

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
UNIVERSITÉ MOULOUD MAMMERI TIZI-OUZOU



Faculté des sciences biologiques et des sciences agronomiques
Département de biologie animale et végétale

Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme de Master en Ecologie et environnement
Spécialité : Biodiversité et environnement

Effets de la pollution sur les propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol. Cas des deux stations-service de Draa El Mizan et de Ouadhias.

Réalisé par :

M^{me} BEGAZ Célia
M^{me} HARID Syla

Devant le jury:

Présidente :	M ^{me} ALI AHMED S.	MAA à l'UMMTO.
Promotrice :	M ^{me} SADOUDI -ALI AHMED D.	Professeur à l'UMMTO.
Co- promotrice :	M ^{me} MATMER R.	Doctorante à l'UMMTO.
Examinatrice :	M ^{me} CHIBANE G.	MAA à l'UMMTO.

Promotion: 2020/2021.



Remerciements

En tout premier lieu, nous tenons à remercier le bon Dieu, le Tout Puissant, de nous avoir donné la force et le courage de mener à bon terme ce travail.

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à notre promotrice M^{me} SADOUDI-ALIAHMED D. professeur à l'UMMTO pour nous avoir proposé cette thématique, pour son encadrement scientifique, ses précieuses orientations, son soutien, ses encouragements tout au long de notre travail.

Nos vifs et sincères remerciements vont à notre Co-promotrice M^{me} MATMER R. doctorante au département de Biologie à L'U.M.M.T.O pour son aide, ses orientations et son suivi.

Nos vifs remerciements vont également aux membres du jury la présidente M^{me} ALI AHMED S. maitre assistante au département de Biologie de l'U.M.M.T.O et l'examinatrice M^{me} CHIBANE G. maitre assistante au département de Biologie de l'U.M.M.T.O pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre recherche en acceptant d'examiner notre travail et de l'enrichir par leurs propositions.

Nous ne manquons surtout pas de remercier chaleureusement M^{me} ALI AHMED C. maitre de conférences classe B au département de Génie-civil, M^r ASLA T. maitre assistant au département de Biologie de l'U.M.M.T.O et M^{me} SMAIL-SADOUN N. professeur à l'U.M.M.T.O pour leurs aides et leurs conseils.

Nous tenons à remercier en particulier M^{me} OULTAF L. doctorante à l'U.M.M.T.O pour son aide, son soutien. Nous la remercions infiniment pour le grand intérêt qu'elle a porté à notre travail d'une manière générale. Nous remercions également les doctorants qui travaillent dans le laboratoire de pathologie des écosystèmes, M^r DIB D. et M^r SADOU S.A. pour leurs conseils ainsi que Mme ABROUS H. ingénieur de laboratoire.

Nous remercions chaleureusement l'ensemble du personnel du laboratoire de pédologie à l'institut national de la recherche forestière de Bainem pour leur accueil, leur aide ainsi que leurs bonnes explications.

Enfin, nous remercions tous ceux qui ont contribué, de près ou de loin, à l'élaboration de ce mémoire.



DEDICACE

*A la meilleure maman de tous les temps merci pour ta
confiance, ton soutien et ton amour*

A mon cher papa à qui je dois tout

A mes grands-parents maternels, mes oncles et tantes

A la plus formidable sœur au monde Katia

A mes frères bien aimés Mhidine et Ghiles

A mes cousines adorées Lahna, Kahina, Safia, Fetta

A toute ma famille

A mon cher binôme, amie et sœur Célia et à toute sa famille

A Lydia, Malika, Deya, Lamia, Lisa, Kenza, Hakima...

A toute la promo Biodiversité et Environnement 2020-2021

A tous mes amis sans exception

Aux gens qui me redonnent espoir quand tout paraît perdu

Toutes les lettres ne sauraient trouver les mots qu'il faut...

Tous les mots ne sauraient vous exprimer ma gratitude,

mon amour, ma reconnaissance et mon respect...

Aussi c'est tout simplement je vous dédie ce mémoire.

SyLia





Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à mes très chers parents qui ont toujours cru en moi et qui m'ont donné le courage et la volonté tout au long de mes études, pour leurs sacrifices pour mon bien-être, pour leur soutien moral et matériel. Je vous remercie pour tout le soutien et l'amour que vous me portez depuis mon enfance;

Que Dieu tout puissant me les garde;

À mon adorable sœur *Ouarda*, son mari et ses deux petits anges *Aylane & Iliane*

A mes chers frères *Samir, Mourad* et *Lounes* ainsi que leurs épouses;

A mes chères neveux et nièces;

A mon très cher fiancé *Rezak* pour le soutien moral, l'encouragement et l'aide qu'il m'a toujours accordé;

A ma belle-famille;

A mon binôme, meilleure amie *Sylia* et à toute sa famille;

A ma très chère cousine *Lynda OULTAF*, qui m'a toujours encouragé et soutenu tout au long de mon travail, ainsi qu'à toute sa famille;

A mes chères amies *Lydia, Malika* et *Deya* à qui je souhaite plus de succès;

A tous ceux que j'aime et je respecte.

Célia



Liste des abréviations

BTEX : Benzène, Toluène, Ethylène, Xylène.

CE : Conductivité électrique.

C/N : le rapport carbone/azote.

GPL : Gaz de pétrole liquéfié.

HAP : Hydrocarbures aromatiques polycycliques.

HC : Hydrocarbures.

INRF : Institut national de recherche forestière.

MO : Matière organique.

ONM : Office National de la Météorologie.

Liste des figures

Figure	Titre	Page
1	Classification par taille (largeur des corps) des organismes du sol.	4
2	Schéma d'une station de distribution pétrolière.	8
3	Devenir des hydrocarbures dans le sol. Adaptation de la figure proposée pour les pesticides.	10
4	Situation géographique des deux communes Ouadhia et Draa El Mizan dans la wilaya de Tizi-Ouzou.	15
5	Schéma de la méthode d'échantillonnage au niveau des deux sites d'étude.	18
6	Différentes étapes de prélèvement du sol.	19
7	Echantillonnage de la végétation.	19
8	Echantillonnage du sol pour l'extraction de la faune.	20
9	Appareil de Berlèse modifié.	21
10	Valeurs du pH des sols des deux stations Draa El Mizan et Ouadhia.	27
11	Variation de l'azote pour les deux transects des deux stations Draa El Mizan et Ouadhia.	28
12	Taux de carbone des sols des deux stations Draa El Mizan et Ouadhia.	28
13	Taux de matière organique des sols des deux stations Draa El Mizan et Ouadhia.	29
14	Taux d'humidité des sols des stations Draa El Mizan et Ouadhia.	29
15	Taux de la CE des sols des deux stations Draa El Mizan et Ouadhia.	30
16	Rapport C/N des sols des deux stations Draa El Mizan et Ouadhia.	31
17	Taux de calcaire total des sols des deux stations Draa El Mizan et Ouadhia.	31
18	ACP pour les paramètres physicochimiques du sol des deux stations Draa El Mizan et Ouadhia.	32
19	Distribution et noyaux d'affinité des groupes floristiques des stations étudiées (Draa El Mizan et Ouadhia).	37
20	Représentation de quelques espèces végétales recensées dans les deux sites d'étude.	38
21	Abondance totale de la faune recensée au niveau de la station-service de Draa El Mizan en fonction des profondeurs.	40
22	Abondance totale de la faune recensée au niveau de la station-service d'Ouadhia en fonction des profondeurs.	41
23	Indice de Shannon-Weaver (H') et l'équitabilité (E) pour de la station de Draa El Mizan en fonction des profondeurs.	42

24	Indice de Shannon-Weaver (H') et l'équitabilité (E) pour la station de Ouadhia en fonction des profondeurs.	43
25	Distribution et noyaux d'affinité des groupes faunistiques des différentes profondeurs (P1, P2, P3) de chaque échantillon dans le transect 1 de la première station (Draa El Mizan).	44
26	Distribution et noyaux d'affinité des groupes faunistiques des différentes profondeurs (P1, P2, P3) de chaque échantillon dans le transect 2 de la station de Draa El Mizan.	45
27	Distribution et noyaux d'affinité des groupes faunistiques des différentes profondeurs (P1, P2, P3) de chaque échantillon dans le transect 1 de la station de Ouadhia.	46
28	Distribution et noyaux d'affinité des groupes faunistiques des différentes profondeurs (P1, P2, P3) de chaque échantillon dans le transect 2 de la station de Ouadhia.	47
29	Photos montrant quelques individus d'invertébrés récoltés dans les deux stations d'étude.	48

Liste des tableaux

Tableau	Titre	Page
I	Principaux constituants du sol.	3
II	Faune du sol et ses fonctions.	5
III	Sources urbaines de pollution ponctuelle de sols, cas des stations-services	7
IV	Présence-absence des espèces végétales recensées au niveau des deux stations d'étude.	33
V	Résultats des indices écologiques de la végétation du site de Draa El Mizan.	35
VI	Résultats des indices écologiques de la végétation du site de Ouadhia.	36
VII	Composition faunistique globale des deux régions d'étude.	39

Sommaire

Introduction générale.....	1
----------------------------	---

Chapitre I : Synthèse bibliographique

I. Généralités sur le sol.....	3
I.1. Définition.....	3
I.2. Constituants du sol.....	3
I.3. Fonctions du sol.....	4
I.4. Biologie du sol et son rôle.....	4
II. Contamination du sol par les hydrocarbures.....	6
II.1. Principales sources de contamination du sol par les hydrocarbures.....	6
II.2. Comportement des hydrocarbures dans le sol.....	9
II.3. Effets écotoxicologiques des hydrocarbures.....	10

Chapitre II : Matériel et méthodes

I. Description des zones d'étude.....	14
I.1. Choix des sites d'étude.....	14
I.2. Présentation des sites d'étude.....	16
II. Matériel.....	17
II.1. Sol.....	17
III. Méthodes.....	17
III.1. Méthode d'échantillonnage.....	17
III.1.1. Dispositif expérimental (plan expérimental).....	17
III.1.2. Echantillonnage du sol.....	18
III.1.3. Inventaire de la végétation.....	19
III.1.4. Echantillonnage du sol pour l'extraction de la faune.....	20
III.1.5. Récolte de la macrofaune.....	21
III.1.6. Extraction de la microfaune.....	21
III.2. Analyse écologique.....	22

III.2.1. Abondance relative.....	22
III.2.2. Indice de Shannon-Weaver (H').....	22
III.2.3. Equitabilité (E).....	23
III.3. Analyses physico-chimiques du sol.....	23
III.3.1. pH.....	23
III.3.2. Humidité.....	23
III.3.3. Conductivité électrique (CE).....	24
III.3.4. Calcaire total.....	24
III.3.5. Carbone organique.....	25
III.3.6. Matière organique.....	25
III.3.7. Azote total.....	25
III.4. Analyses statistiques.....	26

Chapitre III : Résultats et discussion

I. Résultats.....	27
I.1. Analyses physico-chimiques des sols.....	27
I.1.1 pH.....	27
I.1.2. Azote total.....	27
I.1.3. Carbone.....	28
I.1.4. Matière organique.....	29
I.1.5. Humidité.....	29
I.1.6. Conductivité électrique.....	30
I.1.7. Rapport C/N.....	30
I.1.8. Calcaire.....	31
I.1.9. Analyse en composante principale (ACP).....	32
I.2. Propriétés biologiques.....	33
I.2.1. Résultats de l'effet de la pollution sur la végétation.....	33
I.2.2. Résultats de l'analyse de la faune du sol.....	38
II. Discussions.....	49
II.1. Effets des hydrocarbures sur les propriétés physiques et chimiques.....	49

II.2. Effets des rejets de stations-services sur végétation.....	51
II.3. Effets des rejets de stations-services sur la faune.....	53
Conclusion.....	57
Références bibliographiques	
Annexes	

Introduction générale

Le sol est l'un des compartiments essentiels à la vie terrestre, ses constituants spécifiques minéraux et organiques, ses solutions, ses atmosphères, ses organismes vivants (micro-organismes, faune, plantes), sa diversité, tant structurale que fonctionnelle et son organisation contribuent au développement d'une biosphère, abondante et très diversifiée (Girard et *al.*, 2005).

L'homme agit depuis toujours plus ou moins directement sur l'environnement. Au cours des siècles derniers cette action a pris plus d'ampleur avec l'apogée de l'industrie et les progrès dans les sciences et techniques qu'elles soient industrielles, agricoles ou domestiques (Norini, 2007).

De nos jours, les industries pétrolières envahissent des écosystèmes fragiles et lointains, dans des zones de biodiversité exceptionnelle où les gouvernements ont souvent peu de moyens pour protéger l'environnement, les habitants et les autres activités économiques. Le pétrole est une énergie non-renouvelable que nous consommons actuellement au rythme de 70 millions de barils par jour et certaines estimations prévoient que cela doublera d'ici 2025 (Kloff et Wicks, 2004).

Depuis le début du siècle dernier, l'exploitation humaine des gisements de pétrole n'a cessé d'augmenter. Cette source d'énergie entraîne des risques de pollution (accidentelle et chronique) pour l'environnement par son utilisation, son extraction ou son transport, pouvant influencer l'équilibre écologique et parfois entraîner la destruction de l'écosystème (Soltani, 2004). La pollution environnementale causée par le pétrole est très préoccupante car les hydrocarbures pétroliers sont toxiques pour toutes les formes de vie (Abha et Singh, 2012).

Lorsque des hydrocarbures sont déversés dans l'environnement, leur devenir dans le milieu va dépendre de leurs caractéristiques physicochimiques et des différents processus de transport et d'altération liés aux conditions environnementales dans le milieu récepteur (température, vagues, vents) (CEAEQ, 2015).

Les stations-services, lieux de stockage et de manipulation des produits polluants, sont considérées comme l'une des plus importantes sources de pollution du sol. Cette dernière se scinde en deux catégories : d'un côté, une pollution chronique qui se produit sur une longue période et étant due, le plus souvent, à la corrosion des cuves et des canalisations enterrées, de l'autre côté la pollution accidentelle qui est due au transport des hydrocarbures, des accidents et renversement des camions citernes, des installations de distribution et de diverses opérations industrielles (Patej, 2002). Cette pollution peut avoir des effets sur les propriétés chimiques, physiques et biologiques du sol (Parvizi Mosaed et *al.*, 2015). Lorsque le milieu atteint un

niveau élevé de concentration, les hydrocarbures peuvent avoir des effets toxiques sur les espèces végétales, animales et des risques pour la santé humaine (Tang et *al.*, 2011). Les effets dépendent de plusieurs facteurs, tels que les propriétés du sol et le type de contaminant. En effet, les hydrocarbures lourds comme le diesel et le pétrole brut, exercent des effets négatifs plus importants sur la croissance et la germination des plantes comparés aux hydrocarbures plus légers comme l'essence (Labud et *al.*, 2007).

Les polluants des stations-service sont des substances, pour la plupart, mobiles ou volatiles qui peuvent atteindre les eaux souterraines et superficielles causant des impacts sur la santé et l'environnement (Piedrafita et Carnicer, 2007).

L'objectif de ce travail est de réaliser une étude sur l'effet des hydrocarbures sur quelques propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol. Les échantillons de sol ont été prélevés dans deux stations-service situées dans les régions de Draa El Mizan et de Ouadhias selon un gradient de pollution. Des analyses physico-chimiques et des inventaires de la faune et de la flore ont été réalisés.

Le présent travail se subdivise en trois chapitres :

- Le premier chapitre consiste en une revue bibliographique sur le sol, sa pollution par les hydrocarbures, leurs effets éco-toxicologiques sur les plantes et les microorganismes du sol.
- Le second chapitre permet de prendre connaissance avec les deux zones d'étude, le matériel utilisé et les méthodes adoptés dans notre expérimentation.
- Le troisième chapitre est une présentation des résultats obtenus et de leur discussion.

Nous terminons ce travail par une conclusion générale.

Chapitre I

Synthèse

bibliographique

I. Généralités sur le sol

I.1. Définition

Le sol, à l'échelle de la planète, est une très mince couche de terre recouvrant les roches émergées (Gobat et *al.*, 2003). Il est essentiel à la vie terrestre, c'est un milieu vivant et dynamique, en raison de la diversité de ses constituants spécifiques (Girard et *al.*, 2011). Il est différencié en horizons d'épaisseur variable (Calvet, 2013). Un sol est un milieu hétérogène polyphasé, dispersé et poreux. C'est le substrat habituel de la croissance des plantes (Lemière et *al.*, 2008).

I.2. Constituants du sol

Le sol forme ce qu'on appelle un système polyphasique, c'est un mélange de plusieurs phases: liquides, solides et gazeuses (Tableau I), ce qui peut lui donner une apparence d'un matériau homogène (Gobat et *al.*, 2010).

Tableau I : Principaux constituants du sol (Soltner, 2005).

	Constituants solides		Constituants liquides (solution du sol)	Constituants gazeux (atmosphère du sol)
	Minéraux	Organiques		
Origine	Désagrégation physique et altération biochimiques des roches	Décomposition des êtres vivants	Précipitations, nappes, ruissellement	Air hors sol, matières en décomposition, respiration
Critères de classement	Taille (granulométrie) Qualité (minéralogie)	Etat (vivants, morts) Qualité chimique (originelle, transformée)	Origine (météorique, phréatique) Etat physique (potentiel hydrique) Qualité chimique	Origine (air, organismes) Qualité chimique
Catégories	Selon granulométrie •Squelette (>2 mm) •Terre fine (> 2mm) Selon minéralogie •quartz •minéraux silicates •minéraux carbonatés	•Organismes vivants •Organismes morts •matières organiques héritées : cellulose, lignine, résines •matières organiques humifiées : acides fulviques et humiques, humines	•Eau •Substances dissoutes : glucides, alcools, acides, organiques et minéraux, cations et anions	•Gaz de l'air : N ₂ , O ₂ , CO ₂ •Gaz issus de la respiration et de la décomposition des organismes : CO ₂ , H ₂ , CH ₄ , NH ₃

I.3. Fonctions du sol

Le sol est un système écologique qui possède de multiples rôles. C'est un support pour les êtres vivants, un réservoir de matière organique et minérale, un régulateur des échanges et des flux dans l'écosystème, un lieu de transformation de la matière organique et un système épurateur de substances toxiques (Ruellan et Poss, 2008).

Le sol nourrit le monde : il produit, contient et accumule tous les éléments nécessaires à la vie (azote, phosphore, calcium, potassium, fer, oligoéléments...), y compris l'air et l'eau (Ruellan et Poss, 2008). A la croisée de toutes ces fonctions, le sol joue un rôle irremplaçable à la surface du globe (INRA, 2009).

I.4. Biologie du sol et son rôle

I.4.1. Faune du sol

On trouve dans le sol une incroyable diversité d'organismes animaux. Classiquement, on distingue trois catégories en fonction de leur taille (Bachelier, 1979). Pour mieux structurer la compréhension sur les groupes d'organismes du sol, Swift et *al.* (1979) ont proposé une classification basée sur la taille (notamment le diamètre) des organismes qui est largement utilisée depuis (Fig. 1).

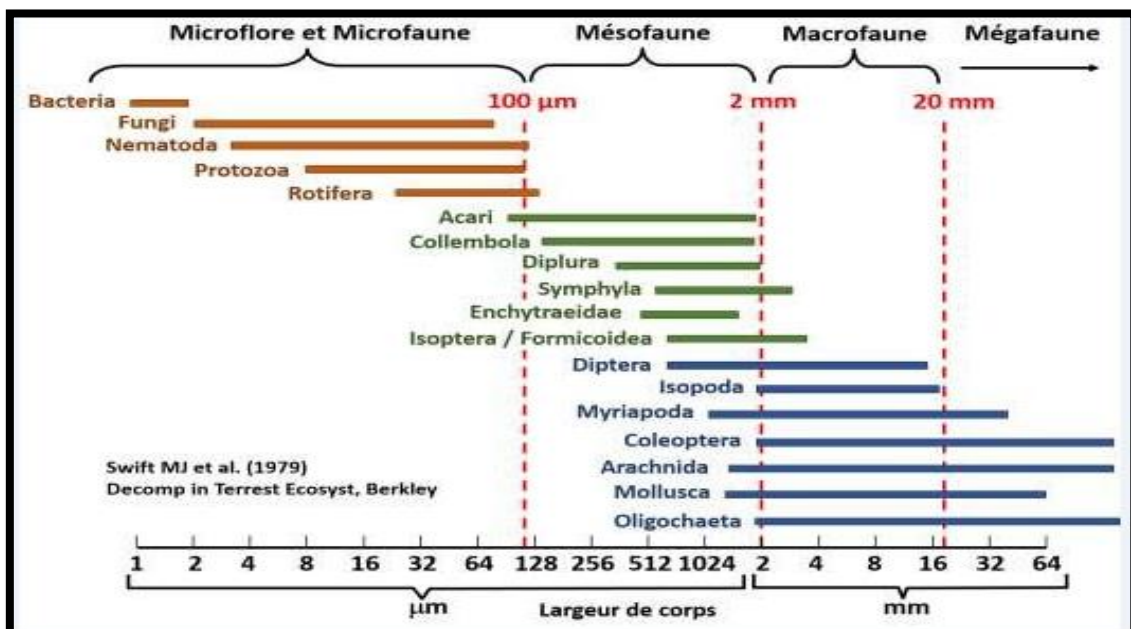


Figure 1 : Classification par taille (largeur des corps) des organismes du sol. Figure modifiée d'après Swift et *al.* (1979).

Cette répartition de la faune du sol permet de donner une information clé sur les différents rôles joués par les organismes, animaux et microbiens, sur le fonctionnement du sol (Tableau II).

Tableau II: Faune du sol et ses fonctions.

Faune du sol	Diamètre	Fonction	Références
la microfaune: nématodes, protozoaires et rotifères.	<0,2 mm	Elle régule la microflore par prédation et occupe une position clé dans les réseaux trophiques : microrégulateurs biotiques, microbivores ou microprédateurs.	European commission, 2010.
la mésofaune: acariens, collemboles, protoure, diploure, symphyles et enchytraeides.	entre 0,2 et 2 mm	Responsables du broyage et de la fragmentation de la matière organique (ex : feuilles).	
la macrofaune: englobe de nombreux groupes très différents tels que les myriapodes, les araignées, les chilopodes et quelques groupes de coléoptères ainsi que les insectes sociaux; fourmis et termites.	entre 2 et 80 mm	La fragmentation et l'intégration de la matière organique au sol. La formation et le maintien de la structure du sol à travers l'activité de bioturbation. permet de faciliter l'infiltration ou le stockage de l'eau et les échanges gazeux.	European commission, 2010; Hättenschwiler et al., 2019).

I.4.2. Plantes et sol

Les plantes, jouent un rôle absolument crucial dans le fonctionnement du sol. Le système racinaire représente la principale zone d'échange de nutriments et d'eau entre le sol, les microorganismes et les plantes (Hättenschwiler et al., 2019). La plupart des plantes sont, en effet, en interaction directe avec le sol tout au long de leur existence, de la graine jusqu'aux débris végétaux et reposent largement sur ce dernier pour leur alimentation en eau, leur nutrition minérale et leur ancrage. En retour, les plantes sont des ingénieures du sol. Elles influencent notamment les propriétés physico-chimiques du sol (par exemple : pH, agrégation, porosité) et constituent l'essentiel des apports de matières organiques aux sols, ce qui les place en amont de tous les réseaux trophiques (Freschet, 2018).

II. Contamination du sol par les hydrocarbures

La pollution des sols fait référence à la présence de produits chimiques toxiques (polluants ou contaminants) dans le sol, à des concentrations suffisamment élevées pour présenter un risque pour l'écosystème. Elle est généralement causée par l'activité industrielle, les produits chimiques agricoles ou l'élimination inappropriée des déchets (Shaltami et *al.*, 2020). La pollution du sol réduit sa productivité et exerce un effet néfaste sur les paramètres physiques et chimiques et les propriétés biologiques du sol (Cheraghi et *al.*, 2015 ; Rajesh et *al.*, 2016).

II.1. Principales sources de contamination du sol par les hydrocarbures

Les types de la pollution du sol se distinguent par la source du contaminant et ses effets sur l'écosystème (Rajesh et *al.*, 2016). Selon Gasperi (2006), nous pouvons distinguer deux sources principales d'hydrocarbures : les sources naturelles et les sources anthropiques.

