

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de
la Recherche Scientifique

Université Chadli Bendjedid El-Tarf

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

Département de Biologie



جامعة الشاذلي بن جديد

UNIVERSITE CHADLI BENDJEDID

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

جامعة الشاذلي بن جديد

الطارف

كلية علوم الطبيعة والحياة

قسم البيولوجيا

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

PRESENTE EN VUE DE L'OBTENTION D'UN DIPLOME DE MASTER

« TOXICOLOGIE FONDAMENTALE ET APPLIQUEE »

THEME

***Métaux lourds et leurs impacts sur la morphologie
d'une espèce isopodes terrestre de la région d'El
Matrouha.***

Soutenu le: 15 / 06 /2026

Présenté par :

M^{elle} HANI Rayenne

Devant le jury composé de :

NOM et Prénom	Grade	Etablissement	Qualité
Dr. REKIOUA N.	M.C.A	Université Chadli BendjedidEl-Tarf	Présidente
Dr. BOUKACHABIA A.	M.C.A	Université Chadli BendjedidEl-Tarf	Promotrice
Dr. BOUKHATEM A	M.C.B	Université Chadli BendjedidEl-Tarf	Examinatrice

Année Universitaire : 2025/2026

Remerciement

En premier lieu, je remercie Dieu, tout puissant, de m'avoir donné la force pour atteindre mes objectifs et de dépasser toutes les difficultés afin de réaliser ce travail.

Je remercie tout particulièrement **Dr. Boukachabia Alima**, mon encadreur, pour sa disponibilité, ses conseils précieux, son encadrement rigoureux et ses encouragements tout au long de ce travail.

Nous vifs remerciements vont également aux membres du jury : **Dr. Rekioua Nawel** et **Dr. Boukhatem Amel** pour l'intérêt qu'ils portent à notre travail en acceptant de présider et d'examiner notre modeste travail et de l'enrichir par leurs propositions.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce travail.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à qui Dieu a dit:

﴿وَاحْفَظْ لَهُمَا جَنَاحَ الذُّلِّ مِنَ الرَّحْمَةِ وَقُلْ رَبِّ ارْحَمْهُمَا كَمَا رَبَّيْنِي صَغِيرًا﴾

الاسراء/24

À mon père bien-aimé, modèle de droiture et de sagesse, à qui je dois tout. Tu m'as élevée avec amour, patience et exigence, m'inspirant chaque jour par ta force, ton intégrité et tes valeurs nobles, qui resteront à jamais gravées dans mon cœur et ma mémoire.

À ma chère mère, source infinie de tendresse et de dévouement. Toi qui m'as donné la vie, soutenue sans relâche, et sacrifié tant de choses pour mon bonheur. Ton amour inconditionnel, ton courage et ta foi en moi ont été les piliers de ma réussite. Je te dois bien plus que des mots ne sauraient l'exprimer.

À ma très chère grand-mère, qui m'a élevée, guidée et entourée de son affection depuis mon plus jeune âge. Merci pour ton amour inépuisable, tes sacrifices, ta patience et toutes les valeurs que tu m'as transmises. Ta présence bienveillante a été une source de force et de réconfort tout au long de mon parcours. Que Dieu te protège et te récompense pour tout ce que tu as fait pour moi.

À ma sœur et à mon frère, à qui je dois tout l'amour et l'affection, avec tous mes vœux de réussite, de bonheur et d'épanouissement dans leurs vies.

À toute ma famille, à mes enseignants et à toutes les personnes qui m'ont soutenue de près ou de loin dans la réalisation de ce travail.

Je dédie humblement ce travail.

Rayenne

Résumé

Le sol est une ressource essentielle pour les sociétés humaines. Cependant, les activités anthropiques peuvent entraîner des changements dans les caractéristiques physico-chimiques des sols, et affecter son évolution morphologique et biologique. Les Oniscidés sont considérés comme une faune édaphique bénéfique. un axe a été considéré dans cette étude :est d'établir une identification de quelques espèces terrestres localisées dans le Nord-Est de l'Algérie (El Matrouha). Les paramètres environnementaux (édaphiques et climatiques) influencent significativement l'abondance des Cloportes isopodes.

Le travail a comme objectif le diagnostic de la contamination et la mise en évidence du type de relation entre les teneurs totales des éléments traces métalliques (Cu et Zn) dans le sol et dans le corps de notre espèce oniscidienne récoltée au niveau du site du site d'el Matrouha, durant la saison de récolte (Automne) Les teneurs totales des ETM confirment la pollution du site d'el Matrouha.

L'ensemble des résultats obtenus indique une pollution par les métaux lourds du site d'el Matrouha aussi bien au niveau du sol qu'au niveau du corps de notre espèce isopode

Mots clés: Oniscidés, Biodiversité, Nord-Est Algérien, Pollution terrestre, Métaux lourds.

الملخص

تُعدّ التربة مورداً أساسياً للمجتمعات البشرية، غير أنّ الأنشطة البشرية قد تؤدي إلى تغيّرات في الخصائص الفيزيائية والكيميائية للتربة، مما يؤثر في تطورها المورفولوجي والبيولوجي. وتُعتبر قملات الخشب (Oniscidés) من الكائنات الحيوانية النافعة في التربة. وقد تمحور أحد أهداف هذه الدراسة حول تحديد بعض الأنواع الأرضية المتواجدة في شمال شرق الجزائر (المطروحة)

تؤثر العوامل البيئية، سواء الترابية أو المناخية، بشكل ملحوظ في وفرة قملات الخشب التابعة لرتبة متساويات الأرجل. كما يهدف هذا العمل إلى تشخيص التلوث وإبراز طبيعة العلاقة بين التراكيز الكلية للعناصر النزرة المعدنية (النحاس والزنك) في التربة وفي أجسام أنواع قملات الخشب التي جُمعت من موقع المطروحة خلال موسم الجمع (الخريف). وقد أكدت النتائج المتعلقة بالتراكيز الكلية للعناصر النزرة المعدنية وجود تلوث في موقع المطروحة.

وتشير مجمل النتائج المتحصل عليها إلى وجود تلوث بالمعادن الثقيلة في موقع المطروحة، سواء على مستوى التربة أو على مستوى أجسام أنواع متساويات الأرجل المدروسة.

الكلمات المفتاحية: قملات الخشب، التنوع البيولوجي، شمال شرق الجزائر، التلوث الأرضي، المعادن الثقيلة.

Abstract

Soil is an essential resource for human societies. However, anthropogenic activities can lead to changes in the physicochemical characteristics of soils and affect their morphological and biological evolution. Terrestrial isopods (Oniscidea) are considered beneficial members of soil fauna. One of the objectives of this study was to identify several terrestrial isopod species occurring in northeastern Algeria (El Matrouha).

Environmental factors, including edaphic and climatic parameters, significantly influence the abundance of terrestrial isopods. The aim of this work was also to assess contamination and to highlight the relationship between the total concentrations of trace metals (Cu and Zn) in the soil and in the bodies of the collected isopod species from the El Matrouha site during the sampling season (autumn). The total trace metal concentrations confirmed the contamination of the El Matrouha site.

Overall, the obtained results indicate heavy metal pollution at the El Matrouha site, both in the soil and in the bodies of the studied isopod species.

Keywords: Terrestrial isopods, Biodiversity, Northeastern Algeria, Soil pollution, Heavy metals.

