

UNIVERSITE KASDI MERBAH – OUARGLA
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département des Sciences Agronomiques



MEMOIRE

MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie
Filière : Sciences agronomiques
Spécialité : Gestion des agrosystèmes

Présenté par : M^{elle}. BOUIDIA Chaima
M^{elle}. MAKKEB Amel

Thème

Etude de l'effet de l'application de glyphosate et sa biodégradation par la densité bactérienne d'un sol oasien; cas du sol de l'exploitation de l'université de Ouargla

Soutenu publiquement

Le : 23 /06/2022

Devant le Jury :

| | | | | |
|-------------------------|------------|------------|--------------|---------------|
| M ^{me} OUSTANI | Mabrouka | M.C.A | Présidente | U.K.M.Ouargla |
| M. YUCEF | Mahmoud | M.A.A | Examineur | U.K.M.Ouargla |
| M. KARABI | Mokhtar | M.C.A | Encadrant | U.K.M.Ouargla |
| M ^{me} BOUHNİK | Afaf Amani | Doctorante | Co-encadrant | U.K.M.Ouargla |

Année Universitaire: 2021 / 2022

REMERCIEMENTS

Avant tout, nous remercions **ALLAH**, le tout puissant de nous avoir accordé la force, le courage et la volonté pour mener à terme ce travail.

Un grand merci à nos chers parents pour leur amour, leur confiance, leurs conseils, leur encouragement et sacrifices, ainsi que leur soutien inconditionnel qui nous ont permis de réaliser les études.

Tous nos remerciements à la personne qui, tout au long de ce parcours difficile, nous a accompagné et a montré de la sagesse mais du moins de la compréhension. Notre encadrant Monsieur **KARABI Mokhtar** a été pour nous un soutien digne d'un bon professeur compétent et persévérant.

Nous remercions notre co-encadrant madame **Bouhnik Afaf Amani** de nous avoir co-encadré.

Sans oublier les membres de jury, madame **OUSTANI Mabrouka**, Maître de conférences « B » au département des sciences agronomiques, et monsieur **YOUCEF Mahmoud**, Maître-assistant « A » au département des sciences agronomiques.

Nous remercions également tous les autres professeurs auxquels nous devons nos compétences intellectuelles, plus particulièrement monsieur **BOUMADA**, monsieur **SAGGAI M**, monsieur **BELLAROUCI**, monsieur **IDDER Mohammed Abdelhak**, et pour finir une petite pensée à madame **KARABI** avec son visage plein de bonté et de douceur, deux qualités qui sont si importantes pour nous mais malheureusement rarissimes !!!!!

Amel et Chaima



Dédicaces

Je tiens à dédier ce modeste travail aux plus chers à mon

Cœur,

À ma mère et mon père

À mes grands parents

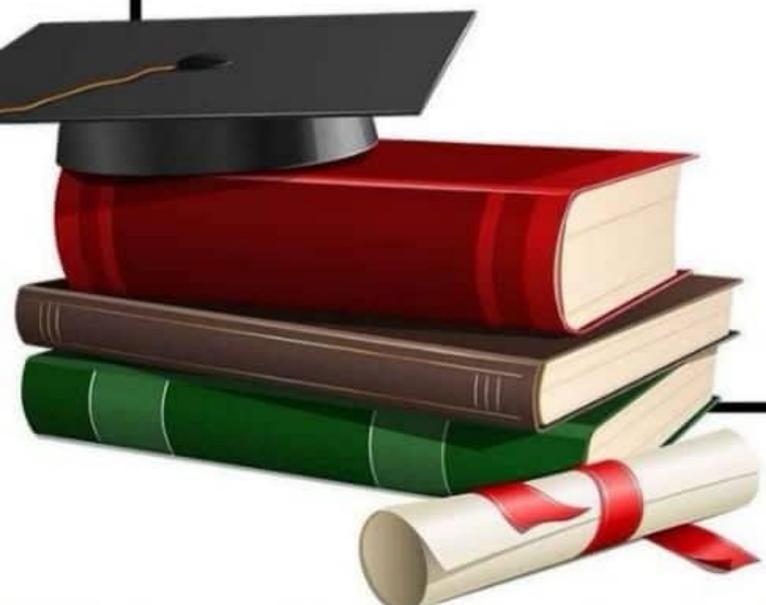
À mon cher frère

À ma chère sœur

À ma chère binôme "Chaima"

À tous mes amis

MAKKEB Amel (Melissa)





Dédicaces

Je tiens à dédier ce modeste travail aux plus chers à mon cœur

Mes parents :

*Ma chère mère "**KHEIRA**"*

*Et mon adorable père "**MOHAMED BACHIR**"*

Pour leurs soutiens inconditionnels

Grâce à eux, j'ai eu la chance de réaliser mes études,

Chacun de sa manière.

Mes chers frères et mes sœurs :

YOUNES, IMAD et RADJA, NADJET.

*À mes familles **BOUIDIA** et **KATEB***

Chacun a son nom.

*À mon cher binôme : **MELISSA***

À tous mes amis de près ou de loin surtout :

NESSRINE, AMEL.

À toute personne qui me connaît.

BOUIDIA Chaima

Table des matières

| Titre | Page |
|--|------|
| Remerciements | |
| Dédicaces | |
| Liste des abréviations | |
| Liste des tableaux | |
| Liste des figures | |
| Tableau des photos | |
| Liste des annexes | |
| Introduction générale | 1 |
| Partie I .Synthèse Bibliographique | |
| Chapitre I. Généralités sur les pesticides et le glyphosate et sabiodégradation dans le sol | |
| Introduction | 5 |
| I. Aperçu sur les pesticides | 6 |
| I.1. Définition d'un pesticide | 6 |
| I.2.Types de pesticides | 6 |
| I.3. Classification des pesticides | 7 |
| I.4. Pesticides dans le monde | 8 |
| I.5.Pesticides en Algérie | 9 |
| I.6.Rôle des pesticides | 10 |
| II.Généralité sur le glyphosate et son comportement dans le sol | 11 |
| II.1.Définition du glyphosate | 11 |
| II.2.Composition du glyphosate | 11 |
| II.3.Inquiétudes du glyphosate sur la santé | 12 |
| II.4.Effet de l'exposition au glyphosate sur les cellules humaines | 13 |
| II.5.Mode d'action du glyphosate | 14 |
| II.6.Glyphosate dans le sol (accumulation et persistance) | 15 |
| II.7.Effet du glyphosate sur la qualité du sol | 16 |
| II.8.Effet du glyphosate sur les bactéries | 16 |
| II.9.Biodégradation du glyphosate | 17 |
| Chapitre II. Généralité sur le sol et les microorganismes du sol | |
| Introduction | 20 |
| I. Le Sol | 20 |
| I.1.Aperçu général sur le sol Saharien | 20 |
| II. Microbiologie du sol | 21 |
| II.1.Microbiologie des sols sahariens | 21 |
| III.Les micro-organismes du sol | 21 |
| III.1.Bactéries | 22 |
| IV.Rôle des microorganismes dans le sol | 23 |
| Partie II Matériel et méthodes | |

| | |
|--|----|
| I.Présentation de la région de Ouargla | 25 |
| I.1.Situation géographique. | 25 |
| I.2.Pédologie | 26 |
| I.3.Caractéristiques climatiques | 26 |
| II.Station d'étude | 26 |
| III. Méthodologie de travail | 28 |
| III.1.Etapes d'échantillonnage | 30 |
| III.1.1.Etapes de préparation des produits diluées | 30 |
| III.1.2.Prélèvement des échantillons | 31 |
| III.2.Méthodes d'analyse | 31 |
| III.2.1.Analyses physico-chimiques | 31 |
| III.2.1.1.Humidité | 31 |
| III.2.1.2.Ph | 31 |
| III.2.1.3.Conductivité électrique (CE) | 31 |
| III.2.1.4.Calcaire total | 31 |
| III.2.1.5.Dosage du carbone organique et détermination de la matière organique | 32 |
| III.2.2.Analyses microbiologiques | 32 |
| III.2.2.1Préparation des dilutions décimales de solution du sol | 32 |
| III.2.2.2.Ensemencement et lecture des résultats | 34 |
| III.2.2.3.Observation et dénombrement | 34 |
| III.2.2.3.1.Observation macroscopique et dénombrement | 34 |
| III.2.2.3.2.Observation microscopique | 34 |
| III.2.2.3.2.1.Coloration de Gram | 34 |
| Partie III Résultats et discussion | |
| I.Résultats des analyses physico-chimiques des sols | 36 |
| I.1.Analyse granulométrique du sol | 36 |
| I.2.Humidité | 37 |
| I.3.Conductivité électrique | 38 |
| I.4.Potentiel Hydrogène (pH) Erreur ! Signet non défini. | 40 |
| I.5.Matière organique (M.O) | 42 |
| II.Résultats des analyses microbiologiques | 43 |
| II.1.Densité bactérienne | 43 |
| II.2.Coloration de gram | 49 |
| II.3.Caractères morphologiques | 51 |
| Conclusion | 53 |
| Références bibliographiques | 55 |

| | |
|---------|--|
| Annexes | |
| Résumé | |

Liste des abréviations

| Abréviation | Signification |
|-------------------------------|---|
| FAO | Food and Agricultural Organization |
| CE | Conductivité Electrique |
| C_{org} | carbone organique |
| MO | Matière Organique |
| UFC.g.s.s⁻¹ | Unité Formant Colonie par gramme de sol sec |
| ITAS | L'Institut Technique de l'Agronomie Saharienne. |
| EPSPS | l'enzyme 5-énolpyruvyl-3-shikimate phosphate synthase |
| EFSA | l'Autorité européenne de sécurité des aliments |
| POEA | polyoxyéthylène amine |

Liste des tableaux

| N° | Titres | Page |
|----|--|------|
| 01 | Caractéristiques physico-chimiques du sol étudié | 36 |
| 02 | Résultats du dénombrement de la densité bactérienne du sol avant et après traitement par le glyphosate | 43 |
| 03 | Caractères morphologiques des bactéries | 51 |

Liste des figures

| N° | Titres | Page |
|----|--|------|
| 01 | Schéma illustrant la réponse et les effets des pesticides sur les communautés microbiennes et la biodiversité du sol. | 08 |
| 02 | Part en pourcentage de l'utilisation des pesticides par différents continents. | 09 |
| 03 | La structure chimique du glyphosate. | 11 |
| 04 | Schéma du mode d'action du glyphosate. | 15 |
| 05 | Les bactéries du sol. | 23 |
| 06 | Localisation géographique de la région d'Ouargla. | 25 |
| 07 | Photo satellitaire de l'exploitation de l'université d'Ouargla ITAS . | 27 |
| 08 | Méthodologie du travail. | 28 |
| 09 | Schéma simplifié du dispositif expérimental de l'étude | 29 |
| 10 | Préparation les dilutions décimales de solution du sol | 33 |
| 11 | Représentation graphique d'Humidité avant et après le traitement du sol par le glyphosate. | 37 |
| 12 | Représentation graphique de la conductivité électrique avant et après le traitement du sol par le glyphosate. | 39 |
| 13 | Représentation graphique du pH dans le sol avant et après traitement par le glyphosate | 40 |
| 14 | Représentation graphique de la matière organique avant et après le traitement du sol par le glyphosate. | 42 |
| 15 | Représentation schématique de la liaison du glyphosate au site de liaison au substrat de l'enzyme PyruvylShikimate-3-Phosphate Synthase (EPSPS), inhibant ses activités. | 45 |
| 16 | Représentation graphique de la densité bactérienne après 1 jour, 1 semaine et 15 jours. | 48 |

Tableau des photos

| N° | Photo | Page |
|----|--|------|
| 01 | Préparation de produit. | 30 |
| 02 | Traitement par le produit phytosanitaire (glyphosate). | 30 |
| 03 | Préparation les dilutions décimales de solution du sol. | 33 |
| 04 | Ensemencement des boites pétries. | 34 |
| 05 | Observation microscopique. | 35 |
| 06 | Observation par microscope optique des bactéries gram positive (Gross x 40). | 50 |
| 07 | Observation par microscope optique des bactéries gram négative (Gross x 40). | 50 |
| 08 | Observation macroscopique des bactéries. | 52 |

Liste des annexes

Annexe 01 : Milieux de culture

Annexe 02 : Liste de matériels utilisés dans la partie expérimentale

Annexe 03 : Echelle d'interprétation des analyses physicochimiques du sol

Annexe 04 : Fiche technique du produit utilisé (glyphosate)

Introduction générale

Introduction générale

Les plantes saines ont besoin d'un sol sain pour une croissance saine, pour pouvoir absorber précisément ce dont les plantes ont besoin, le sol doit contenir des minéraux et une vie nécessaire (**Floris et Haagen, 2017**). Cultiver un avenir alimentaire positif pour la nature commence par le sol (**Pogson, 2022**).

Le sol est la fondation sur laquelle la vie de nos enfants sera bâtie, une cuillère à café de sol sain contient plus de microbes qu'il n'y a de personnes sur terre, et notre vie dépend fortement de la vie dans le sol.

Les sols touchent tous les aspects de la vie, de la nourriture dans notre assiette, des vêtements que nous portons sur notre dos, des chaussures à nos pieds. Nous pourrions nous promener dans le parc, nous promener dans les bois, jouer au football. Tout revient au sol (**Telfer, 2022**). Et tout comme nous, le sol est un organisme vivant qui doit être traité, il est à base de carbone, il respire, il a besoin d'eau, de nourriture et d'un abri.

Il y'a littéralement des billions de micro-organismes dans un gramme de sol, il y a des bactéries, des champignons, des nématodes, des algues, des rotifères, juste une énorme quantité de micro-organismes du sol (**Graveel, 2017**). Et sans cette richesse de biodiversité juste sous nos pieds, nous ne pouvons pas nourrir le monde et protéger la planète (**Yara International, 2022**).

L'humanité fait face à une crise mondiale avec des pesticides, des antibiotiques, des épidémies et des polluants environnementaux qui agissent contre notre santé mentale et physique (**Tomobryan, 2020**), et des produits chimiques synthétiques importants pour l'environnement se trouvent désormais dans de nombreux endroits sur Terre (**Schaeffer, 2022**).

L'augmentation de la production alimentaire est l'objectif premier de tous les pays, car la population mondiale devrait atteindre près de 10 milliards d'ici 2050 (**Soloneski, 2014**).

En effet, la population mondiale augmente d'environ 97 millions par an (**Saravi et Shokrzadeh, 2011**). L'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (**FAO, 2019**) a en fait publié une prévision qui donne à réfléchir selon laquelle la production alimentaire mondiale doit augmenter de 70 %.