II.1.1. Sources naturelles

Tous les sols, qu'ils soient pollués ou non, contiennent une variété de composés (contaminants) qui sont naturellement présents. Ces contaminants comprennent des métaux, des ions, des sels inorganiques et de nombreux composés organiques. Ces composés sont principalement formés par l'activité microbienne du sol et la décomposition des organismes (Shaltami et *al.*, 2020). D'après Simon et Sobieraj (2006), les incendies de forêt et les éruptions volcaniques sont les plus importantes sources naturelles des hydrocarbures. Ils sont aussi produits par les végétaux (les émissions volatiles de la végétation) comme les mousses, les lichens et les plantes vasculaires (Rodriguez et *al.*, 2018).

II.1.2. Sources anthropiques

La pollution du sol peut-être naturelle, alors que la majorité sont d'origine anthropique (Simon et Sobieraj, 2006). La présence des hydrocarbures dans un sol contaminé est liée aux industries de raffinage et de transformation, leur transport, leur stockage et leur distribution (Colin, 2000; Crone, 2000). Les sources les plus importantes d'hydrocarbures aromatiques sont la carbochimie et la chimie organique de base. On retrouve les hydrocarbures aliphatiques dans les produits industriels: carburants, peintures et vernis, diluants et solvants, industrie du cuir, textile, imprimerie, industrie chimique de base, des colorants et des plastiques (Lemièrre et *al.*, 2001).

D'après Piedrafita et Carnicer (2007), le milieu urbain est aussi à l'origine de plusieurs sources de pollution des sols. Les sources de pollutions chroniques et massives d'origine pétrolière sont multiples :

- ✓ Déversements plus ou moins massifs lors de transport d'HC par route ou chemin de fer, lors d'incendies ou d'explosions d'unités de production industrielle ou de cuves de stockage hors sol dans les centres de distribution.
- ✓ Fuites d'oléoducs et de cuves enterrées dans les stations-service.
- ✓ Infiltrations à partir de dépôts de déchets industriels et urbains contenant des hydrocarbures mal stockés et mal contrôlés.
- ✓ Retombées atmosphériques dans les zones urbaines et industrielles (hydrocarbures volatils) (Bocard, 2006).

II.1.3. Stations-services

Plusieurs sources d'origine urbaine sont responsables de la pollution des sols par les hydrocarbures (Tableau III), mais nous nous sommes basés sur le secteur «des stations-services» étant donné que celui-ci représente une large proportion parmi les autres sources de pollution (Fig. 2) (Piedrafita et Carnicer, 2007).

Tableau III : Sources urbaines de pollution ponctuelle de sols, cas des stations-services (Piedrafita et Carnicer, 2007).

Sources urbaines de pollution ponctuelle de sols	
Stations-service	Ilots de pompes.
	Cuves de stockage.
	Points de remplissage.
	Events des citernes.
	Séparateurs d'hydrocarbures.
	Canalisation entre les citernes et les îlots de pompes.

Une station-service est constituée de trois zones principales (Figure2). La zone de distribution (est composée de différentes bornes de distribution permettant le service de carburant), la zone de dépotage (elle permet d'effectuer le remplissage des cuves de carburant par camion-citerne) et la zone de boutique et de caisse.

Dans certains cas, la zone de dépotage peut être confondue à la zone de distribution, c'est-à-dire que le dépotage de camion-citerne se fait au même endroit que le remplissage du réservoir de l'utilisateur, le cas des stations-services en milieu urbain (Patej, 2002).

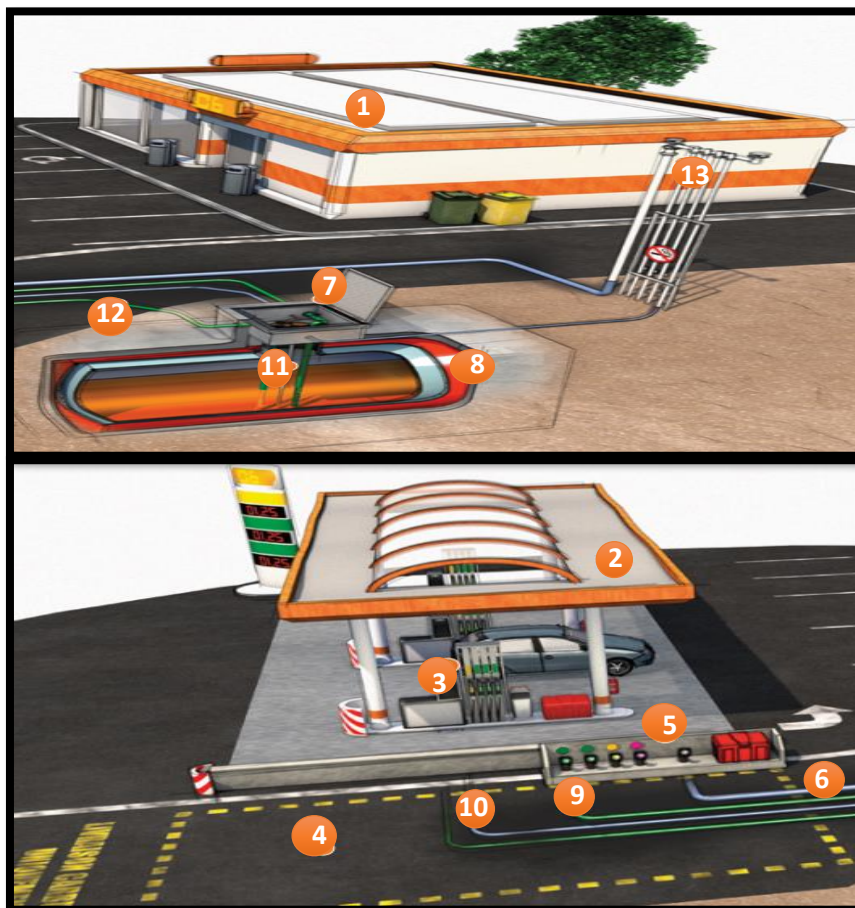


Figure 2 : Schémas d'une station de distribution pétrolière (INRS, 2016).

1. Local commercial; 2. Îlots de distribution; 3. Volucompteur; 4. Zone de dépotage ; 5. Bouches de dépotage; 6. Récupérateur de vapeurs (dépotage); 7. Regard d'accès à la cuve (ou cheminée d'accès); 8. Cuve de stockage à double enveloppe; 9. Canalisation pour le remplissage de la cuve; 10. Récupérateur de vapeurs (Distribution); 11. Puits de jauge; 12. Canalisation pour la distribution de carburant; 13. Events.

II.1.3.1. Liquides contaminants les plus fréquents dans une station de service

Les principaux liquides qui peuvent se trouver dans une station-service et qui sont susceptibles de provoquer une pollution du sol et/ou des eaux souterraines sont les carburants (essence, gazole) et les lubrifiants (huiles, graisses, liquides de freins) (Piedrafita et Carnicer, 2007).

❖ Carburants (Essence et Gazole)

Les carburants tels que l'essence et le gazole sont stockés et vendus dans les stations-service. Il s'agit de mélanges complexes d'hydrocarbures pétroliers. La composition en hydrocarbures dépend de facteurs comme l'origine du pétrole brut et les conditions de raffinage (Piedrafita et Carnicer, 2007 ; INRS, 2016).

❖ Lubrifiants

En dehors des pollutions à l'essence et au diesel, il existe d'autres substances susceptibles de polluer le sol comme les lubrifiants provenant des véhicules lors des prestations fournies au niveau des stations-services (vidange, réparations, etc.). C'est le cas, par exemple des huiles usées, des graisses ou des liquides de freins (Piedrafita et Carnicer, 2007). Les lubrifiants sont élaborés à partir d'huiles produites dans des raffineries. Ces huiles sont, ensuite, retraitées puis des additifs sont ajoutés afin d'en améliorer les propriétés (Colombano et *al.*, 2014).

II.2. Comportement des hydrocarbures dans le sol

Lorsque des hydrocarbures sont déversés dans l'environnement, différents processus d'altération ont lieu (Fig. 3). Les processus d'altération des hydrocarbures sont l'évaporation, la dispersion naturelle, la dissolution, la photo oxydation, la sédimentation, l'interaction avec des particules fines et la biodégradation (CEAE, 2015). Le comportement des hydrocarbures dans le sol est déterminé par des processus biologiques ou abiotiques: transformation (métabolisme, photolyse), absorption par les végétaux ou par la microflore du sol (Barriuso et *al.*, 1996). Les polluants peuvent atteindre les nappes phréatiques par contre, les hydrocarbures légers après déversement, en contact avec l'air, se volatilisent (l'évaporation). La dissolution des HC dans l'eau va dépendre de la structure moléculaire, de la polarité et de la solubilité des composés (Ali Ahmed, 2011).

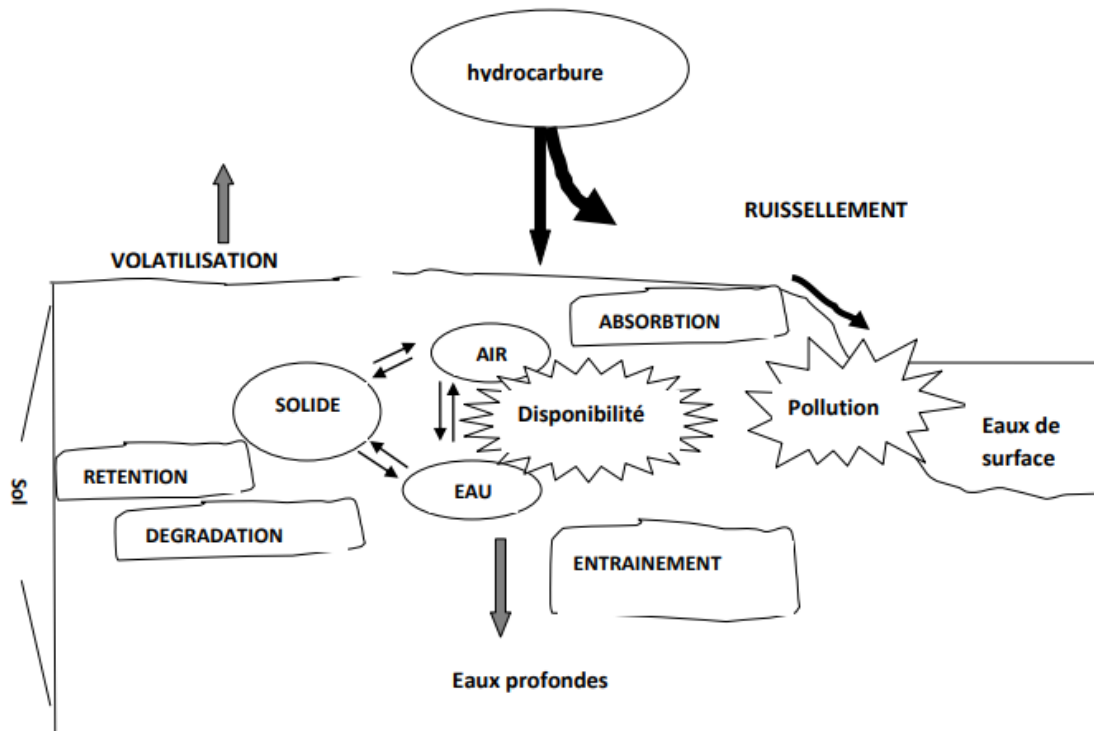


Figure 3 : Devenir des hydrocarbures dans le sol. Adaptation de la figure proposée pour les pesticides par Barriuso et *al.* (1996) in Ali Ahmed (2011).

II.3. Effets écotoxicologiques des hydrocarbures

Les effets des produits pétroliers sur les organismes vivants diffèrent selon les espèces; certaines étant plus tolérantes que d'autres; ces espèces tolérantes peuvent servir pour la bioremédiation ou encore la bioindication (Adam et Duncan, 2002).

En raison de leur caractère liposoluble, les HC peuvent s'accumuler dans la faune et la flore et tout au long de la chaîne trophique (Ramade, 2007). Les dommages dépendront de plusieurs facteurs, comme l'âge de la contamination du sol (Cruz et *al.*, 2014), le niveau de contamination, le type d'espèces (Ogbo, 2009; Luhach et Chaudhry, 2012); la nature et la structure chimique des hydrocarbures, la concentration des hydrocarbures, la durée du contact et les cibles biologiques concernées (degré de sensibilité) (Colin, 2000; Zhang et *al.*, 2010). La pollution du sol peut entraîner d'énormes perturbations dans l'environnement en affectant l'équilibre écologique et la santé des êtres vivants sur terre (Rajesh et *al.*, 2016). Les impacts de la pollution par les hydrocarbures sont multiples (Soltani et *al.*, 2004). La présence des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) dans les sols peut entraîner des effets mutagènes et cancérigènes (Henner et *al.*, 2008).

II.3.1. Effets sur les propriétés physiques du sol

La qualité physique d'un sol est étroitement liée à sa structure, c'est à dire à la façon dont les constituants minéraux et organiques sont assemblés les uns par rapport aux autres (Gros, 2004). Les études concernant les effets des hydrocarbures sur les propriétés physiques d'un sol sont très limitées.

Selon Rouquerol et *al.* (1987) les hydrocarbures enrobent les particules minérales, et assurent leur dispersion, grâce à la structure poudreuse dispersée de la terre, cette structure assure une bonne circulation des fluides dans le sol, et accroît en même temps le pouvoir de rétention. En effet, les sols pollués par les hydrocarbures ont 2% d'humidité de plus que les sols sains. La présence des hydrocarbures améliore la stabilité structurale du sol et réduit sa mouillabilité.

II.3.2. Effets sur les propriétés chimiques du sol

Les propriétés chimiques d'un sol conditionnent la qualité biologique de celui-ci. Toute perturbation de ces propriétés peut engendrer une réduction de la qualité biologique d'un sol (Gros, 2004). La pollution des sols par les hydrocarbures provoque une modification de l'acidité du sol; ce qui peut entraîner une diminution des éléments nutritifs et la productivité végétale du sol (Cheraghi et *al.*, 2015). Selon Godwin et *al.* (2013), certains produits pétroliers, comme le diesel, entraînent une diminution du pH (le sol pollué par le pétrole est classé comme extrêmement acide par rapport au sol témoin) et l'altération du rapport carbone/azote influence le développement des végétaux ; provoquent aussi un appauvrissement en azote total et en cations basiques tels que Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ et K^+ . Les hydrocarbures engendrent une augmentation de la teneur en carbone organique total du sol qui peut être le résultat de la minéralisation microbienne des composés d'HC (Chaîneau et *al.*, 1996).

II.3.3. Effets sur la biologie du sol

L'expression de la toxicité auprès d'un organisme est de trois types: la toxicité aiguë, la toxicité sub-aiguë et la toxicité à long terme. La toxicité aiguë peut causer la mort immédiatement ou en très peu de temps. La toxicité subaiguë peut causer des altérations du comportement ou de la productivité biologique d'un organisme. La toxicité chronique à long terme est la capacité d'une substance à provoquer des effets toxiques à long terme sur les êtres vivants (Negraia, 2010).

II.3.3.1. Effets sur la faune

Beaucoup de travaux ont démonté les effets négatifs des hydrocarbures sur les communautés animales. Selon Dib (2019), l'étude sur les communautés animales a montré une différenciation entre la communauté d'invertébrés vivants dans les zones polluées (près du point de rejet) par rapport aux zones éloignées de la source de pollution. Il a constaté des effets négatifs sur plusieurs groupes d'invertébrés, par exemple, les Entomobryomorpha, les Hymenoptera et les Coleoptera qui ont enregistré les valeurs les plus faibles dans la zone la plus contaminée (à proximité du point de rejet); par contre d'autres ont enregistré les plus fortes valeurs dans les zones contaminée, comme les Isopoda, Stylommatophora.

L'exposition des animaux du sol aux hydrocarbures varie selon la nature de ces derniers et les voies d'exposition (via l'atmosphère du sol, les ressources trophiques, ou par contact direct). De manière générale, la première réaction d'un organisme mobile est de fuir le polluant dès lors qu'il a été détecté dans son environnement (sauf paralysie ou mort immédiate) (Ponge, 2010). La fuite peut se faire à courte distance (en s'enfonçant dans le sol par exemple) ou bien en recherchant des zones non ou moins polluées (refuges) au hasard de ses déplacements (Gilser et Hölscher, 1997; Gass et *al.*, 2006). D'une manière générale les sols pollués se caractérisent par un appauvrissement de leurs réseaux trophiques, lié à la perte de biodiversité. Chaque fonction (par exemple la décomposition de la matière organique) est assurée par un ensemble d'organismes cohabitant dans le même volume de sol, un seuil de tolérance peut être défini pour chacun de ces groupes d'organismes, qu'ils soient animaux ou microbiens. Lorsque l'espèce la moins sensible au polluant disparaît, c'est la fonction qui disparaît. On observe donc des «à-coups» dans la répartition spatiale des fonctions essentielles du sol telles que la décomposition de la matière organique. Même lorsque le degré de pollution varie selon un gradient (par exemple dans le cône de pollution d'une raffinerie), on observe sur le terrain des limites bien tranchées en ce qui concerne la forme de l'humus et, par contrecoup, la disponibilité des nutriments et de la végétation (Gillet et Ponge, 2002). Lorsqu'une accumulation de matière organique est bien localisée sur une zone dans un terrain donné, cela est un indice pratiquement certain d'un dépôt de polluant (de quelque nature qu'il soit) (Ponge, 2010).

II.3.3.2. Effets sur la végétation

En ce qui concerne les végétaux, les impacts sont divers et ils dépendent du taux de pénétration des hydrocarbures dans le sol. Le pétrole peut pénétrer dans le sol et affecter le système racinaire. Dans certains cas, les hydrocarbures s'infiltrent et dans d'autres cas, ils restent en surface; lorsqu'ils s'infiltrent dans le sol, ces polluants peuvent toucher le système racinaire et limiter les échanges gazeux qui existent entre les racines et le sol. Or, c'est par les racines que les espèces vivaces se régénèrent. La fraction toxique des hydrocarbures est importante à prendre en compte. Dans le cas d'hydrocarbures lourds ou légers, la toxicité est différenciée. Les hydrocarbures lourds tels que le diesel et le pétrole brut, exercent des effets négatifs plus importants sur la croissance et la germination des plantes comparés aux hydrocarbures plus légers comme l'essence (Labud et *al.*, 2007). Les effets de phytotoxicité au niveau des feuilles et des racines sont divers: chloroses, inhibition de l'élongation et de la croissance racinaire, inhibition de la photosynthèse et la production d'assimilat (Henner, 2000).

D'après Chaineau et *al.* (1996), la présence des hydrocarbures affecte la germination des graines et réduit la croissance des plantes et leur rendement. La toxicité des plantes est principalement due aux substances volatiles et aux substances hydrosolubles (benzène, toluène, xylènes...) (Henner et *al.*, 2008). La contamination des sols par les hydrocarbures provoque une modification de la structure de la végétation, plus on s'éloigne de la source, plus le couvert végétal devient important. Cependant, certaines espèces végétales comme *Xanthium strumarium*, sont capables de croître dans les zones contaminées où la pollution est importante. Cette espèce est très tolérante à la contamination car elle est capable de croître et de germer dans les sols extrêmement pollués par les carburants (Dib, 2021).

Chapitre II

Matériel et méthodes

Notre travail a pour but de déterminer l'effet de la pollution du sol par les hydrocarbures (provenant des stations-services) sur ses propriétés physiques, chimiques et biologiques. Des analyses ont été effectuées au sein du laboratoire « pathologie des écosystèmes » de l'UMMTO et au laboratoire de pédologie de l'Institut National de Recherche Forestières (INRF) de Bainem.

I. Description des zones d'étude

Notre région d'étude se situe au Nord de l'Algérie et est représentée par la wilaya de Tizi-Ouzou au sein de laquelle deux sites (à proximité d'une station-service) ont été retenus. Le premier site est localisé au niveau de la commune de Draa El Mizan et le deuxième site est localisé au niveau de la commune de Ouadhias (Fig. 4).

I.1. Choix des sites d'étude

Le choix de chaque site d'étude a été fait en se basant sur plusieurs critères tels que :

- ✓ Existence de rejets visibles des produits pétroliers dans le site (la présence d'une pollution du sol à proximité de la station-service).
- ✓ Visibilité de la pollution, l'existence d'un gradient de pollution par les produits pétroliers.
- ✓ Accessibilité du milieu pour la réalisation de nos prélèvements.
- ✓ Existence d'un milieu naturel non bétonné près de la station-service, pas très accidenté et suffisamment grand pour servir de site d'étude.
- ✓ Présence de la végétation dans le site.
- ✓ Absence d'autres perturbations qui pourraient fausser nos résultats comme les activités anthropiques: le pâturage, le piétinement important ou d'autres rejets polluants (décharge sauvage, etc.).

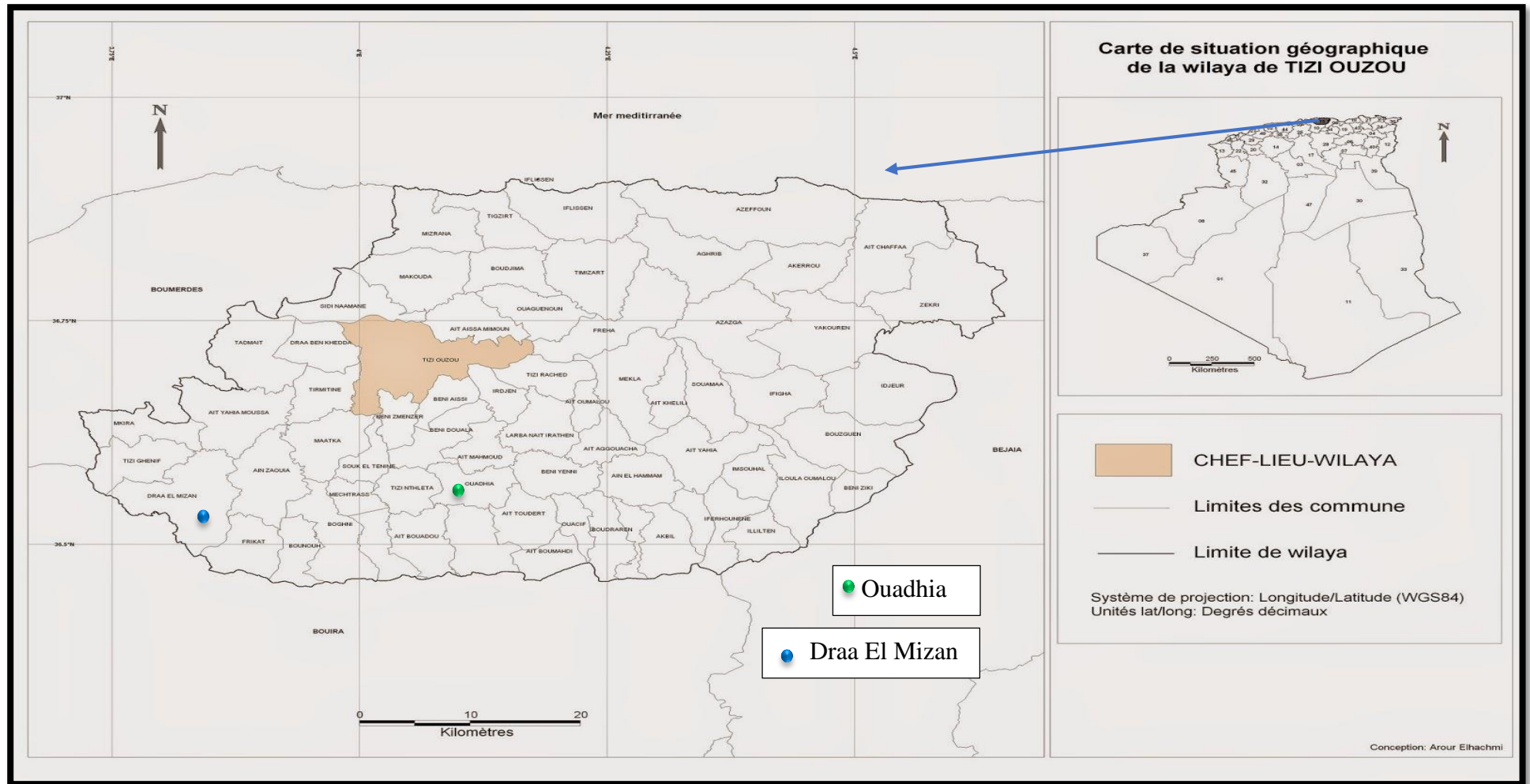


Figure 4 : Situation géographique des deux communes Ouadhia et Draa El Mizan dans la wilaya de Tizi-Ouzou (Découpage administratif Algérie, 2014).