Liste des figures

N° Figure	Titre	Page
1	Découpage administratif de la wilaya d'El Tarf.	6
2	morphologie d'un exemple d'espèce d'isopode <i>Armadillidium vulgare</i> ; face dorsale	11
3	Evaluation du pH de la zone d'étude.	15
4	Composition granulométrique de la station d'étude.	16
5	Teneurs totales en Cuivre ($\mu\text{g/g}$ de terre) dans le sol du site (El Matrouha) durant la saison de récolte ($m \pm s$, $n=4$).	18
6	Concentrations en Cuivre ($\mu\text{g/g}$ de poids sec) dans le corps d' <i>Armadillidium vulgare</i> récoltée à partir du site (El Matrouha) durant la saison de récolte ($m \pm s$, $n=4$).	19
7	Teneurs totales en Zinc ($\mu\text{g/g}$ de terre) dans le sol du site (El Matrouha) durant la saison de récolte ($m \pm s$, $n=4$).	20
8	Teneurs totales en Zinc ($\mu\text{g/g}$ de poids sec) dans le corps d' <i>Armadillidium vulgare</i> récolté à partir du site (El Matrouha) durant la saison de récolte.	21

Liste des tableaux

N° Tableau	Titre	Page
1	Données climatiques du site d'El Matrouha durant Les mois d'étude (PC : paramètres climatiques).	17
2	Teneurs totales en Cuivre ($\mu\text{g/g}$ de terre) dans le sol du site (El Matrouha) durant la saison d'étude ($m \pm s$, $n=4$).	18
3	Concentrations en Cu ($\mu\text{g/g}$ de poids sec) dans le corps d' <i>Armadillidium vulgare</i> . Récoltée à partir du site (El Matrouha) durant la saison de récolte ($m \pm s$, $n=4$).	19
4	Teneurs totales en zinc ($\mu\text{g/g}$ de terre) dans le sol du site (El Matrouha) durant la saison d'étude ($m \pm s$, $n=4$).	20
5	Concentrations en Zinc ($\mu\text{g/g}$ de poids sec) dans le corps d' <i>Armadillidium vulgare</i> . Récoltée à partir du site (El Matrouha) durant la saison de récolte ($m \pm s$, $n=4$).	20

SOMMAIRE

Remerciment

Dédicace

Résumé

Liste des tableaux

Liste des figures

Table de matrice

Introduction	01
---------------------------	-----------

Chapitre 01: Matériels et Méthodes

1. Description du site d'étude.....	06
1.1. Présentation de la région d'El Tarf	06
1.2. Description du site d'étude	07
2. Analyse du sol du site d'étude	07
2.1. Détermination du pH du sol	08
2.2. Granulométrie.....	08
2.3. Structure du sol.....	08
2.4. Facteurs abiotiques.....	09
2.4.1. La température	09
2.4.2. L'humidité.....	09
2.5. Rôle de la faune du sol	09
2.6. Données biologiques et écologiques des isopodes.....	10
2.6.1. Position systématique.....	10
2.6.2. La reproduction	11
2.7. Les ETM (éléments traces métalliques)	12

SOMMAIRE

2.7.1. Cuivre	12
2.7.2. Le zinc	12
2.7.3. Dosage des éléments traces métalliques (ETM)	12
2.7.3.1.Dosage des éléments traces métalliques (ETM) dans le sol	12
2.7.3.2.Dosage des éléments traces métalliques (ETM) dans le corps des isopodes	14
3. Analyse statistique	14

Résultats et interprétations

1. Analyse physico-chimique du sol.....	15
1.1. Analyse chimique du (pH) de la station d'échantillonnage	15
1.2.Analyse Granulométrique du sol des sites d'échantillonnage.....	15
2. Etude Climatique	16
3. Détermination des teneurs totales en ETM dans le sol et dans l'organisme d' <i>Armadillidium vulgare</i> récoltée à partir du site d'étude	17
3.1.Détermination des teneurs totales en Cuivre ($\mu\text{g/g}$) dans le sol et dans l'organisme d' <i>Armadillidium vulgare</i> récoltée à partir du site d'étude	17
3.1.1. Détermination des teneurs totales en Cuivre ($\mu\text{g/g}$ de terre) dans le sol du site d'étude	17
3.1.2. Détermination des Concentrations en Cuivre ($\mu\text{g/g}$ du poids sec) dans l'organisme d' <i>Armadillidium</i> récoltée à partir du site d'étude au cours de la saison de récolte	18
3.1.3. Détermination des teneurs totales en Zinc ($\mu\text{g/g}$) dans le sol et dans l'organisme d' <i>Armadillidium vulgare</i> récoltée à partir du site d'étude	19
3.1.3.1.Détermination des teneurs totales en Zinc ($\mu\text{g/g}$ de terre) dans le sol du site d'étude.	19
3.1.3.2.Détermination des Concentrations en Zinc ($\mu\text{g/g}$ du poids sec) dans l'organisme d' <i>Armadillidium vulgare</i> récoltée à partir du site d'étude au cours de la saison de récolte	20
Discussion	22
Conclusion	23

Références bibliographiques

Introduction

Introduction

Introduction générale

Au cours des dernières décennies, la dégradation de l'environnement sous l'effet des activités anthropiques est devenue une préoccupation majeure à l'échelle mondiale. L'industrialisation, l'urbanisation rapide, l'intensification des pratiques agricoles ainsi que l'augmentation des activités humaines ont profondément modifié les équilibres naturels des écosystèmes terrestres et aquatiques. Cette situation a conduit les chercheurs à accorder une attention particulière à l'étude des différentes formes de pollution et à leurs impacts sur les organismes vivants ainsi que sur la santé humaine (**Nica et al., 2012**). Dans ce contexte, la surveillance environnementale constitue un outil indispensable permettant d'évaluer l'état des milieux naturels à travers des mesures physiques, chimiques et biologiques réalisées dans le temps afin de détecter les perturbations environnementales et leurs évolutions (**Lovett et al., 2007**).

Parmi les différents compartiments de l'environnement, le sol occupe une place essentielle dans le fonctionnement des écosystèmes. Il constitue un milieu biologique complexe et dynamique où interagissent des composantes physiques, chimiques et biologiques. Le sol assure plusieurs fonctions fondamentales, notamment le support de la végétation, le recyclage de la matière organique, le stockage de l'eau et des nutriments ainsi que la filtration des polluants (**Calvet, 2003 ; Le Bras, 2007**). Il représente également un réservoir important de biodiversité et joue un rôle primordial dans le maintien des équilibres écologiques. En effet, le sol abrite une multitude d'organismes vivants appartenant à différents groupes biologiques tels que les bactéries, les champignons, les insectes, les acariens, les collemboles et les myriapodes (**Wall et al., 1999**).

Cependant, cette ressource naturelle subit aujourd'hui des pressions croissantes liées aux activités humaines. Les activités industrielles, agricoles et urbaines constituent les principales sources de dégradation des sols. L'utilisation excessive des engrais chimiques et des pesticides, les rejets industriels, les émissions atmosphériques ainsi que les déchets urbains entraînent une accumulation progressive de substances toxiques dans les sols, provoquant ainsi une altération de leurs propriétés physiques, chimiques et biologiques (**Promeyrat, 2001**). Cette pollution affecte non seulement la qualité des sols mais également les organismes qui y vivent ainsi que l'ensemble des chaînes trophiques terrestres.

Introduction

Parmi les contaminants environnementaux, les éléments traces métalliques (ETM) représentent l'une des principales sources de pollution des sols en raison de leur persistance, de leur toxicité et de leur capacité de bioaccumulation dans les organismes vivants (**Dumat et al., 2001 ; Chen et al., 2005**). Les métaux lourds tels que le plomb (Pb), le cadmium (Cd), le cuivre (Cu) et le zinc (Zn) sont naturellement présents dans les sols à de faibles concentrations. Toutefois, l'augmentation des activités anthropiques a fortement contribué à accroître leurs concentrations dans les écosystèmes terrestres. Contrairement aux polluants organiques, les métaux lourds ne sont pas biodégradables et peuvent persister pendant de longues périodes dans le milieu naturel.

Les éléments traces métalliques proviennent de différentes sources naturelles et anthropiques. Les sources naturelles sont principalement liées à l'altération des roches mères et aux processus géologiques naturels (**Baize, 1997**). Cependant, les activités humaines constituent actuellement la principale source d'émission des métaux lourds dans l'environnement. Les industries métallurgiques, minières et chimiques rejettent d'importantes quantités de contaminants métalliques dans l'air, l'eau et les sols (**Godin et al., 1985 ; Merian et al., 2004**). De même, les activités agricoles participent à l'enrichissement des sols en métaux lourds à travers l'utilisation des engrais phosphatés, des produits phytosanitaires et des amendements organiques (**Hamon et al., 1998 ; Morgan et Taylor, 2004**). Les émissions liées au trafic routier et à l'incinération des déchets urbains représentent également des sources importantes de contamination métallique (**Denison et Silbergeld, 1988**).

La présence excessive des métaux lourds dans les sols peut provoquer des effets toxiques sur les organismes vivants et entraîner une perturbation importante du fonctionnement des écosystèmes terrestres. Ces contaminants peuvent affecter la croissance, la reproduction, le métabolisme et la survie des organismes (**Agarwal, 2002**). Certains métaux comme le cuivre et le zinc sont indispensables au fonctionnement biologique des organismes lorsqu'ils sont présents à faibles concentrations, mais deviennent toxiques lorsque leurs concentrations dépassent certains seuils (**Hopkin, 1989 ; Gimbert, 2006**). D'autres métaux tels que le plomb et le cadmium ne possèdent aucun rôle biologique connu et présentent une toxicité élevée même à de faibles doses (**Canfield et al., 2003 ; Alexander et al., 2006**).