Afin de suivre le rythme de la demande croissante de la population, l'augmentation de la population mondiale a donc exercé une pression énorme sur le système agricole afin que les besoins alimentaires puissent être satisfaits à partir des mêmes ressources actuelles comme la terre, l'eau, etc (**Soloneski, 2014**). Par conséquent, et en raison de cette croissance rapide de la population humaine, de nombreux pesticides ont été utilisés pour maximiser la

production des cultures. La consommation massive des pesticides dans les sols cultivés entraîne leur pollution. La recherche montre que l'utilisation des pesticides pulvérisés conduit à des sols qui n'ont plus la même biologie pour une croissance saine des plantes. Les pesticides viennent d'une époque où l'on ne comprenait pas les effets à long terme sur le sol, pour les agriculteurs, les pesticides étaient un miracle, les plus stables et les plus grands capables de fournir la nourriture nécessaire à une population croissante, mais maintenant après des années d'utilisation, les effets sur la qualité du sol sont évidents.

De plus en plus, on constate que peu de minéraux nutritifs restent dans le sol et se résolvent en plantes qui deviennent rapidement faibles et malades (**Floris et Haagen, 2017**).

Environ 99,9% de pesticides appliqués n'atteignent pas les organismes ciblés et deviennent une accumulation de résidus de pesticides qui polluent l'environnement du sol, et seulement 0,1 % atteint les organismes ciblés (**Harsimran et Harsh, 2014**).

L'application incontrôlée de pesticides peut contaminer le sol et tuer d'autres organismes non ciblés. Les pesticides peuvent endommager la biomasse du sol et les micro-organismes tels que les bactéries, les champignons et les vers de terre (**Sutrisno, 2017**).

Les pesticides agricoles peuvent devenir des polluants environnementaux persistants. Parmi beaucoup d'autres, le glyphosate fait l'objet d'une attention particulière en raison de son utilisation intensive et de ses prétendues menaces pour l'écosystème et la santé humaine (**Cecili, 2020**).

Le glyphosate est une substance présente dans de nombreux herbicides, active pour éliminer les mauvaises herbes (Keraron, 2021). Depuis sa première commercialisation dans les années 70 (**Baird, 1971**), le glyphosate est devenu l'herbicide le plus utilisé dans le monde (**Benbrook, 2016**), avec environ 600 à 750 000 tonnes utilisées annuellement et 740 à 920 000 tonnes seront utilisées d'ici 2025 (**Cecili, 2020**).

L'impact du glyphosate sur la croissance des micro-organismes du sol est néfaste, car il affecte leur activité, et les propriétés chimiques et biologiques, biochimiques du sol, et l'effet du glyphosate sur les micro-organismes du sol et leur activité dépendent du type de pesticides utilisés, leur quantité et les conditions du sol (**Mehjin, 2019**).

La biodégradation du glyphosate est un processus principalement à médiation microbienne (**Sprankle et al, 1975**) ; (**Gimsing et al, 2004**), et la voie a été largement étudiée dans les laboratoires (**Torstensson, 1985**). Il se dégrade à un rythme relativement rapide dans la plupart des sols, avec une demi-vie estimée entre 7 et 60 jours (**Giesy et al, 2000**).

De nombreuses études ont indiqué que la présence de glyphosate dans le sol peut renforcer l'activité microbienne (**Haney et al, 2000**) ; (**Bussey et al, 2001**), tandis que certaines études

ont également montré les effets toxiques du glyphosate sur les micro-organismes du sol (**Araujo et al, 2003**).

La plupart des études sur le glyphosate ont testé les effets du traitement à court terme sur la biomasse microbienne ou la composition générale de la communauté à des niveaux taxonomiques plus élevés dans le sol, la rhizosphère ou le tractus intestinal des animaux, et ont trouvé peu d'effet (**Cachada et Owagboriyaye, 2021**).

Des études plus détaillées ont montré des réductions de genres ou d'espèces spécifiques ainsi que des processus biologiques après l'application de glyphosate.

Les rhizobactéries favorisant la croissance des plantes et les bactéries intestinales bénéfiques sont souvent affectées négativement, tandis que les bactéries et les champignons pathogènes sont renforcés (**Cachada et Owagboriyaye, 2021**).

Cependant, en raison de son utilisation intensive, les inquiétudes et les études sur le comportement du glyphosate dans les plantes et l'environnement se multiplient.

Une étude publiée dans *Frontiers in Environmental Science* révèle que le glyphosate affecte négativement les communautés microbiennes, influençant indirectement la santé des plantes, des animaux et des humains (**Van Bruggen et al, 2021**).

Les études sur l'effet du glyphosate sur la densité bactérienne du sol restent très rares et périphériques particulièrement dans la région d'Ouargla. On cite entre autres les travaux de Aloui(2018), Ben Krima et Boublal (2021).

Cependant ces études ont été réalisées in vitro, alors qu'une étude insitu dans ce sens est quasiment inexistante dans la région de Ouargla. C'est dans ce contexte que s'inscrit la présente étude.

L'objectif de cette étude est de déterminer l'effet du glyphosate sur la densité microbienne d'un sol oasien, et d'étudier la possibilité de sa biodégradation par la biomasse microbienne.

L'étude a pour objectif également la sensibilisation des agriculteurs et fournir les informations scientifiques nécessaires à l'application et à la gestion des pesticides à l'avenir pour une bonne gestion du sol, une agriculture durable et soucieuse de l'environnement.

Pour mener à bien notre travail il fallait le structurer et l'organiser, pour ce faire, la démarche méthodologique adoptée s'articulera autour de trois parties importantes :

- La première partie divisée en deux chapitres, consiste en une investigation théorique qui est de nature à nous permettre de comprendre et de maîtriser les concepts de base sur les pesticides et le glyphosate, ainsi que la biomasse

microbienne d'un sol oasien.

- La deuxième partie est liée à l'étude pratique sur le sujet traité, nous exposerons la méthodologie et le matériel utilisé durant les différentes analyses physicochimiques et microbiologiques.
- La troisième partie constitue les résultats, leurs interprétations et discussions. Enfin, nous clôturerons avec une conclusion générale.

Partie I
Synthèse
Bibliographique

Chapitre I. Généralités sur les pesticides et le glyphosate et sa biodégradation dans le sol

Introduction

Il est généralement admis que les pesticides jouent un rôle important dans le développement agricole car ils peuvent réduire les pertes de produits agricoles et améliorer le rendement abordable et la qualité des aliments (**Strassemeyer et al., 2017**).

Les pesticides sont classés selon différents termes de classification tels que les classes chimiques, les groupes fonctionnels, les modes d'action et la toxicité. Ils sont utilisés pour tuer les ravageurs et contrôler les mauvaises herbes à l'aide d'ingrédients chimiques ; par contre, ils peuvent également être toxiques pour d'autres organismes, notamment les oiseaux, les poissons, les insectes utiles et les plantes non ciblées, ainsi que pour l'air, l'eau, les cultures et le sol. (**Muyesaier et al., 2021**).

De plus, la contamination par les pesticides s'éloigne des plantes cibles, entraînant une pollution de l'environnement. Ces résidus chimiques ont un impact sur la santé humaine par la contamination de l'environnement et des aliments. (**Muyesaier et al., 2021**).

L'exposition des organismes non ciblés et la mobilité hors site est devenu un sujet de préoccupation environnementale (**Hafez et Thiemann, 2003**) potentiellement en raison des effets néfastes des pesticides chimiques sur les micro-organismes du sol (**Araújo et al., 2003**).

Un pesticide idéal devrait être toxique uniquement pour l'organisme cible, biodégradable et ne devrait pas s'infiltrer dans les eaux souterraines. Malheureusement, c'est rarement le cas et l'utilisation généralisée des pesticides dans l'agriculture moderne est préoccupante (**Johnsen et al., 2001**).

En outre, les facteurs liés au changement climatique ont également un impact sur l'application des pesticides et entraînent une augmentation de leur utilisation et de la pollution par les pesticides (**Muyesaier et al., 2021**).

Parmi les pesticides, les herbicides sont les plus utilisés. De nos jours, le glyphosate est l'herbicide le plus utilisé et le plus contesté (**Daniel Alejandro Barrio, et al., 2021**), et on craint de plus en plus que le glyphosate, s'il n'est pas utilisé judicieusement, puisse avoir des effets négatifs non ciblés sur les agroécosystèmes (**Kanissery et al., 2019**).

Les informations contenant ce chapitre vont indiquer : Une généralité sur les pesticides et ainsi que sur le glyphosate, et son utilisation en Algérie, et présenter l'état des connaissances concernant la persistance du glyphosate dans le sol, son comportement et contamination, le processus de sa biodégradation, et ses effets néfastes sur l'environnement naturel notamment sur le sol.

I. Aperçu sur les pesticides

I.1. Définition d'un pesticide

Un pesticide est une substance utilisée pour tuer, repousser ou contrôler certaines formes de vie végétale ou animale considérées comme nuisibles. En général, un pesticide est un agent chimique ou biologique tel qu'un virus, une bactérie, un antimicrobien ou un désinfectant qui dissuade, neutralise, tue les parasites.

Selon l'organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (**FAO**) (**2002**), un pesticide est toute substance ou mélange de substances destiné à prévenir, détruire ou contrôler tout organisme nuisible, y compris les vecteurs de maladies humaines ou animales, les espèces végétales ou animales indésirables.

D'un point de vue réglementaire, nous distinguons les pesticides utilisés principalement pour la protection des végétaux que nous appelons produits phytopharmaceutiques ou plus communément produits phytosanitaires et d'autres dénommés biocides. Par exemple, un insecticide sera un produit phytosanitaire s'il est utilisé sur du blé mais un biocide dès lors qu'il est utilisé sur du bois de charpentes (**Devillers et al., 2005**).

De manière plus concise, les produits phytosanitaires, sont définis comme des substances dont les propriétés chimiques contribuent à la protection des plantes cultivées et des produits récoltés, ils améliorent ainsi à la fois la quantité et la qualité des denrées alimentaires.

Leur composition et leur structure sont très variées, de sorte que leurs propriétés physiques, chimiques et biologiques le sont aussi, ce qui explique leurs multiples usages, leurs dangers, ainsi que les difficultés rencontrées pour décrire et prévoir leur devenir dans les sols (**Gariido et al., 2004**).

I.2. Types de pesticides

Selon les organismes vivants visés, nous distinguons plusieurs catégories de pesticides dont les principales sont les insecticides, les fongicides et les herbicides (**ACTA, 2006**) :

- Les herbicides

Les herbicides représentent les pesticides les plus utilisés dans le monde, toutes cultures

confondues.

Ils sont destinés à éliminer les végétaux rentrant en concurrence avec les plantes à protéger en ralentissant leur croissance. Les herbicides possèdent différents modes d'action sur les plantes, ils peuvent être des perturbateurs de la régulation d'une hormone de croissance telle que l'auxine, de la photosynthèse, des inhibiteurs de la division cellulaire, de la synthèse des lipides, de la cellulose ou des acides aminés.

- **Les fongicides**

Les fongicides permettent quant à eux à éliminer ou limiter le développement des champignons parasites des végétaux. Ils peuvent agir différemment sur ces organismes, soit en inhibant le système respiratoire ou la division cellulaire, soit en perturbant la biosynthèse des stérols, de l'ARN polymérase ou de l'adénosine désaminase.

- **Les insecticides**

Les insecticides sont utilisés pour la protection des plantes contre les insectes. Ils interviennent en les éliminant ou en empêchant leur reproduction, différents types existent : les neurotoxines, les insecticides agissant sur la respiration et les insecticides interférant sur la mise en place de la cuticule. Outre, ces trois familles mentionnées ci-dessus, d'autres peuvent être citées en exemple

: les acaricides, contre les acariens ; les némantocides, contre les vers du groupe de nématodes ; les rodenticides, contre les rongeurs ; les taupicides, contre les taupes ; les molluscicides, contre les limaces et escargots ou encore les corvicides et corvifuges, respectivement contre les corbeaux et les autres oiseaux ravageurs de culture.

I.3. Classification des pesticides

Les pesticides sont des substances ou des mélanges de substances qui diffèrent par leurs propriétés physiques, chimiques et identiques de l'un à l'autre. Dès lors, ils sont classés en fonction de ces propriétés. Certains pesticides sont également classés en différentes classes selon les besoins (**Rajveer Kaur et al., 2019**).

Pour cette raison, il est louable de les catégoriser en fonction de leurs propriétés.

Un pesticide synthétique est un produit chimique fabriqué par l'homme et n'existe pas dans la nature. Ils sont classés en plusieurs groupes en fonction de leur utilisation (**Hassaan et El Nemr, 2020**).

Actuellement, il existe trois méthodes largement répandues de classification des pesticides recommandées par **Drum (1980)**. Ces trois méthodes englobent : la structure chimique du pesticide, le mode d'entrée, et l'action du pesticide et les organismes qu'il tue (**Yadav et al.,**

2015).

Les pesticides chimiques sont classés en six types selon leurs sources (Cottard, 2008) :

- Les organochlorés, parmi les plus anciens et les plus persistants, ils sont surtout utilisés comme insecticides en agriculture et dans les métiers du bois.
- Les organophosphorés, eux aussi utilisés comme insecticides.
- Les carbamates, fongicides et insecticides.
- Les phénoxy, herbicides.
- Les organo-azotés, principalement utilisés comme herbicides.
- Les urées, utilisés comme herbicides et fongicides.

D'autre part, il existe une autre classe de pesticides appelés biopesticides, qui sont des matériaux naturels ou dérivés naturellement, en particulier d'organismes vivants tels que des plantes, des champignons, des bactéries, etc. (Figure 01).