I.2. Présentation des sites d'étude

I.2.1. Situation géographique de la région de Ouadhias

Ouadhia ou les Ouadhias (*Iwaḍiyen* en kabyle) se situe à 35 km au sud de la ville de Tizi-Ouzou. Elle a une superficie de 32,83 km² (3 283 hectares). Elle est entourée au Nord, par les communes d'Ait Mahmoud et Beni Douala, à l'Est, par la commune de Beni Yenni, au Sud, par les communes d'Ait Toudert et Aghni Gueghran et à l'Ouest, par les communes de Tizi N'Thleta et Ait Bouadou. Elle présente une altitude de 425 mètres (36° 33' 0" Nord, 4° 4' 60" Est).

I.2.2. Situation géographique de la région de Draa El Mizan

Draa El Mizan se situe à 42 km au sud-ouest de Tizi-Ouzou; avec une superficie de 80,84 km² (8 084 hectares). Elle est limitée par la commune d'Ait Yahia Moussa au Nord, par la commune d'Ain Zaouia à l'Est, la commune de Frikat au Sud-Est et par les deux communes Tizi Ghenif et M'Kira à l'Ouest. Elle se localise à 300 mètres d'altitude (36° 32' 8" Nord, 3° 50' 3" Est).

II. Matériel

II.1. Sol

La présente étude a été réalisée sur des échantillons de sol provenant des stations-service de Draa El Mizan et Ouadhia. Il s'agit de sols contaminés par les hydrocarbures (essence et gasoil), qui sont déversés accidentellement, soit lors du transport, du stockage, du remplissage ou encore lors de la séparation des huiles minérales.

III. Méthodes

III.1. Méthode d'échantillonnage

III.1.1. Dispositif expérimental (plan expérimental)

La méthode d'échantillonnage choisie pour le prélèvement du sol est l'échantillonnage par transect. Les prélèvements ont été réalisés au mois d'Avril 2021.

Pour les deux stations, deux transects ont été établis en parallèle (Fig. 4), en allant du point près de la source de rejet jusqu'à une zone très éloignée qui est probablement peu ou pas polluée. Pour chaque transect, nous avons effectué 4 points de prélèvement; le premier point est situé près du point de rejet où la pollution est importante et le couvert végétal est faible et le dernier point (le quatrième) est loin du point de rejet où la pollution est supposée inexistante (pas de pollution) et le couvert végétal est important.

Ce dispositif expérimental a été utilisé pour le prélèvement des échantillons de sols et la végétation.

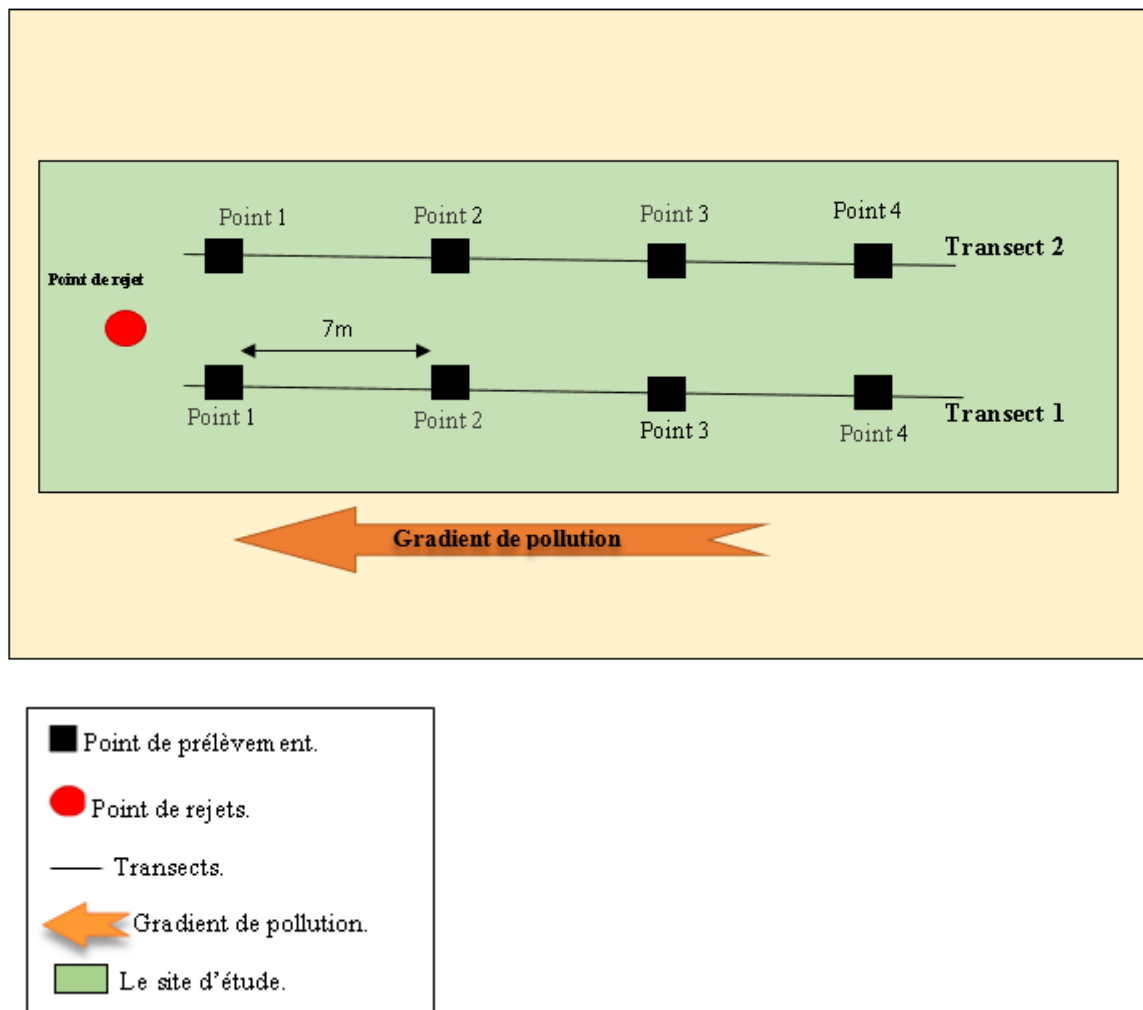


Figure 5 : Schéma de la méthode d'échantillonnage au niveau des deux sites d'étude.

III.1.2. Echantillonnage du sol

Pour déterminer les effets des rejets des stations sur les propriétés physico-chimiques du sol, les échantillons de sols ont été recueillis à une profondeur de 0 à 20 cm. Les échantillons ont été prélevés au niveau des quatre (4) points de chaque transect des deux sites d'étude (Fig. 6). Le sol est transféré dans des sacs en plastique étiquetés, puis acheminés au laboratoire.



Figure 6 : Différentes étapes de prélèvement du sol (Originale, 2021).

Au laboratoire, les échantillons sont triés, séchés puis tamisés à l'aide d'un tamis de 2 mm de diamètre. La terre fine du sol obtenue de chaque échantillon, constitue la partie du sol sur laquelle les analyses physico-chimiques ont été réalisées.

- Les analyses physico-chimiques des échantillons du sol sont réalisées au laboratoire pédologie de l'Institut National de la Recherche Forestière (INRF) de Bainem (Alger).

III.1.3. Inventaire de la végétation

Un inventaire de la végétation a été réalisé en se basant sur la méthode de Dazy *et al.* (2009). Pour les deux sites d'étude, dans les quatre points de chaque transect, nous avons déposé un quadrat de 50 x 50cm (Fig. 7). Ensuite, nous avons effectué l'inventaire de la végétation et le dénombrement des espèces, en nous basant sur l'abondance et la dominance puis des indices écologiques sont calculés.

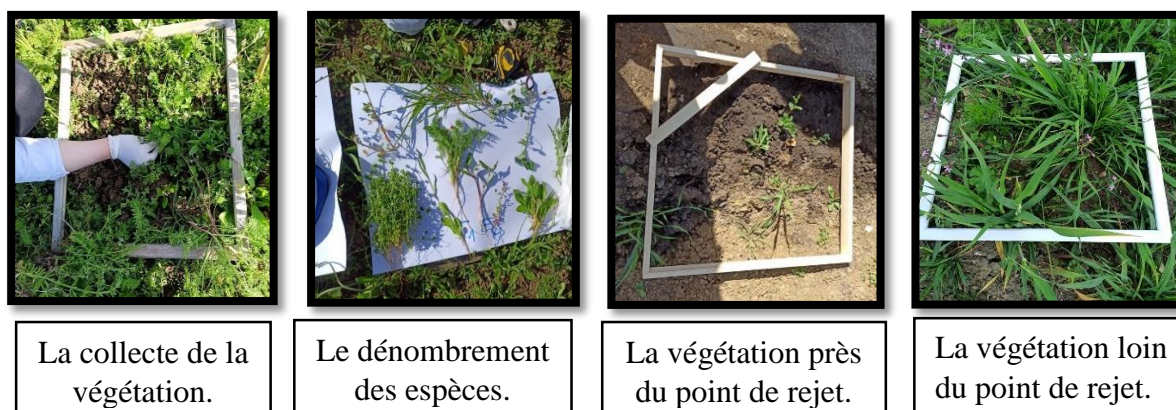


Figure 7 : Echantillonnage de la végétation (Originale, 2021).

Les espèces végétales ont été identifiées par M^f ASLA T. maître assistant au département de Biologie de l'U.M.M.T.O et M^{me} SMAIL-SADOUN N. professeur à l'U.M.M.T.O.

III.1.4. Echantillonnage du sol pour l'extraction de la faune

Après avoir enlevé la litière, nous avons déposé un carré de 25 x 25 cm de chaque côté et de 10 cm de profondeur. Dans chaque point de chaque transect, le carré est enfoncé dans le sol à 30 cm de la surface, à des profondeurs différentes : P1= 0-10 cm, P2= 10-20 cm et P3=20-30 cm (Fig. 8). Les échantillons ont été transférés dans des sacs en plastique étiquetés, fermés et ont été acheminés au laboratoire pour extraire la faune.

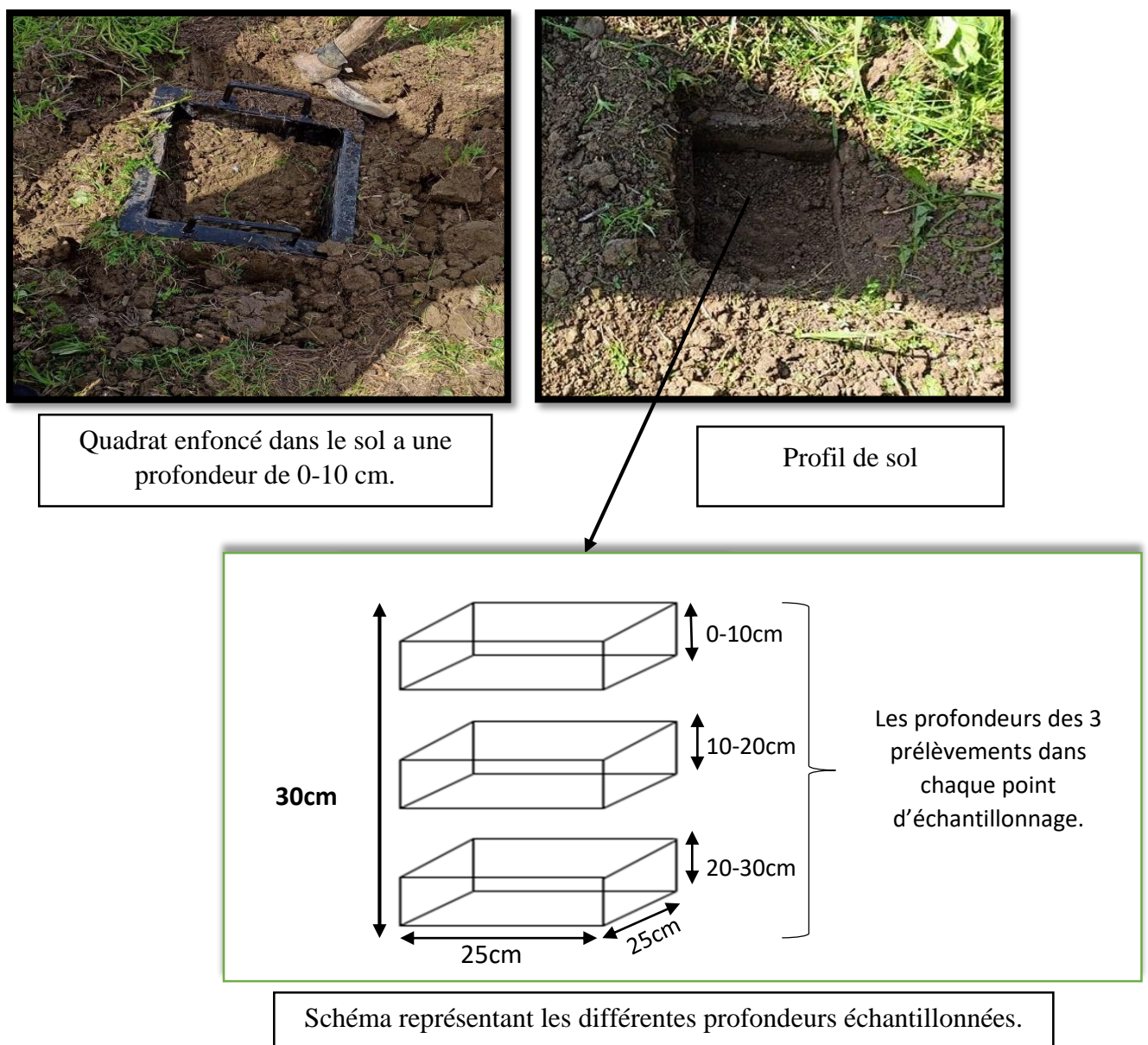


Figure 8 : Echantillonnage du sol pour l'extraction de la faune (Originale, 2021).

III.1.5. Récolte de la macrofaune

La macrofaune, visible à l'œil nu, a été prélevée à l'aide d'une pince entomologique, puis conservée dans des flacons en plastique étiquetés contenant de l'alcool (l'éthanol) à 75°. Les flacons qui contiennent la faune sont étiquetés pour faciliter l'identification (station, transect, numéro de l'échantillon et profondeur).

III.1.6. Extraction de la microfaune

Nous avons utilisé l'appareil de Berlèse afin d'extraire la microfaune ou la faune non visible à l'œil nu. Il est constitué d'un entonnoir sur lequel est disposée une grille et sous lequel se trouve un flacon récepteur. L'échantillon de sol est placé sur la grille. Une lampe à incandescence (source de lumière et de chaleur) est placée au-dessus de cet échantillon de sol pendant 7 jours. Cette source de chaleur va provoquer la fuite des organismes vers le bas; ils vont alors passer à travers la grille. Ils tombent alors dans le flacon récepteur contenant de l'éthanol (Fig. 9).



Figure 9 : Appareil de Berlèse modifié (Originale, 2021).

Après avoir récolté la faune, nous avons trié et séparé les espèces, en nous basant sur les critères morphologiques. Ensuite nous avons procédé au dénombrement des individus et leur identification en utilisant des clés d'identification, parmi lesquelles, nous citons:

- La clé de détermination de MOLINATTI, URGELLI et CHARRON, mise en forme par MARCINIAK.

- Clé de détermination de la faune du sol SVT Lyon : <https://www2.ac-lyon.fr> › Accueil du site › Ressources scientifiques › Biologie

Pour une meilleure précision et une bonne observation des détails de chaque individu, nous avons utilisé une loupe binoculaire. Après le dénombrement et l'identification, les individus sont placés et conservés dans des eppendorfs contenant de l'alcool à 75°. Il est à signaler que nous avons identifié tous les individus jusqu'à l'ordre.

III.2. Analyse écologique

III.2.1. Abondance relative

L'abondance relative correspond au nombre d'individus de l'espèce 'i' par rapport au total des individus de toutes les espèces 'N' (Dajoz, 1971). Elle est calculée comme suit:

$$P_i = n_i/N$$

P_i: proportion d'une espèce i par rapport au nombre total d'espèces dans le milieu d'étude.

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

N : nombre total des individus de toutes les espèces.

III.2.2. Indice de Shannon-Weaver (H')

L'indice de Shannon-Weaver H' permet d'évaluer la diversité faunistique et floristique d'un milieu donné et de comparer la faune de différents milieux, malgré la variation du nombre d'individus récoltés (Dajoz, 1985). Il est indépendant de la taille de l'échantillon et prend en compte à la fois la richesse spécifiques et l'abondance relative de chaque espèce. Il est calculé selon la formule suivante :

$$H' = -\sum p_i \log_2 p_i$$

P_i : l'abondance relative de chaque groupe d'organismes où P_i = n_i / N

n_i : nombre d'individus d'une espèce

N : nombre totale d'individus

III.2.3. Equitabilité (E)

L'équitabilité correspond au rapport entre la diversité observée (H') et la diversité maximale ($H \max$). Elle est calculée par Pielou (1966) comme suit:

$$E = H' / H \max$$

$H \max = \log S$ où S est la richesse spécifique

L'équitabilité varie de 0 à 1, si E tend vers 0, ça signifie qu'il y a dominance de quelques espèces et si (E) tend vers 1, toutes les espèces présentent la même dominance (Ramade, 1984).

III.3. Analyses physico-chimiques du sol

Les analyses physico-chimiques ont porté sur l'estimation du potentiel d'hydrogène (pH), la conductivité électrique (CE), l'humidité, le calcaire total, l'azote et la matière organique (MO). Les analyses sont faites pour les différents types de sols (contaminés et non contaminés).

III.3.1. pH

La méthode la plus exacte pour mesurer le pH d'un sol consiste à utiliser un pH mètre électrique qui donne directement la valeur du pH quand on plonge l'électrode en verre dans une solution obtenue en mélangeant l'échantillon du sol avec de l'eau distillée. Pour mesurer le pH du sol, nous avons adopté le mode opératoire suivant:

Nous avons pesé 20 g de l'échantillon de sol tamisé à 2 mm auquel sont ajoutés 50 ml d'eau distillée. Après une agitation de 10 minutes, le mélange est laissé au repos pendant 2 heures. Ensuite, nous avons introduit l'électrode du pH mètre dans la solution à analyser et nous avons la mesure du pH après la stabilisation de l'appareil.

II.3.2. Humidité hygroscopique

L'eau rencontrée dans le sol est enrichie en ions et en molécules minérales et organiques. Elle joue un rôle supplémentaire en mettant en avant sa capacité de transport et son action dans les processus de solubilisation et d'insolubilisation (Dajoz, 2000).

Nous avons adopté la méthode qui consiste à déterminer le poids humide et le poids sec d'un échantillon de terre.

Nous avons pesé des béchers vides puis nous les avons pesés à nouveau en mettant dedans 10 g de sol tamisé à 2 mm. Ensuite, les échantillons du sol ont été séchés dans une étuve à 105 °C pendant 24h. Après séchage, nous les avons placés dans un dessiccateur jusqu'à refroidissement puis une deuxième pesée a été réalisée. Le taux d'humidité est calculé par la formule suivante :

$$\text{Humidité \%} = \frac{P_1 - P_2}{P_2} * 100$$

P1= poids de l'échantillon de terre séché à l'air libre.

P2= poids de l'échantillon de terre séché à l'étuve.

III.3.3. Conductivité électrique (CE)

La conductivité électrique d'une solution du sol est un indice de sa teneur en sels solubles. Elle exprime approximativement la concentration des solutés ionisables présents dans l'échantillon c'est-à-dire son degré de salinité.

Pour déterminer la CE d'un sol, nous avons placé 10g de sol dans un bécher auxquels ont été ajoutés 50 ml d'eau distillée. Après une agitation de 30 secondes, nous avons laissé la solution au repos pendant 30 min. Ensuite, la conductivité électrique a été mesurée à l'aide d'un conductimètre et est exprimée en $\mu\text{S/cm}$.

III.3.4. Calcaire total

Pour estimer le calcaire total nous avons adopté le mode opératoire qui suit :

Nous avons pesé 1 g de sol. Nous lui avons ajouté 20 ml d'acide chlorhydrique à N puis ajuster à 100 ml avec de l'eau distillée. Le bécher a été mis dans un bain de sable à 60°C pendant 45 min et agité de temps à autre jusqu'à ébullition puis une décantation a été faite sur un papier filtre dans une fiole de 250 ml. Après refroidissement, nous avons prélevé 100 ml du filtrat auquel nous avons ajouté quelques gouttes de phénolphtaléine à 2%. Nous décomposons par un acide fort (acide chlorhydrique 5 ml) le carbonate de calcium contenu dans l'échantillon de terre et nous mesurons le volume de gaz carbonique dégagé par la réaction à la température et à la pression atmosphérique. Le volume de gaz carbonique dégagé lors de la réaction est mesuré à l'aide d'une burette à gaz (le calcimètre de Bernard). Un poids connu de carbonate de calcium (0.3 g) est traité de la même manière. En comparant les deux volumes, on détermine le taux de carbonates exprimé en carbonate de calcium dans l'échantillon de sol.

III.3.5. Dosage du carbone organique

Le carbone organique est déterminé par la méthode Anne. Cette méthode consiste à oxyder le carbone par une solution de bichromate de potassium (10 ml) et 15 ml d'acide sulfurique concentré. L'excès de bichromate non réduit par le carbone organique est titré par une solution de sel de Mohr.

Le calcul du pourcentage de carbone organique se fait par le titrage direct du bichromate de potassium avec la solution de Mohr.

III.3.6. Matière organique

Le passage de la teneur en carbone organique à la teneur en matière organique totale s'effectue en multipliant la teneur en carbone par le coefficient 1,72. Le taux de carbone de la matière organique étant estimé à 58%.

En connaissant donc, le pourcentage du carbone total, le taux de la matière organique (%) est obtenu par la formule suivante :

$$\text{MO \%} = 100/58 \times \text{C\%} = 1,72 \cdot \text{C\%}$$

MO: Le taux de la matière organique.

C : Le pourcentage du carbone total (la teneur en carbone).

III.3.7. Azote total

La méthode employée est celle de Kjeldahl, par l'acide sulfurique. Ainsi la matière organique azotée est minéralisée par l'acide sulfurique concentré à chaud (action oxydante du H_2SO_4). L'azote transformé en ammoniac est fixé par l'acide sulfurique à l'état de sulfate d'ammoniac. Le sulfate de potassium permet d'élever la température d'ébullition de l'acide sulfurique (de 317 à 330 C°). Cette première phase s'appelle la digestion, l'acide sulfurique sera additionné à l'acide salicylique. Dans cette méthode de Kjeldahl, l'ion NH_4^+ est déplacé par l'hydroxyde de sodium et entraîné à la vapeur d'eau puis fixé par l'acide borique à l'état de borate, lui-même dosé par H_2SO_4 titré. Cette dernière phase s'appelle la distillation. Après la distillation de l'ammonium en ammoniac en milieu alcalin, le dosage du NH_4OH est réalisé.

III.4. Analyses statistiques

Afin d'évaluer l'impact des hydrocarbures sur les propriétés physico-chimiques et biologiques du sol, nous avons opté pour des analyses statistiques appropriées à notre thème d'étude, Ces analyses ont été réalisées à l'aide du logiciel 'R'.

Dans la présente étude, afin d'évaluer l'impact de la pollution par les hydrocarbures sur les propriétés physico-chimiques du sol, une ACP (Analyse en composantes principales) a été réalisée. C'est une méthode descriptive des données quantitatives qui permet de représenter, sous forme de graphique, le maximum d'informations contenues dans un tableau de données tout en minimisant les pertes d'informations. L'utilisation de cette méthode permet de mettre en évidence d'une manière synthétique, les affinités et les impacts entre les groupes faunistiques, les propriétés physico-chimiques et le gradient de pollution.