Les organismes vivant dans le sol sont particulièrement exposés à cette contamination en raison de leur contact direct avec le milieu pollué. La pollution des sols peut entraîner une diminution importante de la biodiversité et provoquer des modifications profondes des

Introduction

communautés biologiques. La pédofaune joue pourtant un rôle essentiel dans le fonctionnement des écosystèmes terrestres. Elle participe à la décomposition de la matière organique, au recyclage des nutriments, à l'aération du sol ainsi qu'au maintien de sa fertilité (**Lavelle et al., 2006 ; Barrios, 2007**). Toute perturbation de cette biodiversité peut donc avoir des conséquences importantes sur la stabilité écologique des milieux naturels.

La richesse et l'abondance des organismes du sol dépendent de nombreux facteurs environnementaux tels que le climat, le type de végétation, l'humidité, la texture du sol, le pH ainsi que le degré d'anthropisation du milieu (**Ponge, 1993 ; Bird et al., 2000 ; Ponge et al., 2004**). Les modifications de ces paramètres sous l'effet des activités humaines peuvent provoquer des déséquilibres écologiques importants et conduire à la disparition de certaines espèces sensibles.

Dans ce contexte, l'utilisation des organismes bioindicateurs représente une approche efficace pour évaluer la qualité écologique des milieux naturels. Un bioindicateur est un organisme capable de refléter l'état de son environnement à travers sa présence, son abondance ou ses réponses physiologiques aux perturbations environnementales (**Spellerberg, 2005**). Les invertébrés terrestres sont largement utilisés dans les études écotoxicologiques en raison de leur sensibilité aux polluants, de leur abondance et de leur rôle écologique important (**Hopkin, 1993 ; Edwards et al., 1996**).

Parmi ces invertébrés, les myriapodes et particulièrement les scolopendres présentent un intérêt particulier dans les études de pollution des sols. *Scolopendra morsitans* est une espèce prédatrice vivant au niveau des horizons superficiels du sol. Grâce à son mode de vie et à sa capacité de bioaccumulation des contaminants métalliques, cette espèce constitue un excellent bioindicateur de la pollution des sols par les éléments traces métalliques (**Hopkin, 1989**). Plusieurs études ont montré que les scolopendres sont capables d'accumuler les métaux lourds présents dans leur environnement, reflétant ainsi le niveau de contamination du milieu (**Morgan et Morgan, 1999**).

La bioaccumulation des métaux lourds chez les organismes vivants représente un phénomène écologique important. Elle correspond à l'absorption et à l'accumulation progressive des contaminants dans les tissus biologiques à des concentrations supérieures à celles du milieu environnant (**Walker et al., 2006**). Ce phénomène dépend de plusieurs facteurs tels que la nature du contaminant, la durée d'exposition, les caractéristiques

Introduction

physiologiques de l'organisme et les conditions environnementales. L'étude de la bioaccumulation permet ainsi d'évaluer les risques écotoxicologiques associés à la contamination des sols.

Dans le Nord-Est algérien, plusieurs travaux ont mis en évidence l'existence d'une contamination des sols par les métaux lourds, notamment dans les régions industrialisées proches d'Annaba et d'El Tarf (**Semadi & Deruelle, 1993 ; Abdennour et al., 2000 ; Beldi et al., 2006 ; Grara et al., 2012**). Ces études ont montré que les activités industrielles, agricoles et urbaines constituent les principales sources de contamination environnementale dans cette région.

La présente étude s'inscrit dans cette problématique environnementale et écologique. Elle a été réalisée au niveau du site d'El Matrouha, situé dans la wilaya d'El Tarf, dans le Nord-Est algérien. Cette région se caractérise par une richesse biologique importante ainsi que par la diversité de ses écosystèmes naturels. Cependant, malgré son intérêt écologique, cette zone reste soumise à différentes pressions anthropiques liées notamment aux activités agricoles, aux dépôts atmosphériques et aux diverses activités humaines pouvant influencer la qualité des sols et la biodiversité locale.

L'étude de la biodiversité des invertébrés terrestres ainsi que l'analyse des caractéristiques physico-chimiques des sols dans cette région permettent d'obtenir des informations importantes sur l'état écologique du milieu. De plus, l'évaluation de la contamination métallique des sols et des organismes bioindicateurs constitue une approche essentielle pour mieux comprendre les impacts de la pollution sur les écosystèmes terrestres.

L'objectif principal de ce travail est d'évaluer la qualité écologique des sols du site d'El Matrouha à travers l'étude de la biodiversité des invertébrés terrestres et l'analyse de la contamination métallique des sols et de l'espèce bioindicatrice *Scolopendra morsitans*. Cette étude vise également à déterminer les concentrations des éléments traces métalliques, notamment le plomb (Pb), le cadmium (Cd), le cuivre (Cu) et le zinc (Zn), dans les sols et dans le corps de l'espèce étudiée afin d'évaluer les phénomènes de bioaccumulation et les risques écotoxicologiques associés.

Ainsi, ce manuscrit est organisé en deux grandes parties complémentaires. La première partie est consacrée à l'inventaire et à l'identification des invertébrés terrestres présents dans

Introduction

le site d'El Matrouha. La deuxième partie porte sur l'analyse physico-chimique des sols à travers l'étude de certains paramètres tels que le pH et la texture du sol, ainsi que sur la quantification des éléments traces métalliques dans les sols et dans le corps de *Scolopendra morsitans*, dans le but d'évaluer l'impact potentiel de la pollution métallique sur cet écosystème terrestre.

Chapitre 01 :

Matériels & Méthodes

Chapitre 01 : Matériel et méthodes

1. Description du site d'étude

1.1. Présentation de la région d'El Tarf

La ville d'El Tarf est située à 584,57 km de la capitale Alger, à l'extrême Est du pays jusqu'à la frontière algéro-tunisienne. Elle s'étend sur 3 339 km², et d'une population d'un peu plus de 408 414 habitants. La région est richement arrosée, elle reçoit une précipitation comprise d'environ 549.5 mm/an ; le site d'échantillonnage provient des principaux lieux du territoire étudié (El Matroha). Elle est limitée géographiquement :

- Au Nord, par la Méditerranée ;
- Au Sud, par la wilaya de Guelma et la wilaya de Souk-Ahras ;
- À l'Est, par la frontière tunisienne.
- À l'Ouest, par la wilaya d'Annaba.

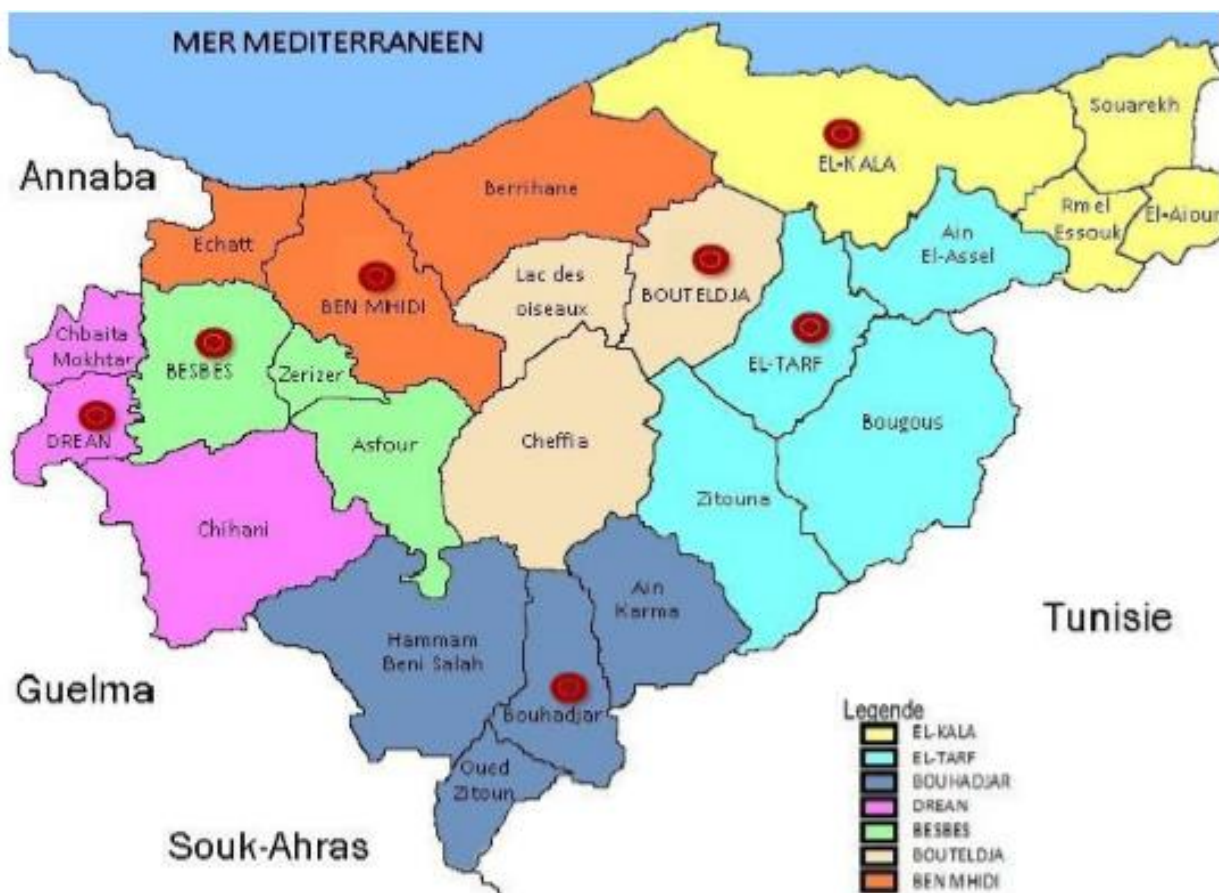


Figure 1 : Découpage administratif de la wilaya d'El Tarf.

