

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou

Faculté des sciences Biologique et des sciences Agronomique

Département d'écologie.



Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme de Master en Ecologie et Environnement.

Spécialité : Biodiversité et Environnement.

Thème :

**Evaluation du risque de pollution du sol par les carburants,
le cas des stations-services de : Tizi Ouzou et Freha.**

Présenté par : BELAID Lydia – CHABI Sarah.

Devant le jury :

Présidente : Mme LANDRI G.

M.A.A à l'U.M.M.T.O.

Promotrice : Mme SADOUDI-ALI AHMED D.

Professeur à l'U.M.M.T.O.

Co-promotrice : Mme ALI AHMED S.

M.C.B à l'U.M.M.T.O.

Examinatrice : Mme BACHI K.

M.C.B à l'U.M.M.T.O.

Année universitaire : 2022/2023.

Remerciements

Tout d'abord, nous remercions Allah le Tout Puissant de nous avoir donnés santé, patience et courage pour mener à terme ce modeste travail.

Nous remercions en particulier, notre promotrice SADOUDI-ALI AHMED D. Professeur au département d'écologie à l'UMMTO pour nous avoir proposé cette thématique et nous avoir encadrées durant ce travail ainsi que notre co-promotrice Mme ALI AHMED S. Maitre de conférence au département d'écologie à l'UMMTO. Nous avons appris énormément avec elles et nous avons bénéficiés de leurs précieux conseils, de leurs expériences scientifiques et de leurs remarques très pertinentes.

Nous remercions aussi très sincèrement les membres du jury, la présidente Mme LANDRI G. Maitre assistante au département d'écologie à l'UMMTO pour avoir accepté de présider le jury et l'examinatrice Mme BACHI K. M.C.B à l'UMMTO pour avoir accepté d'évaluer notre travail.

Nous remercions également l'ingénieur du laboratoire « pathologie des écosystèmes » de l'UMMTO Mme ABROUS H. pour son aide et son soutien tout au long de nos expériences.

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

Dédicaces

Je dédie ce travail à mes chers parents, Aucune dédicace ne saurait exprimer mon respect, mon amour éternel et ma considération pour les sacrifices que vous avez consenti pour mon instruction et mon bien être. Je vous remercie pour tout le soutien et l'amour que vous me portez depuis mon enfance et j'espère que votre bénédiction m'accompagne toujours. Que ce travail soit l'exaucement de vos vœux tant formulés, le fruit de vos innombrables sacrifices, bien que je ne vous en quitterai jamais assez.

A ma chère sœur, Ryma.

A mon cher frère, Abdou.

A ma binôme Lydia.

A mes proches et tous les gens qui m'aiment.

Sarah C.

Dédicaces

Du profond de mon cœur je dédie ce travail à mes chers parents, sources de tendresse et bonheur pour leur patience, soutien et amour.

A mes chères sœurs, Lynda et Sabrina.

A mon cher frère, Yanis.

A ma binôme Sarah.

A toute ma famille, proche ou éloignée et à tous ceux qui m'ont soutenu et qui se tenaient à mes côtés.

Lydia B.

Liste des abréviations

- **HC** : Hydrocarbures.
- **HAP** : Hydrocarbures Aromatique Polycycliques.
- **IR** : Indice de Risque.
- **CAT** : Catalase.
- **ESR** : Etude simplifiée de risque.
- **EDR** : Etude simplifiée de risque.
- **TM** : Taux de mortalité.
- **TG** : Taux de germination.
- **PEC** : Predicted Environmental Concentration.
- **PNEC**: Predicted No Effect Concentration.
- **SC** : Sol Contaminé.
- **SS** : Sol de la Station-service.
- **ERA** : Ecological Risk Assessment.

Liste des figures

Figure 1 : Sources potentielles de la pollution du sol dans une station-service	5
Figure 2 : Comportement et devenir des hydrocarbures dans le sol	7
Figure 3 : Image satellitaire de la station-service de Tizi Ouzou	14
Figure 4 : Image satellitaire de la station-service de Freha.....	15
Figure 5 : Schéma de la contamination du sol par les carburants à différentes concentrations.....	17
Figure 6 : Dispositif du test de germination du maïs	22
Figure 7 : Dispositif du test de croissance du maïs	23
Figure 8 : Dispositif de l'essai de toxicité sur les vers de terre.....	23
Figure 9 : Protocole expérimental du dosage de la catalase.....	24
Figure 10 : Taux de germination des grains de maïs dans le sol de la station-service de Tizi Ouzou	27
Figure 11 : Taux de germination des graines de maïs dans le sol de la station-service de Freha.....	28
Figure 12 : Biomasse aérienne des plantes de maïs dans le sol de la station-service de Tizi Ouzou	29
Figure 13 : Biomasse aérienne des plantes de maïs dans le sol de la station-service de Freha.....	30
Figure 14 : Biomasse racinaire des plantes de maïs dans le sol de la station-service de Tizi Ouzou	30
Figure 15 : Biomasse racinaire des plantes de maïs dans le sol de la station-service de Freha.....	31
Figure 16 : Taux de mortalité de vers de terre dans le sol de la station-service de Tizi Ouzou	32
Figure 17 : Taux de mortalité de vers de terre dans le sol de la station-service de Freha	33
Figure 18 : Activité de catalase dans le sol de la station-service de Tizi Ouzou	34
Figure 19 : Activité de catalase dans le sol de la station-service de Freha	34

Liste des tableaux

Tableau 1 : Différentes familles d'hydrocarbures	4
Tableau 2 : Comparaison entre les caractéristiques de l'essence et du gasoil	6
Tableau 3 : Classes de danger en fonction de l'étiquetage, des valeurs limitées d'exposition professionnelles et de la nature des agents chimiques émis lors des divers travaux.....	18
Tableau 4 : Classes de quantité.....	19
Tableau 5 : Classes de fréquence d'utilisation.....	19
Tableau 6 : Classes d'exposition potentielle.....	20
Tableau 7 : Classes de risque potentiel	21
Tableau 8 : Caractérisation des priorités en fonction du score de risque potentiel.....	21
Tableau 9 : Tableau englobant les résultats de l'évaluation simplifiée du risque des deux stations Tizi Ouzou et Freha	26

Sommaire

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

Chapitre I : Synthèse bibliographique

1. Pollution du sol par les hydrocarbures	3
1.1. Généralités sur les hydrocarbures	3
1.2. Classification des hydrocarbures	3
1.3. Sources de pollution dans les stations-service	4
1.4. Carburants	5
1.5. Devenir des hydrocarbures dans le sol	6
1.6. Effets éco-toxicologiques des hydrocarbures.....	7
2. Évaluation du risque écologique des sols pollués aux hydrocarbures.....	9
2.1 Les principes généraux de l'évaluation du risque écologique.....	9

Chapitre II : Matériel et méthodes

1. Présentation des sites d'étude.....	14
2. Matériel	15
3 Méthodes	16
3.1. Méthode d'échantillonnage	16
3.2. Préparation du sol.....	16
3.3. Contamination du sol par les carburants	16
3.4. Evaluations du risque dans les stations-services	17
3.5. Méthodes d'analyse statistique.....	24

Chapitre III : Résultats et discussion

1. Résultats	26
1.1. Etude simplifiée du risque.....	26
1.2. Tests écotoxicologiques et bioessais	27
2. Discussions.....	35
Conclusion générale	37

Références bibliographiques

Liste des annexes

Résumé



Introduction générale

Introduction générale

Depuis le siècle dernier et jusqu'à nos jours, l'importance de l'industrie pétrolière n'a cessé de croître et ceci grâce au rôle stratégique et politique que joue le pétrole sur la scène mondiale (Soltani, 2004). Ce dernier est considéré, non seulement comme la matière première pour l'industrie chimique, mais également comme la source d'énergie la plus demandée.

En Algérie, l'exploitation des gisements de pétrole n'a pas cessé d'augmenter ces dernières années (Sonatrach, 2010) et ils constituent généralement les principaux contaminants à la fois pour les écosystèmes aquatiques que terrestres. La pollution par les hydrocarbures occupe, au sein de la préoccupation environnementale, une place particulière due à leur rémanence et leur toxicité. Cette contamination est susceptible d'une bioaccumulation dans les chaînes alimentaires et de toxicités pour le végétal, l'animal et des risques pour la santé humaine (Soltani, 2004).

Les produits pétroliers, issus notamment des stations-service, sont les principales causes des pollutions constatées suite à la corrosion des cuves de stockage ou des fuites de canalisations entre les citernes et les îlots de pompes (Colin, 2001). D'après la direction de l'environnement de la Wilaya de (Tizi Ouzou, 2014), quatre-vingt-trois stations-service fonctionnelles sont implantées dans la wilaya, sept sont en cours de réalisation et quatorze sont en projet. Malheureusement, la majorité de ces stations sont implantées sur des terres agricoles.

La connaissance des risques environnementaux liés à la production des hydrocarbures est impérative pour faire face aux pollutions engendrées par ces derniers. Parmi les pollutions les plus spectaculaires générés figurent les déversements des fluides pétroliers tels que le pétrole brut, le gasoil, le fuel, l'essence et le kérosène (Lecomte, 1998). Pour se faire, il est nécessaire d'étudier les occurrences précédentes ou potentielles du danger et de déterminer le niveau de vulnérabilité de la zone concernée (Allison, 2012).

L'évaluation du risque est une opération systématique pour décrire et quantifier les risques associés à des produits dangereux, des opérations, des actions ou des événements (Covello et Merkhofer, 1993) et estimer l'importance et la probabilité d'effets négatifs des substances anthropogéniques sur l'environnement (Volmer et al., 1988).

En général, les indicateurs biologiques du sol jouent un rôle important dans l'évaluation et la remédiation des dangers (Dawson et al., 2007). D'après (Maila et Cloete, 2005) les indicateurs les plus utilisés pour les sols contaminés sont : la respiration microbienne exprimée par le dégagement de CO₂ (Bastida et al., 2008), l'activité enzymatique liée elle-même à la

Introduction générale

dégradation de la MO et à l'activité microbienne (Knight et Dick, 2004) et la toxicité pour les vers de terre (Andreoni et al., 2004 ;Alrumman et al., 2015).

L'objectif du présent travail consiste à évaluer le risque présent dans le sol contaminé par les carburants dans deux stations-services par la caractérisation du danger en se basant sur les propriétés de ces substances et sur leur utilisation, dans une démarche d'évaluation simplifiée du risque (ESR). Notre travail vise, aussi, à évaluer l'effet de la contamination du sol par les carburants sur ses propriétés biologiques en évaluant des paramètres faciles à mesurer (toxicité sur les vers de terre, le végétal, la catalase), dans une démarche d'évaluation détaillée du risque (EDR).

Le présent mémoire se subdivise en trois chapitres : le premier est une synthèse bibliographique sur les hydrocarbures, et les méthodes de l'évaluation du risque des sols pollués par les hydrocarbures.

Le second chapitre est consacré à la présentation des deux stations d'étude, des méthodes adoptées et de l'ensemble du matériel utilisé dans ce travail. Le troisième chapitre consiste en la présentation des résultats obtenus concernant l'ESR et l'EDR, ainsi que leur discussion et conclusion générale avec quelques perspectives.



Chapitre I
Synthèse bibliographiques

1. Pollution du sol par les hydrocarbures :

La pollution par les hydrocarbures (pétrole, essence, gasoil, huiles pour les moteurs, etc.) intervient dans 80% des cas de pollution du sol. Elle est majoritairement accidentelle ou d'origine industrielle, due à des rejets volontaires ou non de produits pétroliers. Elle relève à la fois de la pollution chimique et de la pollution organique (Koller, 2004).

1.1. Généralités sur les hydrocarbures :

Les hydrocarbures sont des composés organiques constitués uniquement d'atomes de carbone et d'hydrogène. Ils possèdent une formule brute du type C_nH_m . Ces composés naissent dans des conditions bien particulières. En effet, ils sont formés par la décomposition d'organismes enfouis et accumulés (Mathieu, 2008). Ils présentent une grande importance commerciale. Ils sont utilisés comme carburants, combustibles, huiles lubrifiantes et produits de base en synthèse pétrochimique (Fattal, 2008). De par leur abondance naturelle, ils font partie des produits chimiques les plus importants pour l'humanité et sont notamment utilisés comme source d'énergie primaire (Gaudu, 2014).

1.2. Classification des hydrocarbures :

Selon Colin (2000) et Soltani (2004), les hydrocarbures sont classés en plusieurs familles selon leur structure.

On distingue trois grandes familles présentées dans le tableau 1.

Tableau 1 : Les différentes familles d'hydrocarbures (Colin, 2000)

Famille	Sous famille	Substance (liste non exhaustive)
Les hydrocarbures saturés	Alcanes	Méthane, Ethane, Propane, Butane, Isobutane, Pentanes, Hexanes...
	Cyclanes	Cyclopropane, Cyclobutane, Cyclopentane...
Les hydrocarbures insaturés	Alcènes	Éthylène, Propylène, Butènes, Butadiènes, Isoprène...
	Cyclènes	Cyclopène, Cyclohexène, ...
	Alcynes	Alcynes, Acétylène, Méthylcétylène
Les hydrocarbures Aromatiques	Monocycliques (HAM)	Benzène, Toluène, Ethylbenzène, Xylènes
	Polycycliques (HAP)	Naphtalène, Anthracène, Phénanthrène, Pyrène...

1.3. Sources de pollution du sol par les carburants dans une station-service :

Les stations-service sont une source importante de pollution urbaine. L'exploitation de ce type d'activités représente une source potentielle de nuisances pour l'environnement en général. Mais la contamination des sols par les carburants constitue un des risques majeurs pour l'environnement (Pierdrafit, 2007).

Dans ce cas, l'origine de la pollution provient, soit de déversement d'hydrocarbures lors du remplissage des stockages de la station ou de la distribution des carburants, soit des fuites des cuves enterrées (Patej, 2002).