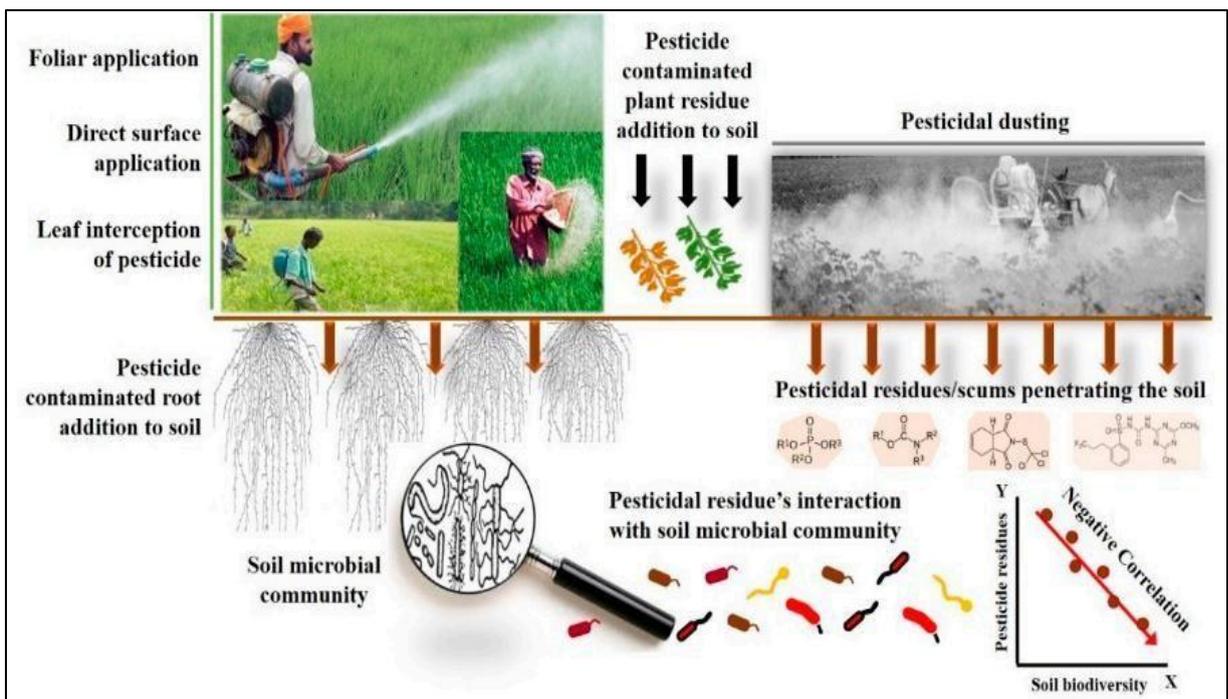


Figure 01. Schéma illustrant la réponse et les effets des pesticides sur les communautés microbiennes et la biodiversité du sol (Meena et al., 2020)

Les biopesticides sont divisés en trois grands groupes : les pesticides biochimiques, les pesticides microbiens, et les protecteurs incorporés aux plantes. (Hassaan et El Nemr, 2020). Les méthodes que les pesticides peuvent utiliser pour interagir avec ou atteindre le ravageur ciblesont appelées modes d'entrée (Gerolt, 1969).

I.4. Pesticides dans le monde

La demande de pesticides ne cesse d'augmenter et plus de 50% des pesticides utilisés le mondeproviennent d'Asie (Meena et al., 2020) (Figure 02).

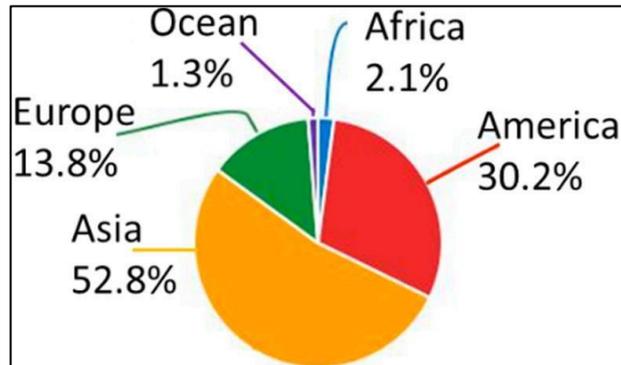


Figure 02. Part en pourcentage de l'utilisation des pesticides par différents continents. Source (FAO, 2019)

I.5.Pesticides en Algérie

En Algérie, comme ailleurs, les agriculteurs utilisent abondamment les pesticides, et les cultures nécessitent l'utilisation d'une large gamme.

En conséquence, le risque de pollution des écosystèmes par les résidus de pesticides est susceptible d'être très élevé. Même si l'activité agricole s'efforce maintenant de présenter une image de qualité et de préservation du milieu environnemental.

L'agriculture Saharienne en Algérie est en pleine expansion, elle n'est malheureusement pas à l'abri de l'usage des pesticides. Ouargla est une région qui se situe au Sud Est de l'Algérie caractérisée par un développement remarquable dans le domaine de l'agriculture par le programme de la mise en valeur des terres en milieu saharien ce qui incite les agriculteurs à l'utilisation des pesticides (Aloui, 2019).

Selon l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, la consommation Algérienne des pesticides en kilogramme par hectare est estimée à près de 9,64 en 2002 et de 22,32 en 2016. Cette consommation élevée au cours du temps, est causée par l'emploi abusif de ces produits, la réalisation de plusieurs applications chimiques durant les stades végétatifs, et l'ignorance de respect des doses, normes. Cela engendre des fluctuations sur le plan écologique(contamination et pollution), sociale (diffusion de maladies), économique (pauvreté), et industriel(Cherif, 2020).

Il est impératif d'instaurer un débat sur l'utilisation des pesticides en Algérie, et il ne faut pas

seleurrer nos produits agricoles ne sont pas bio, bien au contraire on enregistre une utilisation quasianarchique de ces produits par nos agriculteurs (**Manseur, 2018**).

I.6.Rôle des pesticides

Le principal rôle des pesticides est qu'ils peuvent sauver les agriculteurs en protégeant les cultures.

De différents types de pesticides sont utilisés dans une gamme de domaines, y compris la santé publique et les activités agricoles (**Chowdhury et al, 2009**).

En termes de santé publique, les pesticides sont utilisés dans la vie quotidienne pour tuer les parasites, notamment les moustiques, les tiques, les rats et les souris dans les maisons, les bureaux, les centres commerciaux et les rues (**Lawler, 2017**).

En conséquence, l'immense fardeau des maladies causées par ces vecteurs a été considérablement réduit ou éliminé (**Kabir et al., 2017**).

Les insecticides sont souvent le moyen le plus pratique de lutter contre les insectes qui peuvent propager des maladies mortelles telles que le paludisme, entraînant éventuellement un nombre de décès estimé à 5 000 décès dans le monde chaque jour (**Ross, 2005**).

De plus, les pesticides sont indispensables dans la production agricole, et des augmentations remarquables des produits agricoles ont été signalées à la suite de l'utilisation de pesticides (**Lamichhane, 2017**).

L'augmentation de la population mondiale au XXe siècle n'aurait pas été possible sans une augmentation parallèle de la production alimentaire. Bien que l'augmentation de la productivité alimentaire soit due à plusieurs facteurs, notamment l'utilisation de produits chimiques, de meilleures variétés de plantes et l'utilisation de machines, les pesticides ont fait partie intégrante du processus en réduisant les pertes de récolte causées par les mauvaises herbes, les maladies et les insectes nuisibles (**Chowdhury et al, 2009**).

Environ un tiers des produits agricoles sont produits à l'aide de pesticides. Sans l'utilisation de pesticides, il y aurait une perte de 78 % de la production de fruits, une perte de 54 % de la production de légumes et une perte de 32 % de la production de céréales (**Lamichhane, 2017**). Par conséquent, les pesticides jouent un rôle essentiel dans la réduction des maladies et l'amélioration de l'augmentation des rendements des cultures dans le monde. Ainsi, ils ont apporté une contribution significative à la lutte contre la faim et à l'accès à un approvisionnement abondant en aliments de haute qualité (**Muyesaier, 2021**).

L'utilisation des pesticides présente également un avantage secondaire, qui est moins immédiat et moins évident intuitivement, avec des conséquences à long terme, notamment les revenus agricoles et agroalimentaires, l'amélioration de la nutrition et de la santé, la sécurité

alimentaire, l'amélioration de la qualité de vie, un plus large éventail de cultures viables, augmentation de l'espérance de vie, réduction des frais vétérinaires et médicaux, population en meilleure forme, réduction du coûts d'entretien et d'érosion, augmentation des revenus d'exportation, productivité de la main-d'œuvre, biodiversité (Cooper et Dobson, 2007).

II. Généralité sur le glyphosate et son comportement dans le sol

II.1. Définition du glyphosate

Le glyphosate est un herbicide utilisé pour contrôler les mauvaises herbes. C'est l'ingrédient actif de nombreux produits herbicides (Ajiboye, 2022).

En 1974, l'entreprise états-unienne Monsanto met sur le marché la première formulation commerciale contenant la molécule, sous le nom Roundup (Keraron, 2021), et il est également couramment utilisé dans de nombreux autres pays du monde. Les herbicides contenant du glyphosate sont également appelés désherbants (Ajiboye, 2022).

Le glyphosate agit en empêchant les plantes de produire certaines protéines nécessaires à leur croissance. Lorsqu'ils sont utilisés avec précision et conformément aux instructions de l'étiquette, l'herbicide aide à empêcher les mauvaises herbes de concurrencer les cultures pour l'eau, la lumière du soleil et les nutriments (anonyme 2022).

Le produit est utilisé principalement dans l'agriculture, mais aussi dans la sylviculture et l'entretien des pelouses et des jardins.

Le glyphosate pur est en fait relativement peu toxique, les produits contiennent généralement d'autres ingrédients qui aident le glyphosate à tuer les plantes. Ce sont les autres ingrédients mélangés au glyphosate qui rendent le produit plus toxique (5).

II.2. Composition du glyphosate

Le glyphosate ou N-(Phosphonométhyl) glycine est une molécule de synthèse découverte en 1950 par Henri Martin. C'est un acide phosphonique dérivé d'une réaction entre le groupe méthyle de l'acide méthylphosphonique avec le groupe amino de la glycine. C'est le seul herbicide qui attaque l'enzyme 5-énolpyruvyl-3-shikimate phosphate synthase (EPSPS) (Ajiboye, 2022) (Figure 03).

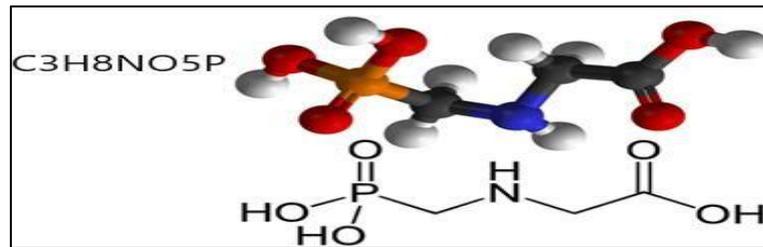


Figure 03. Structure chimique du glyphosate

La biosynthèse des acides aminés aromatiques dans les plantes, de nombreuses bactéries et microbes repose sur l'enzyme 5-énolpyruvylshikimate 3-phosphate (EPSP) synthase (**Evans et al., 2001**).

La 5-énolpyruvylshikimate-3-phosphate synthase (EPSPS) est une enzyme clé dans la voie du shikimate pour la production d'acides aminés aromatiques essentiels (phénylalanine, tyrosine et tryptophane) et de métabolites secondaires dérivés du chorismate dans les plantes, les champignons et les micro-organismes (**Peng et al., 2012**). Étant donné que la voie du shikimate se retrouve également chez de nombreux procaryotes et champignons, l'utilisation généralisée du glyphosate peut avoir des impacts insoupçonnés sur la diversité et la composition des communautés microbiennes (**Leino et al., 2021**).

II.3. Inquiétudes du glyphosate sur la santé

Aujourd'hui, l'utilisation du glyphosate pour contrôler la végétation indésirable est très controversée. Il existe de nombreuses recherches et études scientifiques pour approuver et désapprouver sa toxicité.

L'exposition humaine au glyphosate, soit par la consommation d'aliments et d'eau, soit par exposition externe, a été largement étudiée. Cependant, en raison des différences de méthodologie entre les études, la comparaison directe des données est difficile (**Connolly et al. 2020**).

Les entreprises qui fabriquent des produits herbicides affirment que le glyphosate est totalement sûr à utiliser et que les preuves scientifiques qui confirment sa nuisance sont incorrectes. Ils sont soutenus par l'Autorité européenne de sécurité des aliments (EFSA), qui a déclaré que le glyphosate est "peu susceptible de présenter un risque cancérigène pour l'homme" (**Benbrook, 2019**).

Cependant, en 2015, l'agence de lutte contre le cancer de l'Organisation mondiale de la santé, le CIRC, a déclaré que le glyphosate est un "cancérigène probable pour l'homme" (International Agency, 2015).

Les conséquences d'une exposition à long terme au glyphosate sont de plus en plus mal comprises, conduisant l'Organisation mondiale de la santé à reclasser le glyphosate comme cancérigène probable pour l'homme (**Van Bruggen et al. 2018**).

L'inquiétude augmente car le glyphosate se trouve souvent dans nos aliments et nos cours d'eau. Ainsi, si les études sont exactes, la santé humaine pourrait être sérieusement menacée si le produit chimique continue d'être utilisé à grande échelle.

II.4.Effet de l'exposition au glyphosate sur les cellules humaines

Le glyphosate et son métabolite peut être trouvés dans le sol, l'air, l'eau, ainsi que les eaux souterraines et les produits alimentaires (**Garcia et al., 2020**).

Des études récentes sur des cellules humaines ont rapporté plusieurs effets toxicologiques du glyphosate et ont contribué à une meilleure compréhension des conséquences délétères associées à leur exposition.

Par ailleurs, les effets délétères de l'exposition au glyphosate sur la santé humaine ont été observés dans des études épidémiologiques, cependant, la plupart de ces études n'ont pas déterminé le dosage de glyphosate pour confirmer un effet direct.

Alors que la toxicité du glyphosate est claire dans les cellules humaines, des études épidémiologiques portant sur des individus exposés à différents niveaux de glyphosate ont rapporté des données contradictoires.

Par conséquent, il n'est pas possible de confirmer l'innocuité complète de l'utilisation du glyphosate, ce qui nécessitera des études approfondies supplémentaires sur des modèles animaux et humains (**Agostini et al., 2020**).

II.5.Mode d'action du glyphosate

Après avoir pénétré dans la plante, le glyphosate est très facilement acheminé dans les racines par le phloème. Il inhibe l'enzyme 5-énolpyruvylshikimate-3-phosphate synthase (EPSPS) dans la voie du shikimate chez les plantes et les principaux groupes de champignons, bactéries, archées et protozoaires, entravant la production d'acides aminés aromatiques (**Rueda-Ruzafa et al., 2019; Vázquez et al., 2021**).

Ces acides aminés contribuent à la production de lignine et de phytoalexines antimicrobiennes qui défendent les plantes contre les agents pathogènes (**Duke, 2018**).

Aussi, le glyphosate absorbe quelques éléments nutritifs de la plante (le fer, le zinc) qui sont responsables de son système défensif. Il va enfin se décomposer en AMPA (acide aminométhylphosphonique) et affecter le sol.

Les résidus de glyphosate et d'AMPA dans le sol, peuvent retarder la germination, la croissance des racines et le rendement des cultures suivantes (da Silva et al., 2021 ; Fernandes et al., 2020 ; Muola et al., 2021).