Chapitre 01 : Matériels & Méthodes

1.2. Description du site d'étude

Les isopodes terrestres fréquentent généralement des milieux humides et riches en matière organique, car ces conditions sont favorables au maintien de leur équilibre hydrique et à leur activité biologique. Le choix de la station d'étude est basé sur le degré d'exposition aux polluants, notamment les métaux lourds, ainsi que sur les caractéristiques écologiques du milieu.

La station retenue dans la région d'El Tarf est :

- **El Matrouha** ; c'est un site caractérisé par la présence de différents types de sols, souvent riches en matière organique. Il est situé dans une zone relativement humide, parfois proche de zones marécageuses, ce qui favorise le développement d'une faune et d'une flore diversifiées. La végétation y est variée, comprenant des plantes herbacées et des arbustes.

Ce site peut être soumis à certaines influences anthropiques, telles que les activités agricoles ou les dépôts environnementaux, pouvant entraîner une contamination du sol par des éléments traces métalliques. Ces conditions font d'El Matrouha un site approprié pour l'étude de l'impact des métaux lourds sur les isopodes terrestres, notamment sur leurs caractéristiques morphologiques.

2. Analyse du sol du site d'étude

Le site d'étude a fait l'objet d'un échantillonnage aléatoire, nous avons prélevé à l'aide d'une tarière Edelman cinq (5) carottes ou colonnes de terre non remaniée à une profondeur de 20cm.

Sur une bâche propre, l'homogénéisation a été réalisée à la main, lors de cette opération nous avons écarté tous les éléments grossiers à savoir les feuilles, les cailloux, les racines et les coquilles d'escargots. Ensuite; chaque échantillon de terre est ensachée, étiquetée, puis transportée au laboratoire. Une fois arrivé au laboratoire les échantillons ont été séchés à l'air libre puis broyés dans un broyeur à 2mm (**Mathieu et Pielain, 1998**).

Chapitre 01 : Matériels & Méthodes

2.1. Détermination du pH du sol

La détermination du pH dans une suspension de sol fournit une estimation de l'acidité d'une solution en équilibre avec le sol. Dans le cas d'une mesure dans l'eau, le pH mesuré peut se rapprocher de celui de la solution du sol.

Dans les méthodes ci-dessous, l'acidité est mesurée dans une suspension de sol à l'aide d'un pH-mètre à électrode combinée. Le rapport sol-solution influencera les résultats du pH du sol mesuré dans l'eau; il est donc important d'utiliser un rapport constant et de le signaler en complément des résultats. Le pH du sol mesuré dans une solution saline est presque indépendant des variations du rapport sol / solution (**Conyers and Davey, 1988**).

2.2. Granulométrie

Elle correspond à la taille des éléments constitutifs du sol. Elle a une influence directe sur l'humidité du sol. On peut distinguer trois types de sols selon la granulométrie :

- Les éléments argileux ont une taille inférieure à $2\mu\text{m}$;
- Les éléments limoneux ont une taille comprise entre $2\mu\text{m}$ et $50\mu\text{m}$;
- Les éléments sableux ont une taille comprise entre $50\mu\text{m}$ et 2mm .

Par exemple, les vers préfèrent un milieu sans obstacle, facile à ingérer et avec des particules capable de retenir l'humidité ce qui correspond aux sols limoneux. Les caractéristiques abiotiques sont les premiers facteurs qui permettent de filtrer l'implantation des différentes espèces sur un milieu. Ce sont ensuite les facteurs biotiques qui permettent l'organisation des espèces entre elles.

2.3. Structure du sol

La structure du sol découle essentiellement de la distribution granulométrique de ses éléments solides et de l'existence de forces de nature électrostatique dues aux sites chargés des minéraux argileux et de l'humus (**Musy&Soutter, 1991**).

La structure du sol est l'agencement dans l'espace de ses constituants. Elle est déterminée par la forme des agrégats - les plus petits éléments indivisibles du sol. Ci-contre, les principales structures des sols.

2.4. Facteurs abiotiques (température, humidité, etc.)

Chapitre 01 : Matériels & Méthodes

La structuration naturelle des sols est liée à leur texture. Un sol argileux aura notamment une structure angulaire, avec formation de lamelles. Par contre, une structure grumeleuse (fréquente sous prairie) est plutôt liée à l'activité biologique.

2.4. Facteurs abiotiques

2.4.1. La température

La température du sol constitue une donnée essentielle pour l'étude de divers projets de construction; elle est indispensable par exemple pour la conception des pistes d'aéroport et des routes, la détermination de la profondeur à laquelle les canalisations d'alimentation en eau des bâtiments peuvent être installées sans risque de gel, l'excavation des fondations et la conception et la construction des sous-sols des bâtiments. Comme la conservation de l'énergie se révèle de plus en plus nécessaire, les données sur la température du sol sont un aspect important du calcul des besoins énergétiques, par exemple pour déterminer les pertes de chaleur dans les sous-sols ainsi que pour examiner la possibilité d'utilisation du sol comme source pour les pompes à chaleur. Il incombe donc aux ingénieurs et aux architectes qui doivent faire face à ces problèmes de connaître les facteurs déterminant les températures du sol et de savoir comment ces températures varient selon la saison et la profondeur du sol.

2.4.2. L'humidité

L'humidité du sol (ou eau contenue dans le sol) détermine de façon essentielle la variation des caractéristiques de différents matériaux ou sols. Le taux d'humidité d'un sol en particulier va déterminer les caractéristiques de diffusion ou de stockage de l'eau dans ce sol. Ces caractéristiques concernent aussi bien les intrants solides que liquides qui vont pénétrer dans le sol. La réserve en eau du sol se définit comme le volume d'eau contenu dans le sol à un instant donné. Cependant toute l'eau du sol n'est pas utilisable par la végétation, soit parce que les racines ne colonisent pas tout le volume de sol, soit parce que l'eau est trop fortement retenue par le sol pour être extraite par les racines (**Brédan et al, 2007**).

2.5. Rôle de la faune du sol

Le sol peut être décrit selon un profil spécifique composé d'horizons. Ceux-ci se distinguent les uns des autres par leur profondeur, leur aspect, leurs propriétés physicochimiques et leur texture. Les organismes qu'ils abritent y réalisent diverses actions

Chapitre 01 : Matériels & Méthodes

qui influent sur la qualité du sol. Des horizons de surface aux horizons profonds, on peut décrire les services rendus par cette faune du sol.

- **Formation de l'humus :**

Elle se fait par dégradation de la matière organique à la surface du sol (résidus de cultures, végétaux, exsudats, déjections, organismes morts...). Ce processus est opéré par les insectes détritivores ou fragmenteurs et d'autres invertébrés saprophytes qui, à l'aide de leurs enzymes, accélèrent considérablement le processus de dégradation de cette matière organique.

- **Complexe argilo-humique :**

L'association de la matière humique et minérale, assurée entre autre par les invertébrés fouisseurs tels que les vers de terre, forme un complexe argilo-humique composant les agrégats du sol. De taille, composition et stabilité variables, ils assurent, entre autre, une bonne structure du sol et empêchent le lessivage lors de fortes pluies.

- **Création de galeries :**

Au cours de leur progression dans les horizons du sol, les galeries formées par les vers de terre et insectes tels que les fourmis sont autant de chemins que trouvent les racines des plantes, les gaz et l'eau. Cette aération naturelle du sol permet la présence, à certains horizons, d'organismes aérobies, l'hydratation des racines mais aussi leur progression profonde pour accéder aux minéraux dont la plante a besoin.