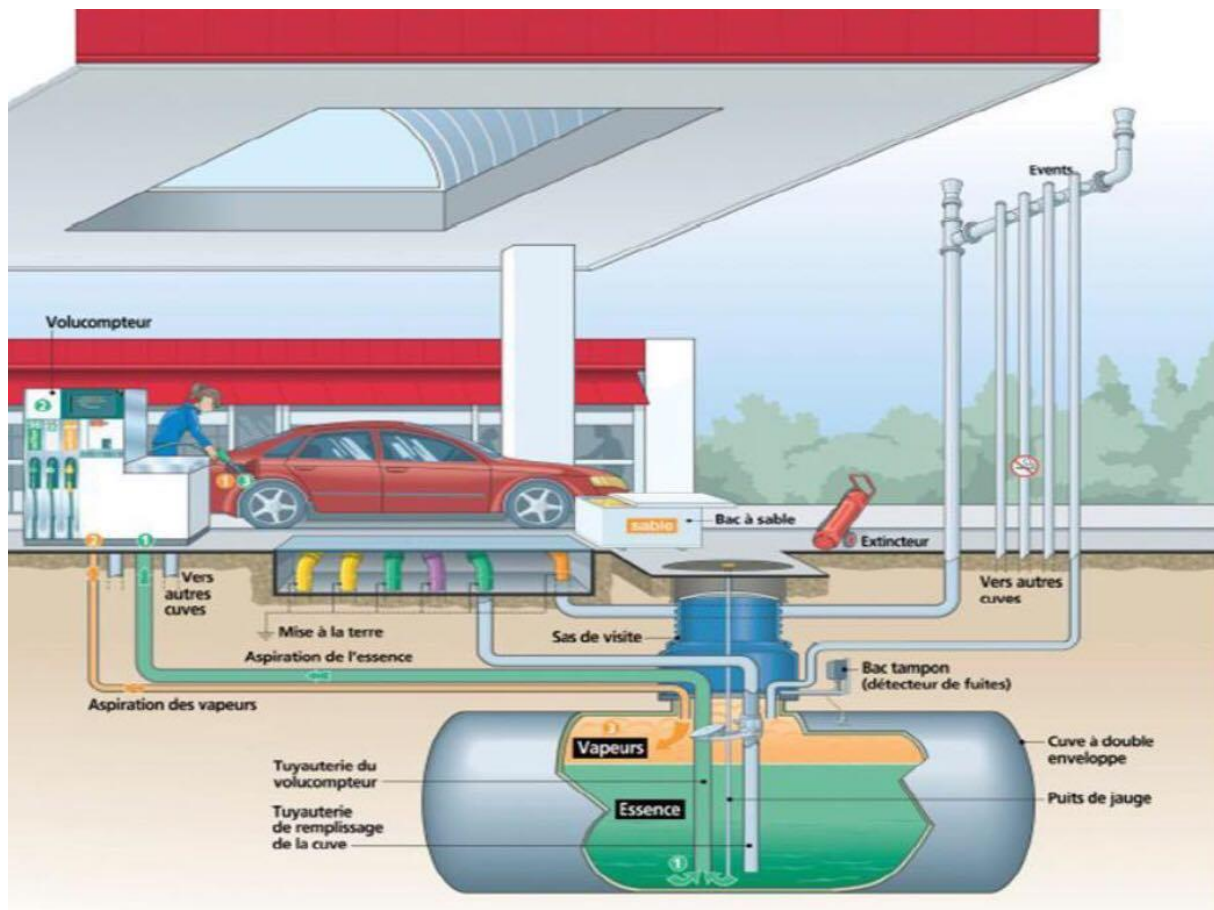


Figure 1 : Sources de la pollution du sol dans une station-service (Piedrafita, 2007)

1.4. Carburants :

Les carburants sont issus du raffinage du pétrole. Ils sont stockés et vendus dans les stations-service. Il s'agit de mélanges d'hydrocarbures pétroliers. (Muck, 2007).

Il existe deux types de carburants majoritairement utilisés dans les véhicules actuels : l'essence et le diesel (gazole), tous deux des produits chimiques dérivés du pétrole.

Une comparaison des principales caractéristiques de ces carburants est présentée dans le tableau 2.

Tableau 2 : Comparaison entre les caractéristiques de l'essence et du gasoil (Saada et al., 2005 ; Ogbo, 2008 et INERIS, 2006)

	Gasoil	Essence
Compositions	Chaînes d'hydrocarbures de 11 à 25 atomes de carbone.	Chaînes d'HC de 4 à 10 atomes.
Distillation	Entre 180 et 380 °C	Entre 30 et 200 °C
Densité	De 0,82 à 0,86	De 0,72 à 0,77
Masse vol. (g/l)	820 - 845	720 - 775
Poids	Plus lourds	Moins lourds

1.5. Devenir des carburants dans le sol :

L'identification des milieux potentiellement affectés par des polluants nécessite une connaissance considérable des informations relatives aux comportements et au devenir des substances dans le sol.

Les différents composants des produits pétroliers ou hydrocarbures, une fois déversés dans le sol, sont soumis à l'action de différents processus chimiques, physiques et biologiques qui affectent leur comportement (Gomez, 2010). Ces processus sont classés en trois catégories :

- Mécanismes avec conservation de masse : volatilisation, adsorption, dissolution, diffusion et dispersion.
- Mécanismes destructifs : dégradation biologique ou chimique.
- Autres mécanismes dits de dilution prennent en compte les actions de divers phénomènes liés au climat, qui entraînent la réduction des concentrations de contaminants, le plus souvent sous l'effet d'infiltration d'eau de pluie (Gomez, 2010).

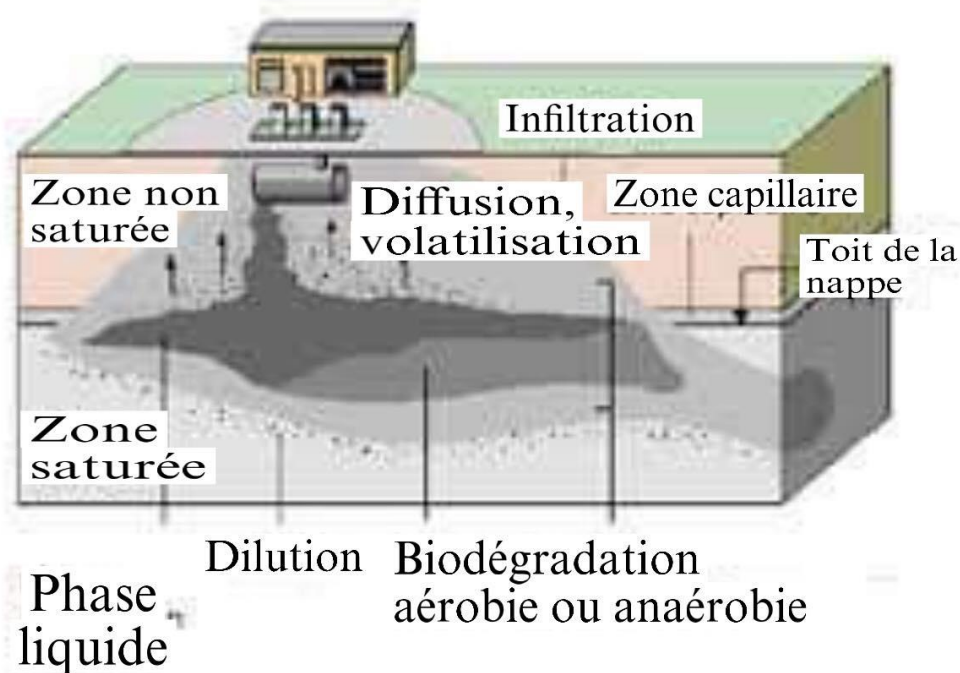


Figure 2 : Comportement et devenir des hydrocarbures dans le sol (Bekins et al.,2001)

1.6. Effets écotoxicologiques des hydrocarbures :

La pollution par les hydrocarbures pose d'importants problèmes dans l'environnement vis-à-vis des microorganismes, des plantes, des animaux et de la santé humaine. En raison de leur caractère liposoluble, ils peuvent s'accumuler dans la faune et la flore et tout au long de la chaîne trophique (Ramade, 2007).

1.6.1. Effets sur le sol :

1.6.1.1. Effets sur les propriétés physiques et chimiques :

Rouquerol et ses collaborateurs (1987) ont avancé que l'imprégnation des sols par les hydrocarbures a un effet sur les propriétés physiques et cette structure assure une bonne circulation de l'air et de l'eau dans le sol, elle accroît son pouvoir de rétention ; les sols pollués aux hydrocarbures ont 2% d'humidité de plus que les sols non pollués. Quant aux effets sur les propriétés chimiques, Nous avons une augmentation de la concentration des éléments tels que Mn, Zn et Fe a été rapporté ainsi qu'une augmentation de la conductivité électrique (Sauchalli, 1969 in Fezani et Khider, 2007) et une diminution du pH et de la teneur en quelques sels minéraux (potassium, calcium et phosphore) du sol contaminé par les hydrocarbures (Chaineau et al., 1996)

1.6.1.2. Effets sur les propriétés biologiques :

L'apport des hydrocarbures dans le sol accroît de façon considérable l'activité microbienne. La modification de la microflore apparaît au bout du 54^{ème} jour après le déversement des hydrocarbures (Oudot, 1975). Rouquerol et ses collaborateurs (1987) ont également avancé que l'imprégnation des sols en hydrocarbures a pour effet global une multiplication intense de la microflore en particulier les champignons, les bactéries et les levures. Les effets des hydrocarbures sur l'activité biologique du sol dépendent de leur nature, de leur concentration dans le sol et d'autres facteurs liés au milieu (Duchaufour, 2001).

1.6.2. Effets sur le végétal :

Les effets toxiques des hydrocarbures sur les végétaux sont très divers selon la famille et la concentration. L'effet phytotoxique des hydrocarbures a été observé à travers la diminution du taux de germination et du rendement, ainsi que les retards de croissance (Chaineau et al., 1996 ; Henner et al., 1999)

1.6.3. Effets sur la faune :

Les sols contaminés par les HC présentent un danger lors du contact direct avec l'animal ou lors de leur transfert dans la chaîne alimentaire qui est un phénomène de bioaccumulation avec le piégeage par les végétaux et les animaux des polluants ou de leurs produits de dégradation jusqu'à des teneurs atteignant les seuils de toxicité (Zhang et al., 2010). Les effets écotoxiques de la pollution par les carburants se traduisent par des altérations biologiques tant aux niveaux moléculaires que populationnels. L'augmentation de l'activité des microbes anaérobies suite à un déversement des hydrocarbures (gasoil) augmente le stress pour les organismes vivants et les animaux du sol tels que les vers de terre (Andreoni et al., 2004 ; Alrumman et al., 2015).

1.6.4. Effets sur l'Homme :

Les hydrocarbures sont susceptibles d'induire l'apparition de cancers chez les organismes qui leurs sont exposés par inhalation, ingestion, ou par contact. Les principaux hydrocarbures sont représentés par les HAP, ils constituent une classe de polluants dangereux car beaucoup d'entre eux sont de puissants cancérogènes. Ces derniers, une fois absorbés (ou ingérés) par les organismes vivants passent dans les réseaux trophiques, où ils présentent divers processus de bioaccumulation voire de bioamplification. La présence des substituants alkyles sur leurs

molécules augmente leur cancérogénicité et leur halogénéation accroît leur toxicité aigüe pour les espèces animales (Ramade, 1992).

2. Evaluation du risque des sols pollués aux hydrocarbures :

L'évaluation des risques écologiques ou écotoxicologiques est utilisée systématiquement pour évaluer et organiser des données, des informations et des incertitudes qui permettent de comprendre et de prévoir les rapports entre les stressés et les effets écologiques de manière à faciliter la prise de décision environnementale (Lefranc, 2016).

Il ressort que l'évaluation des risques est fondée sur la distinction fondamentale entre le danger et le risque.

- **Le danger :**

Le cas de produits chimiques, le danger est lié à l'existence de substances dangereuses, c'est à dire qui ont la potentialité d'exercer des effets négatifs sur le milieu et les espèces vivantes, si elles entrent en contact avec eux (Rivière, 1998).

- **Le risque :**

C'est la probabilité d'apparition des faits toxiques après exposition des organismes à un objet dangereux. Entre parenthèses, (Rivières, 1998).

Dans l'étude du risque, une importante distinction est établie entre polluants et toxiques :

Le toxique est défini par Ramade (1993) comme étant une substance pouvant être absorbée et qui provoque une intoxication des organismes affectés pouvant entraîner la mort. Et le polluant est défini par Moriarty, (1988) in Rivière, (1998) Comme étant une substance qui se trouve dans l'environnement, au moins en partie comme le résultat des activités humaines et qui a un effet nocif sur les organismes vivants.

2.1. Les principes généraux de l'évaluation du risque écologique :

La méthode la plus connue et la plus utilisée est celle de l'US et EPA (United State Environmental Protection Agency), qui a publié en 1998, Un guide méthodologique intitulé « Guideline for Ecological Risk Assessment (ERA) ».

L'évaluation du risque comporte trois étapes :

La formulation du problème, l'analyse (Caractérisation de l'exposition et caractérisation des effets), et la caractérisation du risque elle-même (Boillot, 2008).

2.1.1. La formulation du problème :

C'est la phase initiale, qui permet, après diverses recherches et investigations (données disponibles, données à collecter, choix de traceurs de risques, analyses à réaliser, références pour l'interprétation des résultats...), de fixer une feuille de route des actions à mener pour réaliser les 4 étapes de l'ERE (US EPA, 1998 in Perrodin et al., 2011).

2.1.1.1. Evaluation simplifiée du risque :

La procédure d'évaluation simplifiée des risques est fondée sur la méthode des scores. Un site est caractérisé par un certain nombre de facteurs et de paramètres. Chaque facteur ou paramètre est évalué ou noté. Les notes attribuées aux différents facteurs ou paramètres sont ensuite combinées afin de fournir des notes de synthèse finale. Il est cependant important de signaler que ces notes ne sont pas l'expression de la caractérisation précise de l'impact et de l'évaluation absolue des risques.

On procède à l'évaluation simplifiée du risque sur la base des informations recueillies précédemment. la finalité de l'évaluation simplifiée des risques est le classement des sites en trois catégories en fonction des suites à envisager :

- **Classe 3 :** Les sites « banalisés » : les éléments de décision tirent de l'évaluation simplifiée des risques conduisent, sur la base des données disponibles pour un site et de l'état des connaissances scientifiques et techniques au moment de la réalisation de cette évaluation, à considérer que le site peut être rendu à un usage donné, sans investigations complémentaires ni travaux particuliers.
- **Classe 2 :** Les sites à « surveiller » : les sites pour lesquels un doute subsiste, ces sites nécessiteront la définition et la mise en place d'un dispositif de surveillance (piézomètres, campagne régulière d'analyses...) et, éventuellement, des dispositions de maîtrise d'urbanisme.
- **Classe 1 :** Les sites nécessitant un « diagnostic approfondi et une évaluation détaillée des risques » : ces sites font l'objet des investigations et études approfondis (Baroudi, 1997).

2.1.2. L'analyse :

La phase d'analyse comprend deux opérations parallèles, la caractérisation de l'exposition et la caractérisation des effets écologiques. Ces deux phases sont en constante interaction parce que l'évaluateur se trouve confronté à un ensemble de données hétéroclites, cémentes manquantes, d'autres peu fiables ; un certain degré d'expertise est nécessaire (Rivière, 1998).