Le glyphosate est formulé sous forme de sel avec divers adjuvants (Defarge et al., 2018), principalement des tensioactifs tels que la polyoxyéthylène amine (POEA) pour améliorer l'absorption et la translocation de l'ingrédient actif dans les plantes. Le produit formulé est transporté à travers les plantes, y compris les racines, ce qui entraîne une mort accélérée des plantes par une résistance réduite aux pathogènes des racines (Defarge et al., 2018). Les tensioactifs tels que le POEA ont eux-mêmes une large toxicité (Straw et al., 2021).

En raison de sa toxicité étendue, les formulations contenant du POEA sont restreintes ou interdites dans l'UE depuis 2016 (Székács et Darvas, 2018). Néanmoins, des formulations similaires sont toujours utilisées et se sont avérées préjudiciables aux bourdons, même sans glyphosate (Straw et al., 2021).

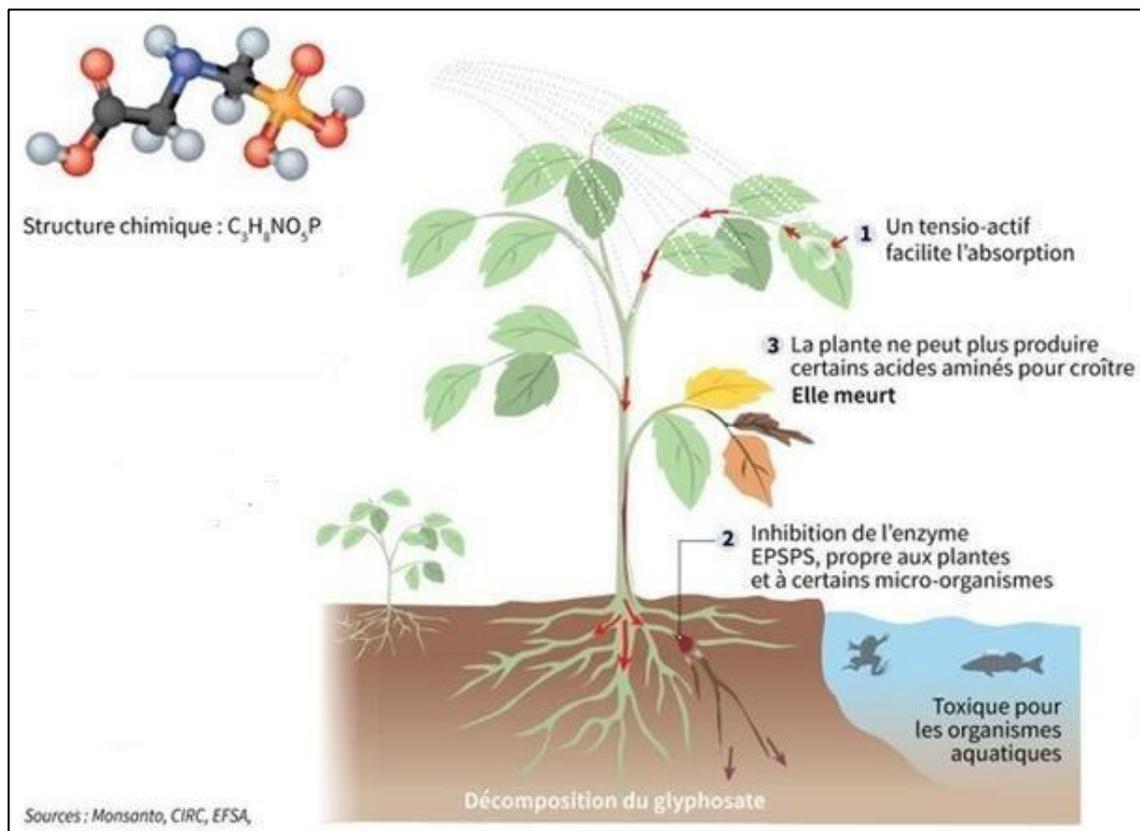


Figure 04. Schéma du mode d'action du glyphosate

II.6. Glyphosate dans le sol (accumulation et persistance)

Compte tenu de l'utilisation généralisée du glyphosate, l'étude de la relation entre le glyphosate et l'écosystème du sol est essentielle, et revêt une grande importance pour son application valide et son évaluation de la sécurité environnementale. Bien que les herbicides contenant du glyphosate ne soient pas intentionnellement appliqués directement sur le sol, ils peuvent contaminer les sols dans et autour des zones traitées, par dérive de pulvérisation lors de leur application et après avoir été lavés des surfaces foliaires par la pluie (**Tzanetou et Karasali, 2020**).

Le glyphosate a une affinité pour se lier aux particules du sol et s'accumule donc principalement dans les couches superficielles du sol. Des processus tels que le ruissellement de surface, la dérive et le transport vertical dans le sol peuvent le transporter vers les eaux souterraines, les eaux de surface et les sédiments aquatiques (**Aparicio et al., 2015**).

Le glyphosate se dégrade dans le sol en AMPA (acide aminométhyl phosphonique). Dans certains types de sols, il se dégradera en substance naturellement présente comme dioxyde de carbone pour devenir inerte. Par contre, dans d'autres types de sols, il restera actif et sera dégradé par des microbes. Dans ce dernier cas, ce phénomène perturbe les processus chimiques de l'environnement de la plante, et aura un impact sur son environnement.

Des traces d'AMPA et de glyphosate ont été détectés dans des échantillons d'urine humaine, ce qui prouve leur persistance et bioaccumulation dans les sols, avec le potentiel de causer des effets chroniques (**Singh et al. 2020**).

Le glyphosate, par rapport à la plupart des autres pesticides, s'absorbe fortement dans le sol et sa mobilité très faible, car, il crée les complexes qui immobilisent les micronutriments minéraux du sol (calcium, fer, magnésium, manganèse, nickel, zinc, etc.) les rendant indisponibles pour les plantes (**Okada et al., 2016**).

Semblable au glyphosate, l'AMPA s'accumule dans le sol et s'adsorbe dans les sols à taux de minéralisation élevé. Lorsqu'une forte sorption est démontrée, on peut s'attendre à une accumulation de glyphosate dans les sols.

Néanmoins, cette adsorption n'est pas permanente car le glyphosate peut également se trouver dans les couches inférieures du sol (**Pacenka et al., 2018 ; Saunders et Pezeshki, 2015**).

II.7. Effet du glyphosate sur la qualité du sol

La qualité du sol est affectée négativement en raison de la contamination du sol par le glyphosate et cela conduit à modifier les paramètres chimiques et biologiques, ce qui a

finalement un impact sur le rendement des cultures (**Saud AL-Ahmadi, 2019**).

Le glyphosate endommage également la biodiversité microbienne du sol et l'activité enzymatique, et provoquent également la dégradation de la matière organique du sol (**Baxter et Cummings, 2008**).

II.8. Effet du glyphosate sur les bactéries

L'exposition à des concentrations sublétales de glyphosate modifie la composition de la communauté microbienne, détruisant les micro-organismes bénéfiques tout en préservant les organismes pathogènes (**Beyond Pesticides, 2021**).

Le glyphosate inhibe l'enzyme EPSPS (5-énolpyruvylshikimate-3-phosphate synthase), catalyseur de la synthèse des acides aminés aromatiques phénylalanine, tyrosine et tryptophane. Les enzymes de la voie du shikimate sont essentielles pour de nombreux autres organismes, y compris les bactéries (**Hartel et al., 2011**).

II.9. Biodégradation du glyphosate

Les applications étendues et illimitées de glyphosate menacent la santé des humains, des animaux, les plantes non ciblées et la flore microbienne dans divers écosystèmes (**Vijay et al., 2020**).

L'utilisation intensive du glyphosate provoque une pollution de l'environnement et, par conséquent, il est nécessaire de l'éliminer en utilisant une méthode écologique et rentable (**sadiqaet al., 2020**).

Différentes approches telles que l'adsorption, la dégradation photocatalytique et la dégradation microbienne ont été étudiées pour décomposer le glyphosate dans l'environnement. Parmi celles-ci, la dégradation microbienne est la méthode la plus efficace et la plus respectueuse de l'environnement (**Yanmei et al., 2018**).

Les principales voies de dégradation du glyphosate et ses métabolites ont été fréquemment étudiées, mais les enzymes et gènes associés ont été rarement étudiés (**Yanmei et al., 2018**).

La dégradation du glyphosate est un processus principalement à médiation microbienne, et la voie a été largement étudiée dans les laboratoires, il se dégrade à un rythme relativement rapide dans la plupart des sols, avec une demi-vie estimée entre 7 et 60 jours (**Ramdas, 2019**).

Parmi les microorganismes, y compris les actinomycètes, les bactéries, les champignons et les microcytes, les bactéries détiennent le principal poste (**Mesnager et Defarge, 2015**).

Ainsi, pour évaluer la capacité de dégradation du glyphosate des microbes pour leur

application en bioremédiation, l'optimisation des conditions de croissance comme le pH, la température, le temps d'incubation, et la concentration de glyphosate est nécessaire. Les résultats obtenus à partir de la surface de réponse (RSM) a révélé que les bactéries sont efficaces pour dégrader le glyphosate lorsqu'elles sont cultivées sous conditions optimales **(Fridous et al., 2017)**.

Il existe trois principaux métabolites du métabolisme du glyphosate :

AMPA, acétyl-glyphosate et sarcosine, qui se dégradent davantage via différentes voies métaboliques. Le principal métabolite du glyphosate est l'AMPA. Il provoque une contamination secondaire dans l'environnement en raison de la non-faisabilité de la dégradation intracellulaire **(Vijay et al., 2020)**.

Le glyphosate résiste à une dégradation complète en raison de la liaison C-P inerte dans la molécule **(van Bruggen et al., 2018)**. Il est décomposé lentement dans le matériel végétal mort, le sol et l'eau par divers micro-organismes **(Carles et al., 2019 ; Masotti et al., 2021)**.

Le premier produit de décomposition est souvent l'acide aminométhylphosphonique, AMPA **(Brock et al., 2019)**.

Ainsi, des résidus de glyphosate et d'AMPA peuvent être trouvés dans les produits végétaux, les débris végétaux et le sol. L'AMPA a un spectre de toxicité similaire à celui du glyphosate **(Woźniak et al., 2018)**.

Le glyphosate peut être dégradé en produits plus toxiques et persistants tels que l'acide aminométhylphosphonique (AMPA) ou en produits non toxiques tels que la sarcosine et la glycine **(Sun et Jaisi et al., 2019)**.

Donc les micro-organismes du sol sont responsables de la dégradation du glyphosate par deux voies chimiques. Une voie produit un composé appelé AMPA (acide aminométhylphosphonique) que l'on retrouve dans les sols traités au glyphosate. La deuxième voie produit le composé sarcosine. **(See Sviridov et al., 2015)**.

Les micro-organismes responsables de la dégradation utilisent des enzymes pour décomposer le glyphosate, et obtenir une source de phosphore, d'azote et de carbone pour eux-mêmes **(See Sviridov et al., 2015 ; Yanmei et al., 2018)**.

Par exemple, les bactéries : *Arthrobacter* sp. GLP-1, *Alcaligenes* sp. GL, *Pseudomonas pseudomallei* 22, et *Flavobacterium* sp.GD1 utilisent le glyphosate comme source de phosphore **(Penaloza-Vazquez et al., 1995)**.

Le glyphosate peut être facilement dégradé par deux voies métaboliques, à savoir l'AMPA et la sarcosine via des bactéries dégradant le glyphosate. Ceci est réalisé par l'oxydase, qui dégrade le carboxyméthylène-liaison azotée du glyphosate et le convertit en AMPA et glyoxylate et/ou C- P lyase, qui clive directement la liaison carbone-phosphore pour produire de la sarcosine (**Vijayet *al.*, 2020**).

Des études examinant le taux de La dégradation du glyphosate ont montré une certaine variabilité dans les résultats, et le processus peut dépendre d'une gamme de facteurs.

Il existe des preuves que le taux de dégradation est corrélé avec la population taille des bactéries dans les sols (**Ahsan et Lee, 2008**).

Dans l'ensemble, on pense que la sorption du glyphosate sur les particules du sol diminue la dégradation, mais le glyphosate qui a été sorbé peut toujours être dégradé par des micro-organismes. Les taux varieront selon les caractéristiques topographiques qui affectent la disponibilité de l'eau, le type de sol et l'augmentation de la température (**Borggaard et Gimsing, 2008**).

Chapitre II. Généralité sur le sol et les microorganismes du sol

Introduction

Les sols des zones arides sont uniques, ils ont été considérés comme un habitat très complexe. Depuis plusieurs décennies, le sol présente plusieurs rôles dans l'environnement y compris la production et la qualité des aliments, la régulation du climat...etc., ce qui le rend l'une des précieuses ressources pour l'humanité. Malgré son importance, ce compartiment reste considéré comme un patrimoine menacé, qui peut être facilement détruit lorsqu'il est exposé à plusieurs dangers d'origine anthropique (**Berkal, 2006**). Ces interventions de l'homme se dirige vers l'emploi de produits phytosanitaires pour l'augmentation des rendements de culture (**Mamy et al., 2009**). L'approvisionnement de ces sols en pesticides, conduisent à une dégradation de cet écosystème tellurique fragile. En agissant négativement sur la flore et la faune.

Les organismes du sol appartiennent d'une part à tous les groupes connus des microorganismes (bactéries, actinomycètes, champignons, algues, protozoaires et virus).

I. Le Sol

Le sol constitue le support de vie d'une très grande variété d'organismes vivants en interactions continues (plantes, vers, nématodes, acariens, protozoaires, algues, champignons, eubactéries, archaea, etc.).

Le sol est le produit de l'altération, du remaniement et de l'organisation des couches supérieures de la croûte terrestre sous l'action de la vie, de l'atmosphère et des échanges d'énergie qui s'y manifestent. La composition et l'activité de la faune et des communautés de plantes et de microorganismes qui colonisent le sol, en surface et en profondeur dépendent des propriétés particulières du sol.

Le sol est un système dynamique complexe caractérisé par une grande diversité d'organismes (notamment les microorganismes) de composés chimiques et une structure physique complexe (**Wild, 1993**).

I.1. Aperçu général sur le sol Saharien

Le sol est l'une des ressources les plus importantes de notre planète. Il est considéré comme un élément clé des écosystèmes terrestres. Il est connu également comme un système biologique dynamique et complexe car il englobe de nombreux organismes vivants qui

réalisent diverses fonctionnalités notamment les cycles biogéochimiques (**Khbiz et al., 2015**).

Les sols sahariens composés de calcium, de magnésium et d'oligo-éléments avec une teneur faible de matière organique et une fraction minérale importante dans les zones sableuses.