2.6. Données biologiques et écologiques des isopodes

2.6.1. Position systémique

La position systématique du groupe selon la dernière édition du traité de zoologie consacré aux crustacés publié par **Bowman et Abele (1982)**, et modifié par **Mayrat et St Laurent (1996)** est la suivante:

- **Phylum:** Arthropoda.
- **Super-classe:** Crustacea.
- **Classe :** Malacostraca.
- **Super-ordre :** Peracarida.
- **Ordre :** Isopoda.
- **Sous-ordre :** Oniscidea.

Chapitre 01 : Matériels & Méthodes

- **Genre :** *Armadillidium*
- **Espèce :** *vulgare*

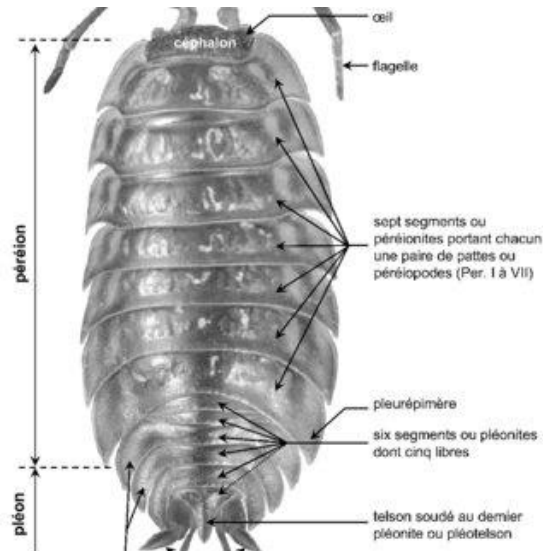


Figure 2: morphologie d'un exemple d'espèce d'isopode *Armadillidium vulgare*; face dorsale (Gross; 2005).

2.6.1. La reproduction

La reproduction chez les Isopodes est interne et la ponte s'effectue dans la cavité marsupiale des femelles située sur la face ventrale du péréon (**Godet, 2010**).

La reconnaissance sexuelle de la femelle par le mâle se réalise par des attouchements antennaires sur tous les téguments de la femelle. La contention de la femelle par le mâle a lieu dès que la moitié postérieure de l'exuvie de celle-ci est tombée. Dans ce cas, le mâle aide la femelle à se débarrasser de son exuvie.

L'accouplement a lieu dans l'intermue qui précède la mue parturienne. Les appendixmasculina des mâles interviennent simultanément pour chacune des deux copulations. Chaque copulation dure quelques minutes : le sperme passe de l'extrémité des appendixgenitalia, dans la gouttière de chacun des appendixmasculina (**Grassé et Forest ,1999**). Le marsupium d'origine maternelle est totalement fermé chez les formes terrestres, Après une durée d'incubation d'environ un mois, les œufs éclosent et les jeunes individus émergents dans le marsupium, les mancas vivent dans le marsupium environ une semaine (**Juchault, 1966**).

Chapitre 01 : Matériels & Méthodes

La reproduction peut être modifiée par des Wolbachia qui sont des bactéries Gram négatives dans le but d'augmenter la proportion des femelles dans une portée, ou de se rendre indispensable à son hôte, ou afin d'être transmises en grand nombre à la génération suivante. Ces endosymbiontes, peuvent induire différentes altérations de la reproduction comme la féminisation des mâles, la parthénogenèse, ou l'incompatibilité cytoplasmique (**Felix, 2004**).

2.7. Les ETM (éléments traces métalliques)

2.7.1. Cuivre

C'est un métal de couleur rougeâtre, de symbole Cu et numéro atomique 29 il possède une haute conductivité thermique et électrique. Le cuivre est stocké principalement dans le foie avec des concentrations allant de 10 à 50 ppm poids sec en générale (exception faite des ruminants et certains poissons dont les concentrations hépatiques en cuivre varient de 100 à 400 ppm poids sec) (**OMS / ICPS, 1998**).

2.7.2. Le zinc

Est un élément chimique, de symbole Zn et de numéro atomique 30. Le zinc est un métal, moyennement réactif, qui se combine avec l'oxygène et d'autres non-métaux, et qui réagit avec des acides dilués en dégageant de l'hydrogène (**Mahan, 1987**). L'état d'oxydation unique du zinc est +2 (appelé ion zincique), ainsi la géochimie du zinc est relativement peu complexe et l'on note un comportement chalcophile assez marqué par une association fréquente avec le soufre (**S, Mahan, 1987**). Les sources naturelles de zinc dans l'environnement sont l'altération de roches (56%), le volcanisme (22%) et la végétation (**Lantzy et Mc Kenzie, 1979 ; Phelan et al., 1982 ; Horowitz, 1985**).

2.7.3. Dosage des éléments traces métalliques (ETM)

2.7.3.1. Dosage des éléments traces métalliques (ETM) dans le sol

L'analyse des ETM dans le sol mis en solution totale par attaque acide permet une mise en solution totale de nombreux éléments : aluminium (Al), baryum (Ba), Cadmium (Cd), cobalt (Co), cuivre (Cu), fer (Fe), plomb (Pb), Zinc (Zn)..etc.

Cependant, comme le sol de notre station d'étude contient généralement moins de 4% de carbone organique, la calcination des échantillons est remplacée par un prétraitement à l'acide nitrique.

Chapitre 01 : Matériels & Méthodes

Le dosage des ETM est réalisé sur des échantillons des sols prélevé au printemps et provenant de el matrouha. Les étapes expérimentales successives sont les suivantes :

- Tous les échantillons sont broyés dans un creuset en agate puis tamisés à 250 μ m,
- A partir de ces échantillons, peser 0,250g $\pm$ 0,5mg dans un bécher et ajouter 5ml d'acide nitrique. Tous les béchers sont placés dans un bain de sable réglé à 160°C pendant 30min.
- Les résidus sont ensuite transférés dans des capsules en verre et y ajouter 5ml d'acide fluorhydrique et 1,5ml d'acide perchlorique,
- Procéder au chauffage dans un bain de sable jusqu'à l'obtention d'un résidu sec, puis ajouter à chaque résidu 1ml d'acide chlorhydrique et quelques ml d'eau déminéralisée et chauffer de nouveau dans un bain de sable pour une dissolution à chaud du résidu sec.
- Transférer les solutions par la suite dans des fioles jaugées de 50ml et ajuster au volume avec de l'eau déminéralisée. Le témoin est préparé avec les mêmes réactifs mais sans la prise d'essai.
- Après réglage du spectrophotomètre d'absorption atomique, on passe successivement les solutions étalons, les solutions d'essais et le témoin ; puis procéder au dosage des éléments en utilisant les longueurs d'onde spécifiques suivantes : Zn : 213,9nm; Cu : 324,8nm.
- Après lecture, tracer les courbes d'étalonnage où l'axe des X étant l'absorbance et l'axe des Y la concentration en ETM (Afnor, 1996).

La formule utilisée pour déterminer les teneurs totales en ETM dans le sol est la suivante :

$$T (\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}) = \frac{(C - C1) \times V}{S} = (C - C1) \times 200$$

- **T** : teneur totale en ETM ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$).
- **C** : concentration de l'élément trace métallique déterminée par la courbe d'étalonnage ($\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$).
- **C1** : concentration du témoin déterminée par la courbe d'étalonnage ($\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$).
- **S** : poids de la prise de terre en g (0,250g).

Chapitre 01 : Matériels & Méthodes

- **V** : volume d'extraction en mL (50mL).

2.7.3.2. Dosage des éléments traces métalliques (ETM) dans le corps des isopodes

Le dosage des ETM dans le corps des isopodes récoltés et prévenant de la station de Matrouha. Les spécimens des isopodes sont placés dans le congélateur puis séchés à l'étuve à 60°C pendant 10 heures, puis à 105°C jusqu'à l'obtention d'un poids constant de 0,5g de poids sec. Le tissu obtenu est mélangé à 5 ml de HNO₃ puis chauffé à 50°C pendant 2heures puis à 110°C pendant 16 à 18heures. Le produit obtenu est transvasé dans une fiole de 50 ml, filtré sur papier Whatman et rincé à l'eau distillée. Le filtrat est ajusté à 25 ml avec l'eau distillée et dosé à l'aide d'un spectrophotomètre d'absorption atomique.

$$T (\mu\text{g.g}^{-1}) = \frac{(C - C1) \times 50}{S} = (C - C1) \times V$$

- **T** : teneur totale en ETM ($\mu\text{g.g}^{-1}$).
- **C** : concentration de l'élément trace métallique déterminée par la courbe d'étalonnage ($\mu\text{g.ml}^{-1}$).
- **C1** : concentration du témoin déterminée par la courbe d'étalonnage ($\mu\text{g.mL}^{-1}$).
- **S** : poids de la prise d'essai en g (0,5g).
- **V** : volume d'extraction en mL (25mL).