Les différents outils d'évaluation découlent de la phase initiale (formulation du problème) que l'on peut mettre en œuvre peuvent être classés en deux grandes catégories (Babut et Perrodin, 2001 ; Bermond, 2002) :

- **Les modèles expérimentaux** : ces modèles visent à reproduire au mieux les conditions du terrain et à observer les conséquences de l'introduction d'une pollution sur les écosystèmes.

Pour la durée testée, ils offrent l'avantage du réalisme de l'observation effectuée mais présentent également certains inconvénients, relatés par différents auteurs : leur coût, le délai des études effectuées, les difficultés rencontrées pour contrôler l'ensemble des paramètres des dispositifs expérimentaux complexes mis en œuvre, ...

- **Les modèles mathématiques** : dont **les modèles statistiques** qui nécessitent de nombreuses données ; de ce fait ils ne sont pas aisément utilisables dans les démarches opérationnelles ; et **les modèles déterministes** qui sont élaborés après une analyse fine des phénomènes physiques, chimiques et biologiques qui peuvent intervenir lors de l'exposition, dans les conditions du scénario, des écosystèmes cibles aux matériaux pollués étudiés.

2.1.2.1. Caractérisation de l'exposition :

La caractérisation de l'exposition consiste à déterminer les probabilités de contact spatio-temporel entre les stressors (le facteur causal) et les « cibles » (récepteurs) (US EPA, 1998). Elle passe donc par l'analyse des sources, des transferts depuis ces sources, et de la distribution des stressors dans l'environnement. L'exposition dépend à la fois des concentrations des stressors dans les milieux et des caractéristiques et comportements des organismes cibles. Cette analyse peut être réalisée à l'aide de calculs théoriques ainsi que sur la base de résultats expérimentaux (Babut et Perrodin, 2001).

Cette phase aboutit à la détermination d'une (de plusieurs ou d'un ensemble de) valeurs(s) de caractérisation de l'exposition. Cette valeur correspond à la concentration du (des) stresser(s) à laquelle les cibles sont exposés par voie de contact par ingestion (Suter II, 2006). Dans le cas d'une approche « substances », on parle de la PEC (Predicted Environmental Concentration), alors que dans le cas d'une approche « matrice », on parle du pourcentage de la matrice dans le milieu (Donguy et Perrodin, 2007). Il s'agit dans les deux cas de la concentration que l'on s'attend à trouver dans le milieu suite aux différents apports. Cette détermination peut s'avérer complexe car il faut tenir compte de nombreux facteurs pouvant intervenir dans les voies de transfert : dilution, évaporation, biodégradation, bioaccumulation, caractéristiques de l'écosystème, etc. L'exposition peut également être directe ou indirecte, à long ou à court terme, aiguë ou chronique (Rivière, 1998 ; Record, 2006 ; Donguy et Perrodin, 2006 in Boillot, 2008).

2.1.2.2. Caractérisation des effets :

Il s'agit de définir dans quelle mesure les organismes de l'écosystème cible sont significativement sensibles aux stresser(s) auxquels ils sont exposés. Ce qui se traduit par l'expression de la ou des PNEC : Predicted No Effect Concentration (Donguy et Perrodin, 2015).

Cette étape se base principalement sur des approches biologiques qui incluent des bioessais et bioindicateurs. Elle aboutit à l'acquisition de différentes valeurs d'effets écotoxicologiques (NOE, CE20., CE50...) permettant de calculer la valeur d'absence d'effet significatif vis-à-vis de l'écosystème cible que l'on nomme parfois CSE (Concentration sans effet) (Boillot, 2008).

Cette étape de caractérisation des effets peut être réalisée sur site ou en laboratoire. On peut également la conduire sur la base de deux types d'approches : Les approches dites « **substances** » et les approches dénommées « **approche matrice** » ou « **approche bioessais** ». Les approches « **substances** » elles sont basées principalement sur l'utilisation de bases de données internationales. En ce qui concerne les approches « **matrices** » ou « **bioessais** », elles peuvent être réalisées au moyen d'essais mono-spécifiques ou pluri-spécifiques.

2.1.3. Caractérisation du risque :

Elle consiste à mettre en perspective l'exposition des organismes aux polluants et les effets potentiels induits par ces polluants sur ces mêmes organismes, afin de définir s'il y a

risque ou non pour l'écosystème cible. Plusieurs approches plus ou moins complexes sont possibles (Babut et al., 2002 in Donguy et Chenon, 2017).

La méthode dite « du quotient » est la plus répandue sur le plan international. Cette méthode consiste à calculer plusieurs quotients tels que le ratio PEC/PNEC.

- **PEC** : Predicted Environmental Concentration, obtenue par des modèles d'exposition.
- **PNEC** : Predicted No Effect Concentration, basées sur les données écotoxicologiques.

L'interprétation de ce quotient est laissée à la disposition de l'évaluation, selon les informations dont il dispose, mais dont son approche la plus simple, elle est la suivante :

Quand ce quotient « R » est :

- < 1 : on considère que le milieu récepteur n'est pas directement menacé par la substance.
- > 1 : il existe un risque potentiel pour le milieu récepteur du rejet de la substance.

Cette méthode est très commode pour une approche règlementaire et opérationnelle, bien que relativement simpliste (Donguy et Chenon, 2017).

Enfin, l'ensemble de ces informations est communiqué au gestionnaire du risque qui prendra sa décision, généralement après une analyse « risque/ bénéfice » (Rivière, 1998).



Chapitre II
Matériel et méthodes

1. Présentation des sites d'étude :

1.1. Station-service Tizi Ouzou :

La station-service Tizi Ouzou se situe à $36,71068^\circ$ de latitude et $4,07353^\circ$ de longitude, à 9,3 Km à l'Est de la ville, en Algérie. Sur la route nationale n°12, reliant Alger à Tizi-Ouzou (figure 3).



Figure 3 : Image satellitaire de la station-service Tizi Ouzou (Mapcarta, 2023)

1.2. Station-service de Freha :

La station-service est située à Tizi Ouzou. A $36,7358519^\circ$ de latitude et $4,3072941^\circ$ de longitude (figure 4).



Figure 4 : Image satellitaire de la station-service à Freha (VYMaps, 2023)

2. Matériel :

2.1. Le sol :

Le sol utilisé pour notre étude expérimentale provient des stations-services Tizi Ouzouet de Freha.

On a prélevé quatre échantillons de sol : un sol contaminé par les carburants et un autre sol non contaminé par ces derniers, pour chaque station-service, prélevé loin de la source de pollution. Le sol non contaminé a été prélevé à l'extérieur à environ 200 mètres de chaque station-service, où il y a présence de la végétation.

2.2. Le maïs (*Zea mays*) :

Afin d'évaluer la toxicité des hydrocarbures contenus dans le sol sur le végétal, le taux de germination des graines de maïs, la croissance de la plante ainsi que la biomasse aérienne et racinaire ont été étudiés.

Le maïs a pour nom scientifique *Zea mays* L. c'est une plante tropicale herbacée annuelle de la famille des Graminées (Poacées). Il appartient à la classe des Monocotylédones. Cette plante a été choisie en raison de sa bonne capacité de germination et c'est l'une des espèces les plus sensibles à la pollution par les hydrocarbures (Chaîneau et al., 1997).

- La variété du maïs utilisé c'est le « Jaune de Bade ».

2.3. Les vers de terre :

Dans le but de l'évaluation de l'effet des hydrocarbures sur la macrofaune du sol, certaines espèces sont utilisées dans des tests d'écotoxicité. Le model biologique utilisé sont les vers de terre pour étudier leur survie après 14 jours d'exposition.

Les vers de terre utilisés dans notre expérimentation sont les vers de terre de l'espèce *Eisenia foetida*.

2.4. Les carburants :

Les carburants utilisés pour la contamination artificielle du sol sont : l'essence sans plomb et le gasoil (diesel) qui sont fournis par les deux stations-services qui font l'objet de l'évaluation du risque.

3. Méthodes :

3.1. Méthode d'échantillonnage :

Deux échantillons différents de sol à 10 cm de profondeur dans chaque station, une quantité d'environ 10 kg de sol a été récolté dans chaque site.

Le premier échantillon est un sol pollué par les carburants, prélevé à l'intérieur de chaque station-service.

Le deuxième est un sol témoin prélevé à l'extérieur à environ 200 mètres de station-service.

Les échantillons ont été transportés au laboratoire dans des sacs en plastiques étiquetés.

3.2. Préparation du sol :

Après échantillonnage sur le terrain, les sols ont été tamisés à travers un tamis à mailles de 5 mm de diamètre pour les homogénéiser.

Le sol non contaminé de chaque station-service est divisé en 4 lots, le premier a été contaminé par un mélange des deux carburants commercialisés dans cette station (essence sans plomb et gasoil) à 1%, le deuxième à 3%, le troisième à 5% et le quatrième lot n'a pas été contaminé 0% et sert de témoin.

3.3. Contamination du sol par les carburants :

Pour contaminer 100 g de sol de chaque station-service, il nous faut 1 g de carburants (essence sans plomb + gasoil) ; ce qui correspond à la contamination à 1%.

La concentration des carburants est multipliée par 3 puis 5 pour obtenir des taux de polluants respectifs de 3 et 5% indiquée dans la figure 5.

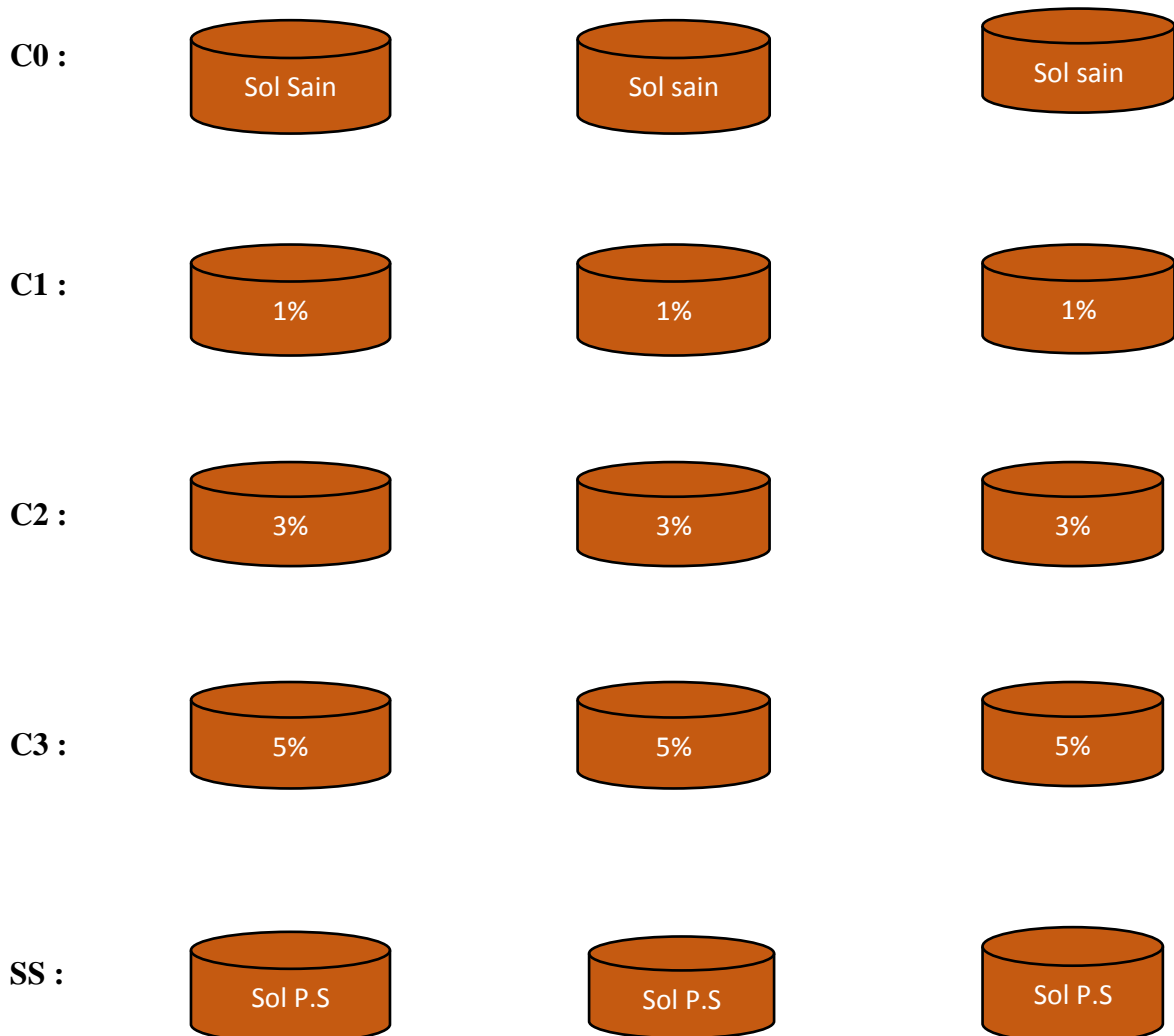


Figure 5 : Schéma de la contamination du sol par les carburants à différentes concentrations.

Les sols ainsi contaminés ont été conservés à 4 °C dans des sacs à zip étiquetés.

3.4. Evaluation du risque dans les stations-services :

3.4.1. Evaluation simplifiée du risque écologique (ESR) :




Le protocole de l'évaluation simplifiée du risque a été inspiré de la méthodologie d'évaluation simplifiée du risque chimique élaborée par l'INERIS (2005). Le but de l'ESR est de fournir les éléments nécessaires pour classer les sites, à partir des éléments fournis par l'étude des sols, selon les actions à envisager.

Elle se base sur les scores de danger, de quantité, de fréquence d'utilisation et d'exposition potentielle pour calculer le score du risque.

3.4.1.1. Classes de danger :

La classe de danger est déterminée en priorité à partir des informations mentionnées dans la fiche de données de sécurité (FDS), ou à défaut sur l'étiquetage. Les classes de danger sont situées dans le tableau suivant :

Tableau 3 : Classes de danger en fonction de l'étiquetage, des valeurs limités d'exposition professionnelles et de la nature des agents chimiques émis lors des divers travaux (l'INERIS ,2005).