Pour la détermination de l'effet des hydrocarbures sur la végétation et la faune du sol une AFC (Analyse factorielle des correspondances) a été réalisée. C'est une méthode très répandue en Ecologie et utilisée pour traiter des données qualitatives nombreuses. Elle nous permet de montrer l'influence de la pollution sur les groupes floristiques étudiés dans les stations d'étude appropriées en mettant en évidence les espèces dominantes de chaque groupe.

Chapitre III

Résultats et discussion

I. Résultats

Nous allons présenter, dans ce qui suit, les résultats des analyses physiques, chimiques et biologiques de sols prélevés de deux stations-services des communes de Draa El Mizan et Ouadhia.

I.1. Analyses physico-chimiques des sols

Les résultats des analyses physico-chimiques des 2 sites d'étude sont représentés dans les figures ci-dessous (annexe 02).

I.1.1. pH

Selon le classement des sols par le laboratoire agronomique de Normandie (Annexe 1), les échantillons prélevés indiquent un pH alcalin (7,90% à 8,22%).

D'après les résultats présentés dans la figure 10, nous avons remarqué que la valeur minimale a été enregistrée dans E1 de la station 2 qui est de 7,90 et la valeur maximale est enregistrée dans E2 des deux stations qui est de 8,22 dans la station 1 et 8,19 dans la station 2.

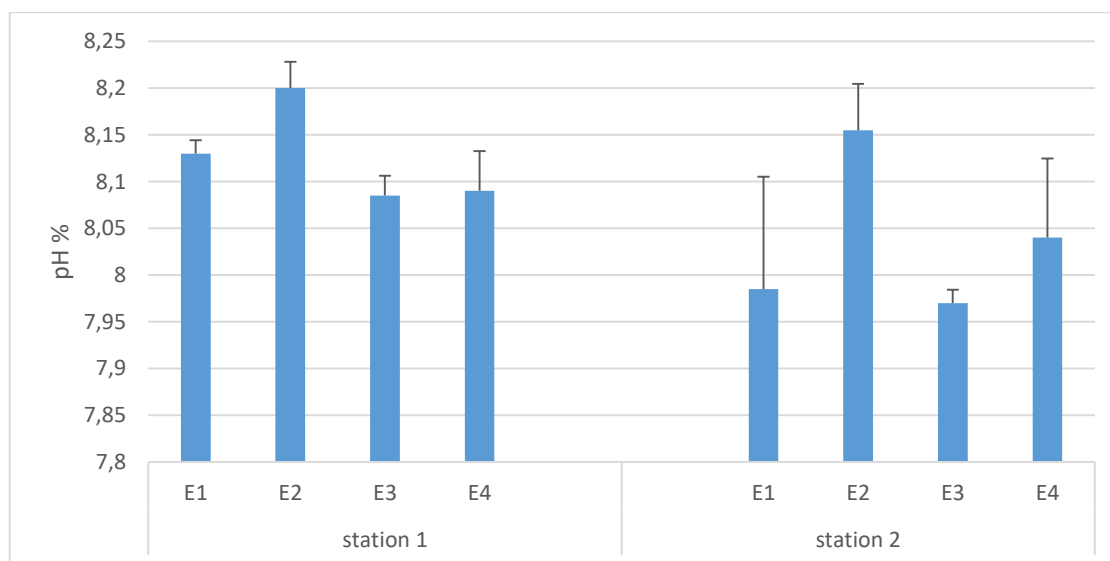


Figure 10 : Valeurs du pH des sols des deux stations Draa El Mizan et Ouadhia.

I.1.2. Azote total

D'après les résultats illustrés dans la figure 11, le taux de l'azote dans la station 1 présente les valeurs minimales qui varient entre 0,05% dans E2, transect 2 et 0,11% dans E1 transect1. La valeur maximale est enregistrée dans E3 qui est de 0,25% ; contrairement à la station 2 où on a enregistré les valeurs maximales dans E1 (0,32% et 0,28%) et les valeurs minimales sont enregistrées dans E2.

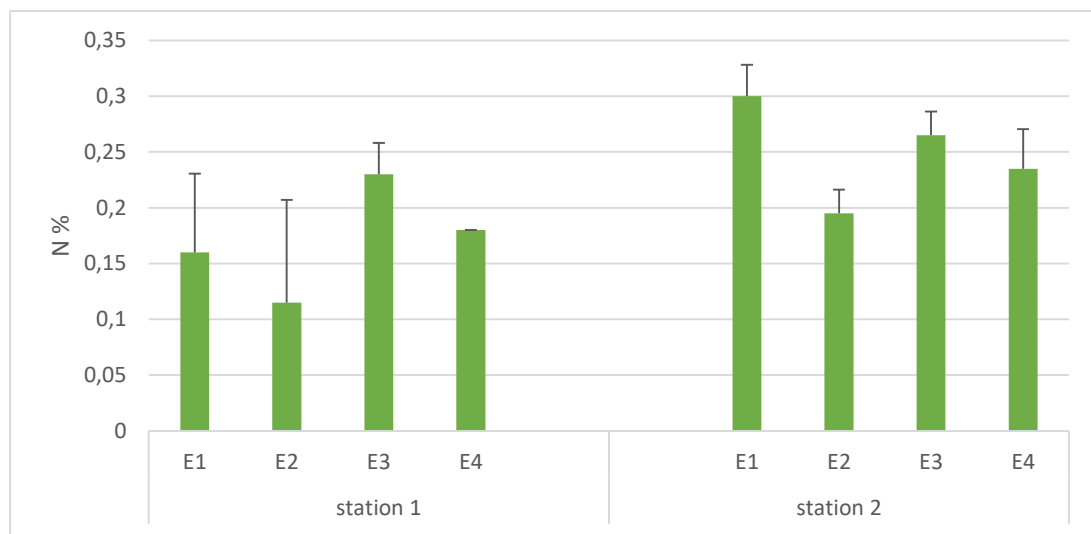


Figure 11 : Variation de l'azote pour les deux transects des deux stations Draa El Mizan et Ouadhia.

I.1.3. Carbone

D'après les résultats illustrés dans la figure 12, les valeurs du carbone dans les deux stations sont plus élevées dans E1, avec des taux respectifs de 4,27; 2,42; 4,5 et 4,73%, pour les deux transects. Le taux de carbone diminue progressivement en allant de E1 jusqu'à E4 où nous avons enregistré les valeurs minimales. Nous remarquons ainsi, une légère augmentation du taux de carbone dans E4 T2 (1,65%) par rapport à E3 T2 (1,15%) pour la station 1.

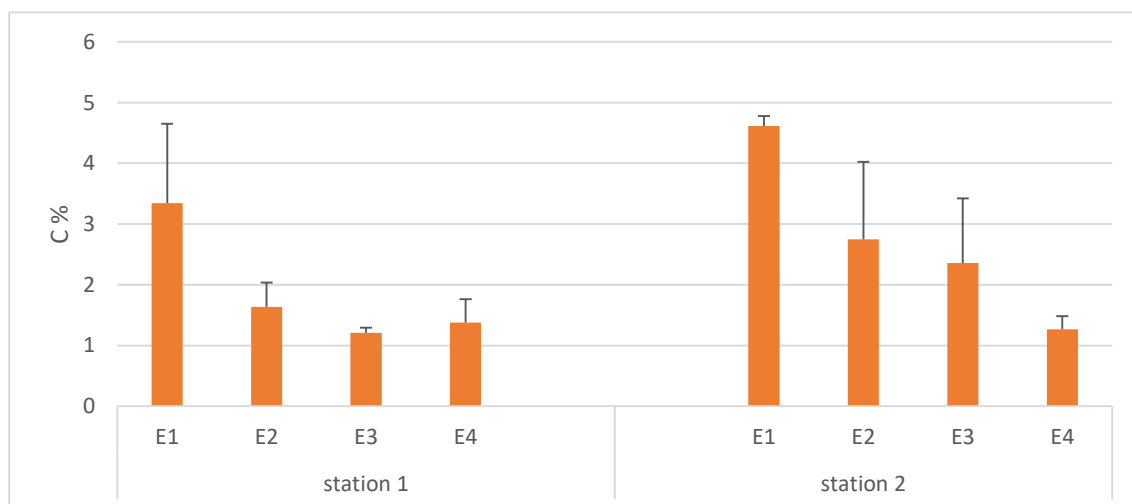


Figure 12 : Taux de carbone des sols des deux stations Draa El Mizan et Ouadhia.

I.1.4. Matière organique

Comme l'illustre la figure 13, la teneur en matière organique des échantillons des deux stations (station 1 et 2) est comprise entre 1,92 enregistrée dans E4 T1 (pour les deux stations) et 8,13% dans E1 T2 de la station 2. Les taux les plus élevés sont enregistrés dans les sols plus pollués E1 et E2, les plus proches du point de rejet (8,13 dans E1 T2 de station 2).

Les teneurs les plus faibles ont été observées dans les échantillons les moins pollués E3 et E4 (1,92 dans E4 du transect 1 des deux stations).

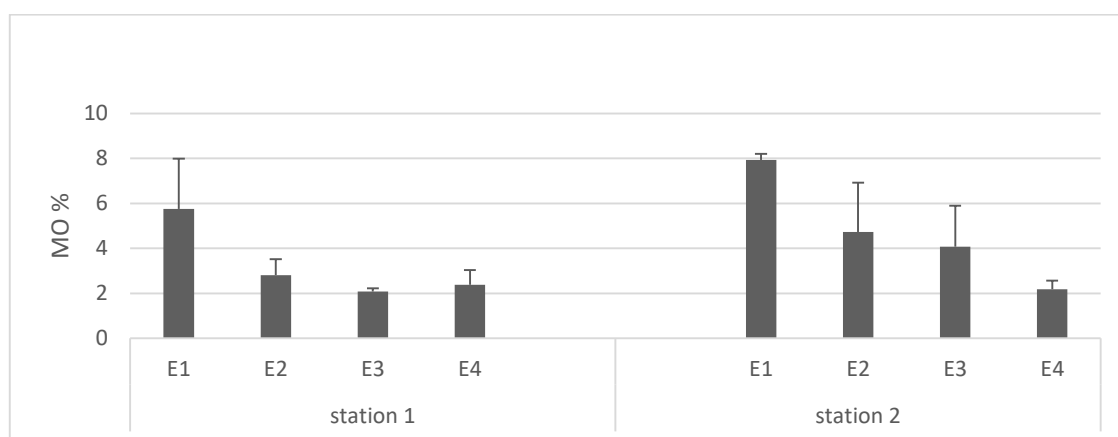


Figure 13 : Taux de matière organique des sols des deux stations Draa El Mizan et Ouadhia.

I.1.5. Humidité

Comme le rapporte la figure 14, le taux d'humidité augmente de E1 vers E4 dans les deux stations qui présentent des valeurs plutôt voisines. Nous remarquons, dans la station 2, que le taux d'humidité augmente progressivement en allant de E1, là où nous avons enregistré la valeur minimale (2,94%), vers E4 où la valeur maximale enregistrée est de l'ordre de 6,89%. Nous remarquons que dans la station 1, les valeurs de l'humidité fluctuent de l'échantillon 1 à l'échantillon 4.

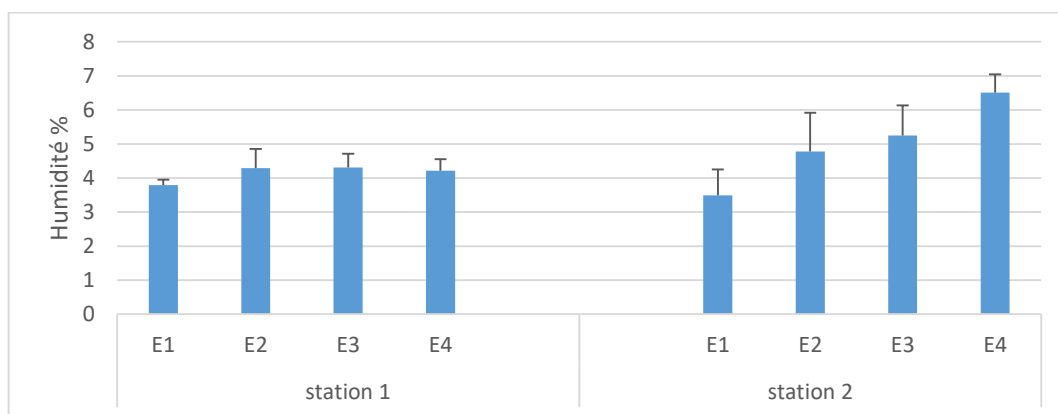


Figure 14 : Taux d'humidité des sols des stations Draa El Mizan et Ouadhia.

I.1.6. Conductivité électrique

D'après les données illustrées par la figure 15, les valeurs de la conductivité électrique ont tendance à décroître dans les deux stations en allant de E1, le point le plus pollué, vers E4 le moins pollué. Nous avons enregistré la valeur maximale dans l'échantillon 1 ($0,32 \mu\text{S}/\text{cm}$) de la deuxième station et la valeur minimale ($0,10 \mu\text{S}/\text{cm}$) dans l'échantillon 4 de la station 1.

Selon l'échelle de Durand (1983) (Annexe 1), les échantillons des deux stations sont considérés non salés.

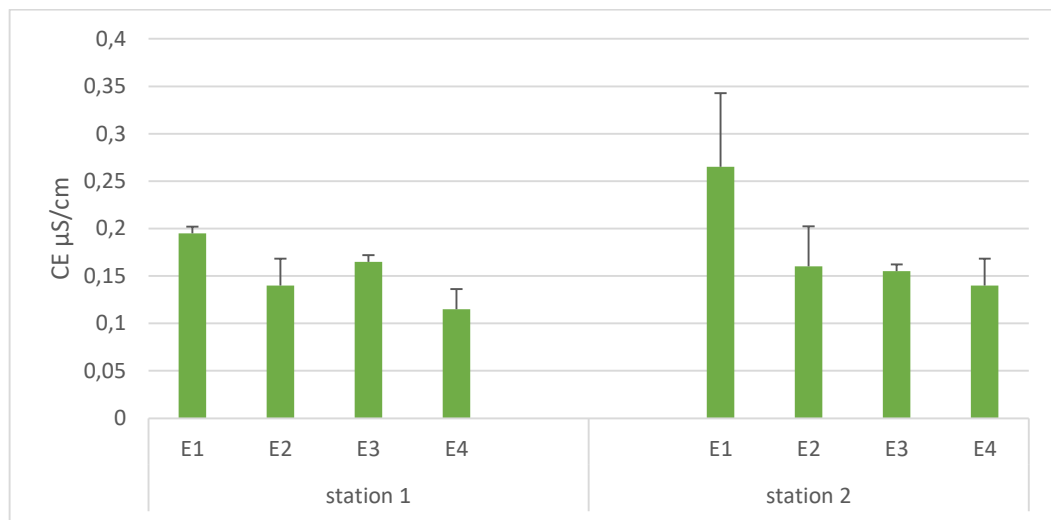


Figure 15 : Taux de la CE des sols des deux stations Draa El Mizan et Ouadhia.

I.1.7. Rapport C/N

D'après les résultats illustrés dans la figure 16, nous remarquons que le rapport C/N diminue en s'éloignant de la source de pollution, en allant de E1 vers E4. Les valeurs les plus élevées sont enregistrées dans E1 de la station1 transect1, avec une valeur moyenne de 41% et une valeur moyenne de 37% au niveau de E2 de la station 1 transect2. Au niveau de E3 et E4, nous avons enregistré les moyennes les plus basses avec des taux respectifs de 5% et 6% dans les deux stations (station1 et station 2).

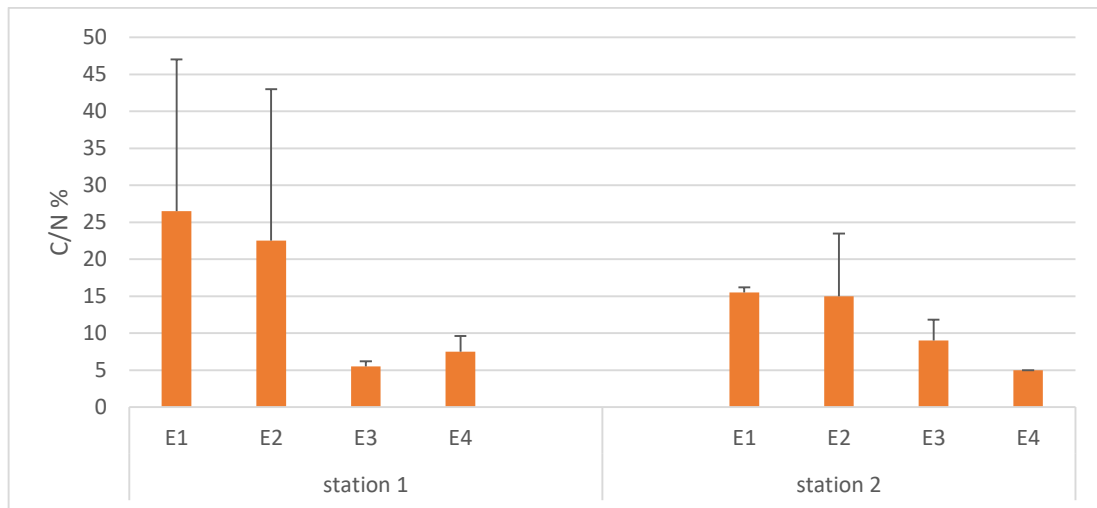


Figure 16 : Rapport C/N des sols des deux stations Draa El Mizan et Ouadhia.

I.1.8. Calcaire

Les résultats des analyses du calcaire total (Fig.17) montrent que le taux de calcaire fluctue, dans les deux stations, entre un sol peu calcaire et moyennement calcaire selon l'échelle GEPPA (1981) (Annexe 1). La valeur maximale a été enregistrée dans E1 de la station 1 qui est de 14,66% ; tandis que la valeur minimale, qui est de 1,83%, a été notée dans E4 de la station 2. D'une manière générale, les valeurs du calcaire ont tendance à décroître en allant du point le plus proche de la source de pollution E1 vers le point le plus loin E4.

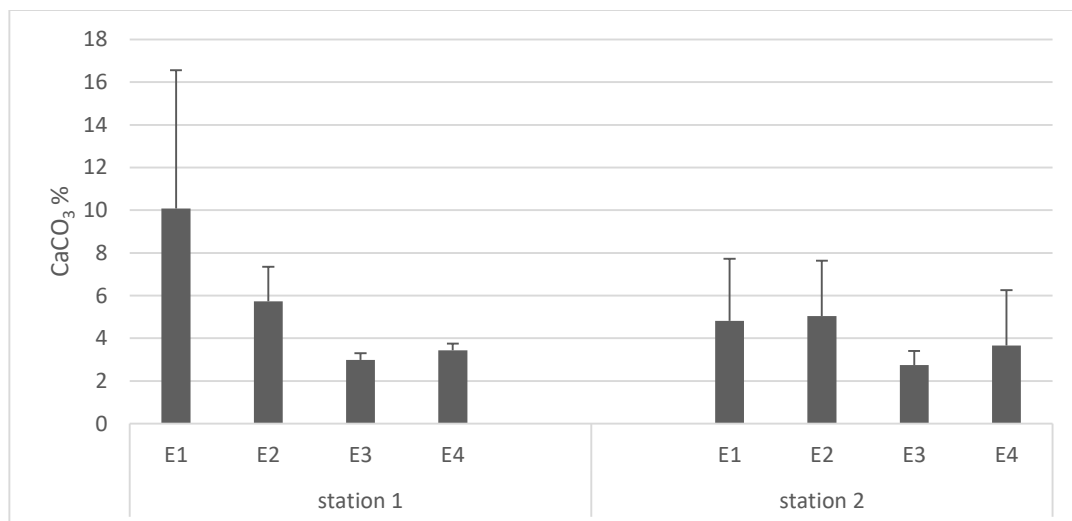


Figure 17 : Taux de calcaire total des sols des deux stations Draa El Mizan et Ouadhia.

I.1.9. Analyse en composante principale (ACP)

Cette analyse a pour objet d'étudier la relation qui existe entre le gradient de pollution et les paramètres physico-chimiques du sol des deux stations. Les résultats sont illustrés dans la figure suivante :

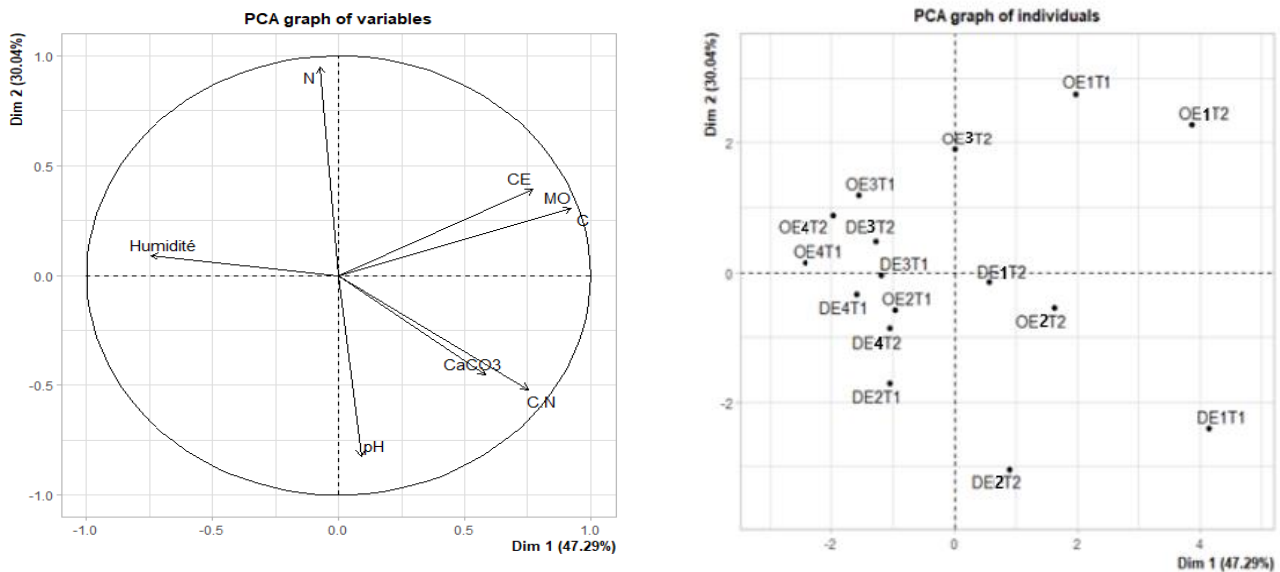


Figure 18 : ACP pour les paramètres physicochimiques du sol des deux stations Draa El Mizan et Ouadhia.

D'après la figure 18, la MO, C et CE sont corrélés positivement et s'opposent au N. Le CaCO₃, le rapport C/N et le pH sont corrélés positivement et s'opposent à l'Humidité. Le pH est corrélé négativement à N.

Le point OE1T2 est le plus riche en matière organique (MO) et en carbone (C) et une grande conductivité électrique (CE).

Le point DE1T1 présente le meilleur taux du rapport C/N, et un calcaire moyen. Le point DE2T2 présente mieux le pH, et pauvre en Azote.

Les points OE4T1 et OE4T2 présentent mieux le taux d'humidité.

I.2. Propriétés biologiques

I.2.1. Résultats de l'effet de la pollution sur la végétation

I.2.1.1. Composition floristique globale

Les résultats de l'échantillonnage révèlent la présence de 27 espèces végétales (tableau IV).

Tableau IV : Présence-absence des espèces végétales recensées au niveau des deux stations d'étude.