3. Analyse statistique

Les résultats obtenus sont représentés par la moyenne suivie par l'écart type des échantillons biologiques.

Résultats et interprétations

Résultats et interprétation

Résultats et interprétations

1. Analyse physico-chimique du sol

1.1. Analyse chimique du (pH) de la station d'échantillonnage

D'après les résultats obtenus, On constate que la station se caractérisent par un pH très alcalin ; 8,55 d'El Tarf, (**Figure 3**).

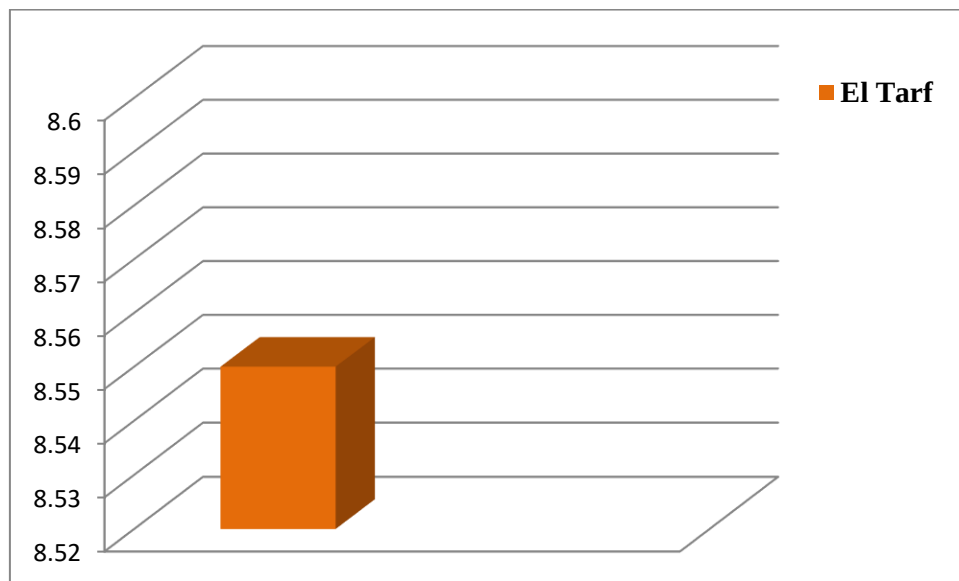


Figure 3: Evaluation du pH de la zone d'étude.

1.2. Analyse Granulométrique du sol des sites d'échantillonnage

Les résultats de l'analyse granulométrique exposés dans le graphique, montrent une composition granulométrique du sol différente dans la station d'échantillonnage d'El Tarf.

En matière d'argile, la composition du sol de la station d'El Tarf est de 24%, granulométrique du sol.

En revanche, nous avons enregistré un taux de limon seulement 32% dans la station d'El Tarf.

Par ailleurs; Le taux de sable est de 44% à El Tarf, (**Figure 4**).

Résultats et interprétation

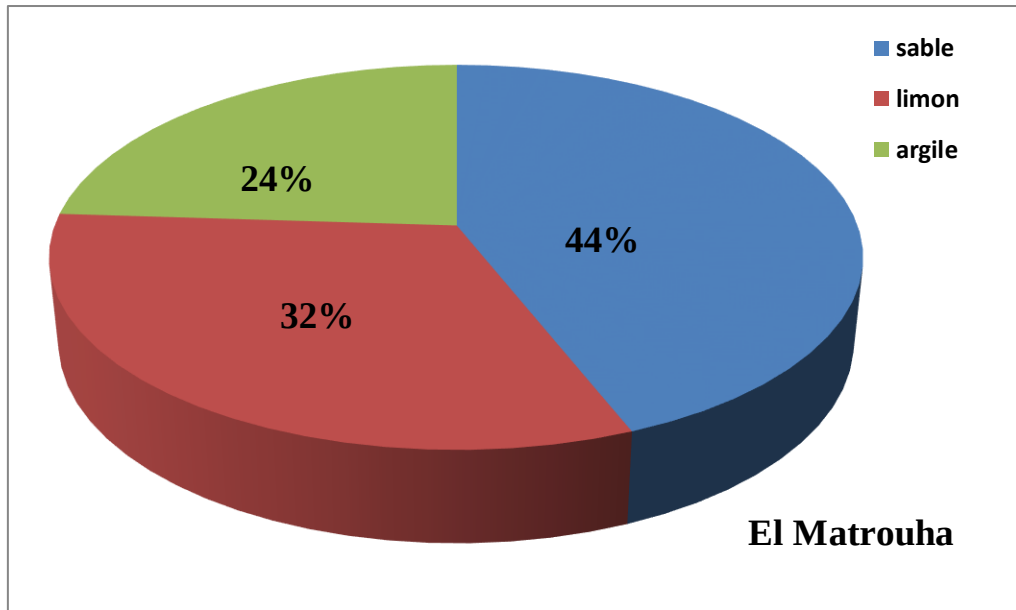


Figure 4: Composition granulométrique de la station d'étude.

2. Etude Climatique

D'après les données du Tableau de la région d'El Matrouha, 28°C est la température moyenne qui caractérise le mois le plus chaud de la période d'étude, soit le mois de mai; alors que seulement 16 °C est enregistré en janvier et donc considéré comme le mois le plus froid.

La moyenne des précipitations de la zone d'El Matrouha est de 49,84mm, cependant le mois le plus pluvieux est le mois de janvier avec 65 mm, alors que le mois le plus sec est celui de mai avec seulement 36 mm (**Tableau 1**).

L'hygrométrie de la zone d'El Tarf est comprise entre 46,47 % et 67,4% (**Tableau 2**).

Résultats et interprétation

Tableau 1: Données climatiques du site d'El Matrouha durant Les mois d'étude (PC : paramètres climatiques).

Mois PC	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai
T (°C)	16	17	19	22	28
P (mm)	65	64	59	57	36
H (%)	46,47	63,8	67,4	67,1	61,1

3. Détermination des teneurs totales en ETM dans le sol et dans l'organisme d'*Armadillidium vulgare* récoltée à partir du site d'étude

La caractérisation des teneurs totales en métaux lourds suivants (Cu, Zn) mis en solution par attaque acide, d'abord dans le sol du site d'El Matrouha sur une profondeur de 0 à 30cm, puis dans le corps de l'espèce *Armadillidium vulgare* récoltée à partir du même site.

3.1.Détermination des teneurs totales en Cuivre (µg/g) dans le sol et dans l'organisme d'*Armadillidium vulgare* récoltée à partir du site d'étude.

3.1.1. Détermination des teneurs totales en Cuivre (µg/g de terre) dans le sol du site d'étude.

La détermination des teneurs totales en Cuivre (µg/g de terre) dans le sol du site d'étude (El Matrouha) au cours de la saison d'étude révèle que les teneurs totales en Cu sont élevées enregistrées au niveau la région d'El Matrouha (**Tableau 2**).

Résultats et interprétation

Tableau 2: Teneurs totales en Cuivre ($\mu\text{g/g}$ de terre) dans le sol du site (El Matrouha) durant la saison d'étude ($m \pm s$, $n=4$).