Classe de danger	Phrases de risque et combinaisons de phrases	Pictogramme	Valeur de la VLEP	Nature de l'agent chimique *
1	Aucune	Aucun	>100 mg/m ³	
2	R36, R37, R38, R36/37, R36/38, R36/37/38, R37/38 R66	 Xi - irritant	>10-100< mg/m ³	Fer / Céréales et dérivés / Graphite / Matériaux de construction / Talc / Ciment / Matériaux composites / Combustion bois traités / Soudure métaux-plastiques / Vulcanisation / Matières végétales-animales / ...
3	R20, R21, R22 R20/21, R20/22, R20/21/22, R21/22 R33, R34, R40, R42, R43, R42/43 R68/20, R68/21, R68/22, R68/20/21, R68/20/22, R68/21/22, R68/20/21/22 R48/20, R48/21, R48/22, R48/20/21, R48/20/22, R48/21/22, R48/20/21/22 R62, R63, R64, R65, R67, R68 R15/29	 Xn - nocif	>1-10< mg/m ³	Soudure inox / fibres céramiques-végétales / peintures au plomb / meules / sables / huiles d'usinage de coupe / ...
4	R23, R24, R25, R29, R31 R23/24, R23/25, R23/24/25, R24/25 R35, R39/23, R39/24, R39/25, R39/23/24, R39/23/25, R39/24/25, R39/23/24/25 R41, R45, R46, R48, R49,	 T - toxique	>0,1-1< mg/m ³	Bois et dérivés / Plomb métallique/ Amiante et matériaux en contenant / Fonderie et affinage du plomb / Goudrons et brais / Mercure / Essence (carburant) / ...

3.4.1.2. Classes de quantité :

La détermination des classes de quantité (tableau 7) s'effectue sur la base des référentiels temporels utilisés, en prenant la quantité consommée (Qi) du carburant considéré rapportée à la quantité de carburant le plus consommé (Q Max).

Les classes sont calculées comme suit : $CQ = Qi / Q \text{ Max} * 100$.

Tableau 4 : Classes de quantité (INERIS, 2005).

Classe de quantité	Qi / Q max
1	< 1 %
2	Entre 1 % et 5 %
3	Entre 5 % et 12 %
4	Entre 12 % et 33 %
5	Entre 33 % et 100 %

3.4.1.3. Classe de fréquence d'utilisation :

C'est la détermination référentielle temporelle de consommation approprié quotidienne, hebdomadaire, annuelle. Les classes sont déterminées comme indiqué dans le tableau 5.

Tableau 5 : Classes de fréquence d'utilisation (INERIS, 2005).

Utilisation	Occasionnelle	Intermittente	Fréquente	Permanente
Jour	< 30 minutes	30 – 120 min	2 – 6 heures	> 6 heures
Semaine	< 2 heures	2 – 8 heures	1 – 3 jours	> 3 jours
Mois	< 1 jour	1 – 6 jours	6 – 15 jours	> 15 jours
Année	< 5 jours	15 jrs – 2 mois	2 – 5 mois	> 5 mois
Classe	1	2	3	4

0 : L'agent chimique n'a pas été utilisé depuis au moins un an, l'agent chimique n'est plus utilisé.

3.4.1.4. Classes d'exposition potentielle :

Elle résulte de la combinaison des classes de quantité et des classes de fréquence d'utilisation. Plus la quantité et la fréquence d'utilisation sont élevées, plus la probabilité d'exposition potentielle est importante. Les classes d'exposition potentielle sont déterminées comme indiqué dans le tableau 6.

Tableau 6 : Classes d'exposition potentielle (INERIS, 2005).

Classe de quantité						
5	0	4	5	5	5	
4	0	3	4	4	5	
3	0	3	3	3	4	
2	0	2	2	2	2	
1	0	1	1	1	1	
	0	1	2	3	4	Classe de fréquence

3.4.1.5. Score du risque potentiel :

Il traduit la probabilité d'observer un risque, compte tenu des conditions générales d'utilisation (quantité, fréquence d'exposition) d'un agent chimique. La détermination du risque potentiel (tableau 7) résulte de la combinaison des classes de danger et des classes d'exposition potentielle.

Le calcul de risque se fait avec la formule suivante :

$$R = 3^{E-1} \times 10^{D-1}$$

E : L'exposition.

D : Classe de danger.

Tableau 7 : Classes de risque potentiel (score HRP) (INERIS, 2005).

Classe d'exposition potentielle						
5	100	1000	10000	100000	1000000	
4	30	300	3000	30000	300000	
3	10	100	1000	10000	100000	
2	3	30	300	3000	30000	
1	1	10	100	1000	10000	
	1	2	3	4	5	Classe de danger

3.4.1.6. Priorités de risque potentiel en fonction du score :

Le score du risque potentiel donné par le (tableau 7) permet de situer le niveau de gravité du risque obtenu (tableau 8).

Tableau 8 : Caractérisation des priorités en fonction du score de risque potentiel (INERIS, 2005).

Score HRP / produit	Priorité
≥ 10000	Forte
100 - 10000	Moyenne
< 100	Faible

3.5. Evaluation détaillée du risque écologique du site pollué aux carburants (EDR) :

L'évaluation détaillée des risques liés aux sites pollués par les hydrocarbures est une vérification en vue d'apprécier un impact éventuel sur l'environnement, pour apporter un critère important à la nécessité de mesure de réhabilitation voire de dépollution.

Elle vient compléter le résultat de l'ESR se fait par le biais de tests de toxicité.

3.4.2. Tests toxicologiques et bioessais sur le maïs (*Zea mays*) :

3.4.2.1. Test de germination :

Les sols précédemment préparé (C0, C1, C2, C3 et sol pollué du site) ont été utilisés pour déterminer le taux de germination des graines de maïs. Pour ce faire, 10 graines de maïs ont été mises dans des boites de pétri qui contiennent 100 g de sol chacune. Trois répétitions ont été réalisé soit 15 boites pour chaque station. Les boites sont laissées pendant 2 semaines à température ambiante avec un arrosage régulier (figure 6).

Les graines germées sont dénombrées afin de calculer le taux de germination (TG) selon la formule :

$$\text{TG (\%)} = (\text{nombre de graines germées} / \text{nombre des graines semées}) \times 100$$



Figure 6 : Dispositif du test de germination de maïs.

3.4.2.2. Test de croissance :

3.4.2.2.1. Biomasse aérienne et Biomasse racinaire :

Les mêmes sols (C0, C1, C2, C3 et sol pollué du site) ont été utilisés pour semer 3 graines de maïs dans des pots en plastique qui contiennent 200 g de sol chacune. Trois répétitions ont été réalisé soit 15 pots par station, ce qui fait un total de 30 pots. Ces derniers sont laissés pendant 4 semaines à température ambiante avec un arrosage régulier.

Après 4 semaines de croissance, la partie aérienne a été séparé de la partie racinaire de chaque plantule qui ont été bien nettoyées les 2 séchées à l'air libre puis pesés séparément à l'aide d'une balance de précision.



Figure 7 : Dispositif du test de croissance du maïs.

3.4.3. Test de toxicité sur les vers de terre :

Dans ce test, nous avons utilisé des pots en plastique munis de couvercles perforés, dans lesquelles nous avons mis 100 g de chaque sol, en raison de trois répétitions pour chaque concentration. Nous avons ensuite introduit dans chaque boîte 3 individus de vers de terre de l'espèce *E. foetida* (figure 8).

Après 14 jours d'exposition, nous avons dénombré de vers de terre morts.

Le taux de mortalité (TM) a été calculé par la formule :

$$\text{TM (\%)} = (\text{nombre de vers de terre morts} / \text{nombre total de verre de terre}) \times 100$$



Figure 8 : Dispositif de l'essai de toxicité sur les vers de terre.

3.4.4. Activité de la catalase (CAT) :

La catalase est une enzyme qui catalyse la réaction de dégradation du peroxyde d'hydrogène en eau et en oxygène et est présente chez tous les organismes aérobies (Pichaud, 2005).

Après avoir pesé une quantité de 5 g de sol qui ont été mises dans des flacons, nous avons ajouté à chaque échantillon 2,5 ml de H_2O_2 à 0,3% et 20 ml de tampon de phosphate à pH 7.

Les mélanges réactionnels ont été placés dans un incubateur à 25 °C pour une durée de 20 mn. Nous avons ajouté 1,5 ml de 3,0 mol/L d' H_2SO_4 d'arrêter la réaction. Le mélange a ensuite été centrifugé à 4500 trs / mn pendant 10 min.

Le surnageant a été titré par une solution de $KMnO_4$ à 0,02 mol/L jusqu'à le virement à la couleur rose (figure 9).

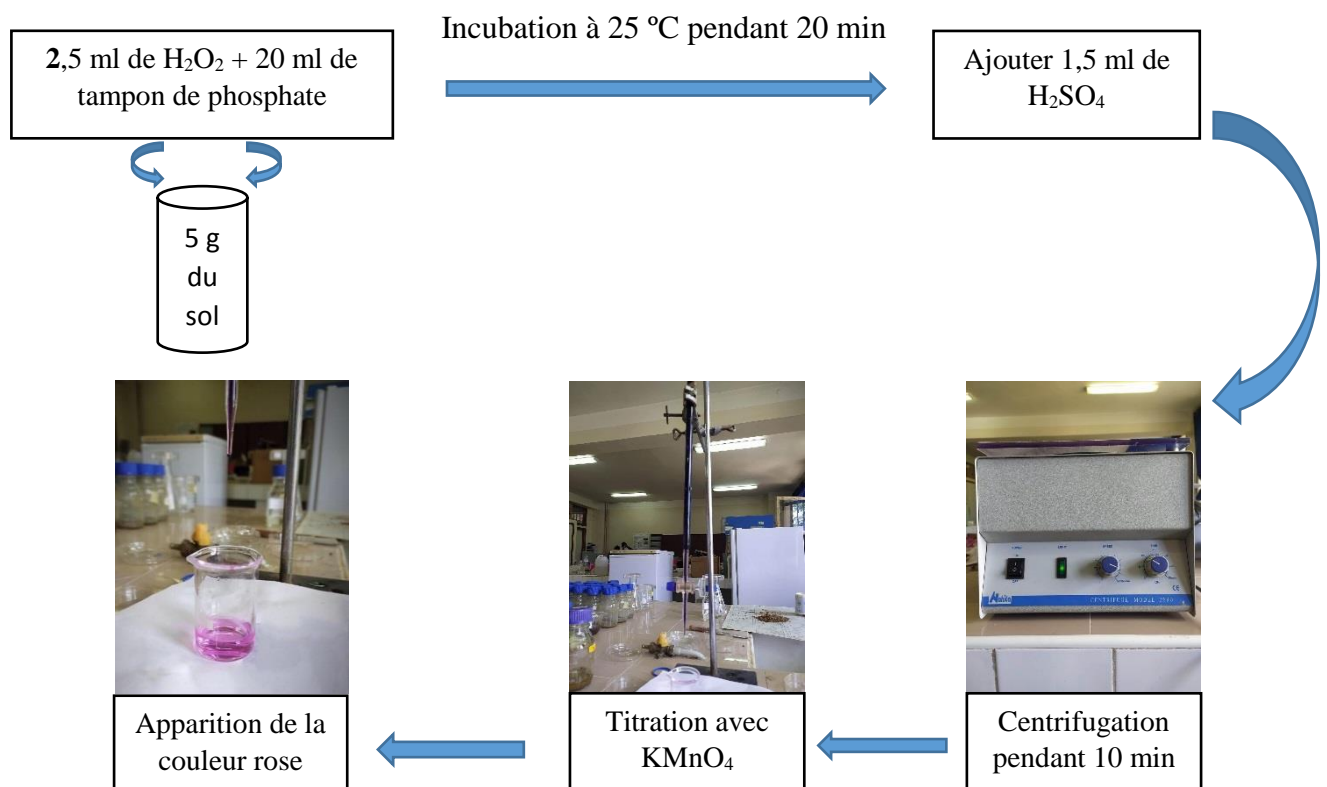
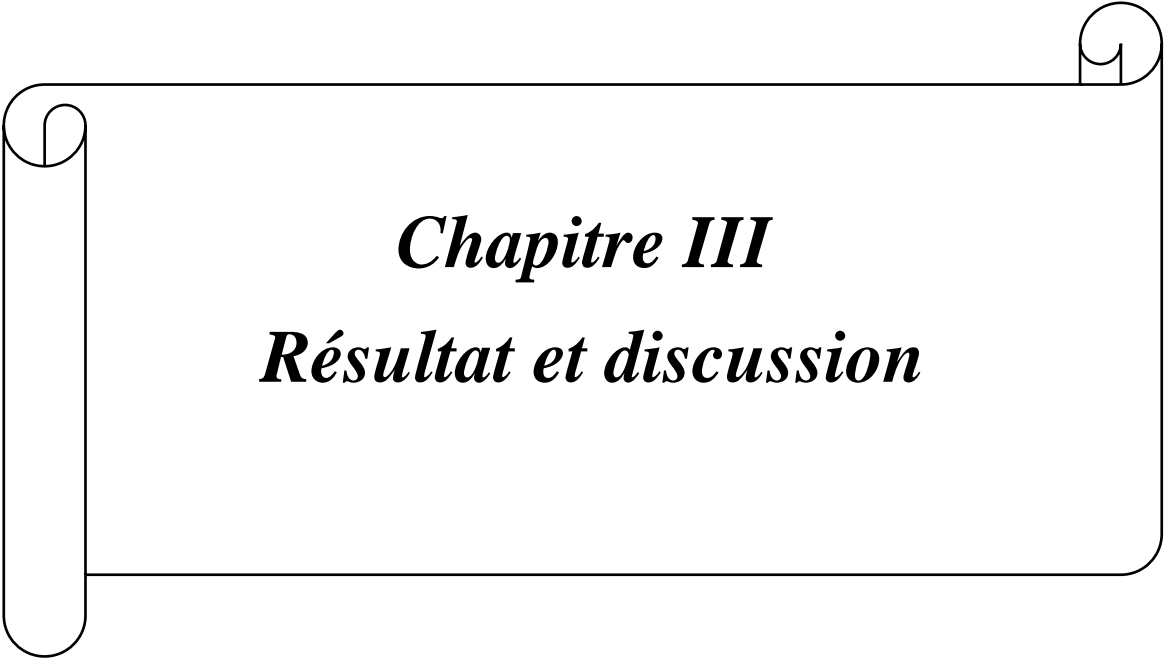


Figure 9 : Protocole expérimental du dosage de la catalase.

3.5. Méthodes d'analyse statistique :

Le traitement des résultats obtenus a été réalisé avec le logiciel R.4.3.1. Différents tests ont été réalisés pour faire apparaître les différences significatives ($p < 0.05$) à travers les différents niveaux de contamination de sol.

Les résultats de l'effet des différentes concentrations de carburant sur les végétaux, les vers de terre et l'activité microbienne ont été soumis au test d'Anova après que la normalité et l'égalité des variances soient vérifiées par les tests de Shapiro-Wilk et Levene respectivement. Dans le cas où la normalité ou l'égalité des variances ne sont pas vérifiées, les résultats sont soumis au test de Kruskal Wallis. Un test post-hoc a été mené dans le cas où les différences observées sont significatives pour l'obtention de groupes homogènes.



Chapitre III
Résultat et discussion

1. Résultats :

L'objectif de notre travail est d'évaluer le risque écologique dans deux stations-services en utilisant des tests écotoxicologiques et des bioessais.