II. Microbiologie du sol

II.1. Microbiologie des sols sahariens

La microbiologie du sol est une des branches de l'écologie microbienne qui a essentiellement pour objectif l'étude du rôle des micro-organismes dans le sous-écosystème (dénommé système sol-plante) constitué par le sol, la microflore, la faune du sol et les plantes. Les microorganismes du sol y jouent deux rôles essentiels : d'une part, ils sont responsables de maintes transformations chimiques et même physiques qui se déroulent dans les sols ; d'autre part, ils agissent directement ou indirectement sur la nutrition des plantes.

Avec le temps et avec l'émergence de nombreuses études, la communauté scientifique constate que ces zones ne sont pas stériles et sont pourvu d'une population microbiennes diversifiée (**Bioud et Boutarfi, 2017 ; Boudemagh, 2007**). L'abondance de cette microflore varie fortement d'un sol à un autre (**Bazzine et Belhadj, 2014**). Toute cette population est distribuée verticalement surtout à la couche superficiels à cause de la présence d'une grande quantité d'éléments nutritif et aussi par une bonne aération ce qui améliore la croissance et la survie des microorganismes. Cette biomasse diminue progressivement avec les profondeurs. Au niveau horizontal, la répartition de la microflore est un peu différente elle dépend du type du sol et de la végétation. Le sol saharien est composé de bactéries, d'actinomycètes, de champignons et d'algues. L'effet de ces microorganismes à un rôle dans la formation et l'évolution de sol.

III. Les micro-organismes du sol

Les micro-organismes sont, par définition, des êtres microscopiques, pour la plupart unicellulaires. La majeure partie de ces organismes appartient aux règnes procaryotes Bactéries et Archaea, mais sont aussi représentés chez les eucaryotes comme les Protozoaires et les Fungi. Les bactéries, les actinobactéries et les champignons représentent l'essentiel de la biomasse microbienne du sol (**Lavelle et Spain, 2001**). Les virus, bien que non cellulaires, sont également classés parmi les micro-organismes.

La biologie des micro-organismes détermine leurs rôles dans les sols, soit directement ou associée avec d'autres organisations de sol.

Les micro-organismes occupent donc une place centrale dans le vivant par leur abondance, leur diversité, et leur implication dans les processus environnementaux (**Zinger, 2009**).

Les micro-organismes jouent un rôle vital dans les processus du sol tels que le renouvellement des substances, le cycle biogéochimique et la croissance des plantes, contribuant essentiellement aux services écosystémiques du sol. Le sol contient une myriade de bactéries dont la diversité et la structure communautaire sont cruciales pour la stabilité fonctionnelle du sol (**Griffiths et Philippot, 2013**). Des efforts considérables ont été investis pour déterminer comment les bactéries réagissent à l'évolution de l'environnement, car les écosystèmes terrestres sont de plus en plus sous la pression des activités humaines.

Dans la présente étude nous nous intéressons à développer le groupe des bactéries dont nous avons essayé dans la partie expérimentale d'évaluer la densité ce groupe microbien en réponse à l'application du glyphosate.

III.1. Bactéries

Les bactéries sont des micro-organismes unicellulaires allongés ou sphériques, appartenant au sous-règne des Procaryotes, ce qui les rapproche des algues bleues. La membrane est parfois prolongée par un flagelle (**Clement et Lozet, 2011**), constitué d'une seule molécule d'AND, sans histones ni membrane nucléaire (**Beraud, 2001**). Les cellules procaryotes ne possèdent pas un vrai noyau mais un appareil nucléaire diffus, non isolé par une membrane, avec en général un seul chromosome. Elle est dite haploïde. Le cytoplasme contient des éléments figurés en nombre réduit, les ribosomes, et des inclusions ou substances de réserve (**Meyer et al., 2010**). Les bactéries sont classées en bactéries autotrophe, utilisation de carbone sous forme minéral, et bactéries hétérotrophes utilisation de carbone sous forme organique (**Clement et Lozet, 2011**). Quelles soient autotrophes, hétérotrophes, aérobies ou anaérobies, toutes exigent des conditions abiotiques assez strictes : un pH neutre, une humidité moyenne, une température plutôt basse (bactéries psychrophiles) et différents oligoéléments (**Ameur, 2014**).

Les bactéries sont le groupe le plus nombreux et le plus varié, puisque leur densité peut s'élever de dix millions à un milliard par gramme de sol. Du fait de leur petite taille, leur poids reste inférieur à une tonne par hectare de sol. Ce qui donne aux bactéries une place importante dans le sol, c'est leur extraordinaire variabilité biochimique qui leur permet de transformer toutes les substances du sol et de les faire entrer dans le monde vivant (**Claude et al., 2008**).

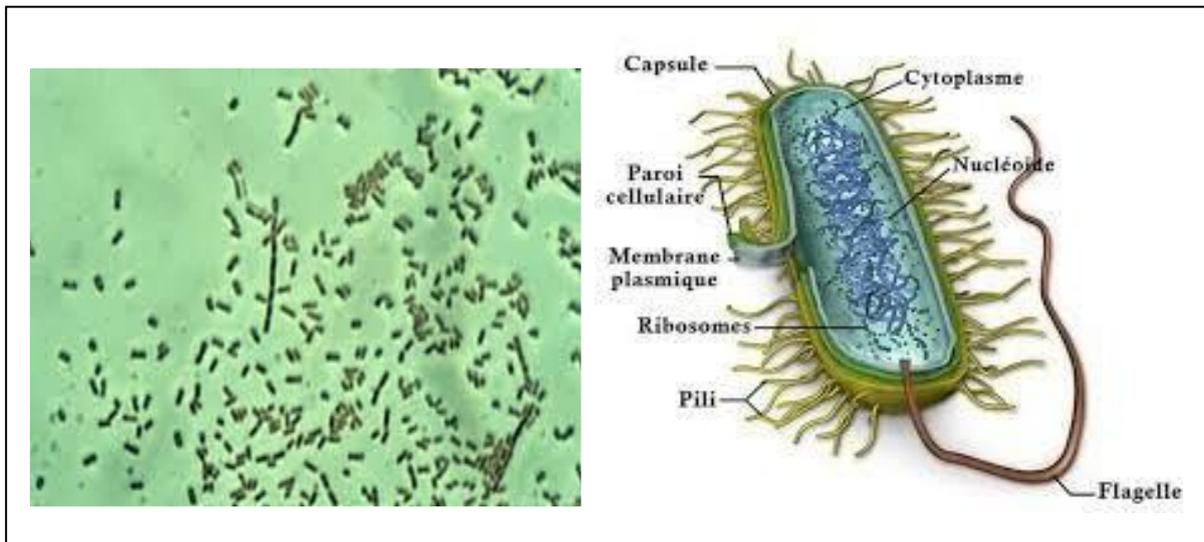


Figure 05. Bactéries du sol

IV. Rôle des microorganismes dans le sol

Le rôle des micro-organismes est déterminé par sa biologie dans les sols, soit directement ou associée avec d'autres organisations de sol (**Lavelle et Alister., 2003**). Parmi les rôles de la microflore dans les sols on peut citer les suivant :

-Les microorganismes sont à la base de la production du carbone organique dans les écosystèmes désertiques, lorsque la biomasse végétale est faible (**Macalady, 1996**).

-Dans le sol les bactéries jouent un rôle important, en particulier dans les cycles biogéochimiques. Parmi celles intervenant dans le cycle de l'azote, on peut citer les bactéries nitrifiantes (*Nitrosomonas*, *Nitrosococcus*), nitriques (*Nitrobacter*) et réorganisatrices qui utilisent les nitrates pour synthétiser des molécules organiques azotées. (**Ameur, 2014**).

-Les champignons participent à la stabilité structurale du sol à travers leur structure mycélienne ramifiée qui assure une cohésion particulière dans les couches superficielles du sol (**Bedjadj, 2011**). Ils sont considérés comme des agents principaux de la décomposition de la matière organique dans les sols exondés. Leur rôle dans le cycle de l'azote est peu spectaculaire. Leur rôle essentiel est la minéralisation du carbone organique (**Roger et Garcia, 2011**).

-L'amélioration de la structure des sols, c'est ainsi que les champignons sont efficaces dans la stabilisation des agrégats de sol, car ils ont la capacité de lier les particules du sol via plusieurs mécanismes (rétention mécanique, adhésion par les glues fongiques, ...) (**Molope et Grieve, 1987**). L'action des bactéries et des actinomycètes dans le processus d'agrégation et la

stabilisation des agrégats est nettement moins importante que celle des champignons (**Molope, 1986, 1987 ; Berthelin, 1999**). Les bactéries interviennent plutôt dans la stabilisation des particules de la taille des argiles et des limons (**Fletcher *et al.*, 1980 ; Tisdall, 1994**).

Partie II
Matériel et méthodes

I. Présentation de la région de Ouargla

I.1. Situation géographique

La ville d'Ouargla, ancienne capitale des oasis, se situe au sud-est de l'Algérie, à environ 800 km (**Figure 06**). Elle se situe au fond d'une large cuvette de la vallée d'Oued M'ya. La ville de Ouargla, chef-lieu de la wilaya, est considérée comme l'une des grandes oasis du Sahara algérien. Elle est située à une altitude de 157 m et couvre une superficie de 163,230 Km² (**Rouillois Brigol, 1975 ; Dubost, 1991**). Ses coordonnées géographiques sont (5°19' E ; 31° 57' N) (**ANIRF, 2013**).

Ouargla est limitée administrativement :

- Au Nord par la wilaya de Djelfa et El Oued ;
- Au Sud par la wilaya de Tamanrasset ;
- À l'Est par Tunisie ;
- À l'Ouest par la wilaya de Ghardaïa ;

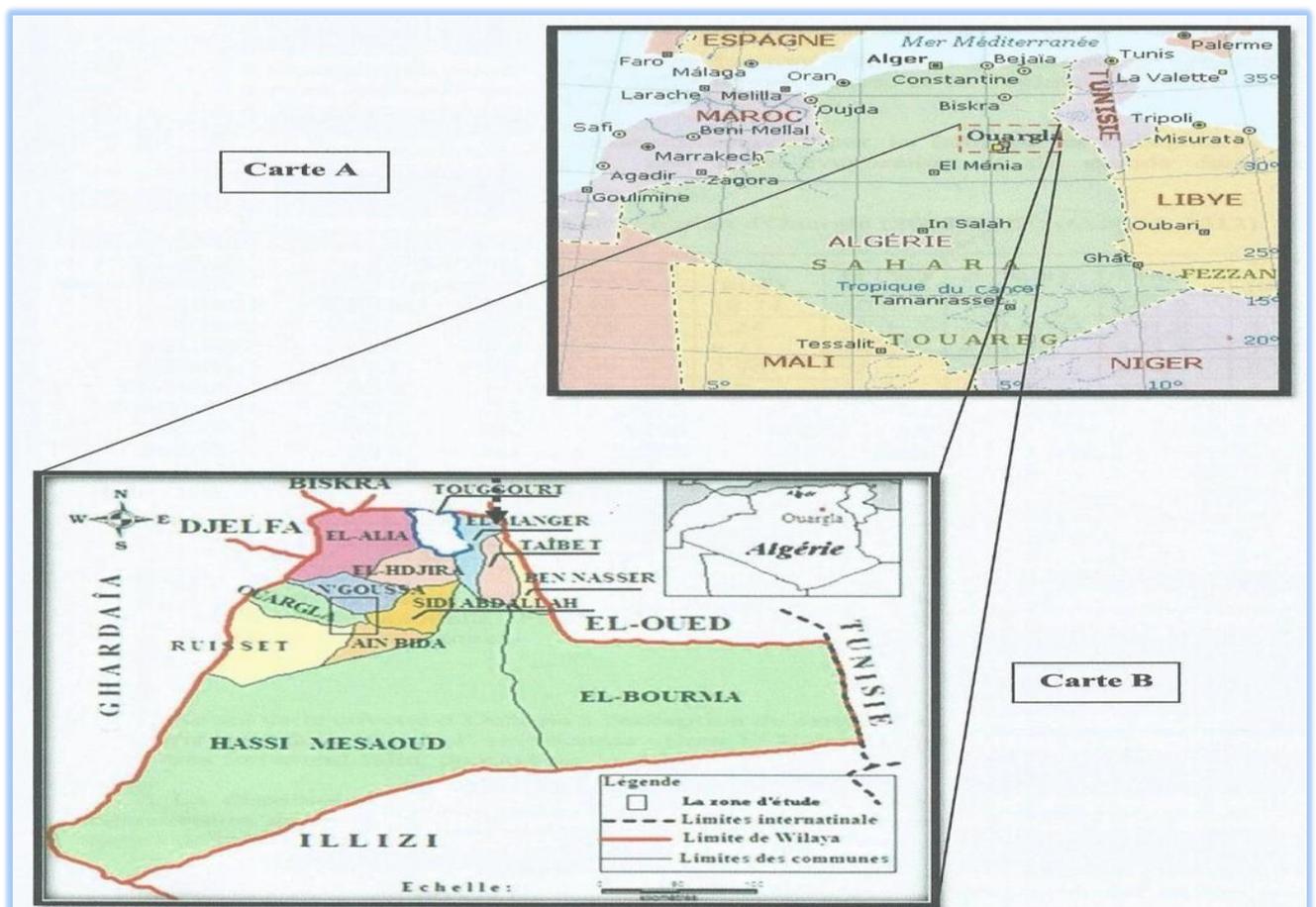


Figure 06 Localisation géographique de la région d'Ouargla (Google, 2022)

I.2.Pédologie

Du point de vue pédologique, le facteur de la formation des sols est essentiellement le vent. Ils s'y ajoute l'ampleur des variations thermiques, notamment journalières (**Dutil, 1971**) et (**Dubost, 1991**) Les sols sahariens sont généralement peu évolués et dépourvus d'humus (**Halitim, 1985**). Les sols de la région d'Ouargla sont constitués de sable quartzeux. Dans l'ensemble des sols, le squelette sableux est très abondant, constitué en quasi-totalité par du quartz. La couleur devient moins rouge et l'épaisseur de la pellicule diminue dans les sols en aval et en particulier dans les dunes. Sur les sols de la dépression la masse détritique et de quelques paillettes de micas (**HAMDI AISSA, 2001**).

I.3.Caractéristiques climatiques

Ouargla présente un climat désertique avec un hiver froid et un été chaud (**Dubief, 1959 ; Dubief, 1963**). L'aridité s'exprime non seulement par des températures élevées en été et par la faiblesse des précipitations, mais surtout par l'importance de l'évaporation due à la sécheresse de l'air. Celle-ci y contraste en saison froide avec l'humidité du sol (**Rouvillois-Brigol, 1975**).