Espèces	Station 1								Station 2							
	Tr 1				Tr 2				Tr 1				Tr 2			
	E1	E2	E3	E4	E1	E2	E3	E4	E1	E2	E3	E4	E1	E2	E3	E4
<i>Avena sterilis</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	-	+	+	+	+
<i>Anagalis arvensis</i>	-	+	+	+	-	+	+	+	-	-	-	+	-	+	+	+
<i>Inula viscosa</i>	+	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-
<i>Galactites tomentosa</i>	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Oxalis pes-caprea</i>	-	+	-	-	-	-	+	+	-	+	+	-	-	-	-	-
<i>Fumaria capreolata</i>	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Sherardia arvensis</i>	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Asphodelus microcarpus</i>	-	-	+	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Adonis anua</i>	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	+	+	-	-	-	+
<i>Sinapsis arvensis</i>	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-

<i>Ranunculus arvensis</i>	-	-	+	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	+
<i>Calendula arvensis</i>	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	+	+	-	-	+	+
<i>Silene fuscata</i>	-	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Narcissus tazetta</i>	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Galium aparine</i>	-	-	-	+	+	-	-	-	-	+	+	-	-	+	+	-
<i>Scandix pecten venaris</i>	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Medicago polymorpha</i>	-	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-	+
<i>Anethum graveolens</i>	-	-	-	+	-	+	+	+	-	-	-	+	-	-	+	+
<i>Convulvulus arvensis</i>	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Brolens pilosa</i>	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Lathyrus ochrus</i>	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Sonchus asper</i>	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Daucus carotta</i>	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Xanthium strumarium</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-
<i>papaver hybridum</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	-	-	+	-
<i>Vicia sicula</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-
<i>Atocion armeria</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-

+ Présence de l'espèce

- Absence de l'espèce

D'après le tableau IV, nous remarquons que le nombre des espèces végétales a présenté une tendance générale, montrant une augmentation progressive de E1 (près de la source de pollution) vers E4 (loin de la source de pollution) pour les deux transects des deux stations. Nous signalons que certaines espèces végétales présentent une bonne répartition dans les différentes zones des sites étudiés, nous les retrouvons même dans la zone 1, telles que *Avena sterilis*, *Oxalis pes-caprea* et *Anagalis arvensis*. Alors que d'autres espèces présentent une répartition appréciable mais dans une seule station, c'est le cas de *Calendula arvensis*, *Silene fuscata*, *Narcissus tazetta*, *Scandix pecten venaris*, *Medicago polymorpha*, *Anethum graveolens*, *Lathyrus ochrus*, *Sonchus asper*, *Galactites tomentosa* dans la zone 4; *Papaver hybridum*, *Atocion armeria*, *Brolens pilosa* dans la zone 3; *Fumaria capreolata* dans la zone 2; *Xanthium strumarium* dans la zone 1.

I.2.1.2. Effet de la pollution sur la composition de la végétation

I.2.1.2.1. Indices écologiques

Les résultats des indices écologiques (abondance totale, indice de Shannon-Weaver, équitabilité et la richesse spécifique) des espèces végétales de chaque transect (T1 et T2) au niveau des deux stations-services Draa El Mizan et Ouadhia sont représentés dans les tableaux ci-dessous.

Nous avons opté pour le calcul de l'indice de diversité de Shannon-Weaver afin de mettre en évidence la diversité des espèces de chaque transect des deux sites étudiés. Cet indice est accompagné par l'indice d'équitabilité (tableaux V et VI).

Tableau V : Résultats des indices écologiques de la végétation de chaque transect (T1 et T2) du site de Draa El Mizan.

Échantillons		Station 1			
		Abondance	H'	E	Richesse sp
E1 T1	Transect1	5	0,69	0,96	2
E2 T1		24	1,60	0,80	5
E3 T1		68	2,07	0,47	8
E4 T1		93	2,56	0,77	13
E1 T2	Transect2	16	1,09	0,89	3
E2 T2		25	1,09	0,91	3
E3 T2		59	1,60	0,71	5
E4 T2		32	2,30	0,87	10

A partir du tableau V, nous notons que les valeurs de l'abondance augmentent en s'éloignant de la source de pollution, de E1, le point le plus proche de la source de pollution, vers E4, le point le plus loin de la source de pollution.

La valeur la plus élevée dans la station 1 a été enregistrée dans E4 du transect 1 avec 93%; la valeur la plus basse est de 5% notée dans E1 du transect 1.

D'après le tableau V, nous remarquons qu'au niveau de la station de Draa El Mizan, les valeurs de l'indice de Shannon-Weaver dans les deux transects, augmente en allant du point E1 vers le point E4 atteignant les valeurs maximales de 1,98 pour le transect 1 et 2,01 pour le deuxième. Dans le transect 1 nous constatons une légère diminution de la valeur de l'indice H' pour atteindre une valeur de 0,99.

Dans l'ensemble, l'équitabilité tend vers 1; ce qui dénote d'un peuplement équilibré, à l'exception de E3T1 où on a marqué une valeur de 0,47 ce qui signifie la présence d'espèce dominante.

Nous avons remarqué, aussi, que la richesse spécifique a tendance à s'accroître dans la station 1, en allant de la zone (E1) vers (E4). La plus grande valeur est enregistrée au niveau de T1E4 de l'ordre de 13 espèces et la plus faible valeur est de 02 espèces notée au niveau de T1E1.

Tableau VI : Indices écologiques de la végétation des deux transects (T1 et T2) du site de Ouadhia.

Échantillons		Station 2			
		Abondance	H'	E	Richesse sp
E1 T1	Transect1	0	0,32	0,46	2
E2 T1		0	1,11	0,80	4
E3 T1		10	1,21	0,67	6
E4 T1		14	1,75	0,84	8
E1 T2	Transect2	14	0,51	0,73	2
E2 T2		35	0,48	0,43	3
E3 T2		75	1,44	0,80	6
E4 T2		24	1,85	0,95	7

D'après le tableau VI, nous remarquons que l'abondance ainsi que l'indice de Shannon-Weaver augmentent aussi en allant de E1 vers E4 à l'exception de E4T2 où nous avons enregistrée une chute de la valeur de l'abondance.

La plus grande valeur d'abondance a été notée dans E3 du transect 2 avec 75%. La valeur la plus faible est de 0% au niveau de E1 et E2 du premier transect et les valeurs les plus élevées de l'indice de Shannon H' sont enregistrées dans E4 pour les deux transects, avec des valeurs respectives de 1,75 et 1,85.

Nous notons que les valeurs de l'équitabilité (E) tendent vers 1, sauf dans E1T1 et E2T2 où on a enregistré des valeurs moyennes avec 0,46 et 0,43 respectivement, ce qui est justifié par la présence

d'espèces dominantes. Les valeurs maximales ont été notées dans E4 des transects 1 et 2 avec 0,84 et 0,95 respectivement.

Pour la richesse spécifique, nous notons une augmentation progressive en allant de E1 vers E4. La valeur la plus élevée est enregistrée au niveau de E4 T1; elle est de 8 espèces et la valeur la plus faible est de 02 espèces notée dans E1T2.

I.2.1.3. Répartition des groupes floristiques dans les différentes stations

La figure 19 illustre la répartition des espèces floristiques dans les deux stations d'étude (Draa El Mizan et Ouadhia).

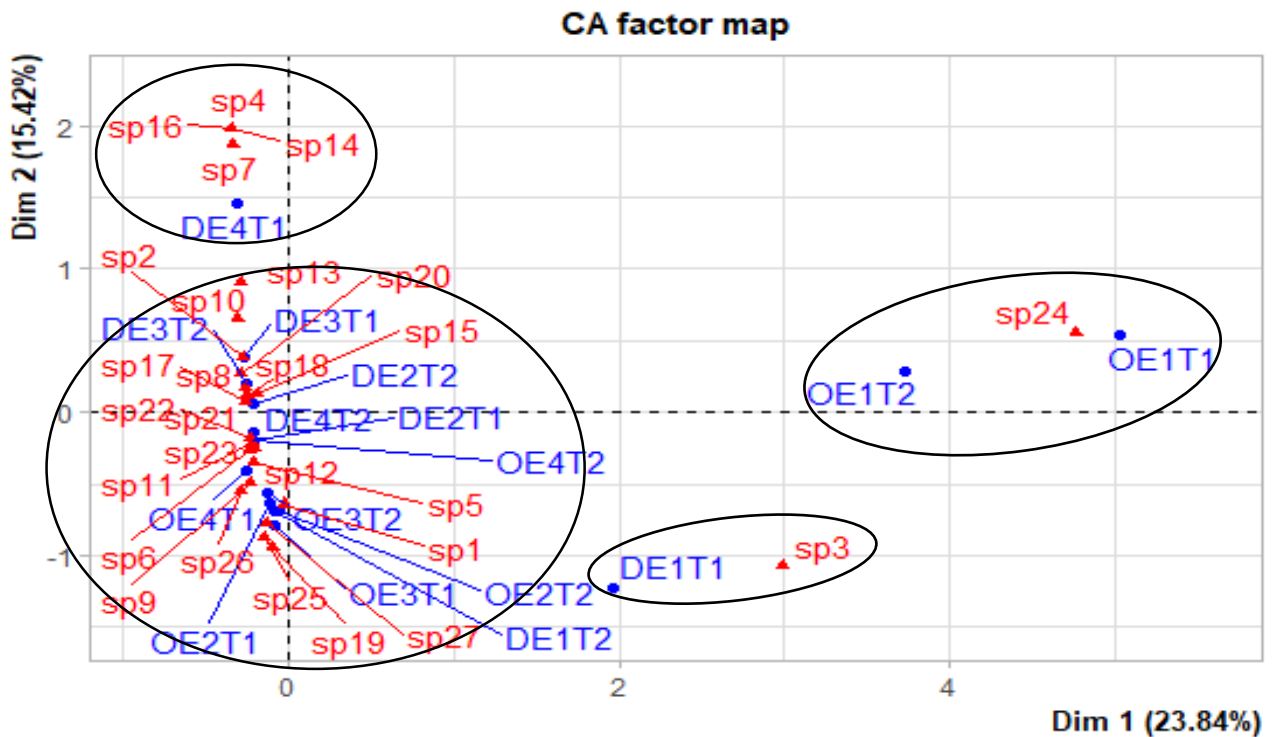


Figure 19 : Distribution et noyaux d'affinité des groupes floristiques des stations étudiées (Draa El Mizan et Ouadhia).

Dans l'AFC de la figure 19 (Annexe 4), nous distinguons 4 groupes homogènes en fonction des échantillons de chaque transect des deux sites étudiés:

Groupe1 : relie les espèces *Galactites tomentosa*, *Sherardia arvensis*, *Narcissus tazetta* et *Scandix pecten venaris* dans l'échantillon E4 du transect 1 de la station Draa El Mizan.

Groupe 2 : fait apparaître la relation des espèces *Anagalis arvensis*, *Sinapsis arvensis*, *Silene fuscata*, *Brolens pilosa*, *Galium aparine*, *Anethum graveolens*, *Asphodelus microcarpus*, *Medicago polymorpha*, *Lathyrus ochrus*, *Sonchus asper*, *Daucus carotta*, *Ranunculus arvensis*, *Calendula arvensis*, *Avena sterilis*, *Oxalis pes-caprea*, *Vicia sicula*, *Fumaria capreolata*, *Adonis anua*, *Papaver*

hybridum, *Convolvulus arvensis* et *Atocion armeria* dans les échantillons E2, E3 du transect 1 et E1, E2, E3, E4 du transect 2 de la station Draa El Mizan, et dans les échantillons E2, E3, E4 du transect 1 et E2, E3, E4 du transect 2 de la station Ouadhia.

Groupe 3 : relie l'espèce *Inula viscosa* à l'échantillon E1 du transect 1 de la station de Draa El Mizan.

Groupe 4 : fait apparaître la relation de l'espèce *Xanthium strumarium* dans E1 du transect 1 et E1 du transect 2 de la station de Ouadhia.

I.2.1.4. Présentation de quelques espèces végétales recensées

La figure 20, ci-dessous, présente quelques espèces végétales recensées dans les deux stations.



Figure 20 : Représentation de quelques espèces végétales recensées dans les deux sites d'étude (Originale, 2021).

I.2.2. Résultats de l'analyse de la faune du sol

Pour l'évaluation des effets des hydrocarbures sur la faune des deux stations-services, nous avons procédé à l'identification des invertébrés récoltés et les résultats obtenus sont représentés ci-dessous.

I.2.2.1. Composition faunistique globale

Le tableau VII révèle la présence de 23 ordres faunistiques dans les deux régions, Draa El Mizan et Ouadhia.

Tableau VII : Composition faunistique globale des deux régions d'étude.

Région	Groupes	Ordres	Région	Groupes	Ordres
Draa El Mizan	Collemboles	Entomobryomorpha Poduromorpha	Ouadhia	Collemboles	Entomobryomorpha Poduromorpha
	Diploures	Dicellurata		Diploures	Dicellurata
	Myriapodes	Chilopoda Diplopoda Symphyla Pauropoda		Myriapodes	Chilopoda Diplopoda Symphyla Pauropoda
	Acariens	Mesostigmata Ixodida Oribate Holothyrida Prostigmata Astigmata		Acariens	Mesostigmata Ixodida Oribate Holothyrida Prostigmata Astigmata
	Insectes	Coléoptère Hyménoptère Diptère Orthoptère Lépidoptère		Insectes	Coléoptère Hyménoptère Diptère Orthoptère Lépidoptère Dermaptère
	Nématodes	Nématodes		Nématodes	Nématodes
	Protoures	Protoures		Protoures	/
	Araignées	Araneae		Araignées	Araneae
	Pseudoscorpions	Pseudoscorpions		Pseudoscorpions	Pseudoscorpions
	Mollusques	Mollusque		Mollusques	Mollusque

D'après le tableau VII ci-dessus, la faune du sol est représentée dans les deux régions d'étude par les collemboles, les acariens, les insectes, les myriapodes, les diploures, les protozoaires, les nématodes, les araignées, les pseudoscorpions et les mollusques.

I.2.2.2. Effet de la pollution sur la composition faunistique

• A Draa El Mizan

I.2.2.2.1. Abondance

La figure 21, ci-dessous, présentent l'abondance totale, pour la région de Draa El Mizan (Annexe 2).

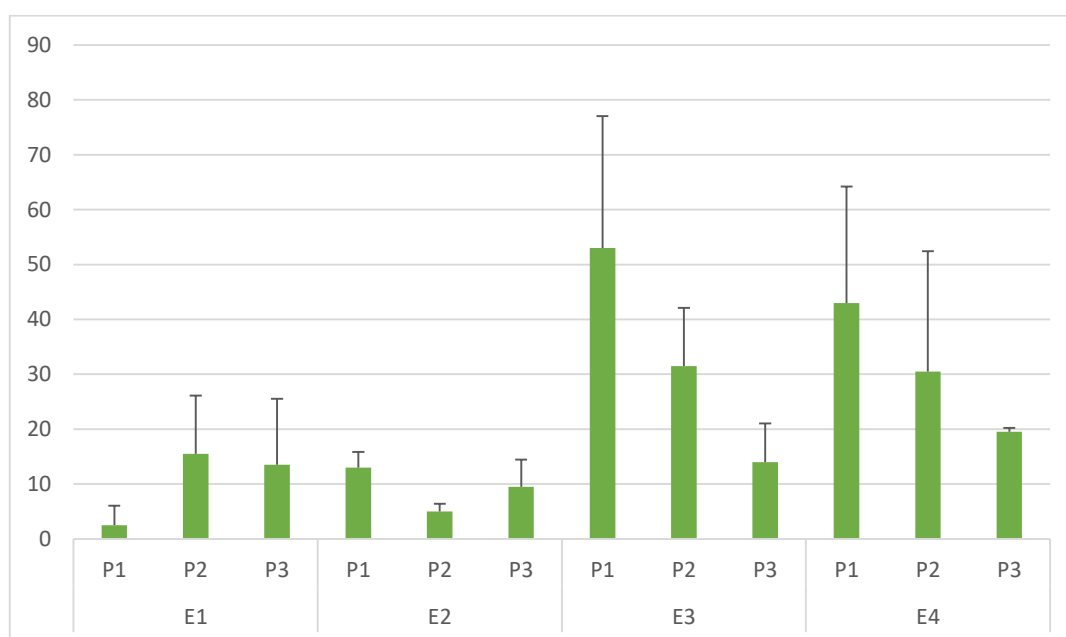


Figure 21 : Abondance totale de la faune recensée au niveau de la station-service de Draa El Mizan en fonction des profondeurs.

A partir de cette figure (Fig. 21), nous remarquons que l'abondance a tendance à s'accroître en allant de l'échantillon le plus pollué vers le moins pollué. Nous notons que la valeur maximale a été enregistrée au niveau de la profondeur 1 de E3 qui est de 53%. Au niveau de la zone polluée, nous constatons que les échantillons E1 et E2 présentent les valeurs les plus faibles, avec 2,5% au niveau de P1E1 et 5% au niveau de P2E2.

• A Ouadhia

La figure ci-dessous présente l'abondance totale pour la région de Ouadhia (Annexe 3).

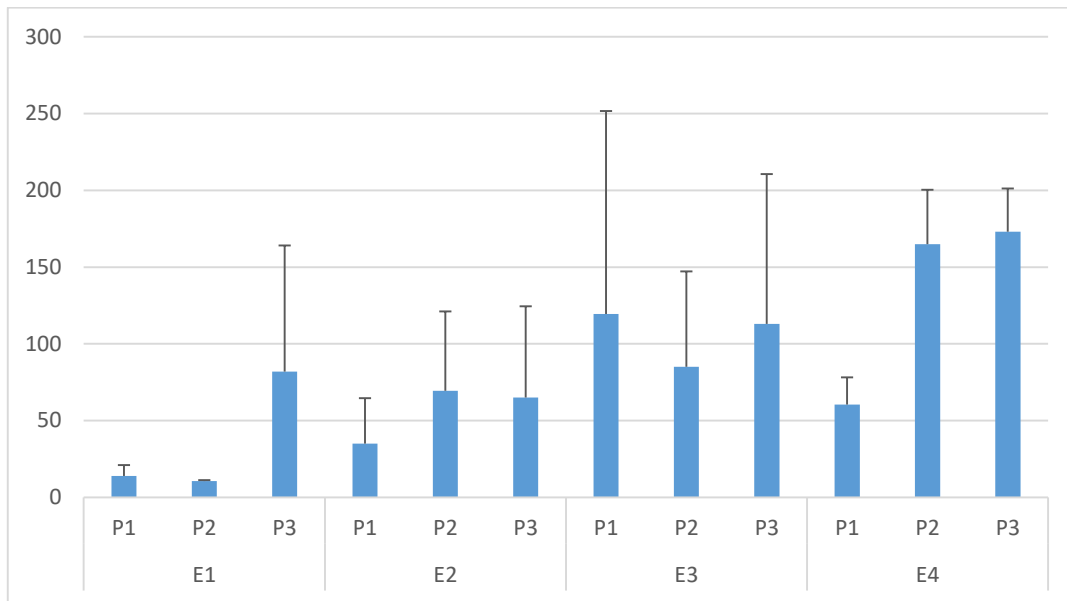


Figure 22 : Abondance totale de la faune recensée au niveau du transect de la station-service d'Ouadhia en fonction des profondeurs.

Comme la figure 22 le montre, on remarque que les valeurs de l'abondance ont tendance à s'accroître en allant de E1 vers E4 où la pollution est moins prononcée. L'échantillon 1 présente les valeurs d'abondance les plus faibles dans P1 et P2 avec 14 et 10,5% respectivement.

Les échantillons loin de la source de pollution, présentent les abondances les plus importantes surtout au niveau de E4 avec un maximum de 165% noté dans P2 qui est la valeur maximale suivie de la valeur enregistrée au niveau de P3 dans le même échantillon qui est de 173%. La valeur minimale de 11% a été notée dans P2 au niveau de l'échantillon 1, suivi de la valeur de 14% enregistrée dans P1 au niveau de l'échantillon 2.

Nous notons, dans les deux stations, une abondance assez élevée des invertébrés au niveau de la profondeur 3 des échantillons les plus proches de la source de pollution E1.

I.2.2.2.2. Indice de Shannon-Weaver et Equitabilité

Nous avons calculés l'indice de diversité pour les deux stations afin d'estimer la diversité des invertébrés. Cet indice est accompagné par l'équitabilité ou l'indice de diversité relative, calculé pour les stations étudiées. Les résultats obtenus (Annexe 3) sont traduits dans la figure suivante :

La figure 23, présente les valeurs de l'indice Shannon-Weaver et de l'équitabilité de la région de Draa El Mizan.

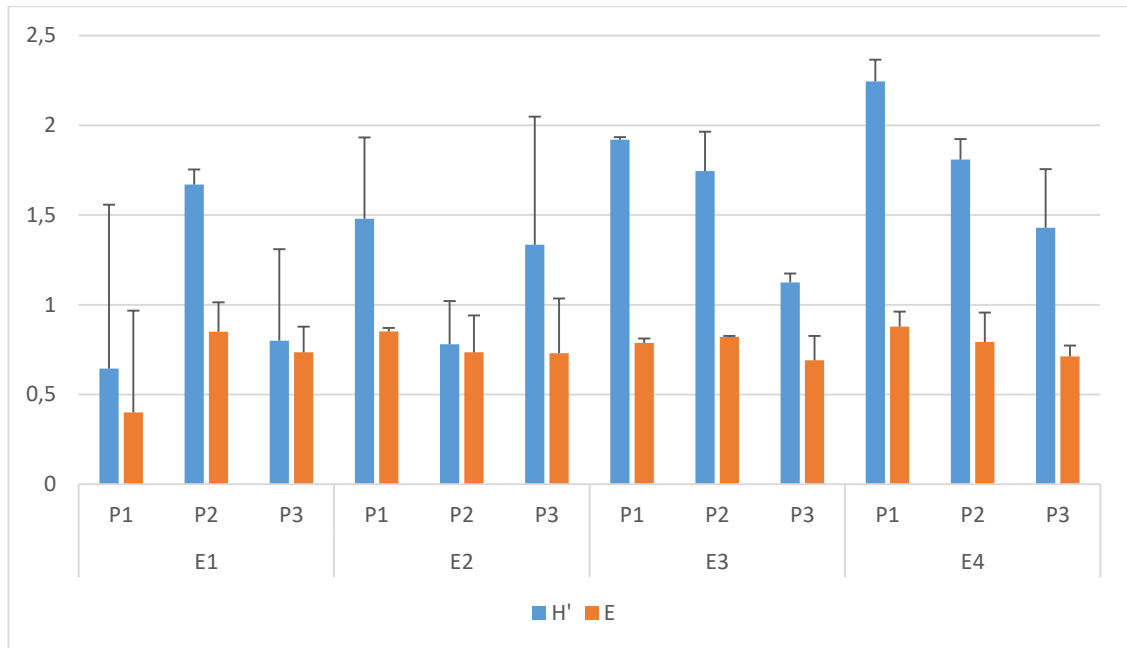


Figure 23 : Indice de Shannon-Weaver (H') et l'équitabilité (E) pour la station de Draa El Mizan en fonction des profondeurs.

Il ressort de la figure 23, qu'au niveau de la station 1, l'indice de Shannon (H') est très variable avec un maximum de 2,24 au niveau de P1E4 et un minimum de 0,64 au niveau de P1E1.

A partir de cette figure, nous remarquons que les valeurs de l'indice de Shannon (H') ont tendance à s'accroître en allant du point le plus pollué vers le point le moins pollué. Les valeurs les plus élevées de cet indice de diversité sont enregistrées au niveau des échantillons les moins pollués (P1E4= 2,24 et P1E3= 1,92) à l'exception de celle enregistrée au niveau de P3E3 (H' =1,12). Au niveau des points proches de la source de pollution, cet indice est faible. C'est le cas au niveau de P1E1, P3E1 et P2E2 qui présentent des indices respectifs de 0,64 ; 0,80 et 0,78.

D'après la figure, nous constatons la valeur d'équitabilité la plus élevée est enregistrée au niveau de P1E4 (point loin de la source polluée) de l'ordre de 0,87 et la plus faible valeur est enregistrée au niveau de P1E1; elle est de 0,40.

La figure 24 présente les valeurs de l'indice Shannon-Weaver et de l'équitabilité pour la région de Ouadhia.