1.1. Evaluation simplifiée du risque (ESR) :

Une étude simplifiée du risque a été effectuée avec les données collectées au niveau des deux stations-services (Tizi Ouzouet Freha) concernant la quantité et la fréquence des différents hydrocarbures desservis. Ces données sont mentionnées dans l'annexe XII.

Les résultats de cette étude sont résumés dans le tableau 12 suivant :

Tableau 9 : Tableau englobant les résultats de l'évaluation simplifiée du risque des deux stations Tizi Ouzouet Freha.

Stations-services Classes	Chabane	Freha
Classe de danger	4	4
Classe de quantité	5	5
Fréquence d'utilisation	4	4
Classe d'exposition	5	5
Risque « R »	81000	81000
Risque	100000	100000
Priorités	Forte	Forte

D'après les résultats du tableau 12, la classe de danger concernant les carburants desservis dans les stations-services est de classe 4. Il s'agit donc de la catégorie des produits très toxiques.

La classe de quantités des deux stations est calculée selon la formule suivante selon (INERIS, 200)

$$Q_i/Q_{\max} \times 100$$

- **Station Tizi Ouzou :**

Gasoil : $20000/26000 = 76 \%$

Essence sans plomb : $3400/6000 = 56 \%$

- **Station Freha :**

Gasoil : $16000/18000 = 88 \%$

Essence sans plomb : $2500/5500 = 45 \%$

D'après ces résultats, le Q_i/Q_{max} des deux stations se situe entre 33 et 100 %, ce qui correspond à la classe de quantité 5.

La fréquence d'utilisation est permanente, étant donné que ces stations fonctionnent plus de 6 h par jour, plus de 3 jours par semaine, plus de 15 jours par mois et durant les 12 mois de l'année. Ce qui correspond à la classe 4.

La combinaison de la classe de quantité et la fréquence d'utilisation, place les deux stations dans la classe d'exposition potentielle 5.

Le risque des deux stations est très élevé (100000) les situant ainsi dans la zone rouge (> 10000) qui est une zone à fort risque. La priorité de ces deux stations est forte. De ce fait, des investigations et des analyses plus poussées doivent être effectuées afin de confirmer ce résultat.

1.2. Les tests écotoxicologiques et bioessais :

1.2.1. Test de germination :

a. Station Tizi Ouzou :

Le pourcentage des graines germées dans le sol de la station-service Tizi Ouzou est illustré dans la figure 10. Le taux de germination enregistré dans les concentrations C0 est de 93%, C1=70%, C2=76%, C3=46% et SS=90%.

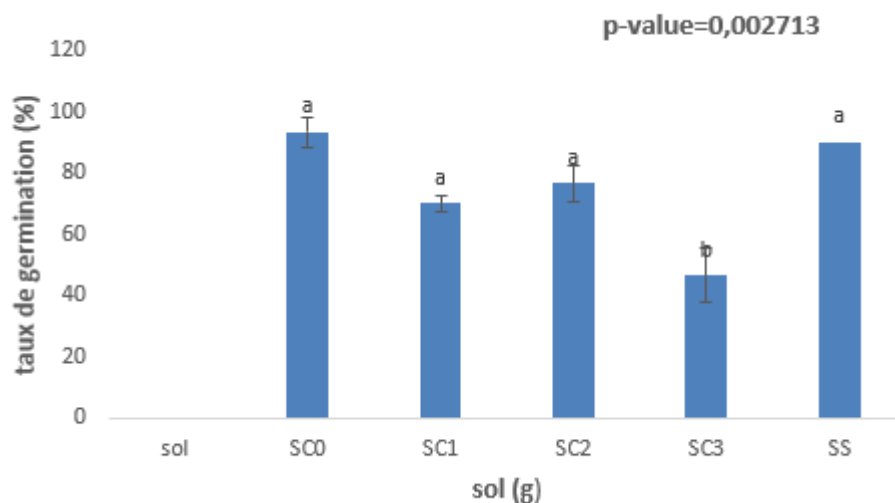


Figure 10 : Taux de germination des grains de maïs dans le sol de la station-service de Tizi Ouzou.

L'Anova (Annexe II) indique qu'il y a une différence significative entre les différents sols (p -value=0.002713). Le teste de Newman-Keuls (Annexe II) a classé les sol C0, C1, C2, SS dans

le groupe A et le sol C3 dans le groupe B. Cela signifie que ces concentrations ont un effet sur la germination des graines de maïs.

b. Station de Freha :

Le pourcentage des graines germées dans le sol de Freha est illustré dans la figure 11.

Le taux de germination enregistré dans les concentrations C0 est de 93%, C1=70%, C2=76%, C3=56% et SS=80%.

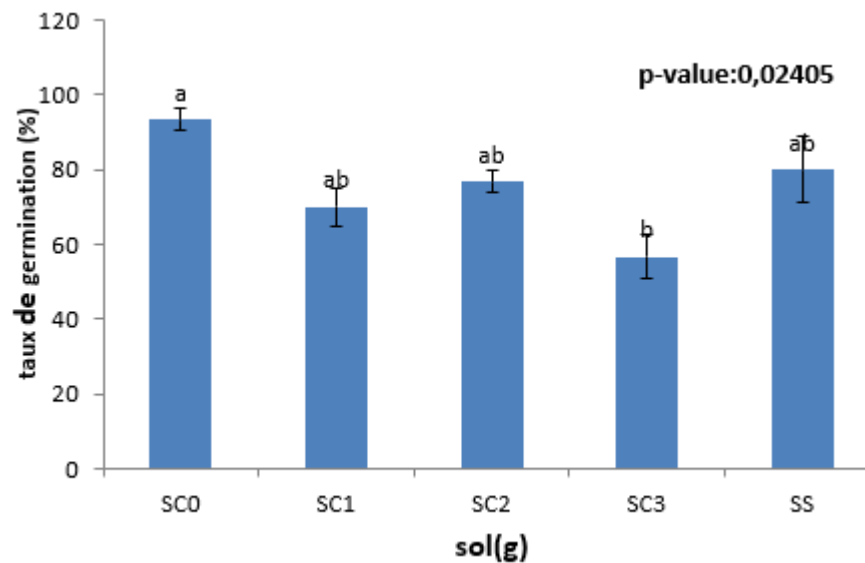


Figure 11 : Taux de germination des graines de maïs dans le sol de la station-service de Freha.

L'anova indique qu'il y a une différence significative entre les différents sols (p-value= 0.02405). Le test de Newman-Keuls (Annexe III) a classé les sols en deux groupes homogènes : les sols SC0, SC1, SC2, SS sont inclus dans le groupe A et le sol SC3 est classé dans le groupe B. Cela signifie que ces concentrations ont un effet sur la germination des graines de maïs.

1.2.2. Biomasse aérienne :

a. Station de Tizi Ouzou :

La figure 12 représente la biomasse aérienne moyenne des plantules de maïs cultivées dans le sol de la station-service Chabane.

Les valeurs de la biomasse aérienne enregistrées dans les différentes concentrations sont comme suivies : C0 (2,63 g) ; C1(1,61g) ; C2 (1,4g) ; C3 (0,4 g) et SS (0,95 g). La plus faible valeur est obtenue dans le sol contaminé 3.

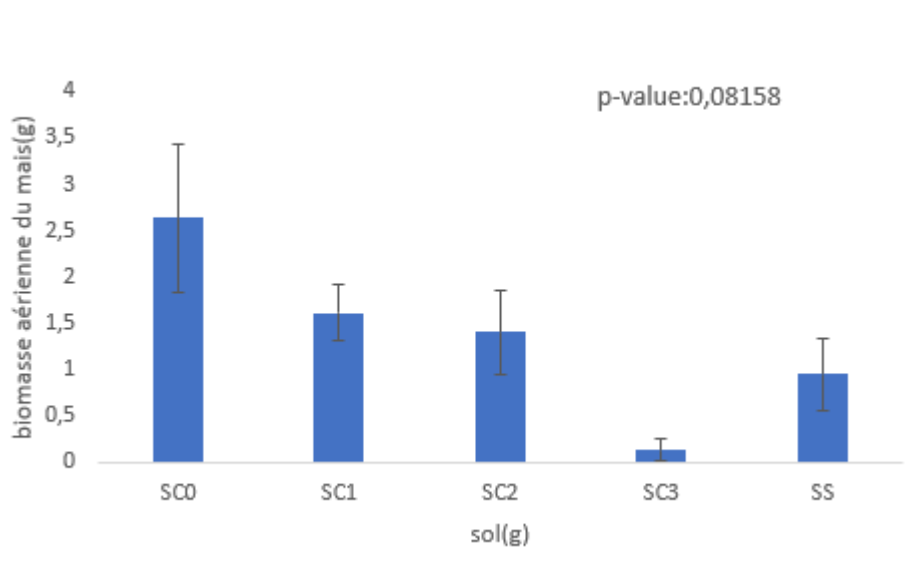


Figure 12 : Biomasse aérienne des plantes de maïs dans le sol de la station-service de Tizi Ouzou.

L'anova (Annexe IV) a donné une p-value = 0.08158, ce qui signifie qu'il n'y a pas de différence significative entre les sols. La biomasse aérienne obtenue avec les différents taux de contamination a été significativement similaire à celle obtenue dans le sol non contaminé.

b. Station de Freha :

La figure 13 représente la biomasse aérienne moyenne des plantules de maïs cultivées dans le sol de la station-service Chabane. Les valeurs de la biomasse aérienne enregistrées dans les différentes concentrations sont comme suivies : C0 (0,80 g) ; C1(0,65g) ; C2 (1,02g) ; C3 (0,17g) et SS (1,71 g). La plus faible valeur est obtenue dans le sol contaminé 3.

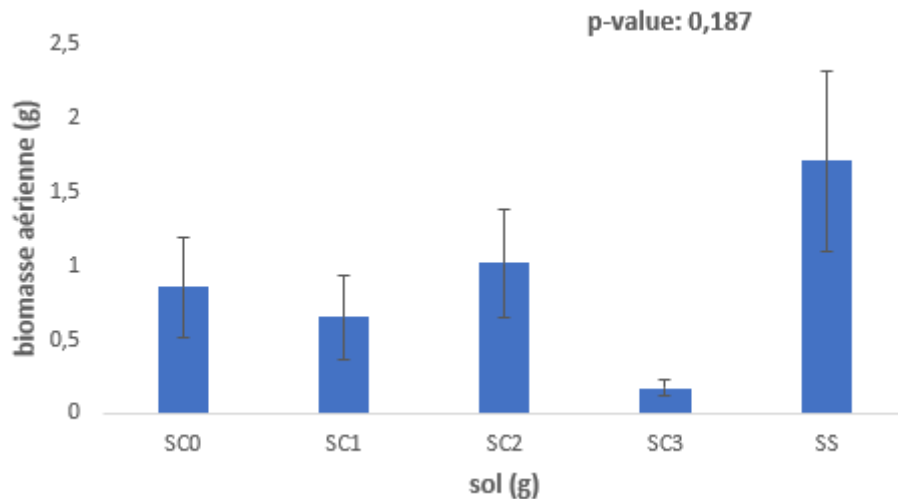


Figure 13 : Biomasse aérienne des plantes de maïs dans le sol de la station-service de Freha. Le test de Kruksal-Wallis (Annexe V) a révélé qu'il n'existe pas de différences significatives entre les sols ($p\text{-value}=0,187$) ; ce qui signifie qu'il y a pas eu une toxicité dans les différents sols.

1.2.3. Biomasse racinaire :

a. Station-service Tizi Ouzou :

Les résultats de la biomasse racinaire moyenne des plantules du maïs cultivées dans le sol de la station-service Tizi Ouzou sont représentés dans la figure 14. Les valeurs de la biomasse racinaire enregistrées pour les différentes concentrations sont : C0 (0,16 g) ; C1(0,12g) ; C2 (0,15g) ; C3 (0,06 g) et SS (0,15 g). La plus faible valeur est dans le sol contaminé 3.

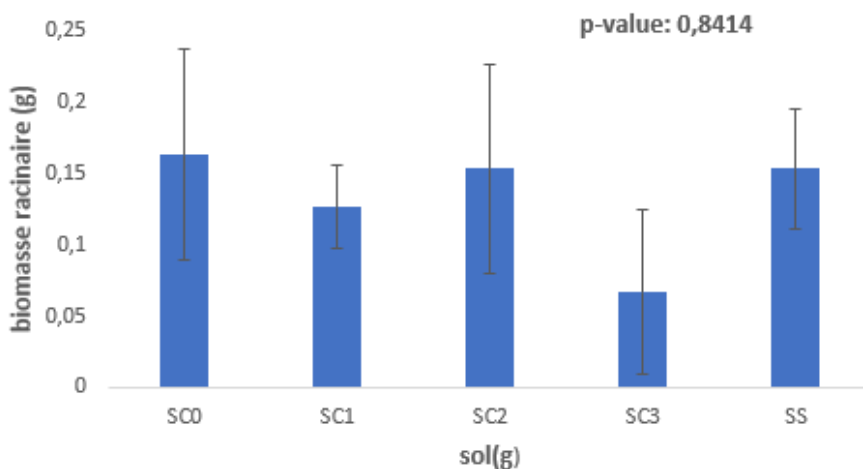


Figure 14 : Biomasse racinaire des plantules de maïs dans le sol de la station-service de Tizi Ouzou.

Les résultats de l'anova (Annexe VI) montrent qu'il n'y a pas de différence significative entre les biomasses racinaires obtenues dans les différents sols (p -value= 0,8414). La concentration en carburants n'a donc pas eu d'effet sur la biomasse racinaire du maïs.

b. Station de Freha :

Les résultats de la biomasse racinaire moyenne des plantules du maïs cultivées dans le sol de Freha sont représentés dans la figure 15. Les valeurs de la biomasse racinaire enregistrées pour les différentes dans les concentrations sont : C0 (0,12 g) ; C1(0,03g) ; C2 (0,10g) ; C3 (0,09 g) et SS (0,16 g). La plus faible valeur est dans le sol contaminé 1.