II.Station d'étude

L'étude a été menée dans l'exploitation agricole de l'université de Ouargla (ex : I.T.A.S), située au sud-ouest de la ville d'Ouargla, à six kilomètres environ du centre-ville. Elle se présente sous forme d'un glacis d'une grande homogénéité topographique. Elle se trouve dans une zone peu élevée, à la bordure d'un chott. Le dénivelé topographique entre le chott et l'exploitation est d'environ deux mètres. Ses coordonnées sont les suivantes (**UKMO, 2013**).

- Latitude: 31°, 57' Nord.
- Longitude: 5°, 20' Est.
- Les altitudes sont comprises entre 132.5 et 134.0 m

L'exploitation s'étend sur une superficie théorique totale de 32 ha, dont 16 hectares sont aménagés et réparties en quatre secteurs à savoir: A, B, C. et D. Le reste des secteurs E,F, G et H correspondant à l'extension non exploitée (**Figure 07**). Actuellement, une partie de cette superficie a été attribuée au pôle universitaire.

Le choix de la zone d'étude s'est porté sur cette palmeraie qui présente plusieurs avantages :

- une homogénéité texturale des sols caractérisée par une prédominance des sables (> 50 %) et une teneur en argile faible (< 10 %)

- la possibilité de pouvoir utiliser les données pédologiques préexistantes sur cette zone d'étude.
- Surveillance permanente du site d'étude.



Figure 07. Photo satellitaire de l'exploitation de l'université de Ouargla ITAS (image Google Earth, 2022).

Choix de l'herbicide

L'herbicide utilisé dans la présente étude est le glyphosate. Nous avons choisi l'herbicide le plus utilisé et le plus vendu à l'échelle mondiale et au niveau local. C'est un herbicide non sélectif et selon les agriculteurs les herbicides à base de glyphosate sont les plus utilisés dans la région d'étude.

III. Méthodologie de travail

Afin de montrer l'impact des résidus de pesticides sur les microorganismes du sol, nous avons adopté une démarche qui consiste à tester l'effet du glyphosate sur la microflore bactérienne du sol. Des échantillons de sol seront prélevés avant et après traitement phytosanitaire. La démarche adoptée est représentée dans l'organigramme suivant (**Figure 08**).

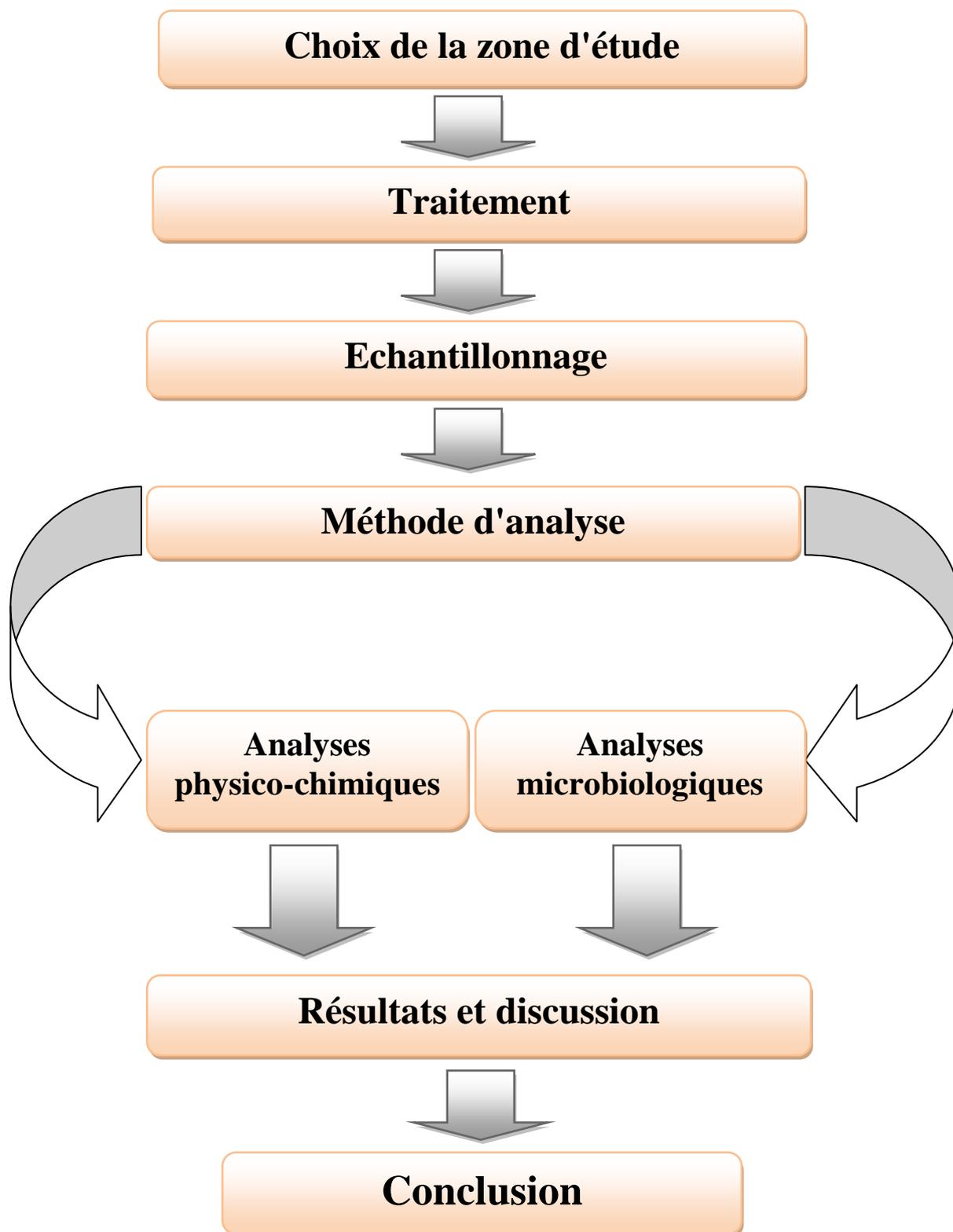


Figure 08: Organigramme de la méthodologie du travail.

Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental à adopter est schématisé dans la figure suivante :

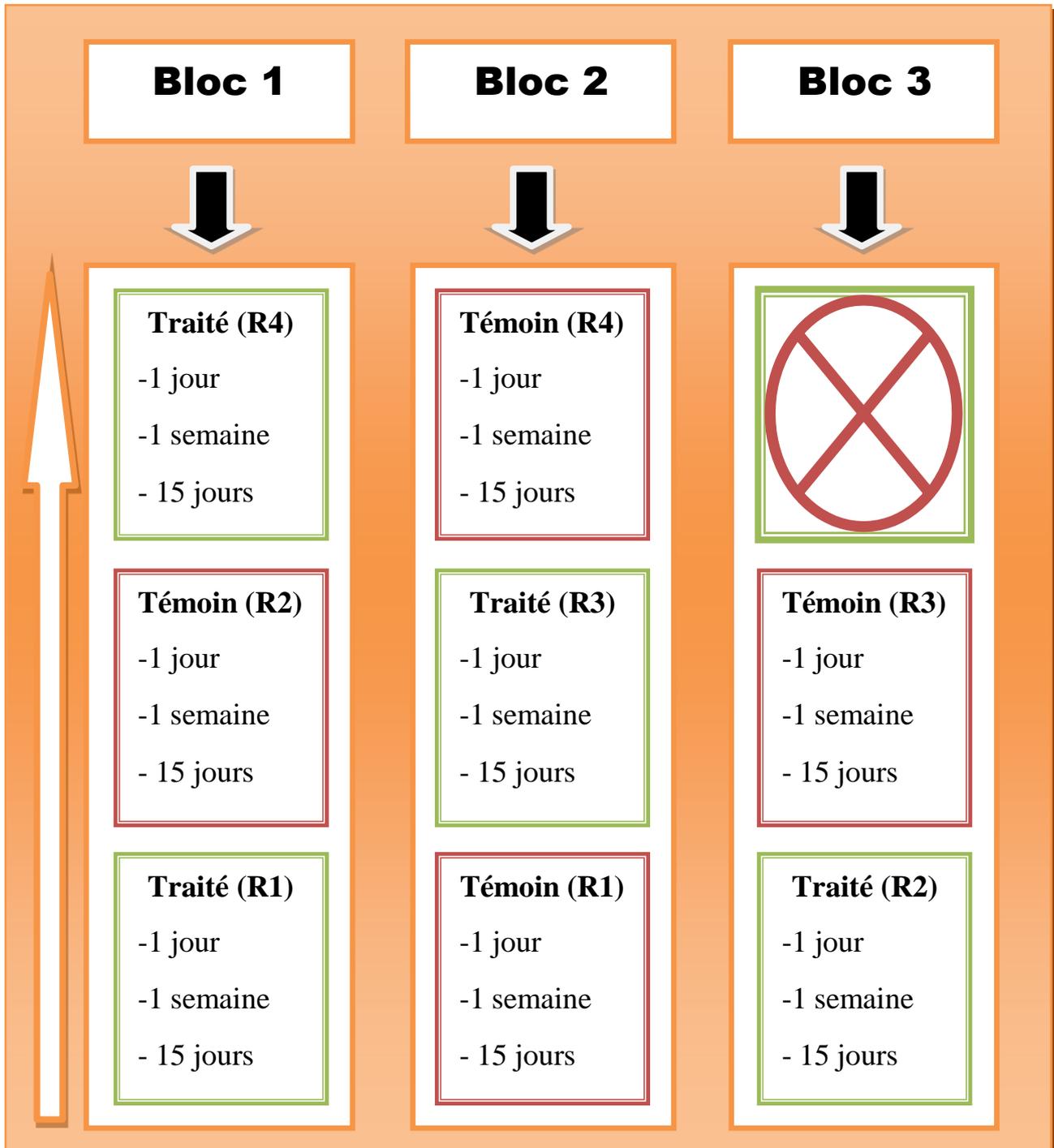


Figure 09. Schéma simplifié du dispositif expérimental de l'étude

III.1. Etapes d'échantillonnage

III.1.1. Etapes de préparation des produits dilués

1^{er} étape : préparer l'équipement de protection (les gants et masque...) pour éviter les dommages à la santé lors de l'utilisation du produit phytosanitaire (glyphosate).

2^{ème} étape : remplir une bouteille avec 1 litre d'eau à utiliser pour diluer le produit phytosanitaire.

3^{ème} étape : à l'aide d'une seringue nous avons prélevé 100 ml du produit phytosanitaire et le verser dans un litre d'eau pour le diluer et de l'utiliser en traitement.



Photo 01. Préparation de produit (BOUIDIA et MAKKEB, 2022)

4^{ème} étape (le traitement) : nous avons traité 4 parcelles avec le produit par la méthode de pulvérisation et laissons les 4 autres comme témoins.



Photo 02. Traitement par le produit phytosanitaire (glyphosate) (BOUIDIA et MAKKEB 2022)

III.1.2. Prélèvement des échantillons

Nous avons prélevé des échantillons du sol avant et après traitement par le glyphosate (Après 01 jour et après une semaine et après 15 jours). Ces échantillons ont été prélevés avec une tarière et placés à l'intérieur de sachets numérotés puis transférés au laboratoire pour les analyses physico-chimiques et microbiologiques.

III.2. Méthodes d'analyse

III.2.1. Analyses physico-chimiques

Ces analyses ont porté sur :

III.2.1.1. Humidité

C'est la quantité d'eau contenue dans un sol. Elle est mesurée par rapport à la quantité de terre sèche contenue dans ce sol, et exprimée en pourcent. La méthode consiste à sécher l'échantillon du sol à l'étuve à 105°C jusqu'à un poids constant, la différence du poids avant et après séchage correspond à la quantité d'eau (ITA., 1975).

$$\% \text{ Humidité du sol} = (\text{masse humide} - \text{masse sec}) / \text{masse sec} \times 100$$

III.2.1.2. pH

La mesure du pH a été effectuée sur un extrait 1/5 par la méthode électro métrique à l'aide d'un pH-mètre de laboratoire (Mathieu et Pielain, 2009).

III.2.1.3. Conductivité électrique (CE)

La conductivité électrique est mesurée à l'aide d'un conductimètre sur l'extrait de sol dilué au 1/5 à une température de 25°C. La conductivité est en fonction de la concentration de sels dissous dans la solution du sol (Nanypetra et al., 2013)

III.2.1.4. Calcaire total

Le taux de calcaire total est déterminé par la méthode du calcimètre de Bernard, (méthode gazométrique) (Mathieu et Pielain, 2009). Le volume de CO₂ dégagé suite à l'action de HCl sur le sol est proportionnel à la quantité de carbonate de calcium existante dans l'échantillon analysé.



III.2.1.5. Dosage du carbone organique et détermination de la matière organique

La teneur en matière organique totale du sol s'obtient généralement en dosant la teneur en carbone.

Le carbone organique a été dosé par la méthode Anne, qui consiste à oxyder la matière par un oxydant puissant (le bichromate de potassium) en milieu sulfurique, le bichromate doit être en excès. La quantité réduite est en principe proportionnelle à la teneur en carbone organique.

L'excès de bichromate de potassium est titré par une solution de sel de Mohr en présence de diphenylamine dont la couleur passe du bleu foncé au bleu vert. (Aubert, 1978).

Pour passer du taux de carbone au taux de matière organique total, on utilise le coefficient de multiplication 1,72 (M'Sadak *et al.*, 2013).

$$\% \text{ Matière organique} = \% \text{ Carbone organique} \times 1.72$$

III.2.2. Analyses microbiologiques

La détermination de la densité bactérienne dans nos échantillons de sol est faite par la technique du dénombrement.

La technique de comptage viable indirect de cellules bactériennes est celle qui est couramment utilisée.

Les bactéries sont si petites et si nombreuses qu'elles peuvent être présentes par milliers ou par millions dans un échantillon, ce qui rend très difficile de les compter directement, cependant, la dilution en série facilite la détermination du nombre.

Donc nous avons dilué les échantillons à un point où le nombre de bactéries a été réduit pour pouvoir les compter.

Pour le dénombrement de la densité bactérienne nous avons utilisé la gélose nutritive.

III.2.2.1 Préparation des dilutions décimales de solution du sol

La dilution en cascade consiste à passer la solution mère, à une dilution beaucoup plus faible, qui peut être de 10^{-8} selon les besoins. En général, une dilution en cascade en microbiologie a pour but un dénombrement des bactéries présentes dans un échantillon donné, le nombre de bactéries dans un échantillon pur étant trop important pour être compté, il convient donc de diluer les échantillons.