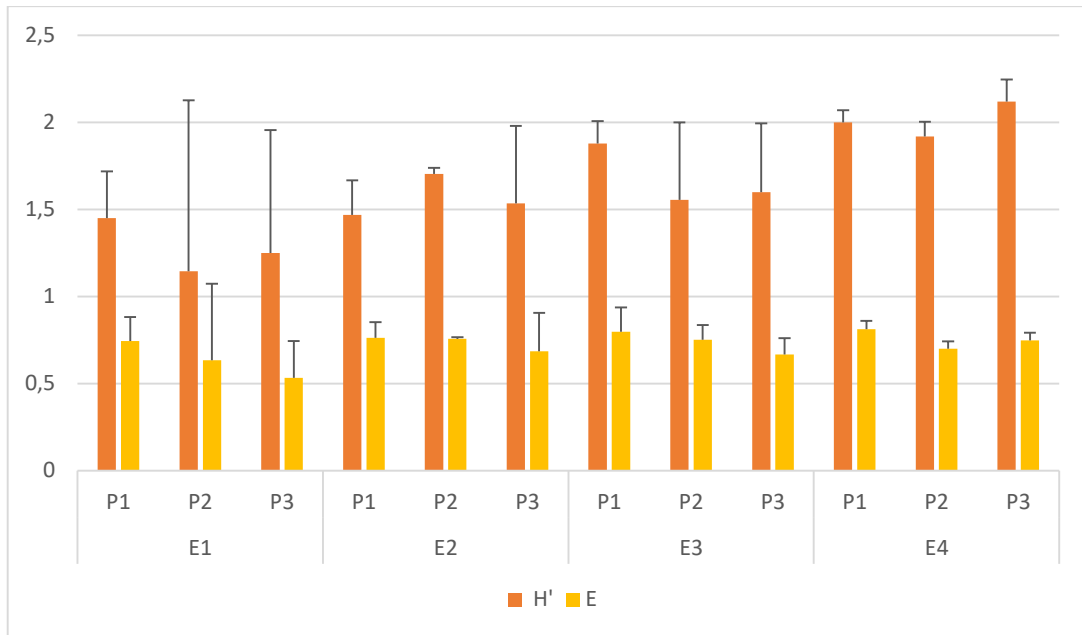


Figure 24 : Indice de Shannon-Weaver (H') et l'équitabilité (E) pour la station de Ouadhia en fonction des profondeurs.

Il ressort de la figure 24 qu'au niveau de la station de Ouadhia, l'indice de Shannon (H') est variable d'un échantillon à un autre et ont tendance à s'accroître en allant de E1 vers E4, avec un maximum de 2,12 au niveau de P3E4 et un minimum de 1,14 au niveau de P2E1. Les valeurs les plus élevées sont enregistrées dans P2 (2) et P3 (2,12) de l'échantillon 4.

Nous constatons pour l'équitabilité, que la plus grande valeur est enregistrée au niveau de P1 de l'échantillon E4 qui est de 0,81 alors que la plus faible est enregistrée au niveau de P3 de l'échantillon 1. Ces valeurs tendent vers 1; ce qui stipule l'existence d'un équilibre entre les différents groupes d'invertébrés des sols étudiés.

I.2.2.3. Répartition des groupes faunistiques dans les différentes stations

Les figures ci-dessous illustrent la répartition de la faune de chaque transect dans les deux stations étudiées.

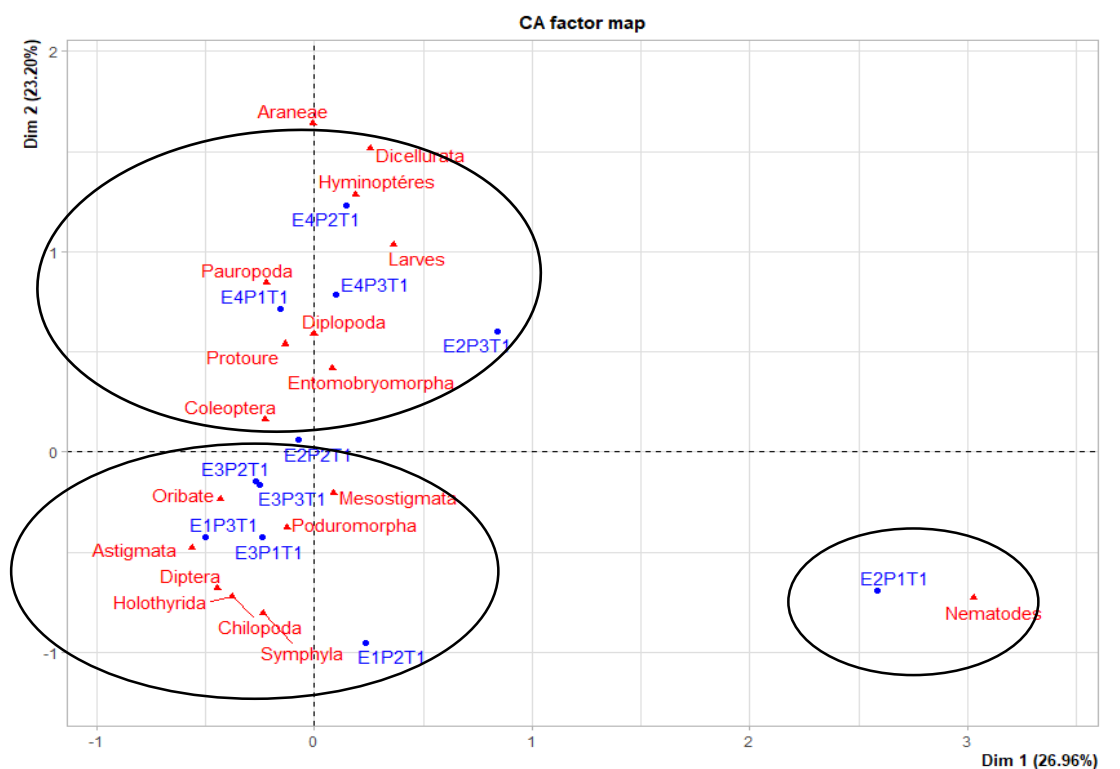


Figure 25 : Distribution et noyaux d'affinité des groupes faunistiques des différentes profondeurs (P1, P2, P3) de chaque échantillon dans le transect 1 de la première station (Draa El Mizan).

Dans l'AFC de la figure 25, trois groupes homogènes s'imposent :

Groupe 1 : regroupe les Pauropodes et Diplopodes (ordres des Myriapodes), Entomobryomorphes (ordre des Collembolés), Dicellurata (ordre des Diploures), Protoures, Larves, Coléoptères et Hyménoptères (ordre des Insectes), qui sont présent dans l'échantillon E4, dans les trois profondeurs (P1, P2, P3), sachant que c'est le point le plus loin du point de rejet. On les retrouve aussi dans E2P3.

Groupe 2 : symbolise l'affinité des Mesostigmatés, Oribates, Astigmatés, Holothyrides (ordres des Acariens), les Diptères (ordre des Insectes), les Chilopodes et les Symphyles (ordres des Myriapodes) dans l'échantillon E3 dans les trois profondeurs (P1, P2, P3) et l'échantillon E1 (P2, P3) et avec l'échantillon 2 (P2).

Groupe 3 : symbolise l'affinité et la dominance des Nématodes dans l'échantillon 2, profondeur 1 (P1).

La figure 26 ci-dessous englobe la distribution de la pédofaune recensée dans la station 1, transect T2.

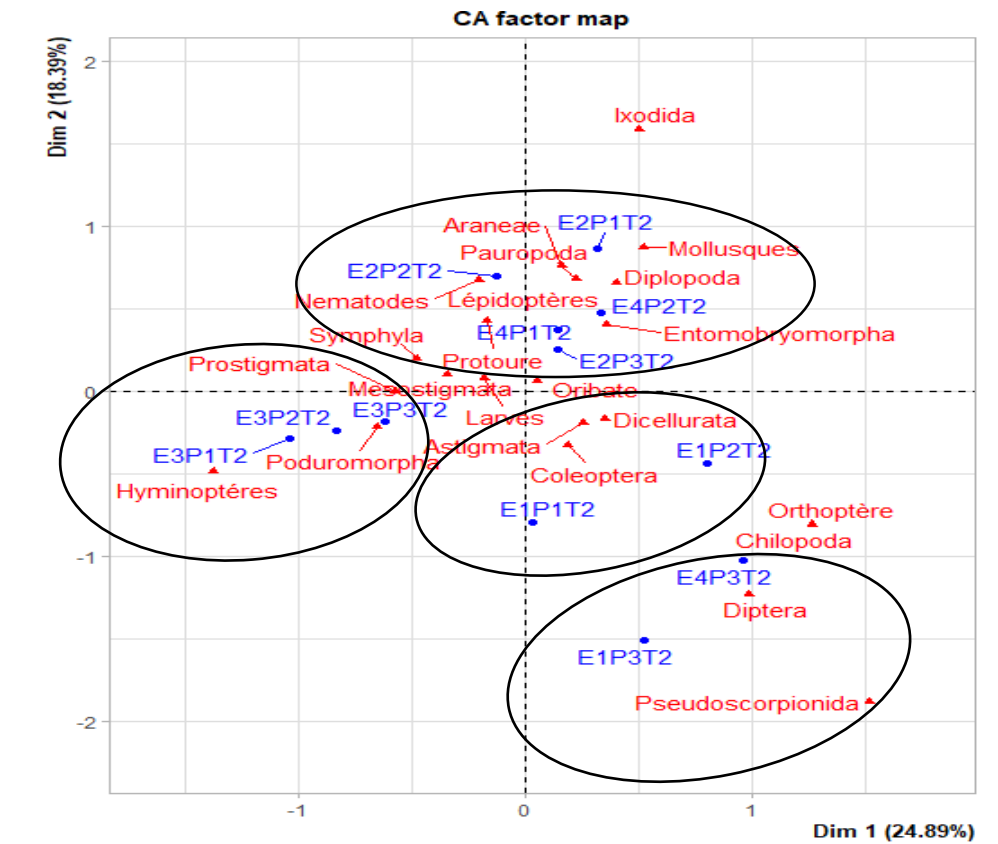


Figure 26 : Distribution et noyaux d'affinité des groupes faunistiques des différentes profondeurs (P1, P2, P3) de chaque échantillon dans le transect 2 de la station de Draa El Mizan.

L'AFC de la figure 26, permet de désigner quatre groupes d'affinité selon la distribution des groupes faunistiques dans le transect 2 de la première station :

Groupe 1 : relie les Entomobryomorphes (ordre des Collembolés), les Pauropodes, les Diplopodes (ordres des Myriapodes), les Arachnides, les Lépidoptères (Insectes), les Nématodes et les Mollusques dans l'échantillon E4, profondeurs P1 et P2 et avec l'échantillon 2 des trois profondeurs (E2P1, E2P2, E2P3).

Groupe 2 : symbolise une affinité des Prostigmatés, Mésostigmatés (ordres des Acariens), des poduromorphes (ordres des Collembolés) et les Hyménoptères (Insectes) dans l'échantillon E3 des trois profondeurs, E3P1, E3P2, E3P3.

Groupe 3 : symbolise l'affinité des Astigmatés (Acariens), Dicellurata et des Coléoptères dans l'échantillon E1, pour les profondeurs P1 et P2.

Groupe 4 : relie les Diptères et les Pseudoscorpions dans les échantillons E1P3 et E4P3.

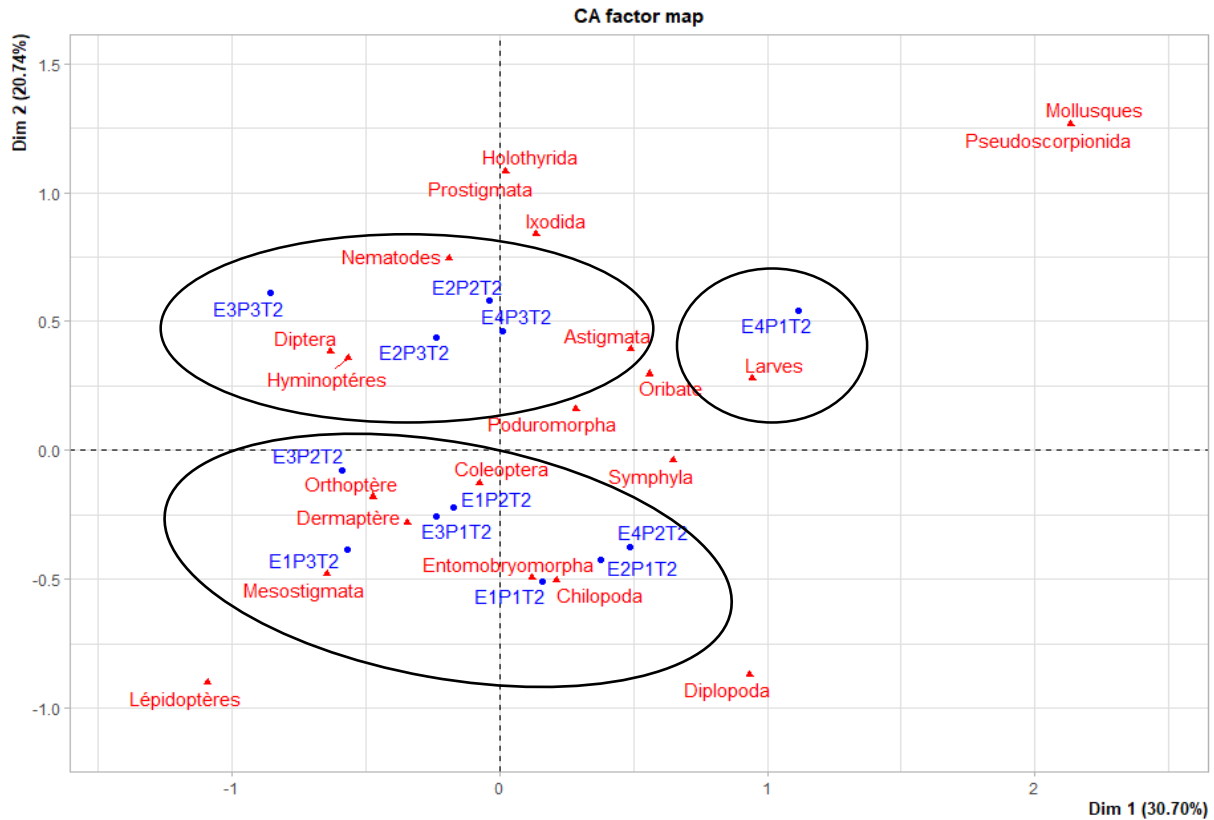


Figure 28 : Distribution et noyaux d'affinité des groupes faunistiques des différentes profondeurs (P1, P2, P3) de chaque échantillon dans le transect 2 de la station de Ouadhia.

Selon l'AFC de la figure 28, nous distinguons trois groupes homogènes selon la distribution des groupes faunistiques en fonction des échantillons du transect 2 de cette station :

Groupe 1 : symbolise une affinité des Astigmatés (Acariens), des Diptères, Hyménoptères (Insectes) et des Nématodes dans l'échantillon E2 au niveau des profondeurs (P2 et P3), et dans la profondeur P3 des deux échantillons E3 et E4.

Groupe 2 : relie les Entomobryomorphes (Collembolés), les Orthoptères, Dermaptères, Coléoptères (Insectes), les Chilopodes (Myriapodes) et les Mésostigmatés (Acariens) au niveau de l'échantillon E1 des trois profondeurs (P1, P2, P3), la profondeur P1 de l'échantillon 2, les profondeurs P1 et P2 de l'échantillon E3 et enfin dans P2 de l'échantillon E4.

Groupe 3 : relie les larves au niveau de P1 de l'échantillon E4.

I.2.2.4. Présentation de quelques individus de la faune

A l'aide d'une loupe binoculaire de grossissement numérique, nous avons photographié quelques individus d'invertébrés récoltés dans les stations d'étude (Fig. 29).

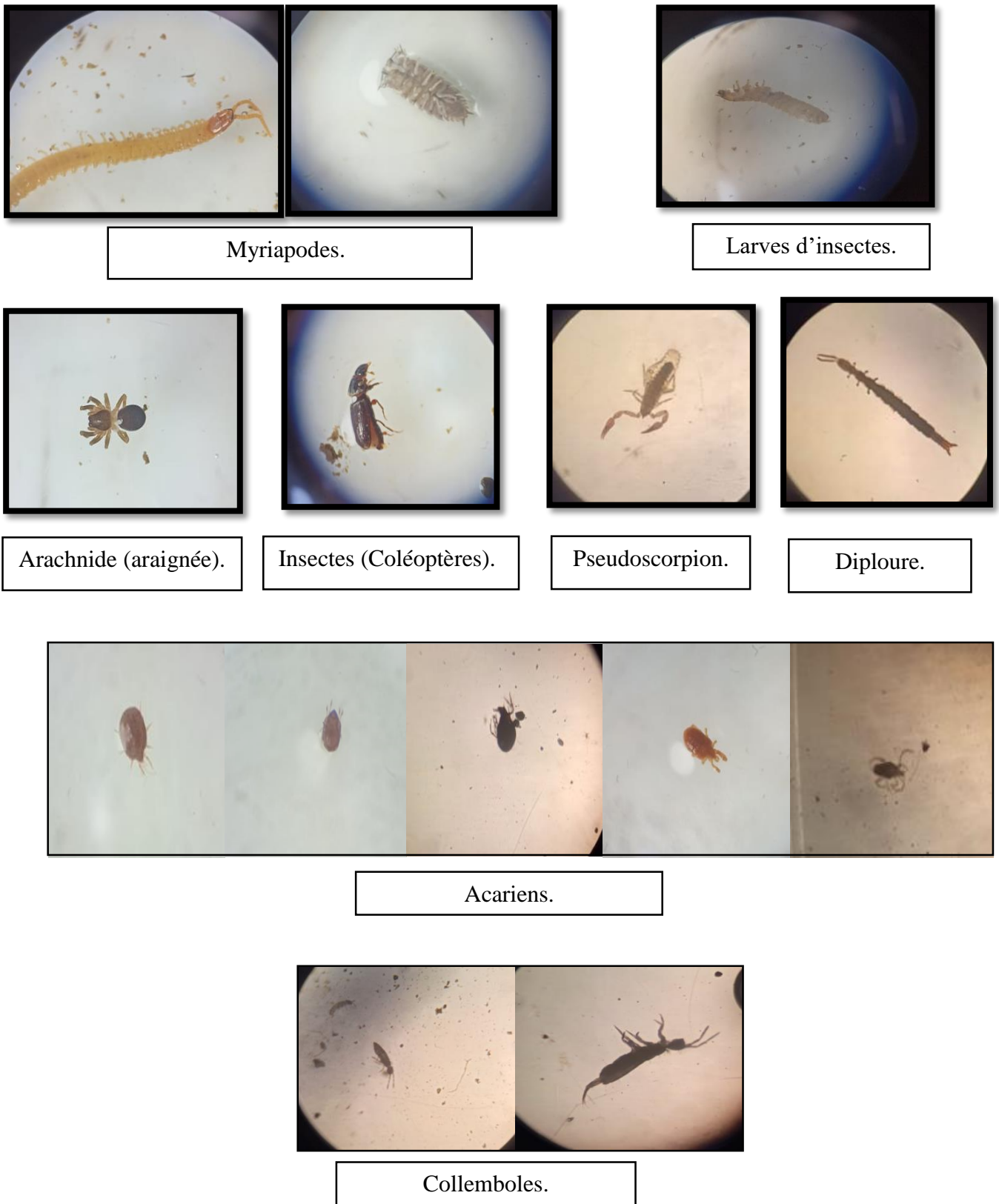


Figure 29: Photos montrant quelques individus d'invertébrés récoltés dans les deux stations d'étude (Originale, 2021).

II. Discussion

Dans ce chapitre, les résultats vus précédemment feront l'objet d'une discussion durant laquelle trois points seront mis en avant : effets des rejets de stations-services sur les paramètres physico-chimiques, effets des rejets de stations-services sur la végétation et sur la faune.

II.1. Effets des rejets de stations-service sur les propriétés physiques et chimiques

Concernant l'étude du pH, les valeurs enregistrées des échantillons des sols étudiés s'approchent de la neutralité dans les deux stations. Cependant, nous distinguons une légère acidification dans les premiers points, en s'approchant de la source de pollution, qui sont marqués par les taux de pH les plus faibles. Cela a déjà été démontré par les travaux de Chaineau et *al.* (1996), qui ont confirmé que parmi les effets des hydrocarbures sur le sol on constate une diminution du pH. Nos résultats en accord, aussi, avec ceux de Rhal et *al.* (2010) qui ont rapporté que le pH des sols dans tous les sites étudiés était neutre, mais il est toujours plus faible dans les sols pollués.

La conductivité électrique (CE), exprime la salinité globale du sol. D'après nos résultats, les échantillons de sol des deux stations (les plus proches et les plus loins de la source de pollution) ne sont pas salés. Nous constatons donc que la conductivité électrique n'a pas été influencée par les rejets des stations-service.

Le taux d'humidité augmente dans les deux stations. Nous remarquons que les valeurs augmentent en allant du point 1 (le plus proche des rejets) vers le point 4 (moins polluée). La valeur minimale est enregistrée dans le point 1 de la station 2 et la valeur maximale est observée dans le point 4 dans la station 2. Nos résultats sont en accord à ceux de Degranges et *al.* (1977) qui ont observé une augmentation du taux d'humidité dans le sol témoin. Contrairement, les résultats de Bergue (1996) ont montré que le taux d'humidité des sols pollués par les hydrocarbures augmentait de 2% de plus que les sols témoins.

En ce qui concerne la matière organique, pour les deux stations la teneur du sol en MO dans les premiers points, qui sont proches des rejets est supérieure à sa teneur dans les points les plus loins des rejets (point 4). Les valeurs maximales sont enregistrées dans le point 1 des deux stations et les valeurs minimales sont enregistrées dans les derniers points (point 4). Le dosage de la matière organique est réalisé à partir du dosage de l'un de ses constituants qui est le carbone organique. La matière organique fraîche est synthétisée à partir du carbone et de l'azote dans les sols contaminés par les hydrocarbures. Les quantités de carbone déterminées au niveau des sols ne seraient pas d'origine, elles sont contenues dans la matière organique qui s'est formé sur place et elles

proviendraient, en majeure partie, du carbone apporté par les hydrocarbures. D'après les études de Degrange et *al.* (1977), la teneur en matière organique augmente dans les sols pollués, cela peut être expliqué par le fait que les hydrocarbures soient des composés organiques contenant exclusivement des atomes de carbone (composés majoritairement de carbone).

Nos analyses ont montré une augmentation des valeurs du carbone organique dans les premiers points (les plus proches des rejets) par rapport aux derniers points éloignés des rejets. Les résultats que nous avons obtenus confirment ceux des travaux de Godwin et *al.* (2013) qui ont observé une augmentation du taux de carbone dans les sols pollués comparé aux sols témoins. L'augmentation du C organique dans le sol peut provenir de l'apport des hydrocarbures (Akpan et Udoh, 2013).

La teneur en Azote dans les premiers échantillons est élevée par rapport aux derniers échantillons, cette élévation peut être le résultat de la contamination des sols par les hydrocarbures. Selon les travaux de Fayeulle (2013), il y a une interdépendance complexe entre contamination en hydrocarbures et teneur en matières organiques dans les sols. La biodégradation des hydrocarbures influence sur la teneur en matière organique, particulièrement par la teneur en carbone et en azote.

Le rapport C/N est un indicateur de la fertilité des sols et l'évaluation de l'équilibre entre le carbone et l'azote (Zhang et *al.*, 2010). Selon les valeurs du rapport C/N des sols étudiés, nous constatons que les sols pollués dans les deux stations ont des valeurs maximales dans le point 1 et le point 2 (les points les plus proches de la source de pollution). Les hydrocarbures influent sur ce rapport et cela peut être dû aux teneurs très élevées en matière organique dans les sols pollués comme il peut traduire les conditions défavorables en présence des hydrocarbures, qui empêchent les micro-organismes de minéraliser la matière organique (Labud et *al.*, 2007). Le rapport C/N a été altéré par la contamination, ce qui a entraîné une augmentation de ce rapport dans l'échantillon 1 et une diminution en allant vers l'échantillon 4. Adam et Duncan (2003) ont signalé que des modifications du rapport C/N pouvaient avoir un impact négatif sur le développement de la végétation.

En ce qui concerne le calcaire, les résultats obtenus ont révélé une augmentation du taux de calcaire dans le point 1 de la station 1. D'après les résultats de Nemmer (2015), cette légère augmentation du taux du calcaire est due à l'existence des rejets de lavage (huiles de vidanges) de voitures dans les stations-service. Nous signalons que dans les autres points des deux stations d'études, les valeurs du calcaire sont proches.

L'analyse en composantes principales (ACP) réalisée, révèle que dans les deux stations d'étude les premiers échantillons, près du point du rejet présentent le taux de carbone et le rapport C/N les

plus élevés et sont les plus riches en matière organique et en CaCO_3 . Les échantillons les plus loin du point du rejet présentent, quant à eux, le taux d'humidité le plus élevée et un pH neutre.