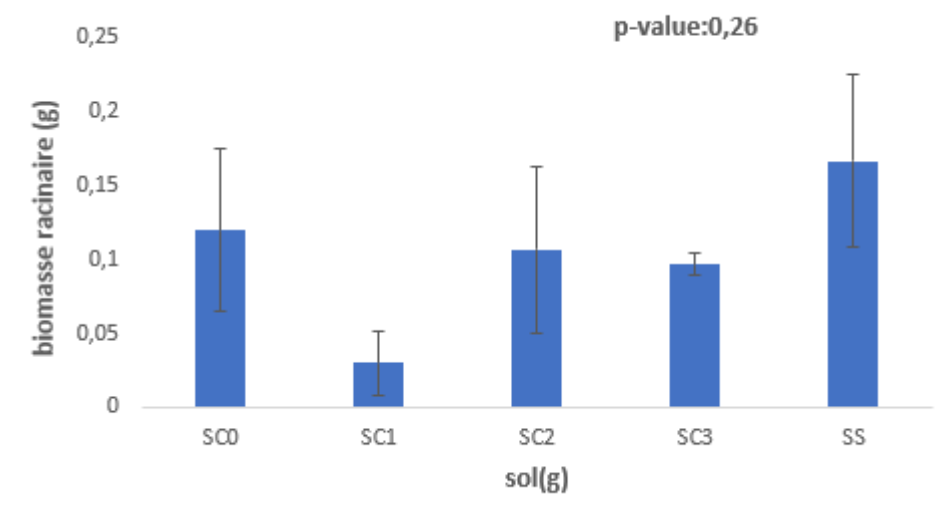


Figure 15 : Biomasse racinaire des plantules de maïs dans le sol de la station-service de Freha.

Le test de Kruskal-Wallis (Annexe VII) a révélé qu'il n'y a pas de différences significatives (p -value= 0,26) entre la biomasse racinaire et les différentes concentrations des carburants. Ceci signifie que la partie racinaire des plantules de maïs n'a pas été influencée par les différentes concentrations des carburants.

1.2.4. Taux de mortalité de vers de terre :

a. Station de Tizi Ouzou :

Les taux de mortalité des vers de terre dans le sol de la station-service Tizi Ouzou sont représentés dans la figure 16. Aucun taux de mortalité n'est enregistré dans les sols C0, C1 et SS, par contre tous les vers de terre des sols C2 et C3 sont morts (100%).

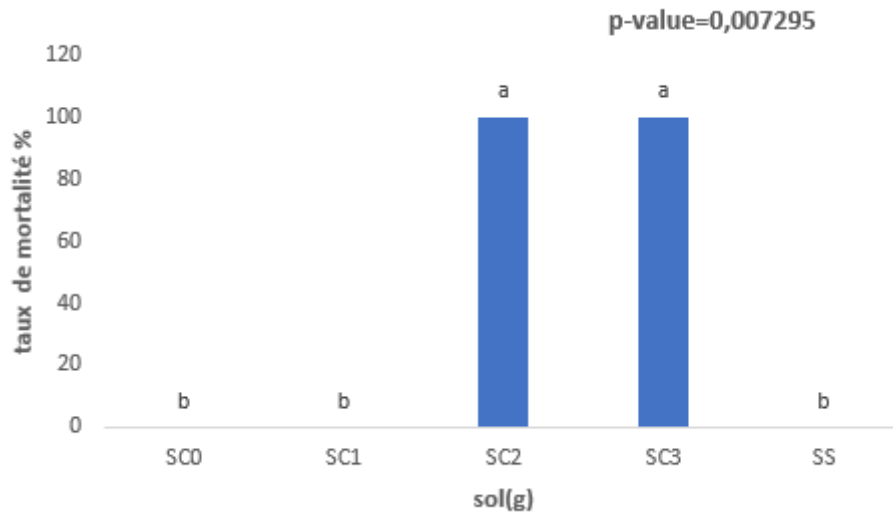


Figure 16 : Taux de mortalité des vers de terre dans le sol de la station-service de Tizi Ouzou. L'anova a révélé qu'il y a une différence significative entre les différents sols (p -value=0,007295). Le test de de Newman-Keuls (Annexe VIII) a classé les sols en deux groupes : les sols SC0, SC1 et SS sont inclus dans le groupe B, les sols SC2 et SC3 sont classés dans le groupe A.

b. Station de Freha :

Les taux de mortalité des vers de terre dans le sol de la station-service de Freha sont représentés dans la figure 17. Une mortalité de 100% est enregistrée dans les sols C1, C2 et C3., Un taux de mortalité de (44,44%) est obtenu dans le sol C0 et la plus faible mortalité est enregistrée dans le sol de la station SS (22,22%).

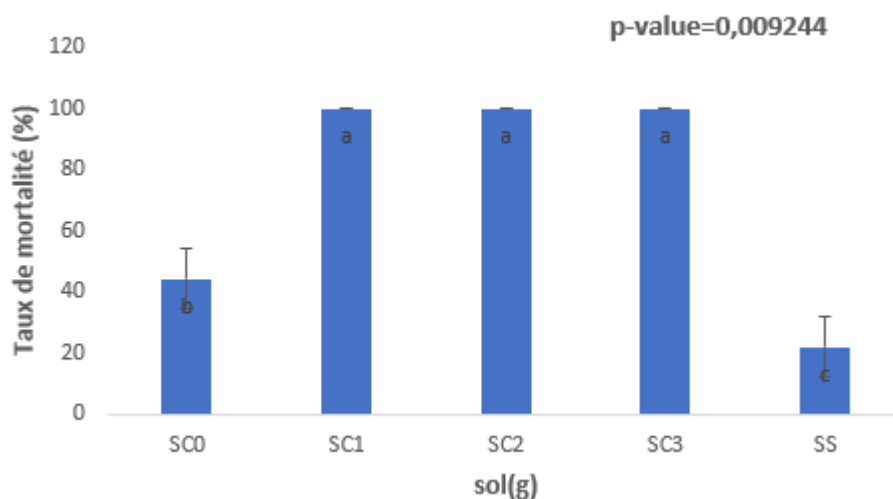


Figure 17 : Taux de mortalité de vers de terre dans le sol de la station-service de Freha.

Le test de Kruskal-Wallis (Annexe IX) a donné une p-value= 0,009244, ce qui signifie qu'il y a une différence significative dans les différents sols. Le test post-hoc a classé les sols en trois groupes : les sols :SC1, SC et SC3 sont classés dans le groupe A, le sol SC0 dans le groupe B et le sol SS dans le groupe C.

Cela signifie que les carburants ont exercé une toxicité sur les vers de terre dans le sol de Freha.

1.2.5. Activité de la catalase :

a. Station-service de Tizi Ouzou :

Les volumes de KMnO_4 dans le sol de la station-service Tizi Ouzou sont représentés dans la figure 18. Le sol C3 montre une grande activité enzymatique (CAT). Une activité moyenne est enregistrée dans les sols SC0, SC1 et SC2 et une baisse d'activité est observée dans le sol SS.

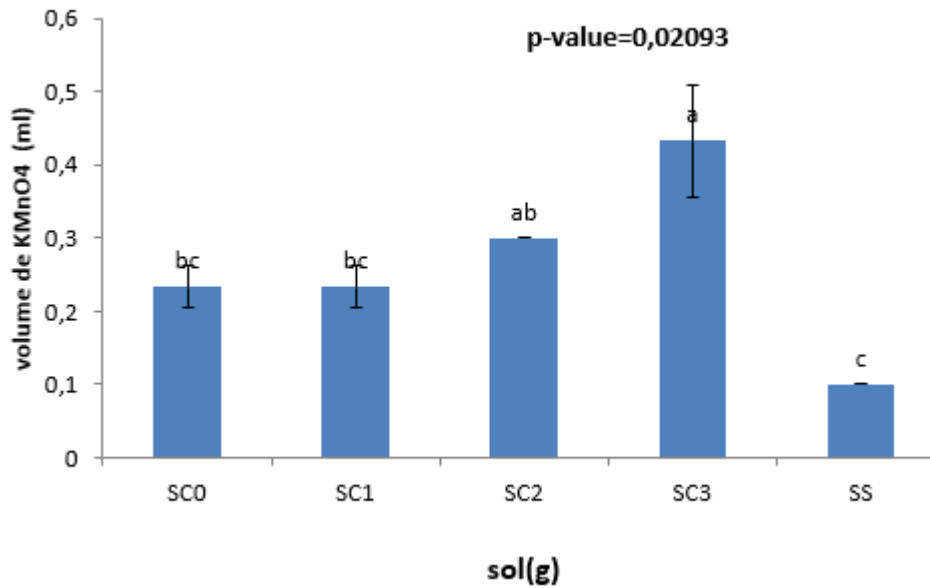


Figure 18 : Activité de catalase dans le sol de la station-service de Tizi Ouzou.

Le test Kruskal-Wallis (Annexe X) indique qu'il y a une différence significative entre les concentrations des carburants ($p\text{-value}=0,02093$). Le test post-hoc (Annexe X) a classé les sols en quatre groupes homogènes : le sol SC1 et SC1 sont inclus dans le groupe BC, le sol SC2 est classé dans le groupe AB, le sol SC3 est classé dans le groupe A et le sol SS est classé dans le groupe C.

b. Station-service de Freha :

Les volumes de KMnO_4 dans le sol de station-service de Freha sont représentés dans la figure 19. Les sols SC0, SC1 et SC2 montrent une grande activité enzymatique (CAT). Une activité moyenne est enregistrée dans les sols SC3 et SS.

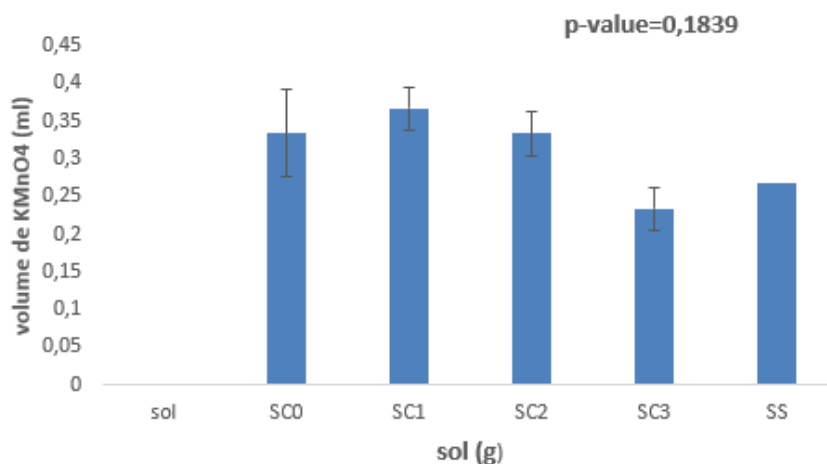


Figure 19 : Activité de catalase dans le sol de la station-service de Freha.

Le test Kruskal-Wallis (**Annexe XI**) a révélé l'absence de différences significatives entre les sols ($p\text{-value}=0,1839$) ; ce qui signifie que les différentes concentrations des carburants n'ont pas d'effet sur l'activité de cette enzyme.

2. Discussion :

L'évaluation simplifiée du risque réalisé pour les deux stations-service Tizi Ouzou et Freha révèle que ces stations sont classées parmi les sites dangereux à forte priorité.

Dans le but de vérifier et compléter les résultats de l'évaluation simplifiée du risque et de s'assurer de la justesse des conclusions, nous avons réalisé une étude plus poussée par le biais de tests écotoxicologiques et de bio-essais sur des espèces végétales et animales.

D'après les résultats du test de germination de la station Chabane, nous avons constaté qu'il y a une différence significative entre les concentrations des carburants.

Les sols SC0, SC1, SC2 et SS ont permis d'obtenir des taux de germination très élevés, ce qui indique que les différentes concentrations en carburants n'ont pas influencé sur les sols.

Par contre le sol SC3 montre que le taux de germination est diminué, ce qui indique que la contamination des carburants a eu un effet sur les différents sols.

D'après les résultats du test de la mesure des biomasses aérienne et racinaire effectuée sur les plantes de maïs, nous avons constaté qu'il n'y avait pas de différence significative entre le sol pollué des deux sites et les sols que nous avons contaminés artificiellement avec des doses croissantes de carburant. Ceci signifie que la contamination par les carburants, quelle que soit la concentration, n'a pas eu d'effet sur la germination et la croissance du maïs.

Ceci est peut-être lié à une diminution de la quantité des hydrocarbures présents dans le sol provoquée, probablement suite aux différentes transformations. Qu'a subi le sol lors de son traitement au laboratoire. (séchage, tamisage, incubation...). Ou bien cette toxicité n'était pas suffisante pour occasionner un retard ou une inhibition de la croissance des plantules du maïs.

Selon Bergue (1986), une grande partie des constituants des produits pétroliers subissent une grande variété de mécanismes d'élimination, notamment l'évaporation, la photodécomposition, l'adsorption, la percolation et la dégradation bactérienne.

Nos résultats concernant les essais toxicologiques sur les vers de terre montrent que la contamination des sols par les carburants a un effet apparent sur la mortalité des vers de terre. Du genre Eisenia. Dans les sols SC0, SC1 et SS de la station Tizi Ouzou le taux de mortalité des vers de terre est très faible ce qui explique que les concentrations testées n'ont pas d'influence sur les sols.

En revanche, dans les sols SC2 et SC3, nous avons constaté que le taux de mortalité des vers de terre très élevé, ce qui indique qu'il y a eu une influence des carburants sur ces sols.

La mort des vers de terre dans les sols SC1, SC2 et SC3 de la station-service Freha s'explique par la forte concentration des carburants qui ont un effet toxique sur leur survie.

(Spurgeon et al ;(1994) et Sverdrup et al ;(2002), ont montré une inhibition de la survie et de la reproduction des vers de terre exposés à des sols pollués en HAP. (Lors et al ;(2005) et Lors et al ; (2009) ; ont étudié l'écotoxicité de sols contaminés par des HAP, et ont déduit qu'ils étaient trop toxiques vis-à-vis des organismes terrestres en particulier les vers de terre.

Par contre les sols SC0 et SS ont montré une absence de mortalité des individus qui est due à la faible concentration en carburants.

Cette différence entre les deux sites peut être due au fait que le sol de Freha qui est du type argileux a retenu une grande quantité d'hydrocarbures (Essence et gasoil) contrairement aux sols de la station Tizi Ouzou du type sableux qui laisse passer une partie des hydrocarbures lors de l'arrosage.

En ce qui concerne nos résultats de l'activité de la catalase, dans la station Chabane, une différence significative a été observée entre les concentrations des carburants. Les sols SC3 et SC2 ont montré une grande activité biologique tandis que dans les sols SC0, SC1 et SS nous avons enregistré une diminution de cette activité. Ces résultats peuvent être dus au fait que l'activité enzymatique soit liée à l'activité biologique de ces sols. La diminution de l'activité biologique aboutit à la diminution de l'activité de ces enzymes en cas de stress.

Selon Tejeda et al. (2008), l'activité enzymatique diminue lors de l'épuisement de substrat facilement disponible résultant de la toxicité de l'essence.

Enfin, les résultats de l'activité de la catalase de la station Freha, montrent qu'il n'y a pas de différence significative, donc il n'y a pas d'effet des différentes concentrations en carburants sur l'activité de cette enzyme. Ces résultats confirment l'existence de relation entre l'activité biologique et l'activité de la catalase. Ces résultats sont en accord avec ceux de Andreoni et al. (2004), Baran et al. (2004) et Eibes et al. (2006) qui affirment que la dynamique de certaines activités enzymatiques pendant la période d'incubation après l'ajout d'essence peut être liée à la dynamique des populations microbiennes du sol.