- L'échantillon utilisé est la solution du sol (solution mère).
- Le diluant utilisé est l'eau physiologique

Les préparations des suspensions dilutions consistent à disposer sur un portoir une série de 9 tubes stérilisés, numérotés de 1 à 9, et contenant chacun 9 ml d'eau distillée. Peser 1g du sol préalablement tamisé et homogénéisé, le verser dans le tube 1, agiter vigoureusement, c'est la suspension dilution 10^{-1} , le transférer dans le tube 2 contenant déjà de l'eau distillée (9ml), il s'agit de la suspension dilution 10^{-2} agiter vigoureusement et recommencer l'opération pour le restant des tubes en transférant 1ml de solution d'un tube à l'autre, afin de préparer les suspensions dilutions 10^{-3} , 10^{-4} , 10^{-5} , 10^{-6} , 10^{-7} , 10^{-8} , 10^{-9} (**Figure 10**)

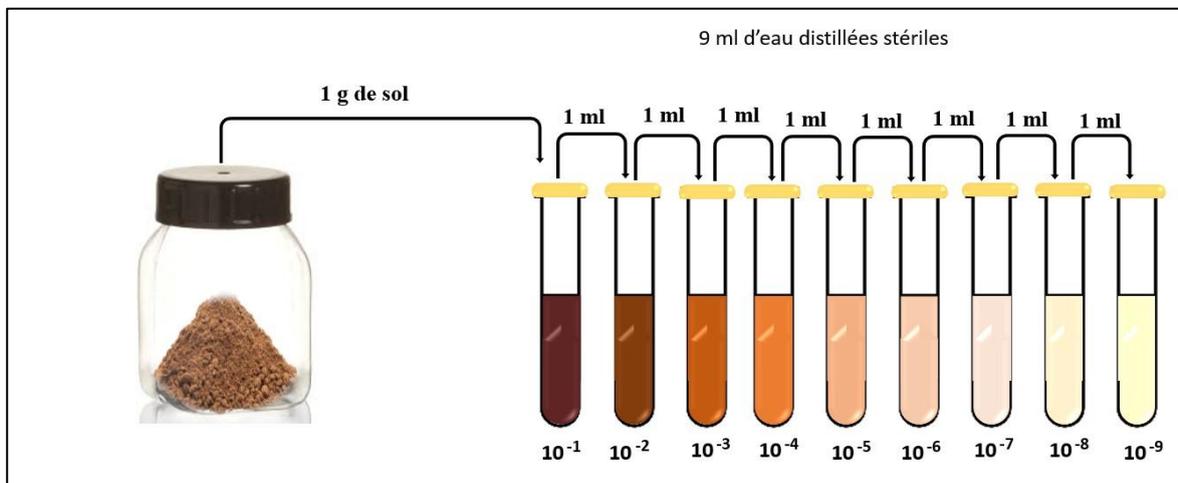


Figure 10. Préparation des dilutions décimales de solution du sol



Photo 03. Préparation des dilutions décimales de solution du sol (**BOUIDIA et MAKKEB, 2022**)

III.2.2.2. Ensemencement et lecture des résultats

Les bactéries sont ensemencées avec des suspensions dilutions du sol (2 gouttes ou 0.1 ml), allant de 10^{-3} jusqu'à 10^{-8} (**Photo 04**). Pour chaque niveau de dilution, trois boîtes pétris sont préparées pour l'ensemencement. Les colonies bactériennes sont dénombrées après 48 heures d'incubation à 37°C dans la gélose nutritive (**Annexe 01**).



Photo 04. Ensemencement des boîtes pétries (**BOUIDIA et MAKKEB, 2022**)

III.2.2.3. Observation et dénombrement

III.2.2.3.1. Observation macroscopique et dénombrement

Déterminer les souches dans le milieu de culture, en fonction de leurs caractéristiques, telles que la couleur, la taille, la forme, et l'odeur. Compter le nombre des colonies des souches par divisant la boîte de Pétri en quatre parties et compté le nombre dans chaque partie, puis calcule le nombretotal.

III.2.2.3.2. Observation microscopique

III.2.2.3.2.1. Coloration de Gram

La coloration de Gram est une coloration différentielle classique en microbiologie. Elle permet de classer les bactéries en Gram négatifs (G-) et les bactéries en Gram positives (G+) sur base la de la perméabilité de leur paroi à l'alcool. Cette perméabilité dépend de la composition de la paroi bactérienne (épaisseur de la paroi liée à sa richesse en peptidoglycanes) ou la présence d'unemembrane externe (**Larpent et al. 1990**).

D'après **Singleton (1999)**, la coloration de Gram utilise 4 réactifs : Le violet de gentiane qui colore tout en violet puis le lugol qui se complexe au cristal violet, formant un colorant violet soluble dans l'alcool, ensuite l'alcool qui décolore certaines bactéries (celles dont la paroi est perméable à l'alcool), mais pas d'autres (celles dont la paroi est imperméable à l'alcool). Enfin, la Fuchsine qui colore en rouge/rose les bactéries décolorées par l'alcool, sans modifier la couleur des autres bactéries (violet foncé/bleu).

On distingue ainsi les bactéries : Gram positives (paroi épaisse) qui sont colorées en violet foncé/bleu, ou Gram négatives (paroi mince) qui sont colorées en rouge/rose (**Gillet et al., 2009**).



Photo 05. Observation microscopique (**BOUIDIA et MAKKEB, 2022**)

Partie III
Résultats et discussion

I. Résultats des analyses physico-chimiques des sols

Les caractéristiques physico-chimiques des échantillons du sol prélevés avant et après le traitement phytosanitaire déterminées au laboratoire, sont représentées dans le tableau suivant:

Tableau 01. Caractéristiques physico-chimiques du sol étudié

| | | Echantillon 1 (après 1 jour) | | Echantillon2 (après 1 semaine) | | Echantillon 3 (après 2 semaines) | |
|---|----------------------|---------------------------------|--------|------------------------------------|--------|-------------------------------------|--------|
| | | Témoin | Traité | Témoin | Traité | Témoin | Traité |
| Texture du sol | | Sablo- limoneuse | | | | | |
| Humidité (%) | | 13.6 | 12.9 | 12.5 | 13.7 | 12.4 | 11.25 |
| Salinité globale CE à 25° (dS/m) 1/5 | | 12.4 | 14.52 | 10.74 | 12.86 | 9.57 | 10.59 |
| Réaction du sol (pH eau : 1/5) | | 6.76 | 5.64 | 6.64 | 5.71 | 6.77 | 5.6 |
| Caractéristiques biochimiques | C.Org (%) | 0.7 | 1.38 | 0.63 | 1.24 | 0.6 | 0.8 |
| | MO(%) | 1.20 | 2.37 | 1.08 | 2.13 | 1.03 | 1.37 |

I.1. Analyse granulométrique du sol

Les résultats enregistrés dans le tableau ci-dessus montrent que la granulométrie du sol dans la région d'étude est dans l'ensemble sablo-limoneuse.

D'après **Hamdi-Aissa (2001)**, les sols à texture grossière sont pauvres en matière organique et présentant un taux d'accumulation gypso-saline pauvre.

En général, les sols qui compte un pourcentage élevé de sable ont une bonne porosité, mais leur capacité de rétention en eau est faible (**Vandecasteele, 2003**)

I.2.Humidité

Le taux d'humidité est varié entre 11,25 et 13,7 dans tous les échantillons (**Figure 10**). Cette faible teneur en eau peut s'expliquer d'une part par : l'aridité du climat et d'autre part, la capacité de rétention en eau de ce sol est faible, faute de texture qui contient du sable, celui-ci peut stocker qu'une petite quantité d'eau, le reste s'infiltré rapidement vers le sous-sol (**Bedjadj, 2011**).

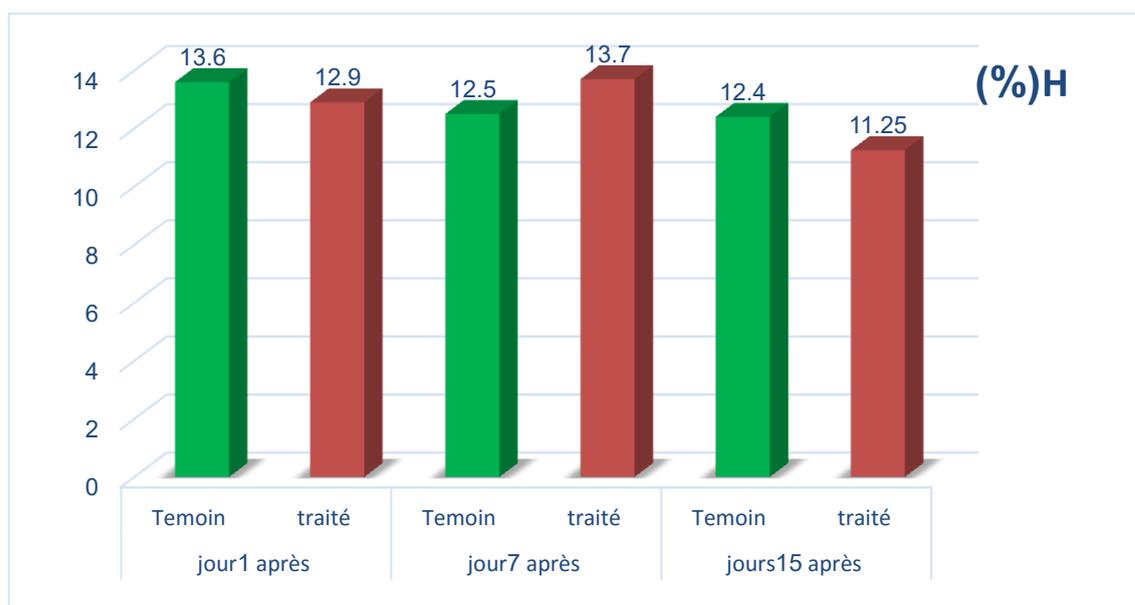


Figure 10. Représentation graphique d'Humidité avant et après le traitement du sol par le glyphosate.

Le taux d'humidité est assez faible pour les 03 échantillons. Ce taux varie de 13.6% et 12.5% et 12.4% respectivement pour les sols témoins. Ceci est dû au manque d'irrigation et à l'aridité du climat conduisant à une évaporation élevée. La capacité de rétention en eau est faible faute d'une texture grossière.

Pour les sols traités nous avons enregistré la diminution de valeurs qui a été estimée à 12.9%, 13.7% et 11.25% respectivement. Nous expliquons la diminution du taux d'humidité des sols traités par l'utilisation de l'eau qui existe dans le sol par les microorganismes pour la biodégradation de glyphosate car la teneur en eau est un facteur très important pour la dégradation microbienne et la prolifération bactérienne et aussi pour la mobilité des particules de glyphosate dans le sol.

I.3. Conductivité électrique

La conductivité électrique est définie par la quantité totale en sels solubles correspondant à la salinité globale du sol. Elle dépend de la teneur et de la nature des sels solubles présents dans ce sol (**Guessoum, 2001**).

Un sol est dit salé quand la conductivité électrique est supérieure à 4 dS/m (**CALVET, 2003**)

Concernant la conductivité électrique, nous avons enregistré des valeurs sensiblement élevées dans le sol traité par rapport au sol témoin. Nous avons également constaté une diminution progressive de la conductivité électrique après un jour, une semaine et après 15 jours de l'application du glyphosate. Ainsi nous avons enregistré **14,52 dS/m**, **12,86 dS/m** et **10,59 dS/m** respectivement dans les sols traités après un jour, une semaine et après 15 jours. Selon **Le Clech, (2000)**, ces valeurs nous conduisent à classer nos sols parmi les sols extrêmement salés. La forte teneur en sels en sol s'explique par les fortes évaporations qui sont dues aux températures élevées de la région (**Figure 11**)

La forte valeur de la conductivité électrique dans le sol traité comparativement au sol témoin est probablement due aux résidus du glyphosate. Les principaux sels des produits à base de glyphosate sont : le potassium, l'inopropylamine, l'ammonium et le triméthium.

Le potassium fait référence à la forme saline de l'acide glyphosate du monopotassium (k).

Le sel d'insopropylamine a une "chaîne propyle" (chaîne à 3 carbones) et un groupe amine (**Kannissery et al., 2019**)

Donc, nous expliquons la salinité globale (conductivité électrique) élevée dans les sols traités par rapport aux sols témoins par la solubilité de sel de glyphosate dans l'eau restante dans le sol car au cours du traitement nous avons appliqué le glyphosate sur un sol un peu humide ce qui explique la salinité élevée du sol.

Les principales caractéristiques physicochimiques du glyphosate c'est qu'il est soluble dans l'eau. Il se trouve sous forme d'un sel d'isopropylamine afin d'accroître sa solubilité dans l'eau.

Le glyphosate est fortement adsorbé par les constituants des sols. Il est par ailleurs susceptible de subir une dégradation, principalement par des micro-organismes présents dans les sols, c'est-à-dire une dégradation biologique. Celle-ci met en jeu des mécanismes complexes qui dépendent des conditions physicochimiques telles que le pH, l'oxygène, la température. Le

glyphosate peut, en outre, être dégradé par voie chimique avec des oxydants tels que les oxydes manganèse. Dans les deux types de dégradations, les principaux sous-produits obtenus sont : l'AMPA, la sarcosine, la glycine et les ions phosphates (Marthe, 2012).

L'activité des microorganismes conduit à une minéralisation de plus en plus importante du glyphosate au cours de la dégradation à travers leurs enzymes. Cela explique la diminution de la conductivité électrique dans les sols traités.

En bref, les microorganismes utilisent le sel pour leurs processus métaboliques et de la minéralisation.

La faible teneur en sels s'explique également par la diminution du processus d'irrigation, sachant que l'eau de la région est riche en sel.

Ce sol est caractérisé par une forte salinité puisque les valeurs de la conductivité électrique sont toujours élevées ($CE \geq 20$ dS/m). Ce cas est très rencontré dans les sols des régions arides qui contiennent une quantité importante en sels solubles.

Selon les études réalisées sur le sol de l'exploitation de l'université de Ouargla concernant la conductivité électrique, il est clair que la salinité est le paramètre le plus variable.