En outre, il ressort de l'ACP que la matière organique, le taux de carbone, le taux de calcaire, le rapport C/N, le pH et l'humidité sont influencés par l'apport des rejets des deux stations-services.

II.2. Effets des rejets des stations-services sur la végétation

L'inventaire de la flore reflète une diversité biologique représentée par 27 espèces végétales dans les deux sites d'étude. L'espèce *Avena sterilis* est la mieux représentée et occupe le premier rang avec 47 individus dans le premier site d'étude et 144 dans le deuxième. Elle est présente dans les deux sites presque dans tous les échantillons. *Xanthium strumarium* présente une tendance à dominer dans la zone 1 des deux transects, en particulier dans le site 2 (station-service de Ouadhia), alors qu'elle est rare dans la zone 3 et carrément absente dans la zone 4. *Anagalis arvensis* et *Oxalis pes-caprae* ont présenté une certaine dominance dans les deux sites. Dans les zones les plus proches de la source du rejet, nous avons constaté que certaines espèces de plantes ont été peu ou pas retrouvées; c'est le cas de *Adonis anua*, *Sinapsis arvensis*, *Galactites tomentosa*, *Daucus carotta*, *Vicia sicula*, *Sonchus asper*, *Sherardia arvensis*, *Calendula arvensis*, *Silene fuscata*, *Narcissus tazetta* et *Medicago polymorpha*.

D'après nos observations, nous avons remarqué que la contamination a modifié la structure de la végétation dans les 2 sites d'échantillonnage (station-service de Draa-El-Mizan et Ouadhia). En effet, nous avons remarqué que plus on s'éloigne de la source de pollution, plus la densité de la végétation devient importante. Le nombre d'individus total augmente en s'éloignant de la source de pollution, la zone 1 (zone la plus proche de la source du rejet) étant la plus pauvre en nombre d'individus. Des observations similaires ont été rapportées par d'autres auteurs tels que Dazy et *al.* (2009) et Colin et *al.* (2000).

Plusieurs études telles que celles de Luhach et Chaudhry (2012), Adam et Duncan (2002) et Ogbo (2009) ont montré les effets négatifs de la contamination par les hydrocarbures sur la croissance des espèces végétales. Ces études ont également révélé que les effets dépendent des espèces végétales. En effet, les espèces ne réagissent pas toutes de la même manière à une contamination. Ceci est conforme à nos observations, nous avons ainsi remarqué que la contamination affecte la richesse en espèces, en particulier dans la zone 1, la zone la plus pauvre en espèces et la plus proche de la source de contamination. Certaines espèces végétales ont réussi à s'établir dans les zones les plus proches de la source du rejet, telles que *Avena sterilis*, *Xanthium strumarium*, *Inula viscosa*, *Anagalis arvensis* et *Oxalis pes-caprae*. D'autres espèces ont été peu ou pas retrouvées

dans les zones proche de la source de contamination, telles que, *Adonis anua*, *Sinapsis arvensis*, *Galactites tomentosa*, *Daucus carotta*, *Vicia sicula*, *Sonchus asper*, *Sherardia arvensis*, *Calendula arvensis*, *Silene fuscata*, *Narcissus tazetta* et *Medicago polymorpha*.

Xanthium strumarium, une espèce végétale résistante capable de croître dans de nombreux habitats (Weaver et Lechowicz, 1983), a préféré la zone 1 (près du rejet). Cette espèce semble avoir une bonne capacité d'établissement dans des environnements contaminés par des hydrocarbures (Dib et Sadoudi-Ali Ahmed, 2020).

Oxalis pes-caprae, *Xanthium strumarium* et *Avena sterilis* sont des plantes considérées, dans certaines parties du monde comme des espèces envahissantes (Nakova et al., 2004; Vetter, 2004; Castro et al., 2007; Sharma et al., 2010). Hierro et al. (2006) ont rapporté que les activités humaines peuvent augmenter les invasions d'espèces. Il est donc possible que les changements induits par la contamination aient contribué à l'établissement de nouvelles espèces. Donc la contamination par les hydrocarbures a pu modifier certaines propriétés physico-chimiques des sites, défavorisant ainsi les espèces les plus exigeantes et favorisant l'installation d'autres espèces.

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.

Le calcul de l'indice de diversité de Shannon met en évidence l'abondance relative des différents taxons. Nous avons observé de faibles valeurs de H' dans l'échantillon 1 et 2 correspondants à de faibles abondances et à une faible richesse en espèces et les valeurs les plus élevées sont enregistrées au niveau des zones les plus éloignées du site de rejet (E3 et E4) démontrant une plus grande diversité des espèces végétales dans ces zones.

L'indice d'équitabilité calculé pour la végétation est plus important dans les points proches du rejet que dans les points loin du rejet. Les valeurs enregistrées au niveau de E1, E2, E3 et E4 tendent vers 1 pour les deux stations. Cela signifie que les espèces sont répartis équitablement dans ces zones.

Ces résultats sont complétés par l'analyse en composantes principales (AFC) qui met en évidence les espèces dominantes dans chaque groupe d'affinité dans les deux sites d'étude Draa El Mizan et Ouadhia. Elle présente une affinité avec certaines espèces *Anagalis arvensis*, *Sinapsis arvensis*, *Silene fuscata*, *Medicago polymorpha*, *Calendula arvensis*, *Avena sterilis*, *Oxalis pes-caprea*, *Vicia sicula* dans la plupart des échantillons des deux sites d'étude. Alors que l'échantillon E1

(zone proche du rejet) du transect 1 de la station de Draa El Mizan n'est relié qu'avec une seule espèce qui est *Inula viscosa* donc cette espèce est tolérante et résistante à la pollution. L'échantillon E4 (zone loin du rejet) du transect 1 de la station Draa El Mizan est relié à *Galactites tomentosa*, *Sherardia arvensis*, *Narcissus tazetta* et *Scandix pecten venaris* qui sont des espèces sensibles aux pollutions. L'échantillon E1 des deux transects de la station de Ouadhia n'est relié qu'avec une seule espèce qui est *Xanthium strumarium* considérée comme espèce résistante et capable de croître dans les milieux pollués.

II.3. Effets des rejets des stations-services sur la faune

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 et du régime alimentaire de la population animale considérée.

La faune du sol est en équilibre, chaque espèce occupe une niche qui lui est propre et joue donc un rôle particulier dans les échanges globaux d'énergie et de matière dans le sol. Mais cet équilibre est fragile. Le plus souvent, ces animaux sont eurybiotes, c'est-à-dire qu'ils sont extrêmement sensibles à de faibles variations de pH, d'humidité, de température, d'aération ou de la teneur du sol en minéraux et en matières organiques (Benjamin, 2010).

La répartition des différents groupes d'organismes vivants dans le sol peut être considérée comme le reflet de la répartition des conditions optimales de survie, chaque individu se trouvant, à un moment donné, placé au niveau où il trouve la possibilité de se nourrir, se reproduire et se mouvoir ses besoins (Arpin et *al.*, 1986).

L'inventaire faunistique réalisé dans les deux stations a permis de recenser 23 ordres, représentés par les Collemboles, les Acariens, les Insectes, les Myriapodes, les Diploures, les Protoures, les Nématodes, les Arachnides, les Pseudoscorpions, les Mollusques et les larves.

La réaction des espèces d'invertébrés à une contamination du sol dépend de nombreux facteurs abiotiques, tels que la texture du sol, le degré d'acidité ou pH, la nature chimique des litières, la salinité et la nature des argiles, qui peuvent influencer la distribution des organismes de la faune du sol (Bachelier, 1978). L'analyse de ces facteurs abiotiques a révélé un pH neutre, une conductivité électrique et un taux de calcaire faibles ainsi qu'une quantité variable en matières organiques et de carbone en allant du point de prélèvement le plus proche du rejet au point de

prélèvement le plus éloigné du rejet. Il peut donc exister une différence entre les communautés d'invertébrés vivant dans des sols pollués et celles vivant dans des sols non pollués (Van Straalen, 2004).

Nous constatons que les points éloignés de la source de rejets présentent une diversité faunistique plus importante par rapport aux points les plus proches de la source de pollution.

Notre étude a révélé que le nombre d'individus est plus important soit au niveau de l'échantillon du point 4 soit au niveau des échantillons du milieu (point 2 et 3), par contre, l'échantillon du premier point présente toujours le nombre d'individus le plus faible. Ce qui confirme les travaux de Ponge (2010) qui a affirmé que les sols pollués sont caractérisés par un appauvrissement des éléments nutritifs, lié à la perte de la biodiversité et au comportement spécifique de chaque espèce sous le stress causé par la pollution et sa capacité à la tolérer. La pollution des sols peut donc avoir des effets très néfastes sur les organismes du sol, réduisant à la fois leur abondance et leur diversité (Joint Research Centre, 2010).

Les collemboles ont été influencés négativement dans les premiers points (les plus proches de la source de pollution). Nous avons observé des valeurs plus élevées au niveau des points 2 et 3, il semblerait donc que les collemboles soient favorisés dans les zones les moins proches de la source de rejet. D'après Ponge (2004), la pollution du sol par les hydrocarbures modifie la composition et la richesse du peuplement de Collemboles. Sur les points pollués, la diminution du nombre d'espèces met en évidence la toxicité du milieu pour les espèces les plus sensibles. Le comportement des espèces varie beaucoup dans un milieu pollué, certaines espèces de collemboles, évitent la contamination alors que d'autres espèces sont attirées par la contamination (Gass et *al.*, 2006).

Il en est de même pour les Hyménoptères qui sont présents dans les points de prélèvement les plus éloignés de la source du rejet. Ils sont donc négativement affectés par la pollution. García-Segura et *al.* (2018) ont, par contre, rapporté que la densité (individus) des fourmis a augmenté avec l'augmentation des hydrocarbures.

Les Parasitiformes (Acariens) semblent être impactés beaucoup plus dans le point 1 (le plus proche du site du rejet) et les valeurs les plus élevées ont été parfois observées dans les points 2 et 3. García-Segura et *al.* (2018) ont observé que les acariens avaient présenté la densité la plus importante dans les zones moyennement contaminées comparées aux zones hautement contaminées, où ces dernières ont présenté le nombre le plus faible.

Les Coléoptères et les Orthoptères sont totalement absents au niveau des points de prélèvement les plus proches de la source de rejet, ceci est peut-être dû à l'absence de la végétation au niveau de cette zone, puisque ces groupes sont phytophages (se nourrissent de tissus végétaux vivants).

Cela a déjà été confirmé par Chenchouni et *al.* (2015) qui ont démontré une relation très intime entre la structure de la végétation et certains groupes d'invertébrés comme les Coléoptères, les Orthoptères et les Hémiptères.

Les Chilopodes, les Diplopodes et les Symphytes présentent des valeurs très variables dans les zones les plus proches du site de rejet et les zones les plus loin. Jaworska et Gospodarek (2007) ont observé que les produits pétroliers n'avaient pas d'effets négatifs sur l'occurrence des Diplopoda et des Chilopoda. Selon Gobat et *al.* (2003), la variabilité des Myriapodes est due à leur mode de vie ralenti et leur migration dans le sol puisqu'ils sont géophiles.

Les Arachnides présentent toujours les valeurs les plus importantes au niveau des zones 3 et 4, les plus loin du site du rejet. Il semble qu'elles évitent les zones les plus proches de la source de rejets. D'après Rusin et Gospodarek (2016), l'apport des hydrocarbures dans la plupart des cas n'a pas d'effets négatifs sur les araignées.

L'indice de diversité de Shannon-Weaver appliqué aux individus d'invertébrés récoltés par la méthode d'extraction est très variable. En effet, les valeurs les plus élevées sont enregistrées dans les zones 3 et 4, les plus loin du point de rejet dans les deux stations d'étude; ceci démontre une plus grande diversité biologique du peuplement dans ces zones.

L'équitabilité est élevée dans toutes les zones, qu'elles soient proches du point du rejet ou non, les valeurs enregistrées dans les premiers points E1 et E2, tendent vers 1. Cela signifie que les ordres ont presque les mêmes abondances, les individus sont répartis équitablement dans ces zones. Contrairement aux derniers points E3 et E4 où les individus ne sont pas répartis équitablement, cela signifie que le peuplement est en déséquilibre.

Notre étude a révélé que le nombre d'individus est plus important soit au niveau de la dernière zone, la plus loin du point du rejet (zone 4), soit au niveau des zones du milieu (zones 2 et 3). Par contre, la zone 1 présente toujours le nombre d'individus le plus faible, sauf pour la zone 1 du transect 2 de la station de Ouadhia, où nous avons observé un nombre très élevé d'individus.

De manière générale, l'abondance de la mésofaune (les Collembolés, Protoures, Diploures...) a été plus importante dans les zones qui se situent au milieu (en comparaison avec les zones loin et les zones très proches du point du rejet) (García-Segura et *al.*, 2018). Certains ordres semblent

avoir été négativement influencé dans la zone la plus proche du point de rejet (zone 1), alors qu'ils ont été parfois favorisés par les zones moyennes (zones 2 et 3); d'autres ordres ont montré des valeurs élevées dans la zone 1.

En outre, il existe d'autres paramètres à prendre en compte, tels que les relations entre la structure de la végétation et les invertébrés, cas des coléoptères, les insectes phytophages (Chenchouni et *al.*, 2015). La répartition de certains groupes, comme les Coleoptera et les Hemiptera pourrait s'expliquer, en partie, par la couverture végétale, qui est plus importante dans les zones 4 et 3, suivie respectivement des zones 2 et 1. Blakely et *al.* (2002) ont rapporté qu'il y'a une meilleure corrélation avec des facteurs physiques du sol, suggérant que les hydrocarbures, plus particulièrement les HAP, influent sur les invertébrés du sol non pas par une toxicité directe, mais par un effet sur la structure de l'habitat et la disponibilité de la nourriture.

Les communautés d'invertébrés peuvent être directement affectées par la contamination (fuir les fortes pollutions vers les profondeurs) et indirectement par les modifications de la structure de la végétation et des propriétés du sol produites par la contamination.

Conclusion

L'objectif de ce travail est d'estimer l'impact des apports des rejets d'hydrocarbures de deux stations-service (Draa El Mizan et Ouadhia) sur quelques paramètres physiques, chimiques et biologiques du sol, ainsi que l'étude des communautés végétales et animales vivantes dans divers milieux le long d'un gradient de pollution, à travers des inventaires.

D'après les résultats obtenus, les analyses physico-chimiques des sols à proximité des stations-service nous ont permis de supposer une éventuelle contamination de ces sites par des produits pétroliers et leurs effets sur plusieurs paramètres (matière organique, carbone, azote, humidité, calcaire total, rapport C/N, conductivité électrique, pH). Des valeurs très élevées de quelques paramètres ont été observées au niveau des points les plus proches de la source des rejets, qui diminuent progressivement en s'éloignant jusqu'à atteindre les derniers points loin de la source des rejets. Il s'agit du taux de la matière organique, le taux de carbone, du rapport C/N, le calcaire total et la conductivité électrique. Par contre, nous avons remarqué que les autres paramètres tels que le pH et l'humidité ont présenter des valeurs faibles dans les point proche de la source du rejet.

L'inventaire de la faune du sol à proximité des deux stations-service, nous a permis de constater une différenciation des groupes d'invertébrés qui se trouvent dans les points les plus proches de la source de rejet comparativement aux points les plus loin, à travers l'abondance, la diversité biologique (H') et l'équitabilité (E). Nous avons, ainsi, constaté des effets négatifs de la contamination sur beaucoup de communautés d'invertébrés (groupes sensibles), telles que, les Entomobryomorphes, les Hyménoptères, les Coléoptères, les Orthoptères et les Arachnides, qui ont enregistré leurs valeurs les plus faibles dans la zone la plus contaminée (point 1). Par contre, les Parasitifformes, les Chilopodes et les Diplopodes ont enregistré leurs valeurs les plus fortes dans les zones les plus proches de la source du rejet (groupes résistants).

L'inventaire de la végétation à proximité des deux stations-service, nous a permis de constater une différenciation entre les premiers et les derniers points. La richesse en espèce et l'abondance ont été très affectées dans le point 1 qui est à proximité de la source du rejet. Certaines espèces végétales ont été fortement retrouvées dans les zones contaminées. Nous avons remarqué que certaines espèces végétales, telles que *Avena sterilis*, *Anagalis arvensis* et *Oxalis pes-caprae* présentent une répartition très large (espèces résistantes), qui s'étend jusqu'aux premiers points (les plus proches du point de rejet), alors que d'autres espèces telles que *Calendula arvensis*, *Silene fuscata*, *Narcissus tazetta*, *Scandix pecten venaris*, *Medicago polymorpha*, *Anethum graveolens*, *Lathyrus ochrus*, *Sonchus asper*, *Galactites tomentosa* ont

été peu ou pas retrouvées dans les premiers points (espèces sensibles). Une espèce se distingue des autres : *Xanthium strumarium* qui a montré une préférence pour le point 1.

D'après les résultats obtenus au cours de notre travail, nous pouvons conclure que l'action des hydrocarbures se traduit par une modification remarquable des propriétés physico-chimiques du sol, la structure de la végétation et les communautés d'invertébrés.

Suite aux résultats obtenus, nous pouvons émettre quelques perspectives qui sont les suivantes :

- Ces études pourront être utilisées comme référence pour des études ultérieures concernant les effets des hydrocarbures sur les propriétés du sol et qui pourront nous permettre d'améliorer la compréhension du comportement des espèces végétales et animales dans des zones contaminées par des produits pétroliers.
- Ce travail, en plus d'avoir mis l'accent sur les effets des hydrocarbures sur le sol, est une ébauche pour un travail de surveillance de la qualité des sols dans les deux régions et une étude comparative avec des sols d'autres stations-service avoisinantes pourra être faite afin d'évaluer le degré d'impact des hydrocarbures au niveau de ces stations étudiées.
- Il serait souhaitable de réaliser des études en utilisant la microfaune pour mieux étudier les effets des hydrocarbures sur les propriétés du sol et approfondir plus l'étude des effets de la pollution dans les stations-services sur les espèces d'invertébrés et leurs comportements.
- L'utilisation de *Xanthium strumarium* pour des tests de phytoremédiation afin de déterminer sa capacité à dépolluer des sites contaminés par des produits pétroliers.
- Beaucoup de travaux ont été déjà effectués dans ce domaine, nous remarquons néanmoins que, dans la plupart des cas, la pollution étudiée n'est pas quantifiée, ceci est dû au coût élevé des méthodes de quantification des hydrocarbures. C'est la raison pour laquelle nous n'avons pas réalisé la quantification de la pollution, de ce fait, il serait aussi très intéressant d'introduire des méthodes de quantification des hydrocarbures moins coûteuses.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

A

1. **ABHA S., SINGH C.S., (2012).** Hydrocarbon Pollution: Effects on Living Organisms, Remediation of Contaminated Environments, and Effects of Heavy Metals Co-Contamination on Bioremediation. Institute of Microbial Technology. Chandigarh, India. pp: 186-206.
2. **ADAM G., DUNCAN H., (2002).** Influence of diesel fuel on seed germination. *Environmental Pollution*, Vol. 120. pp: 363-370.
3. **ADAM G., DUNCAN H., (2003).** The Effect of Diesel Fuel on Common Vetch (*Vicia Sativa L.*) Plants. *Environmental Geochemistry and Health*, 25(1). pp: 123–130.
4. **ADEME., (2006).** Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie, France. Ecotoxicité des sols et des déchets. Résultats des tests biologiques. ADEME édition ADEME. Site pollué et sols. 96p.
5. **AKPAN G.U., UDOH, B.T., (2013).** Evaluation of Some Properties of Soils Affected by Diesel Oil Pollution in Uyo, Niger Delta Area, Nigeria. *Journal of Biology, Agriculture and Healthcare*, 3(8). pp: 33-42.
6. **ALI AHMED S., (2011).** Essai de réhabilitation d'un sol contaminé par les hydrocarbures à l'aide des tensioactifs obtenus par voie biologique. Mémoire de Magister en sciences agronomiques. Ecole nationale supérieure agronomique. 135p.
7. **ARPIN P., DAVID J.F., GUITTONNEAU G.G., KILBERTUS G., PONGE J.F., (1986).** Influence du peuplement forestier sur la faune et la microflore du sol et des humus. I. Description des stations et étude de la faune du sol. *Revue d'Ecologie et de Biologie du Sol*, 23(1). pp: 89-118.

B

8. **BACHELIER G., (1978).** La faune des sols, son écologie et son action. IDT N°38. ORSTOM, Paris. 391p.
9. **BACHELIER G., (1979).** La faune du sol, son écologie et son action, IDT N° 38. ORSTOM, Paris. 391p.
10. **BARRIUSO E., CALVET R., SCHIAVON M., SOULAS G., (1996).** Les pesticides et les polluants organiques des sols. Etude et gestion des sols. Vol. 3. N° 4. pp: 279-296.
11. **BENJAMIN P., (2010).** Contribution de la faune du sol au fonctionnement et à l'évolution des technosols. Thèse doctorat en Science Agronomique. Université de Lorraine. 303p.
12. **BERGUE J., (1986).** La pollution des sols par les hydrocarbures. Service Physique-Génie urbain, laboratoire régional de Rouen. pp: 57-64.
13. **BLAKLEY J.K., NEHER D.A., SPONGBERG A.L., (2002).** Soil invertebrate and microbial communities, and decomposition as indicators of polycyclic aromatic hydrocarbon contamination. *Applied Soil Ecology*, 21(1). pp: 71–88.
14. **BOCARD C., (2006).** Marées noires et sols pollués par des hydrocarbures. Enjeux environnementaux et traitement des pollutions. Edition Technip, Paris. 297p.

C

15. CALVET R., (2013). Le sol. Tome 2, Edition France Agricole. 678p.
16. CASTRO S., LOUREIRO J., SANTOS C., ATER M., AYENSA G., NAVARRO L., (2007). Distribution of flower morphs, ploidy level and sexual reproduction of the invasive weed *Oxalis pes-caprae* in the western area of the Mediterranean region. *Annals of Botany*, 99(3). pp: 507–517.
17. CEAEQ, Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec., (2015). Hydrocarbures pétroliers : caractéristiques, devenir et criminalistique environnementale. 41p.
18. CHAINEAU C.H., MOREL J.L., OUDOT J., (1996). Land treatment of oil based drill Cuttings in an agricultural soil. *Journal of Environmental Quality*. Vol. 25. N° 4. pp: 858-867.
19. CHENCHOUNI H., MENASRIA T., NEFFAR S., CHAFAA S., BRADAI L., CHAIBI R., MEKAHLIA M. N., BENDJOUDI D., BACHIR A. S., (2015). Spatiotemporal diversity, structure and trophic guilds of insect assemblages in a semi-arid Sabkha ecosystem. *PeerJ*, 3. 860p.
20. CHERAGHI M., SOBHANARDAKANI S., LORESTANI B., MERRIKHPOUR H., MOSAED H.P., (2015). Biochemical and Physical Characterization of Petroleum Hydrocarbon Contaminated Soils in Tehran, *Journal of Chemical Health Risks* 5(3). pp: 199-208.
21. COLIN F., (2000). Pollution localisée des sols et sous-sols par les hydrocarbures et par les solvants chlorés .édition TEC et DOC. 417p.
22. COLOMBANO S., SAADA A., VICTOIRE E., GUERIN V., ZORNIG C., AMALRIC L., BLESSING M., WIDORY D., HUBE D., BLANC C., (2014). Nature des produits pétroliers d'origine du vieillissement : tentative de l'identification de la source via la prise en compte des impacts et l'analyse de l'âge approximatif des déversements. 166p.
23. CRONE M., (2000). Diagnostic de sols pollués par des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) à l'aide de spectrométrie UV. Thèse de doctorat. Institut National des sciences appliquées, Lyon. 166p.
24. CRUZ J.M., TAMADA I.S., LOPES, P.R.M., MONTAGNOLLI R.N., BIDOIA E.D., (2014). Biodegradation and phytotoxicity of biodiesel, diesel, and petroleum in soil. *Water, Air, & Soil Pollution*, 225(5). 1962p.