Conclusion générale

Conclusion générale

Ce mémoire s'inscrit dans le cadre de l'évaluation des risques écologiques liés aux déversements des carburants dans les stations-services. Nous nous sommes particulièrement penchés sur l'état de pollution des deux stations-services de Tizi Ouzou et de Freha.

Le premier volet de ce travail était consacré à l'évaluation simplifiée du risque par un système de score. Les données collectées au niveau de chaque station ont permis de calculer un score de risque. Les résultats obtenus nous ont permis de classer ces stations comme étant des sites dangereux à forte priorité, nécessitant une évaluation détaillée du risque.

Le deuxième volet de ce travail était consacré à l'évaluation détaillée du risque qui consiste à effectuer des tests écotoxicologiques et des bioessais sur des sols prélevés dans les deux stations.

La réponse des organismes testés (maïs et vers de terre) nous a permis de déterminer la réponse ou la présence et l'absence d'effets des carburants sur ces organismes. Les résultats obtenus lors de notre expérimentation révèlent :

- La présence d'effets toxiques des carburants sur la germination des graines de maïs dans les différents sols des stations-services étudiées.
- Les carburants n'ont pas d'effets toxiques sur la biomasse aérienne du maïs cultivé dans les différents sols.
- L'absence d'effets des carburants sur la biomasse racinaire du maïs dans les différents sols.
- Il y a eu une toxicité sur les vers de terre dans les sols artificiellement contaminés.
- La présence d'effets significatifs sur l'activité de la catalase dans la station-service Tizi-Ouzou. Par contre, dans la station de Freha, il y a absence d'effets significatifs sur l'activité de la catalase.

Pour finir, nous pouvons conclure que l'étude détaillée du risque démontre l'absence d'un risque écologique pour l'écosystème terrestre, lié au déversement d'hydrocarbures dans les deux stations et que l'état de ces sites n'est pas aussi alarmant que le démontre l'étude simplifiée du risque. Néanmoins, une surveillance de ces sites est recommandée.

Nous pouvons proposer de faire des tests sur la reproduction des vers de terre et sur d'autres activités enzymatiques.

Nous proposons également d'élargir cette étude pour le reste des stations-services dans toute la wilaya.

Il serait aussi intéressant, dans les études futures, de se pencher sur l'impact que peut provoquer ces sites sur la nappe phréatique ou les cours d'eau avoisinants. Il faut redoubler d'efforts pour

Conclusion générale

identifier, évaluer, cartographier, surveiller et modéliser la pollution des sols afin de prévenir l'exposition humaine aux polluants et restaurer les sites pollués.



*Références
bibliographiques*

Références bibliographiques

Allison J. S. D., 2012 : Identification des dangers et évaluation des risques pour la province de l'Ontario. 4-12.

Alrumman S.A., Standing D.B., Paton G.I., 2015 : Effect of hydrocarbon contamination on soil microbial PAHs polluted soils. *Chemosphere*. Vol. 57 : 401-412.

Andreoni V., Cavalca L., Rao M.A., Nocerino G., Barnasconi S., Dell'Amico E., Colombo M., Gianfreda L., 2004 : Bacterial communities and enzyme activities of **Arnaud P., 2004**: Chimie organique. Ed. DUNOD, Paris. 208p.

Angerville R., 2009 : Evaluation des risques écotoxicologiques liés au déversement de Rejets Urbains par Temps de Pluie (RUTP) dans les cours d'eau : Application à une ville française et à une ville haïtienne. Thèse Doctorat. Institut national des Sciences Appliquées de Lyon. 204p.

Babut M. et Perrodin Y., 2001 : Évaluation écotoxicologique de matériaux de dragage - (1) présentation et justification de la démarche. CETMEF, Cemagref, ENTPE, VNF, Centre d'Études Techniques Maritimes et Fluviales. 47p.

Baran S., Bielinska J.E., Oleszczuk P., 2004 : Enzymatic activity in an airfield soil polluted with polycyclic aromatic hydrocarbons. *Geoderma*. Vol. 11. N° 118 : 221-232.

Baroudi, 1997 : Méthodologie de diagnostic des sols pollués. Séminaire ' Sols pollués ' . Paris, France. INERIS-00972099 : 3-7.

Bastida F., Zsomnay A., Hernandez T., Garcia C., 2008: Past, present and future of soil quality indices: A biological perspective. Geoderma. Vol. 147. N°3. 159-171.

Bekins et al 2001 : Gomez. Mémoire de l'Ecole des Hautes Etudes en Santé Publique, 2010.

Bergue J.M., 1986 : La pollution des sols par les hydrocarbures. Laboratoire régional de Rouen. Vol. 3141 : 57- 68.

Bermond, 2002 : Evaluation des risques écotoxicologiques ; fondements théoriques et mise en application en France. Synthèse technique. Ecole Nationale du Génie Rural, des Eaux et des Forêts, Office International de l'Eau. Montpellier. 16p.

Boillot, 2008 : Evaluation des risques écotoxicologiques liés aux rejets d'effluents hospitaliers dans les milieux aquatiques. Contribution à l'amélioration de la phase caractérisation des effets. Thèse de Doctorat. Institut National des Sciences Appliquées de Lyon. 298p.

Références bibliographiques

Chaineau, C.H., Morel J.L., Oudot J., 1996 : Biodegradation of fuel oil hydrocarbons in the rhizosphere of maize. International Phytoremediation Conference, May 8-10, 1996, Arlington, VA. International Business Communications, Southborough, MA.

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 : 858-867.

Chaineau C. H., Morel J. L. et Oudot J., 1997 : Phytotoxicity and plant Uptake of Fuel Oil hydrocarbons. J. Environ. Qual. Vol 26 : 1478-1483.

Covello V. T. Et Merkhofer M. W., 1993 : Risk Assessment Methods. Plenum Press, New York. 318p.

Dawson J.J.C., Godsiffe E.J., Thompson I.P., Ralebitso-Senior T.K., Killam K.S., and Paton G.I., 2007 : Application of biological indicators to assess recovery of hydrocarbon impacted soils. Soil Biology and Biochemistry. Vol. 39. N°1 :164-177.

Donguy G., Perrodin Y., 2007 : Evaluation des risques écologiques dans le domaine des sites pollués. Définitions, concepts et usages des outils existants. Version 1.0. ADEME, LSEENTPE. 52p.

Donguy et Perrodin, 2015 : Guide méthodologique d'évaluation des risques écologiques liés aux aménagements urbains et aux infrastructures de transport. LSE-ENTPE. Vaulx en Velin. 65p.

Duchaufour P., 2001 : Introduction à la science du sol : sol, végétation et environnement 6 ème Ed. MASSON. 498p.

Eibes, G., Cajthaml, T., Moreira, M.T., Feijoo, G., Lema, J.M., 2006 : Enzymatic degradation of anthracene, dibenzothiophene and pyrene by manganese peroxidase in media containing acetone. Chemosphere. Vol. 6. N° 64 : 408-414.

Event E., 2004 : Evaluation des risques sanitaires écotoxicologiques liés aux effluents hospitaliers. Thèse Doctorat. Institut National des Sciences Appliquées de Lyon. 367p.

Fattal P., 2008 : Pollution des cotes par les hydrocarbures. Presse universitaire de Rennes. 498p.

Fezani S., Khider F. 2007 : Toxicité des hydrocarbures vis-a-vis des plantes, leurs caractéristiques et leurs effets sur la microflore du sol. Mémoire d'Ingénieur U.M.M.T.O. 73p.

Références bibliographiques

Gomez D., 2010 : Etude approfondie de l'influence de la nature chimique des fine polluants d'hydrocarbure sur le calcule de risque sanitaire. Mémoire de fin d'études ingénieur du génie sanitaire. Ecole de haute étude en santé publique. 74p.

INERIS., 2003 : Evaluation de l'impact des rejets de substances toxiques sur le milieu aquatique : utilisation du rapport PEC/PNEC. INERIS. Action Nationale de Recherche et de Réduction des Rejets de Substances Dangereuses dans les Eaux. 78p.

INERIS., 2004 : Devenir et comportement des métaux dans l'eau : biodisponibilité et modèles BLM. Rapport technique. Paris : INERIS. Ministère de l'Écologie et du Développement Durable. Direction de l'Eau. Unité Évaluation des Risques Écotoxicologiques. 85p.

INERIS, 2005 : Méthodologie d'évaluation simplifiée du risqué chimique : un outil d'aide à la décision. Hygiène et sécurité du travail – cahiers de notes documentaires – 3 ème trimestre. 62p.

Knight T.R., Dick R.P., 2004 : Differentiating microbial and stabilized and betaglucosidase activity relative to soil quality. Soil Biology and Biochemistry. Vol.36. N°12 : 289- 296

Lecomte P., 1998 : Les sites pollués, traitement des sols et des eaux souterraines. 2 ème Ed. Lavoisier TEC & DOC. 204p.

Lors C., Mossmann J.R., Périé F., Belkessam L., Oustrière P., Laboudigue A., 2005 : Hazard characterization of polluted soils using both ecotoxicological and physico-chemical approaches. Article parudans les Proceedings of the 9th International Conference on Soil Water Systems(CONSOIL), Bordeaux, France.

Maila M.P., Cloete T.E., 2005 : The use of biological activities to monitor the removal of fuel contaminants--perspective for monitoring hydrocarbon contamination: a review. International Biodeterioration & Biodegradation. Vol. 55. N °1 : 1-8.

Mathieu S., 2008 : Analyse historiques des accidents dans les dépôts hydrocarbures. 25p.

Mapcarta, 2023 : Image satellitaire de la station-service Tizi Ouzou
<https://mapcarta.com/fr/W505693893>

Muck J. C. 2007 : Les Carburants. <http://muck.jeanclaude.free.fr>

Références bibliographiques

Neff, J.M., Ostazeski, S., Gardiner, W. and Stejskal, I. 2000 : Effects of weathering on the toxicity of three offshore Australian crude oils and a diesel fuel to marine animals. *Environmental Toxicology and Chemistry: An International Journal*, Vol. 19. N° 7 : 1809-1821.

Ogbo E.M., 2008 : Effects of diesel fuel contamination on seed germination of four crop plants - *Arachishypogaea*, *Vignaunguiculata*, *Sorghum bicolor* and *Zea mays*. *African Journal of Environmental Science and Technology*. Vol. 8. N° 2 : 250- 253.

Oudot J., 1975 : Contribution à l'étude de la dégradation bactérienne des hydrocarbures. Produits et facteur susceptibles de modifier la cinétique du phénomène. Thèse doctorat. Science de la vie et de l'environnement. Université de Dijon. 121p.

Pichaud, 2005 : Effets biologiques d'une exposition par les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) sur une espèce bioindicatrice, *Mya arenaria*. Mémoire. Université du Québec à Rimouski. 83p.

Piedrafita M., 2007 : La pollution ponctuelle des sols : Le cas des stations-service dans la Région de Bruxelles-Capitale. Mémoire de Fin d'Etudes. Diplôme d'Etudes Spécialisées en Gestion de l'Environnement. Université Libre de Bruxelles. 154p.

Ramade, 2007 : Introduction à l'écotoxicologie. Fondement et applications. Ed. Tec et Doc. Lavoisier. 618p.

Ramade F., 1992 : Précis d'écotoxicologie. Ed. MASSON, Paris. 300p.

Ramade ; 1993 : Dictionnaire encyclopédique de l'écologie et des sciences de l'environnement. Ed. Ediscience. 822p.

Rivière J. L.1998 : "Evaluation du risque écologique des sols pollués". Paris. Ed. TEC & DOC Lavoisier. 228p.

Rivière, 1998 : Evaluation du risque écologique des sols pollués ; Ed. Lavoisier Tec et Doc. Paris. 230p.

Roger, P. et Jacq, V. (2000) : Introduction à la bioremédiation des sols, des eaux et de l'air, 99p.

Rougerol T., Amir H., Amir A. 1987 : Effet de l'épandage de résidu pétrolier de raffinerie sur l'évolution de la matière organique. L'activité microbienne d'un sol agricole, *Revue d'écologie du sol*. 156p.

Références bibliographiques

Saada A., Nowak C., Coquereau N., 2005 : Etat des connaissances sur l'atténuation naturelle des hydrocarbures. Rapport du BRGM. RP 53739-FR. 107p.

Saada A., Nowak C., et Coquereau N., 2005 : Etat des connaissances sur l'atténuation naturelle des hydrocarbures. Rapport intermédiaire résultat de la phase 1. 102p.

Soltani M., 2004 : Distribution lipidique et voies métaboliques chez quatre bactéries Gram négatives hydrocarbonoclastes. Variation en fonction de la source de carbone. Thèse de doctorat de l'université Paris 6 , spécialité chimie analytique. 284p.

Sonatrach., 2010 : www.Algerie-energie.com.

Spurgeon D.J., Hopkin S.P., Jones D. T., 1994 : Effects of cadmium, copper, lead and zinc on growth reproduction and survival of the earthworm *Eisenia fetida* (Savigny). Environmental Pollution. Vol. 84 :123-130.

Suter II G. W., 2006 : Ecological risk assessment". 2ème Ed. CRC Press. Boca Raton: Taylor & Francis. 643p.

Sverdrup L.E., Jensen J., Krogh P.H. & Stenersen J., 2002: Studies on the effect of soil aging on the toxicity of pyrene and phenantrene to a soil-dwelling springtail. Environmental Toxicology and Chemistry. Vol. 21 : 489-492.

Tejeda M., Gonzalez J.L., Hernandez M.T., Garcia C., 2008 : Application of different organic amendments in a gasoline contaminated soil (Effect on soil microbial properties). Bioresource Technology. Vol. 8. N° 99 : 282-290.

Urbanisme et santé, 2012 : La problématique des sites et sols pollués dans vos projets d'aménagements. Agence régionale de santé, Ile de France. 8p.

USEPA., 1998 : Guidelines for ecological risk assessment. Washington, DC: Risk Assessment Forum, U.S. Environmental Agency, EPA/630/R-95/002F. 114p.

