at the rate of three samples per season. Wildlife extraction is performed by the simplified Berlese-Tullgren Extractor by dry way after having harvested all the fauna visible to the naked eye.

The collected specimens are sorted, identified and then counted. The listed fauna is divided into 15 orders divided into 49 families and 69 species. This shows the apparent impact of the season and pollution on the soil fauna, of which gastropods are the predominant bioindicators.

**Key words:** soil, soil fauna, biodiversity, pollution, indicator species.

## ملخص

اخترنا إجراء جرد لحيوانات التربة ونباتات المنطقة طبقاً لتدرج التلوث و الارتفاع انطلاقاً من غابة ياكوان إلى المنطقة الصناعية وادي عيسى مروراً بنقاط عبور تضم أهم القوى الصناعية لولاية تيزي وزو (الجزائر)، ألا وهي الصناعة الكهربائية في عزازقة والمؤسسة الوطنية للصناعات الكهرو منزلية بواد عيسى. اعتمدنا طريقة الكوادر (25 × 30سم) مع أخذ عينات كل موسم خلال عامي 2014 و 2015 (الربيع، الصيف، الخريف والشتاء) بمعدل ثلاث عينات لكل موسم. يتم استخراج الحيوانات بواسطة مستخرج Berlese-Tullgren المبسط، بعد جمع كل الحيوانات المرئية بالعين المجردة.

بعد فرز العينات التي تم جمعها، تحديدها وإحصائها، قسمت النباتات المسجلة إلى 65 نوعاً تنتمي إلى 5 فئات، مقسمة إلى 25 طلباً و 27 عائلة. ترتبط الأنواع النباتية المحصودة ارتباطاً وثيقاً بحيوانات التربة المسجلة التي تنقسم بدورها إلى 15 طلباً مقسمة إلى 49 عائلة و 69 نوعاً. وهذا يدل على التأثير الواضح للموسم والتلوث على الحيوانات في التربة حيث تعتبر الحلزونات من الكائنات الحية السائدة.

**الكلمات المفتاحية:** التربة ، حيوانات التربة ، النباتات ، التنوع البيولوجي ، التلوث ، أنواع المؤشرات.