Site	El Matrouha
Concentration du Cuivre $\mu\text{g/g}$	$14,33 \pm 2,51$

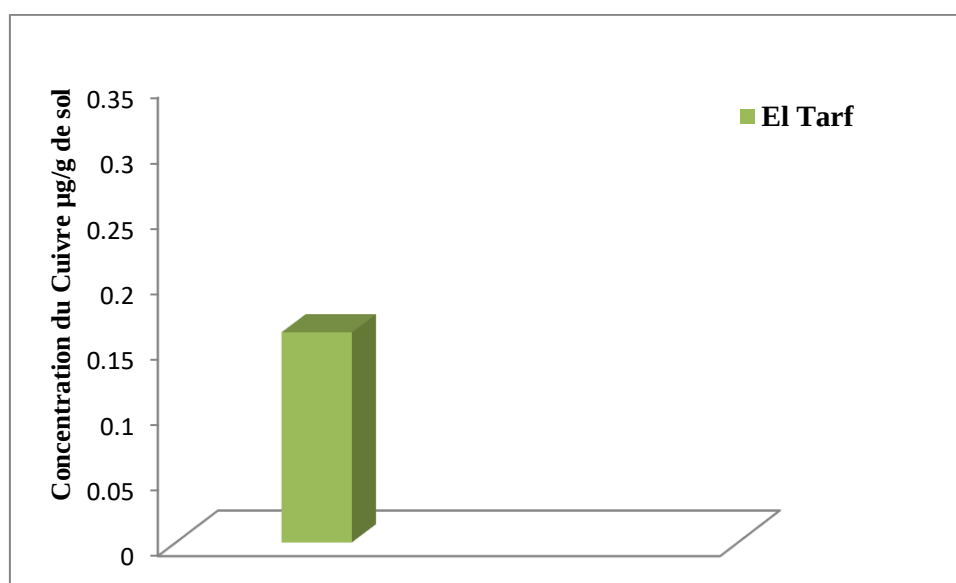


Figure 5 : Teneurs totales en Cuivre ($\mu\text{g/g}$ de terre) dans le sol du site (El Matrouha) durant la saison de récolte ($m \pm s$, $n=4$).

3.1.2. Détermination des Concentrations en Cuivre ($\mu\text{g/g}$ du poids sec) dans l'organisme d'*Armadillidium* récoltée à partir du site d'étude au cours de la saison de récolte.

Les concentrations de Cu sont enregistrées dans le corps de notre espèce au niveau du site d'El Matrouha sont légèrement élevées faible (**Tableau 3**).

Résultats et interprétation

Tableau 3: Concentrations en Cu ($\mu\text{g/g}$ de poids sec) dans le corps d'*Armadillidium vulgare*. Récoltée à partir du site (El Matrouha) durant la saison de récolte ($m \pm s$, $n=4$).

Site	El Matrouha
Concentration du Cuivre $\mu\text{g/g}$ de poids sec	$15,98 \pm 0,63$

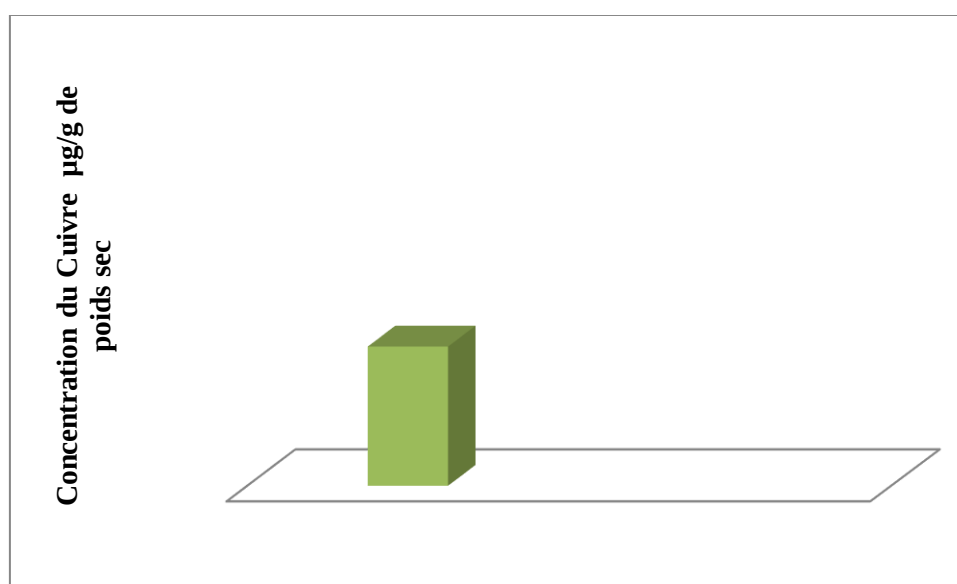


Figure 06: Concentrations en Cuivre ($\mu\text{g/g}$ de poids sec) dans le corps d'*Armadillidium vulgare* récoltée à partir du site (El Matrouha) durant la saison de récolte ($m \pm s$, $n=4$).

3.1.3. Détermination des teneurs totales en Zinc ($\mu\text{g/g}$) dans le sol et dans l'organisme d'*Armadillidium vulgare* récoltée à partir du site d'étude.

3.1.3.1. Détermination des teneurs totales en Zinc ($\mu\text{g/g}$ de terre) dans le sol du site d'étude.

L'attaque acide a permis de mettre en solution des teneurs totales en Zinc comprises $14,66 \pm 0,57 \mu\text{g/g}$ de terre au niveau d'El Matrouha (**Tableau 04**).

Résultats et interprétation

Tableau 04: Teneurs totales en zinc ($\mu\text{g/g}$ de terre) dans le sol du site (El Matrouha) durant la saison d'étude ($m \pm s$, $n=4$).

Site	El Matrouha
Concentration du zinc $\mu\text{g/g}$	$14,66 \pm 0,57$

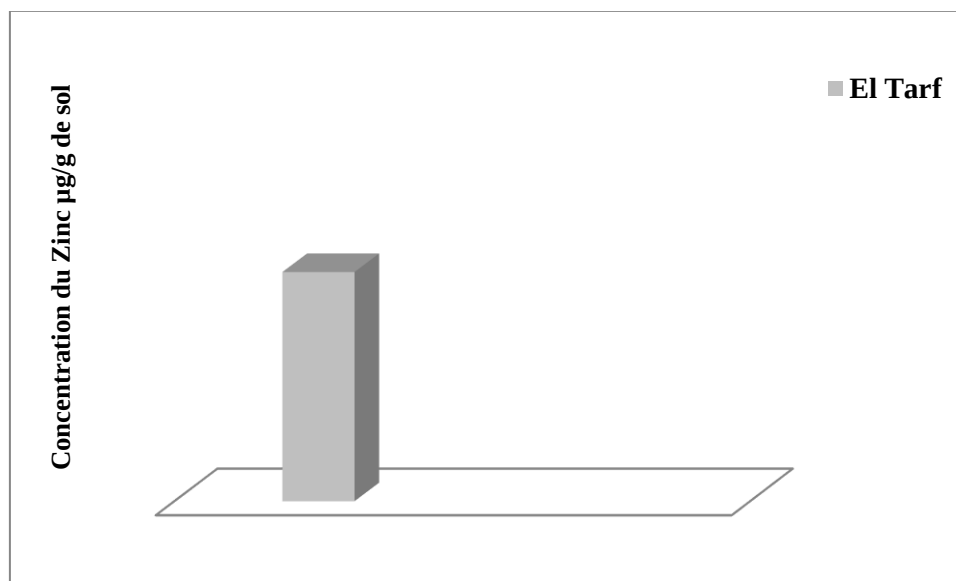


Figure 07: Teneurs totales en Zinc ($\mu\text{g/g}$ de terre) dans le sol du site (El Matrouha) durant la saison de récolte ($m \pm s$, $n=4$).

3.1.3.2. Détermination des Concentrations en Zinc ($\mu\text{g/g}$ du poids sec) dans l'organisme d'*Armadillidium vulgare* récoltée à partir du site d'étude au cours de la saison de récolte.

L'analyse des concentrations en Zinc ($\mu\text{g/g}$ de poids sec) dans le corps d'*Armadillidium vulgare* récoltée durant la saison de récolte à El Matrouha montre un total de $16,04 \pm 1,73 \mu\text{g/g}$ de poids sec (**Tableau 05**).

Tableau 05: Concentrations en Zinc ($\mu\text{g/g}$ de poids sec) dans le corps d'*Armadillidium vulgare*. Récoltée à partir du site (El Matrouha) durant la saison de récolte ($m \pm s$, $n=4$).