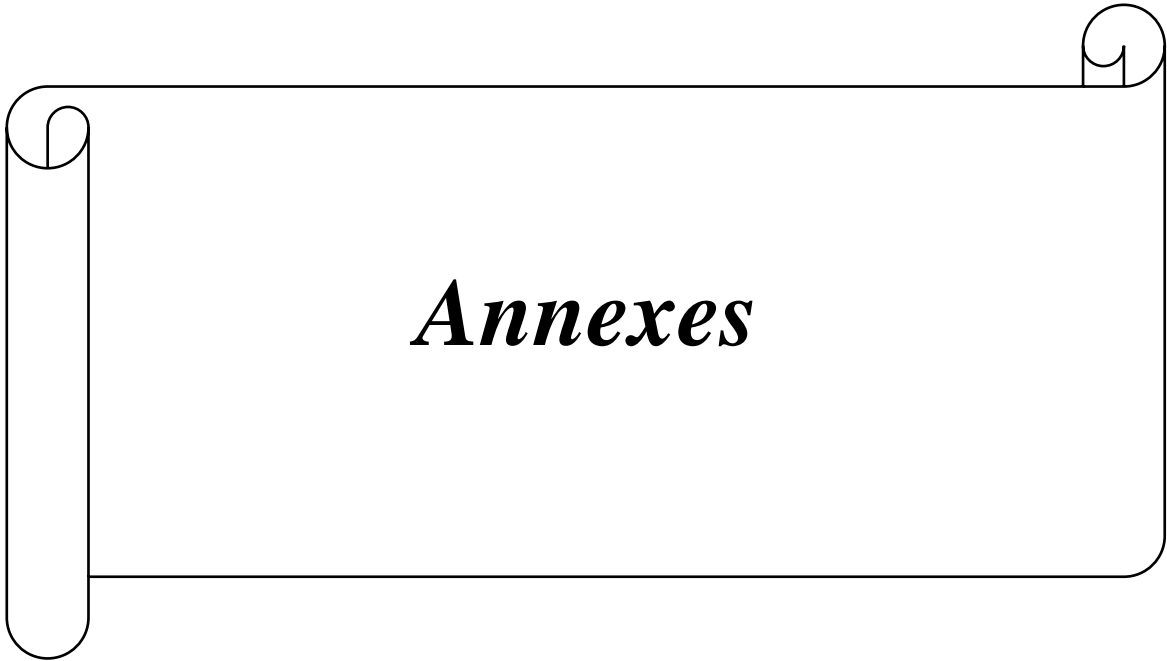
Volmer J., Kordel W. et Klein V., 1988 : A proposed method for calculating taxonomic group specific variances for use in ecological risk assessment. Chemosphere, Vol. 17 : 1493-1500.

VYMaps, 2023 : Image satellitaire de la station-service Ailam à Freha
<https://vymaps.com/DZ/Station-service-Ailam-140334/>

Zhang B., Deng H., Wang H.L., 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

Références bibliographiques

stresses following re-vegetation of a severely degraded soil. *Soil Biology and Biochemistry*.
Vol. 42. N°5 : 850-85.



Annexes

Annexe I : Résultats brut des tests écotoxicologiques et bioessais.

1. Taux de germination des graines de maïs dans les deux stations :

Sols	Nombre des graines de maïs germées / 10 × 100	
	Station Tizi-Ouzou	Station Freha
SC0	90	90
SC0	90	90
SC0	100	100
SC1 (à 1g)	70	70
SC1 (à 1g)	60	60
SC1 (à 1g)	80	80
SC2 (à 3g)	80	80
SC2 (à 3g)	70	70
SC2 (à 3g)	80	80
SC3 (à 5g)	40	70
SC3 (à 5g)	60	50
SC3 (à 5g)	40	50
SS	100	70
SS	100	100
SS	70	70

Annexes

2. Biomasse aérienne du maïs :

Sols	Biomasse aérienne du maïs (g)	
	Station Tizi-Ouzou	Station Freha
SC0	3,58	1,63
SC0	0,8	0,52
SC0	3,53	0,42
SC1 (à 2g)	2,3	1
SC1 (à 2g)	1,08	0,96
SC1 (à 2g)	1,47	0
SC2 (à 6g)	2,33	0,41
SC2 (à 6g)	0,49	0,81
SC2 (à 6g)	1,39	1,84
SC3 (à 10g)	0,4	0,08
SC3 (à 10g)	0	0,29
SC3 (à 10g)	0	0,14
SS	1,81	3,08
SS	0,28	0,73
SS	0,77	1,32

3. Biomasse racinaire du maïs dans les deux stations :

Sols	Biomasse racinaire du maïs (g)	
	Station Tizi-Ouzou	Station Freha
SC0	0,20	0,12
SC0	0,29	0,23
SC0	0	0,01
SC1 (à 2g)	0,06	0,01
SC1 (à 2g)	0,16	0,08
SC1 (à 2g)	0,16	0
SC2 (à 6g)	0,05	0,08
SC2 (à 6g)	0,32	0,23
SC2 (à 6g)	0,09	0,01
SC3 (à 10g)	0,20	0,10
SC3 (à 10g)	0	0,08
SC3 (à 10g)	0	0,11
SS	0,24	0,11
SS	0,07	0,30
SS	0,15	0,09

Annexes

4. Taux de mortalité de vers de terre dans les deux stations :

Sols	Nombre des vers de terre morts /3 × 100	
	Station Tizi-Ouzou	Station Freha
SC0	0	33,33
SC0	0	33,33
SC0	0	66,66
SC1 (à 7g)	0	100
SC1 (à 7g)	0	100
SC1 (à 7g)	0	100
SC2 (à 21g)	100	100
SC2 (à 21g)	100	100
SC2 (à 21g)	100	100
SC3 (à 35g)	100	100
SC3 (à 35g)	100	100
SC3 (à 35g)	100	100
SS	0	0
SS	0	33,33
SS	0	33,33

5. Test d'activité de catalase dans le sol de la station de Tizi Ouzou :

Sols	Volume de KMnO ₄	Volume de catalase (ml)
SC0	0,3	1,3
SC0	0,2	1,4
SC0	0,2	1,4
SC1 (à 7g)	0,2	1,4
SC1 (à 7g)	0,3	1,3
SC1 (à 7g)	0,2	1,4
SC2 (à 21g)	0,3	1,3
SC2 (à 21g)	0,3	1,3
SC2 (à 21g)	0,3	1,3
SC3 (à 35g)	0,4	1,2
SC3 (à 35g)	0,6	1
SC3 (à 35g)	0,3	1,3
SS	0,1	0,6
SS	0,1	0,6
SS	0,1	0,6

Annexes

6. Test d'activité de catalase dans le sol de la station Freha :

Sols	Volume de KMnO_4	Volume de catalase (ml)
SC0	0,3	1,3
SC0	0,4	1,2
SC0	0,3	1,3
SC1 (à 7g)	0,3	1,3
SC1 (à 7g)	0,5	1,1
SC1 (à 7g)	0,3	1,3
SC2 (à 21g)	0,3	1,3
SC2 (à 21g)	0,4	1,2
SC2 (à 21g)	0,3	1,3
SC3 (à 35g)	0,3	1,3
SC3 (à 35g)	0,2	1,4
SC3 (à 35g)	0,2	1,4
SS	0,3	1,3
SS	0,3	1,3
SS	0,2	1,4

- Volume de la CAT :

V de témoin - V acide (H_2SO_4)

Et on a Volume de témoin = 1,6 ml

Annexes

Annexe II : Test d'ANOVA pour le taux de germination de la station Tizi-Ouzou.

```
> reg.aov1=lm(germination1~sol)
> anova(reg.aov1)
Analysis of Variance Table

Response: germination1
      Df Sum Sq Mean Sq F value    Pr(>F)
sol      4 4173.3  1043.3   8.6944 0.002713 **
Residuals 10 1200.0    120.0
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

$groups
      TG groups
SC0 93.33333    a
SS  90.00000    a
SC2 76.66667    a
SC1 70.00000    a
SC3 46.66667    b

attr(,"class")
[1] "group"
> |
```

Annexe III : Test d'ANOVA pour le taux de germination de la station Freha.

```
> reg.aov1=lm(germination~sol)
> anova(reg.aov1)
Analysis of Variance Table

Response: germination
      Df Sum Sq Mean Sq F value    Pr(>F)
sol      4 2173.3   543.33   4.5278 0.02405 *
Residuals 10 1200.0    120.00
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
> |

$groups
      germination1 groups
SC0  93.33333    a
SS   90.00000    a
SC2  76.66667    a
SC1  70.00000    a
SC3  46.66667    b
```

Annexes

Annexe IV : Test d'ANOVA pour la biomasse aérienne de la station de Tizi Ouzou :

```
> anova(reg.aov1)
Error: object 'reg.aov1' not found
> reg.aov1=lm(bioA1~Sol)
> anova(reg.aov1)
Analysis of Variance Table

Response: bioA1
      Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
Sol      4 10.1012  2.52531   2.8508 0.08158 .
Residuals 10  8.8583  0.88583
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

$groups
      bioA1 groups
SC0 2.6366667    a
SC1 1.6166667    a
SC2 1.4033333    a
SS  0.9533333    a
SC3 0.1333333    a

attr(,"class")
[1] "group"
> |
```

Annexe V : Test de Kruskal-Wallis pour la biomasse aérienne de la station Freha.

```
> kruskal.test(bioA2~Sol)

      Kruskal-Wallis rank sum test

data:  bioA2 by Sol
Kruskal-Wallis chi-squared = 6.1667, df = 4, p-value = 0.187

$groups
      bioA2 groups
SS  1.7100000    a
SC2 1.0200000    a
SC0 0.8566667    a
SC1 0.6533333    a
SC3 0.1700000    a

attr(,"class")
[1] "group"
>
```

Annexes

Annexe VI : Test de l'ANOVA pour la biomasse racinaire de la station de Tizi Ouzou.

```
> reg.aov1=lm(bioR1~Sol)
> anova(reg.aov1)
Analysis of Variance Table

Response: bioR1
      Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
Sol      4 0.01856  0.004640   0.3454 0.8414
Residuals 10 0.13433  0.013433

$groups
      bioR1 groups
SC0 0.16333333      a
SC2 0.15333333      a
SS  0.15333333      a
SC1 0.12666667      a
SC3 0.06666667      a

attr(,"class")
[1] "group"
> |
```

Annexe VII : Test de Kruskal-Wallis pour la biomasse racinaire de la station de Freha.

```
> kruskal.test(bioR2~Sol)

      Kruskal-Wallis rank sum test

data:  bioR2 by Sol
Kruskal-Wallis chi-squared = 5.2776, df = 4, p-value = 0.26
. . . . .

$groups
      bioR2 groups
SS  0.16666667      a
SC0 0.12000000      a
SC2 0.10666667      a
SC3 0.09666667      a
SC1 0.03000000      a

attr(,"class")
[1] "group"
> |
```

Annexes

Annexe VIII : Test de Kruskal-Wallis sur le nombre de vers de terre vivants dans la station de Tizi-Ouzou.

```
> kruskal.test(TVT~Sol)
```

```
      Kruskal-Wallis rank sum test
```

```
data: TVT by Sol
```

```
Kruskal-Wallis chi-squared = 14, df = 4, p-value = 0.007295
```

```
$groups
```

```
      TVT groups
SC0   3      a
SC1   3      a
SS    3      a
SC2   0      b
SC3   0      b
```

```
attr(,"class")
```

```
[1] "group"
```

```
> |
```

Annexe IX : Test de Kruskal-Wallis sur le nombre de vers de terre vivants dans la station de Freha.

```
> kruskal.test(TVT~Sol)
```

```
      Kruskal-Wallis rank sum test
```

```
data: TVT by Sol
```

```
Kruskal-Wallis chi-squared = 14, df = 4, p-value = 0.007295
```

```
$groups
```

```
      TVT2 groups
SS  2.333333      a
SC0 1.666667      b
SC1 0.000000      c
SC2 0.000000      c
SC3 0.000000      c
```

```
attr(,"class")
```

```
[1] "group"
```

```
> |
```

Annexes

Annexe X : Test de Kruskal-Wallis pour l'activité de la CAT dans la station de Tizi Ouzou.

```
> kruskal.test(CAT~sol)

      Kruskal-Wallis rank sum test

data:  CAT by sol
Kruskal-Wallis chi-squared = 11.562, df = 4, p-value = 0.02093

> |
```

```
$groups
      CAT groups
SC3 0.4333333   a
SC2 0.3000000  ab
SC0 0.2333333  bc
SC1 0.2333333  bc
SS  0.1000000   c
```

Annexe XI : Test de Kruskal-Wallis pour l'activité de la CAT dans la station de Freha.

```
> kruskal.test(CAT2~sol)

      Kruskal-Wallis rank sum test

data:  CAT2 by sol
Kruskal-Wallis chi-squared = 6.2115, df = 4, p-value = 0.1839

> |
```

```
$groups
      CAT2 groups
SC1 0.3666667   a
SC0 0.3333333   a
SC2 0.3333333   a
SS  0.2666667   a
SC3 0.2333333   a
```

Annexes

Annexe XII : Quantité de carburants desservis dans les deux stations :

1. Quantité de carburants desservis dans la station de Tizi Ouzou :

Carburants	Q max	Qi
Gasoil	26000 L	20000 L
Essence sans plomb	6000 L	3400 L

2. Quantité de carburants desservis dans la station de Freha :

Carburants	Q max	Qi
Gasoil	18000 L	16000 L
Essence sans plomb	5500 L	2500 L

Résumé :

Le présent travail a pour objectif d'évaluer le risque écologique dans deux stations-services : Tizi Ouzou et Freha, provoqué par le déversement d'hydrocarbures qui se produisent dans ces stations. Pour se faire, quatre échantillons du sol pollué et non pollué ont été prélevés dans les deux sites étudiés. Le sol pollué a été contaminé artificiellement à différentes concentrations par un mélange d'essence sans plomb et gasoil qui proviennent des mêmes stations afin de se rapprocher des conditions naturelles d'une éventuelle fuite de carburant.

Des tests toxicologiques et bioessais ont été réalisés au laboratoire sur les différents types de sol en utilisant *Zea mays*, les vers de terre de genre *Eisenia* et les microorganismes du sol. Des effets sur les paramètres biologiques de ces espèces ont été mesurés (La germination, la biomasse aérienne et racinaire, le nombre de vers de terre vivants ainsi que la catalase).

Les résultats de ces tests ont montré l'absence d'un risque écologique élevé lié à ces déversements dans les deux stations, toutefois ces stations nécessitent une surveillance.

Mot clés : évaluation du risque, hydrocarbures, bioessais, test toxicologique, station-service.

Abstract:

The aim of this study is to assess the ecological risk at two service stations: Tizi-Ouzou and Freha, caused by the hydrocarbon spills that occur at these stations. To do this, four samples of polluted and unpolluted soil were taken from the two sites studied. The polluted soil was artificially contaminated at different concentrations with a mixture of unleaded petrol and diesel from the same stations, to approximate the natural conditions of a fuel spill.

Toxicological tests and bioassays were conducted in the laboratory on several types of soil using *Zea mays*, earthworms of the genus *Eisenia* and soil microorganisms. Effects on the biological parameters of these species were measured (germination, aerial and root biomass, number of living earthworms and catalase).

The results of these tests showed the absence of a high ecological risk from these spills at both sites; however, these tests require monitoring.

Keywords: risk assessment, hydrocarbons, bioassays, toxicological test, gas station.