D

25. DAJOZ R., (1971). Précis d'écologie, Edition Dunod, Paris. 434 p.
26. DAJOZ R., (1985). Dynamique des populations. Edition Dunod, Paris. pp: 134-155.
27. DAJOZ R., 2000 : Précis d'écologie. Ed. DUNOD; Paris. pp: 112-442.
28. DAZY M., BERAUD E., COTELLE S., GREVILLIOT F., FERARD J.F., MASFARAUD J.F., (2009). Changes in plant communities along soil pollution gradients: Responses of leaf antioxidant enzyme activities and phytochelatin contents. *Chemosphere*, 77(3). pp: 376-383.

- 29. DEGRANGES P., GUGALSKI T., LELEU M., GREFFARD J., (1977).** Devenir des hydrocarbures dans le sol. 31p.
- 30. DIB D., (2021).** Impact de la pollution du sol aux hydrocarbures sur la flore et la pédofaune dans quelques stations-services de la Wilaya de Tizi-Ouzou. Thèse de Doctorat, Tizi-Ouzou, Université Mouloud Mammeri. 135p.
- 31. DIB D., SADOUDI-ALI AHMED D., (2020).** Influence of diesel fuel contamination on *Xanthium strumarium* L. germination and growth, International Journal of Phytoremediation, 22:3. pp: 236-240.
- 32. DUCHAUFOR P., (1997).** Abrégé de Pédologie. Sol, végétation, environnement, (enseignement des sciences de la terre) ST, 5e édition, Édition MASSON. 291p.

E

- 33. ECKFORD R., COOK F.D., SAUL D., AISLABIE J., FOGHT J., (2002).** Free-living heterotrophic nitrogen-fixing bacteria isolated from fuel-contaminated Antarctic soils. Appl Environ Microbiol 68. pp: 5181-5185.
- 34. European commission., (2010).** L'usine de la vie Pourquoi la biodiversité des sols est-elle si importante ?, Office des publications de l'Union européenne, Luxembourg. 20p.

F

- 35. FATTAL P., (2008).** Pollution des côtes par les hydrocarbures. Presse universitaire de Rennes. 498p.
- 36. FAYEULLE A., (2013).** Etude des mécanismes intervenant dans la biodégradation des Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques par les champignons saprotrophes telluriques en vue d'application en bioremédiation fongique des sols pollués. Thèse de doctorat. Ecole doctorale 104, France. 194p.
- 37. FRESCHET G.T., VIOLLE C., ROUMET C., GARNIER E., (2018).** Interactions entre le sol et la végétation : structure des communautés de plantes et fonctionnement du sol. Les sols au cœur de la zone critique : écologie (eds P. Lemanceau & M. Blouin), ISTE editions, London, UK. pp: 83-99.

G

- 38. GARCIA-SEGURA D., CASTILLO-MURRIETA I.M., MARTINEZ-RABELO F., GOMEZ-ANAYA A., RODRIGUEZ-CAMPOS J., HERNANDES-CASTELLANOS B., CONTRERAS-RAMOS S. M., BAROIS I., (2018).** Macrofauna and mesofauna from soil contaminated by oil extraction. Geoderma, 332. pp: 180–189.
- 39. GASS F., GILLET S., PONGE J.F., (2006).** The use of directional traps for the assessment of short-term phenanthrene effects upon soil springtail communities. Environmental Pollution 140. pp: 364-370.
- 40. GASPERI J., (2006).** Introduction et transfert des hydrocarbures à différentes échelles spatiales dans le réseau d'assainissement parisien. Thèse de doctorat. Ecole nationale des ponts et chaussées, Paris. 264p.

- 41. GILLET S., PONGE J.F., (2002).** Humus forms and metal pollution in soil. *European Journal of Soil Science* 53. pp: 529-539.
- 42. GILSER J., HOLSCHER G., (1997).** Experimental studies on the reaction of Collembola to copper contamination. *Pedobiologia* 41. pp: 173-178.
- 43. GIRARD M.C., WALTER C., REMY J.C., BERTHELIN J., MOREL J.L., (2005).** *Sols et Environnement*, Dunod (Ed.). 816p.
- 44. GIRARD M.C., WALTER C., REMY J.C., BERTHELIN J., MOREL J.L., (2011).** *Sols et environnement*. 2e édition, Paris : Dunod. 804p.
- 45. GOBAT J.M., ARAGNO M., MATTHEY W., (2003).** *Le sol vivant. Bases de pédologie-Biologie des sols*. 2e éd. revue et augmentée. Les Presses polytechniques et universitaires romandes, Lausanne. 568p.
- 46. GOBAT J.M., ARAGNO M., MATTHEY W., (2010).** *Le sol vivant. Bases de pédologie-Biologie des sols*, 3e édition presses polytechniques et universitaires romandes. 820p.
- 47. GODWIN U., BASSEYA., Udoh T., (2013).** Evaluation of Some Properties of Soils Affected by Diesel Oil Pollution in Uyo, Niger Delta Area, Nigeria. *Journal of Biology, Agriculture and Healthcare*, Vol.3, No.8. pp: 33-42.
- 48. GROS R., (2004).** *Fonctionnement et qualité des sols soumis à des perturbations physiques et chimiques d'origines anthropiques: réponses du sol, de la flore et de la microflore bactérienne tellurique*. Thèse de Doctorat. Centre Interdisciplinaire Scientifique de la Montagne, Université de Savoie, France. 243p.

H

- 49. HATTENSCHWILER S., BARANTAL S., GANAULT P., GILLESPIE L., et COQ S., (2019).** Quels enjeux sont associés à la biodiversité des sols ? *Innovations Agronomiques*, INRAE. 14p.
- 50. HENNER P., (2000).** *Phytoremédiation appliquée au traitement de sols contaminés par des hydrocarbures aromatiques polycycliques*. Thèse de doctorat, Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie et des Industries Alimentaire Phytoremédiation. Institut National Polytechnique, Lorraine. 192p.
- 51. HENNER P., SCHIAVON M., DRUELLE V., et LICHTFOUSE E., (2008).** Phytotoxicity of ancient gaswork soils. Effect of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) on plant germination. *Organic Geochemistry*, Elsevier, 30 (8). pp: 963-969.
- 52. HIERRO J.L., VILLARREAL D., EREN O., GRAHAM J.M., et CALLAWAY R.M., (2006).** Disturbance facilitates invasion: The effects are stronger abroad than at home. *The American Naturalist*, 168(2). pp: 144-156.

I

- 53. INRA, Institut National de la Recherche Agronomique., (2009).** Edition, Division de l'information et de la communication. Avenue de la Victoire, BP. 415 RP – Rabat, Royaume du Maroc. 15p.

54. INRS, Institut National de Recherche et de Maintenance., (2016). Stations-services et autres stations de distribution de produits pétroliers Prévenir les risques lors des opérations de maintenance. 1^{ère} édition INRS ED 6183. 65p.

J

55. JAWORSKA M., GOSPODAREK J., (2007). Effect of oil derivatives in soil on selected invertebrates. *Chemia i Inżynieria Ekologiczna*, Vol. 14, nr 11. pp: 1181-1187.

56. JRC, Joint Research Centre, European Commission., (2010). Annual Report, EUR_Scientific and Technical Research Series. Luxembourg: Publications Office of the European Union, No: LB NA-24689-EN-C. 68p.

K

57. KLOFF S., WICKS C., (2004). Gestion environnementale de l'exploitation de pétrole offshore et du transport maritime pétrolier. Un document d'information à l'attention des parties prenantes de l'écorégion marine ouest africaine. 81p.

L

58. LABUD V., GARCIA C., HERNANDEZ T., (2007). Effect of hydrocarbon pollution on the microbial properties of a sandy and a clay soil. *Chemosphere*, 66(10). pp: 1863-1871.

59. LAVELLE P., SPAIN A.V., (2001). Soil ecology. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. 654p.

60. LEMIERE B., SEGUIN J., LE GUERN C., GUYONNET D., BARANGER P., DARMENDRAIL D., CONIL P., (2001). Guide sur le comportement des polluants dans les sols et les nappes. Application dans un Contexte d'Evaluation Détaillée des Risques pour les ressources en eau. Rapport du BRGM, France. 103p.

61. LEMIERE B., SEGUIN J., LE GUERN C., GUYONNET D., BARANGER P., SAADA A., DARMENDRAIL D., CONIL P., BODENAN F., FAUCONNIER D., HUBE D., COLOMBANO S., (2008). Guide sur le comportement des polluants dans les sols et les nappes. BRGM, Nouvelle édition. Orléans, France. 114p.

62. LUHACH J., CHAUDHRY S., (2012). Effect of diesel fuel contamination on seed germination and growth of four agricultural crops. *Universal Journal of Environmental Research and Technology*, 2(4). pp: 311–317.

N

63. NAKOVA R., BAEVA G., NIKOLOV P., (2004). Competition between maize and *Xanthium strumarium* L. *Pesticidi i Fitomedicina*, 19(4). pp: 257–263.

64. NEGRAIA G., (2010). Impact Écotoxicologique Des Hydrocarbures Monoaromatiques Dans l'Environnement au Canada. Université de Sherbrooke, Québec, Canada. 71p.

65. NEMMER W., (2015). Thèse Magistère, Etudes pédologique et floristique de différents sols selon un gradient de pollution. UMMTO. 95p.

66. NORINI M.P., (2007). Ecodynamique des hydrocarbures aromatiques polycycliques et des communautés microbiennes dans les sols à pollution mixte (HAP, métaux) avant et après traitement par biopile et par désorption thermique. Thèse de Doctorat, université Henri Poincaré, Nancy. 243p.

O

67. OGBO E.M., ZIBIGHA M., ODOGU G., (2009). The effect of crude oil on growth of the weed (*Paspalum scrobiculatum L.*) phytoremediation potential of the plant. African Journal of Environmental Science and Technology. Vol. 3. N°9. pp: 229-233.

P

68. PARVIZI M.H., SOBHANARDAKANI S., MERRIKHPOUR H., FARMANY A., CHEARAGHI M., ASHORLO S., (2015). The Effect of Urban Fuel Stations on Soil Contamination with Petroleum Hydrocarbons. Iranian Journal of Toxicology, 9(30). pp: 1378-1384.

69. PAPENDICK R.I., CAMPBELL G.S., (1981). Nitrogen and Organic Matter Mineralization in the Tunisian Cork Oak Forest: A Laboratory Study Theory and Measurement of Water Potential. L.F, Vol.5 No.3. pp: 1-22.

70. PATEJ S., (2002). Etude de scénarios dangereux en stations-service. Rapport final de l'INERIS DRA 40862. 38p.

71. PIEDRAFITA C., CARNICER V., (2007). La pollution ponctuelle des sols: le cas des stations-service dans la région de Bruxelles-capitale. Mémoire. Diplôme d'Etudes Spécialisées en Gestion de l'Environnement. Université de Bruxelles, Bruxelles. 154p.

72. PIELOU E.C., (1966). The measurement of diversity in different types of biological collections. Journal of Theoretical Biology, 13. pp: 131-144.

73. PONGE J.F., (2004). Effets des composés organiques sur la faune du sol. Perturbation des communautés et recolonisation des substrats pollués. 42p.

74. PONGE J.F., (2010). Impact des polluants du sol sur la biodiversité animale du sol, HAL Edition. pp: 1-3.

R

75. RAJESH K.M., NASEER M., ROYCHOUDHURY N., (2016). Soil pollution: Causes, effects and control. Tropical Forest Research Institute, Vol. 3, No. 1. pp: 1-14.

76. RAMADE F., (1984). Eléments d'Ecologie: Ecologie fondamentale. Me Graw-Hill. 397p.

77. RAMADE F., (2007). Introduction à l'écotoxicologie. Fondaments et applications. Ed et TEC et DOC. Lavoisier. 618p.

78. RHBAL H., SOUABI S., SAFI M., ARAD M., ANOUZLA A., (2010). Hydrocarbons diagnostic of polluted soils. Scientific Study & Research Chemistry & Chemical Engineering, Biotechnology, Food Industry, 11(4). pp: 449-458.

79. RODRIGUEZ C., IGLESIAS K., BICEGO C.M., TANIGUCHI S., SASAKI S.T., KANDRATAVICIUS N., BUENO C., BRUGNOLI E., VENTURINI N., (2018). Hydrocarbons in soil and meltwater stream sediments near Artigas Antarctic Research Station: origin, sources and levels, *Antarctic Science*. 13p.

80. RUELLAN A., POSS R., (2008). Les sols pour l'avenir de la planète Terre. Association française pour l'étude du sol, Planète Terre, avenue de la Pomme de Pin – BP 20619. 15p.

81. RUSIN M., GOSPODAREK J., (2016). The Occurrence of Springtails (Collembola) and Spiders (Araneae) as an Effectiveness Indicator of Bioremediation of Soil Contaminated by Petroleum-Derived Substances. *International Journal of Environmental Research*, 10(3). pp: 449-458.

S

82. SHALTAMI O.R., HAMED N.M., FARES F.F., ERRISHI H., EL OSHEBI F.M., MACEDA E., (2020). Virtual Conference on Environment and Health (VCEH) Venue: Agricultural University of Iceland. 54p.

83. SHARMA G.P., MUHL S.A., ESLER K.J., MILTON S.J., (2010). Competitive interactions between the alien invasive annual grass *Avena fatua* and indigenous herbaceous plants in South African Renosterveld: The role of nitrogen enrichment. *Biological Invasions*, 12(9). pp: 3371–3378.

84. SIMON A.J., SOBIERAJ A.J., (2006). Contributions of Common Sources of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons to Soil Contamination. Wiley Interscience, Remediation Summer. pp: 25-35.

85. SOLTANI M., (2004). Distribution lipidique et voies de décontamination métabolique chez quatre bactéries Gram négatives hydrocarbonoclastes. Variation en fonction de la source de carbone. Thèse de doctorat. Université Paris 6. Paris. 284p.

86. SOLTNER D., (2005). Les bases de la production végétale: tome 1 le sol et son amélioration. Soltner. 472p.

87. SWIFT M.J., HEAL O.W., ANDERSON J.M., (1979). Decomposition in Terrestrial Ecosystems. University of California Press, Berkeley. 266p.

T

88. TANG J., WANG M., WANG F., SUN Q., ZHOU Q., (2011). Eco-toxicity of petroleum hydrocarbon contaminated soil. *Journal of Environmental Sciences (China)*, 23(5). pp: 845-851.

V

89. VAN STRAALLEN N., (2004). The use of soil invertebrates in ecological surveys of contaminated soils. *Developments in Soil Science*, 29. pp: 159–195.

90. VETTER J., (2004). Poison hemlock (*Conium maculatum L.*). *Food and Chemical Toxicology: An International Journal Published for the British Industrial Biological Research Association*, 42(9). pp: 1373-1382.

W

91. WEAVER S.E., LECHOWICZ M.J., (1983). The biology of Canadian weeds. 56. *Xanthium strumarium* L. Canadian Journal of Plant Science, 63(1). pp: 211–225.

Z

92. ZHANG B., DENG H., WANG H., YIN R., HALLETT P.D., GRIFFITHS B.S., DANIELL T.J., (2010). Does microbial habitat or community structure drive the functional stability of microbes to stresses following re-vegetation of a severely degraded soil?. Soil Biology & Biochemistry 42. pp: 850-859.

Annexes

Annexe 01 : Normes d'interprétation

Normes d'interprétation du pH du sol selon le laboratoire agronomique de Normandie

Valeur de pH	Statut Acido-Basique
$\text{pH} \leq 5,5$	Sol très acide
$5,5 < \text{pH} \leq 6,0$	Sol acide
$6,0 < \text{pH} \leq 6,5$	Sol peu acide
$6,5 < \text{pH} \leq 7,0$	Sol neutre
$7,0 < \text{pH} \leq 7,5$	Sol peu alcalin (peu basique)
$\text{pH} > 7,5$	Sol alcalin (basique)

Normes d'interprétation de la conductivité électrique selon Durand (1983)

CE en $\mu\text{S}/\text{cm}$	Qualité des sols
0 à 500	Non salé
500 à 1000	Légèrement salé
1000 à 2000	Salé
2000 à 4000	Très salé
Plus de 4000	Extrêmement salé

Normes d'interprétation du calcaire total du sol « CaCO_3 » selon GEPPA (1981)

Teneur en calcaire total	Qualité du sol
<1%	Non calcaire
1 à 5%	Peu calcaire
5 à 25%	Modérément calcaire
25 à 50%	Fortement calcaire
50 à 80%	Très fortement calcaire
> 80%	Excessivement calcaire

Annexe 02 : Résultats des analyses physico-chimiques**Tableau 1 : Résultats des différentes analyses physico-chimiques des sols des deux sites d'étude Ouadhias et Draa El Mizan.**

Stations	Échantillons	N %	C %	MO %	C/N %	Humidité %	CE dsm/cm	CaCO3 %	pH %
Station 1	E1 T1	0,11	4,27	7,34	41	3,68	0,20	14,66	8,14
	E2 T1	0,18	1,35	2,31	8	4,69	0,12	6,87	8,22
	E3 T1	0,21	1,27	2,18	6	4,59	0,17	3,21	8,10
	E4 T1	0,18	1,11	1,92	6	4,45	0,13	3,21	8,06
Draa El Mizan	E1 T2	0,21	2,42	4,17	12	3,90	0,19	5,50	8,12
	E2 T2	0,05	1,92	3,31	37	3,88	0,16	4,58	8,18
	E3 T2	0,25	1,15	1,98	5	4,02	0,16	2,75	8,07
	E4 T2	0,18	1,65	2,84	9	3,97	0,10	3,66	8,12
Station 2	E1 T1	0,28	4,50	7,74	16	4,03	0,21	2,75	7,90
	E2 T1	0,21	1,85	3,17	9	5,58	0,13	6,87	8,12
	E3 T1	0,25	1,61	2,78	7	5,87	0,16	3,21	7,98
	E4 T1	0,21	1,11	1,92	5	6,89	0,16	1,83	8,10
Ouadhia	E1 T2	0,32	4,73	8,13	15	2,94	0,32	6,87	8,07
	E2 T2	0,18	3,65	6,28	21	3,97	0,19	3,21	8,19
	E3 T2	0,28	3,11	5,36	11	4,63	0,15	2,29	7,96
	E4 T2	0,26	1,42	2,45	5	6,13	0,12	5,50	7,98

Annexe 03 : Résultats des indices écologiques

Tableau 2: Abondance totale (N), Indice de Shannon-Weaver (H') et l'Équitabilité (E) des deux régions d'étude.

Stations	Tr		N			E			H'		
			P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3
S1 : Draa El Mizan	Transect1	E1	0	8	22	0	0,96	0,83	0	1,73	1,16
		E2	11	4	13	0,83	0,88	0,94	1,16	0,61	1,84
		E3	70	39	9	0,76	0,82	0,78	1,91	1,9	1,09
		E4	28	15	19	0,93	0,90	0,66	2,33	1,89	1,2
	Transect 2	E1	5	23	5	0,8	0,73	0,63	1,29	1,61	0,44
		E2	15	6	6	0,86	0,59	0,51	1,8	0,95	0,83
		E3	36	24	19	0,8	0,81	0,59	1,93	1,59	1,16
		E4	58	46	20	0,81	0,67	0,75	2,16	1,73	1,66
S2 : Ouadhia	Transect 1	E1	9	10	24	0,64	0,32	0,38	1,26	0,45	0,75
		E2	56	106	107	0,69	0,75	0,52	1,61	1,73	1,22
		E3	213	129	182	0,69	0,81	0,73	1,79	1,87	1,88
		E4	73	140	193	0,77	0,67	0,71	2,05	1,86	2,03
	Transect 2	E1	19	11	140	0,84	0,94	0,68	1,64	1,84	1,75
		E2	14	33	23	0,82	0,76	0,84	1,33	1,68	1,85
		E3	26	41	44	0,89	0,69	0,6	1,97	1,24	1,32
		E4	48	190	153	0,84	0,73	0,78	1,95	1,98	2,21

Annexe 04 : Numérotation des espèces de la végétation

Numérotation des espèces	Nom des espèces
Sp 1	<i>Avena sterilis</i>
Sp 2	<i>Anagalis arvensis</i>
Sp 3	<i>Inula viscosa</i>
Sp 4	<i>Galactites tomentosa</i>
Sp 5	<i>Oxalis pes-caprea</i>
Sp 6	<i>Fumaria capreolata</i>
Sp 7	<i>Sherardia arvensis</i>
Sp 8	<i>Asphodelus microcarpus</i>
Sp 9	<i>Adonis anua</i>
Sp 10	<i>Sinapsis arvensis</i>
Sp 11	<i>Ranunculus arvensis</i>
Sp 12	<i>Calendula arvensis</i>
Sp 13	<i>Siline fuscata</i>
Sp 14	<i>Narcissus tazetta</i>
Sp 15	<i>Galium aparine</i>
Sp 16	<i>Scandix pecten venaris</i>
Sp 17	<i>Medicago polymorpha</i>
Sp 18	<i>Anethum graveolens</i>
Sp 19	<i>Convulvulus arvensis</i>
Sp 20	<i>Brolens pilosa</i>
Sp 21	<i>Lathyrus ochrus</i>
Sp 22	<i>Sonchus asper</i>
Sp 23	<i>Daucus carotta</i>
Sp 24	<i>Xanthium strumarium</i>
Sp 25	<i>Papaver hybridum</i>
Sp 26	<i>Vicia sicula</i>
Sp 27	<i>Atocion armeria</i>

Résumé

Le présent travail a pour objectifs d'étudier l'effet des hydrocarbures (provenant des stations-service) sur quelques propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol ainsi que l'étude des communautés végétales et animales vivants dans divers milieux le long d'un gradient de pollution, à travers des inventaires. Les échantillons ont été prélevés dans deux stations-service situées dans les régions de « Draa El Mizan » et de « Ouadhia ».

Les résultats obtenus ont montré que les hydrocarbures ont un effet non négligeable sur les propriétés physico-chimiques du sol, les communautés d'invertébrés et les espèces végétales qui ont été aussi influencés par les fortes pollutions, à travers l'abondance, la diversité biologique (H') et l'équitabilité (E).

Les effets des hydrocarbures sur des propriétés physico-chimiques du sol qui se traduisent par la diminution de quelques paramètres dans les points près du rejet tels que le pH et l'humidité et l'augmentation d'autres tels que le calcaire total, la matière organique, le carbone et le rapport C/N. L'inventaire de la faune du sol à proximité des deux stations-service, nous a permis de constater une différenciation des groupes d'invertébrés qui se trouvent dans les zones les plus proches du point de rejet comparativement aux zones les plus éloignées. Ainsi, les Parasitiformes, les Chilopodes et les Diplopodes ont montré une résistance à l'apport des hydrocarbures et ont été retrouvés dans les zones les plus proches du rejet. Nos résultats ont montré que les rejets des stations provoquent une diminution du nombre d'espèces, en s'approchant du point du rejet. Nous avons remarqué une large répartition de certaines espèces végétales par rapport aux autres, comme *Avena sterilis*, *Anagalis arvensis* et *Oxalis pes-caprae* qui sont des espèces résistantes.

Mots clés: pollution, sol, hydrocarbures, propriétés physico-chimiques, faune, végétation, stations-services.

Abstract

The objectives of this work are to study the effect of hydrocarbons (from service stations) on some physical, chemical and biological soil properties as well as the study of plant and animal communities living in various environments along a gradient of pollution, through inventories. Samples were taken from two service stations located in the "Draa El Mizan" and "Ouadhia" regions.

The results obtained showed that hydrocarbons have a significant effect on the physicochemical properties of the soil, the communities of invertebrates and the plant species which were also influenced by heavy pollution, through abundance, biological diversity. (H') and fairness (E).

The effects of hydrocarbons on physicochemical properties of the soil which result in the reduction of some parameters in the points near the discharge such as pH and humidity and the increase of others such as total limestone, matter organic, carbon and C / N ratio. The inventory of soil fauna near the two service stations allowed us to observe a differentiation of the groups of invertebrates found in the areas closest to the discharge point compared to the most distant areas. Thus, Parasitiforms, Chilopods and Diplopods showed resistance to the input of oil and were found in the areas closest to the release. Our results showed that the discharges from the stations cause a decrease in the number of species, approaching the point of discharge. We noticed a wide distribution of some plant species compared to others, like *Avena sterilis*, *Anagalis arvensis* and *Oxalis pes-caprae*.

Keywords: pollution, soil, hydrocarbons, physico-chemical properties, fauna, vegetation, service stations.