Site	El Matrouha
Concentration du Zinc $\mu\text{g/g}$ de poids sec	$16,04 \pm 1,73$

Résultats et interprétation

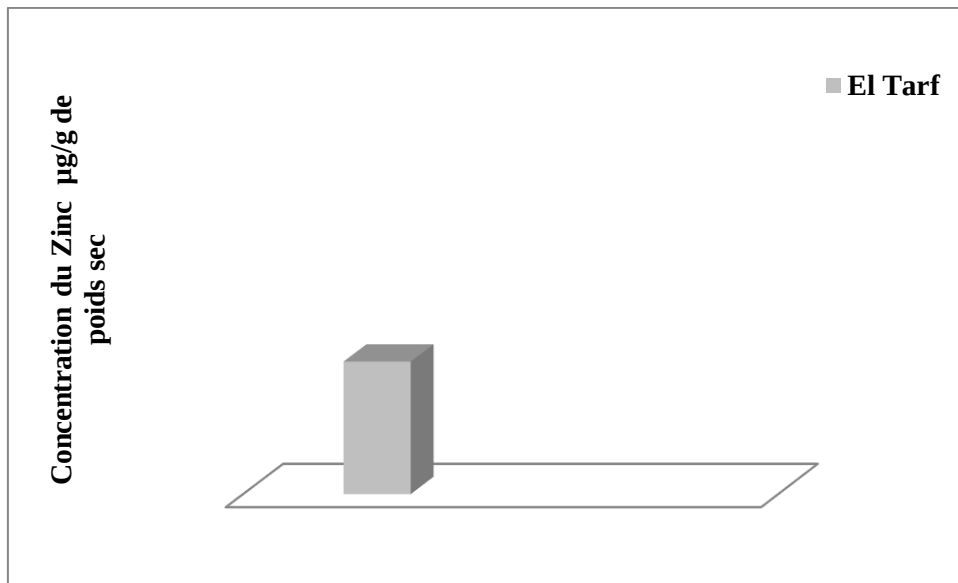


Figure 08: Teneurs totales en Zinc ($\mu\text{g/g}$ de poids sec) dans le corps d'*Armadillidium vulgare* récolté à partir du site (El Matrouha) durant la saison de récolte.

Discussion

Discussion

La prise de décision pour déterminer qu'un sol est contaminé par les éléments traces métalliques (ETM) peut nécessiter la connaissance du fond pédo-géochimique local (**Baize et al., 2002 ; Baize et Sterckeman, 2004**). Cette connaissance permet de déterminer le degré de contamination susceptible d'être attribué à des activités anthropiques par comparaison à la valeur de ce fond pédo-géochimique. Ce fond dépend essentiellement des facteurs de la pédogenèse indépendamment de l'activité humaine (matériau parental, lessivage, cycles biogéochimique) (**Darmendralet et al., 2000**).

Tous les sols ont subi l'influence des activités humaines et ce depuis longtemps. Les teneurs en ETM en surface des sols sont influencées par les apports issus de l'agriculture, du trafic routier, des activités industrielles et domestiques, mais aussi par l'exportation des cultures et l'érosion des sols (**Villanneau et al., 2008**).

Nos résultats montrent que le sol de la zone d'el Matrouha et peut être contaminé et affecté par les métaux lourds Zn et le Cu vu que c'est une région exposée au trafic routier.

Les organismes du sol sont déjà en contact avec des éléments toxiques et sont des outils utiles pour l'évaluation de la contamination des sols (**Heikens et al. 2001**). La pédofaune est un élément majeur dans la détermination de la qualité des sols (**Wolters, 2001**). L'un des composants prédominants de la pédofaune est l'espèce oniscidienne qui joue un rôle central dans l'amélioration des sols, la décomposition de la minéralisation des nutriments (**Wolters, 2001 ; Hoese, 1981 ; Cortet et al. 1999**).

Les prédateurs qui se nourrissent d'organismes du sol, accumulent plus de contaminants lorsque les sols sont pollués, entraînant ainsi une augmentation considérable de la bioamplification dans les zones fortement contaminées (**Spurgeon et Hopkin, 1996 ; Reinecke et al. 2000; Maerzet et al. 2005**). De nombreux tests ont été mesurés dans les sols et les isopodes terrestres. De plus, des analyses antérieures multivariées ont révélé une corrélation de métaux lourds et les paramètres écologiques suggérant un impact du degré de contamination sur la biodiversité.

Conclusion et perspectives

Conclusion et perspectives

Conclusion et perspectives

Cette étude porte sur une des communautés d'invertébrés du sol peu étudiées, les isopodes oniscidés, dont l'impact de leurs activités est fondamental pour la fertilité, la structure et la composition des sols. Nos expérimentations s'inscrivent dans une approche écologique, biologique, écotoxicologique et pédologique.

Le diagnostic du niveau de contamination des sites, par les éléments traces métalliques (ETM) révèle que les teneurs totales en ETM dans la zone d'el matrouha sont largement supérieures aux normes de rigueur, ainsi; les résultats montrent une forte corrélation entre les teneurs totales en Cu et zinc dans le corps de notre espèce et les concentrations totales de ces éléments dans le sol.

A l'avenir, il serait intéressant de :

L'élargissement de l'étude de l'Isopodofaune à tous les domaines agricoles et de comparer la biodiversité dans les agro écosystèmes en se focalisant sur la variation de la biodiversité en fonction des types de cultures pratiquées, des modes d'irrigation et surtout des Traitements phytosanitaires utilisés.

L'étude de la biodiversité du sol afin de préciser les espèces les plus sensibles aux pratiques culturales ainsi déterminer le degré de tolérance de ces espèces aux intrants chimiques utilisés dans les agro écosystèmes dans le nord est algérien.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

A

- **AFNOR. (1996).** *Qualité des sols – Dosage des éléments traces métalliques.* Association Française de Normalisation, Paris.
- **Alexander, P. D., Alloway, B. J., & Dourado, A. M. (2006).** Genotypic variations in the accumulation of Cd, Cu, Pb and Zn in edible parts of vegetables. *Environmental Pollution*, 144, 736–745.

B

- **Baize, D. (1997).** *Teneurs totales en éléments traces métalliques dans les sols (France).* INRA Éditions, Paris.
- **Baize, D., & Sterckeman, T. (2004).** Of the necessity of knowledge of the natural pedo-geochemical background content in the evaluation of soil contamination by trace elements. *Science of the Total Environment*, 264, 127–139.
- **Bowman, T. E., & Abele, L. G. (1982).** Classification of the Recent Crustacea. In *The Biology of Crustacea* (Vol. 1). Academic Press, New York.

C

- **Calvet, R. (2003).** *Le sol : propriétés et fonctions.* France Agricole Éditions, Paris.
- **Canfield, R. L., Henderson, C. R., Cory-Slechta, D. A., Cox, C., Jusko, T. A., & Lanphear, B. P. (2003).** Intellectual impairment in children with blood lead concentrations below 10 µg/dL. *New England Journal of Medicine*, 348, 1517–1526.

- **Conyers, M. K., & Davey, B. G. (1988).** Observations on some effects of sample storage conditions on pH measurements of soils. *Geoderma*, 42, 181–188.

D

- **Dumat, C., Cheshire, M. V., Fraser, A. R., Shand, C. A., & Staunton, S. (2001).** The effect of soil organic matter on copper extraction from soil. *European Journal of Soil Science*, 52, 375–382.

E

- **Edwards, C. A. (1996).** *Earthworm Ecology*. CRC Press, Boca Raton.

G

- Godet, M. (2010). *Biologie et écologie des Isopodes terrestres*. Université de Poitiers.
- Grassé, P. P., & Forest, J. (1999). *Traité de Zoologie. Crustacés*. Masson, Paris.

H

- **Hamon, R. E., McLaughlin, M. J., Naidu, R., & Correll, R. (1998).** Long-term changes in cadmium bioavailability in soil. *Environmental Science and Technology*, 32, 3699–3703.

- **Hopkin, S. P. (1989).** *Ecophysiology of Metals in Terrestrial Invertebrates*. Elsevier Applied Science, London.

J

- **Juchault, P. (1966).** Contribution à l'étude biologique et écologique des Isopodes terrestres. *Bulletin Biologique de la France et de la Belgique*, 100, 1–116.

L

- **Lavelle, P., Decaëns, T., Aubert, M., Barot, S., Blouin, M., Bureau, F., Margerie, P., Mora, P., & Rossi, J. P. (2006).** Soil invertebrates and ecosystem services. *European Journal of Soil Biology*, 42, S3–S15.

M

- **Mathieu, C., & Pielain, F. (1998).** *Analyse chimique des sols : méthodes choisies*. Tec & Doc, Paris.
- **Merian, E., Anke, M., Ihnat, M., & Stoeppler, M. (2004).** *Elements and their Compounds in the Environment* (2nd ed.). Wiley-VCH, Weinheim.
- **Musy, A., & Soutter, M. (1991).** *Physique du sol*. Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, Lausanne.

S

- **Spellerberg, I. F. (2005).** *Monitoring Ecological Change*. Cambridge University Press.

W

- **Walker, C. H., Hopkin, S. P., Sibly, R. M., & Peakall, D. B. (2006).** *Principles of Ecotoxicology* (3rd ed.). Taylor & Francis, London.
- **Wall, D. H., Moore, J. C., et al. (1999).** Soil biodiversity and ecosystem functioning. *BioScience*, 49(2), 109–117.
- **Wolters, V. (2001).** Biodiversity of soil animals and its function. *European Journal of Soil Biology*, 37, 221–227.