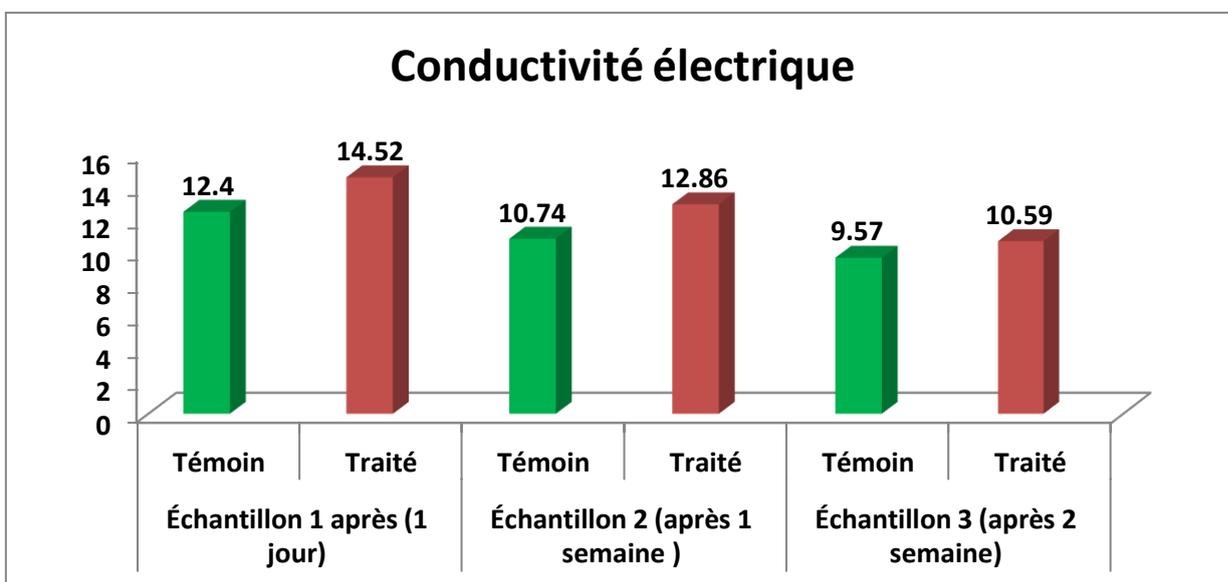


Figure 11. Représentation graphique de la conductivité électrique avant et après traitement du sol par le glyphosate

I.4. Potentiel Hydrogène (pH)

Dans le milieu naturel, le pH du sol a une énorme influence sur les processus biogéochimiques du sol. Le pH du sol est donc décrit comme la « variable principale du sol » qui influence une myriade de propriétés et de processus biologiques, chimiques et physiques du sol qui affectent la croissance des plantes et le rendement de la biomasse (**Trevisan, 2019**).

Avoir le bon pH est important pour une croissance saine des plantes. Il est également important d'être conscient des effets à long terme des traitements phytosanitaires sur le pH du sol. La recherche a démontré que le glyphosate modifie considérablement le pH du sol.

L'effet du glyphosate sur le sol, dépend de ses propriétés physicochimiques (texture, teneur en matière organique, pH) (**Tzanetou et Karasali, 2020**).

L'acidification et la pollution sont deux menaces majeures pour les écosystèmes agricoles ; cependant, les réponses des communautés microbiennes à la coexistence de l'acidification et de la pollution des sols restent moins explorées.

Wardle (1992) a conclu que le pH du sol est probablement au moins aussi important que les concentrations de C et N du sol pour influencer la taille de la biomasse microbienne (**Pietry et Brookes, 2008**).

Le diagramme suivant (**Figure 12**) représente les différentes valeurs de pH dans les 3 échantillons du sol après 1 jour, 1 semaine, et 15 jours avant et après traitement par glyphosate.

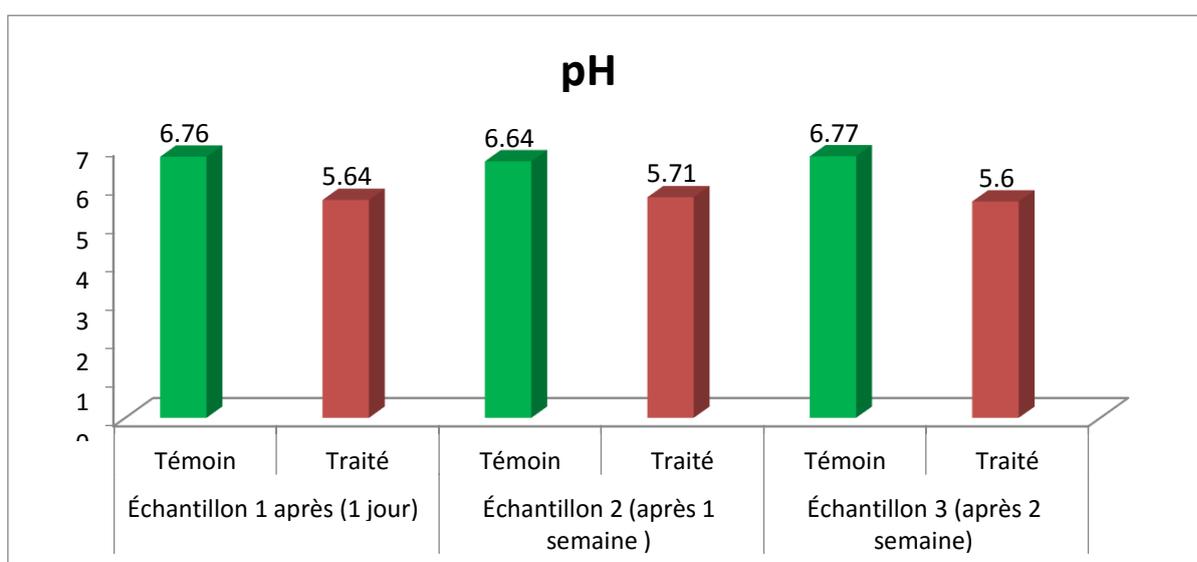


Figure 12. Représentation graphique du pH dans le sol avant et après traitement par le glyphosate

Ces résultats montrent une réduction importante du pH du sol après l'application du glyphosate (**Figure 12**).

Selon le tableau N^o, le pH devient faiblement acide après 1 jours, 1 semaine et 15 jours du traitement par le glyphosate avec des valeurs de 5,64 ; 5,71 et 5,6 respectivement, alors qu'avant le traitement, le pH été neutre dans les sols témoin dont les valeurs respectivement sont de 6,76 ; 6,64 et 6,77.

L'application du glyphosate nous a permis de détecter un changement dans le pH du sol, car le glyphosate a réduit respectivement le pH.

Le glyphosate est connu pour ses propriétés acides car il est un acide phosphonique résultant du couplage oxydatif formel du groupe méthyle de l'acide méthylphosphonique avec le groupe amino de la glycine, cela explique l'acidité du sol après le traitement par le glyphosate.

Le glyphosate se dégrade à un rythme relativement rapide dans la plupart des sols, ce qui cause une pollution édaphique. Le glyphosate est généralement dégradé en acide aminométhylphosphonique (AMPA), ce qui conduit à une libération de cet acide dans le sol, et par conséquent le sol devient acide.

Nos résultats sont conformes à ceux de **Nkamigboet et al., (2020)** qui ont constaté une diminution de pH du sol après l'utilisation du glyphosate dans un sol sableux limoneux.

Ainsi que le glyphosate est chargé négativement ce qui favorise les interactions des liaisons hydrogènes avec les substances organiques du sol et agit par voie de conséquence sur l'acidité de sol (**Maqueda et al., 1998 ; Ndjeri-Ndjouhou, 2012**).

Ces résultats suggèrent que le glyphosate entraîne une acidification du sol, ce qui va engendrer un effet néfaste sur l'activité bactérienne, puisque qu'elle est largement influencée par le pH et par conséquent, il peut affecter le processus de biodégradation. Pour maintenir la survie des bactéries dans le milieu, il est nécessaire que le pH soit proche de la neutralité ou légèrement basique.

I.5.Matière organique (M.O)

La matière organique : **Feng et Thompson, (1990)** observent que 90% de la totalité des résidus de glyphosate sont retenus principalement dans la couche de surface de 0-15 cm, d'un sol forestier où la teneur en matière organique est plus élevée. Les résultats montrent une augmentation des valeurs de la matière organique après 1 jour de l'application des pesticides dans le sol traité (**Figure 13**). Les résidus de pesticides pourraient être à l'origine de ces augmentations qui sont selon **Insam (1990)** cité par **Traoré et al. (2007)**, Cette augmentation est probablement due à la libération du carbone résultant de la dégradation du glyphosate. Après 7 et 15 jours, le taux de la matière organique enregistre un abaissement remarquable suite à une minéralisation rapide. Selon les observations de **Campbell (1978)** confirmées par **Sedogo (1993)** et **Gamouh et al. (2005)**, plus le taux de matière organique est faible, plus-La minéralisation est importante. Selon **Morand (2001)**, on peut le dire que le sol est faible en matière organique avant et après l'utilisation du glyphosate.

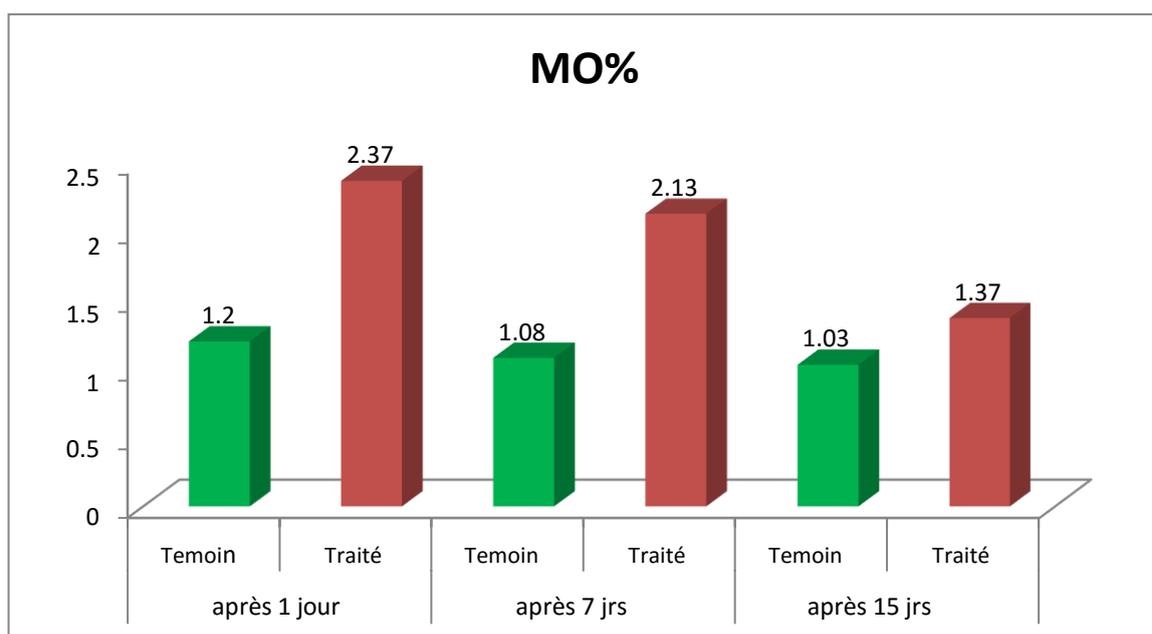


Figure 13. Représentation graphique de la matière organique avant et après le traitement du sol par le glyphosate.

II. Résultats des analyses microbiologiques

II.1. Densité bactérienne

Les résultats obtenus du dénombrement bactérien des 3 échantillons étudiés sont présentés dans le tableau.

Tableau 02. Résultats du dénombrement de la densité bactérienne du sol avant et après traitement par le glyphosate

| UFC.g.s.s ⁻¹ | Échantillon 1 (après 1 jour) | | Échantillon 2 (après 1 semaine) | | Échantillon 3 (après 15 jours) | |
|--|---------------------------------|--------|------------------------------------|--------|-----------------------------------|--------|
| | Témoin | Traité | Témoin | Traité | Témoin | Traité |
| Bactéries (10⁻⁴) | 63.5 | 27 | 40 | 11 | 33.6 | 35 |

Ces résultats montrent des réductions numériques des bactéries dans l'échantillon 1 (après 1 jour de traitement) et l'échantillon 2 (après 1 semaine de traitement), et une augmentation des bactéries dans l'échantillon 3 (après 15 jours de traitement).

L'application du glyphosate nous a permis de détecter un changement sur la densité bactérienne, car nous avons obtenu des résultats contrastés.

La baisse de la densité bactérienne après 1 jour et 1 semaine de l'application du glyphosate, montre l'efficacité de l'effet toxique du glyphosate sur la croissance bactérienne.

D'autre part, l'application du glyphosate après 15 jours révèle un résultat négatif de l'effet du glyphosate sur la biomasse bactérienne. La croissance peut être différente in vitro par rapport au sol in situ, bien que la densité bactérienne constatée dans les parcelles témoin a complètement diminué, probablement due à l'intervention d'un facteur extérieur limitant qui peut être la température du sol, car au moment du prélèvement des échantillons les températures étaient très élevées par rapport aux autres jours.

Comme nous l'avons précisé, le nombre des bactéries constaté dans les parcelles témoins est plus élevé que celle des sols traités. Cela montre l'effet toxique du glyphosate sur la biomasse microbienne.

Le glyphosate agit en inhibant l'action d'une enzyme végétale qui joue un rôle dans la synthèse de trois acides aminés aromatique nommés phénylalanine, tyrosine et tryptophane (Ajiboye, 2022).

Une fois absorbé dans la structure de la plante, le glyphosate se répand tout autour de la plante jusqu'à ses racines et ses feuilles et l'empêche de fabriquer les protéines nécessaires à sa croissance. C'est ce qui finit par tuer les plantes (**Ajiboye, 2022**).

Cette enzyme est nommée la 5-énolpyruvylshikimate-3-phosphate synthase (EPSPS), elle intervient à la sixième étape de la voie du shikimate réalisant la biosynthèse de trois acides aminés aromatiques.

La voie du shikimate est un groupe d'enzymes présentes non seulement dans les plantes mais aussi dans de nombreux taxons de champignons et de bactéries du sol (**Duke, 2018**), (**Hagner et al., 2019**), (**Arnason, 2020**), rendant de nombreux taxons de micro-organismes sensibles au glyphosate (**Duke, 2018**).

La théorie selon laquelle le glyphosate tue les microbes du sol est basée sur la voie du shikimate. Cependant, le glyphosate peut nuire aux microbes du sol avec la voie spécifique (**Arnason, 2020**).

Le glyphosate est un puissant inhibiteur de l'EPSPS dans la voie de l'acide shikimique, il exerce des effets néfastes sur les bactéries non ciblées, qui sont une grande préoccupation environnementale (**Simranjeet et al., 2020**).

Le glyphosate est le seul herbicide qui cible la 5-énolpyruvylshikimate-3-phosphate synthase (EPSPS) sans aucun analogue disponible et obstrue la biosynthèse des acides aminés aromatiques dans la voie de l'acide shikimate (**Haslam, 2014**). L'inhibition de l'EPSPS par le glyphosate retarde la synthèse des composés secondaires essentiels métabolites et protéines nécessaires aux fonctions de défense de nombreux microbes, de plus, il freine les voies de l'énergie vitale dans les microbes du sol (**Sviridov et al., 2015 ; Krüger et al., 2013 ; Funke et al., 2006**).

Par conséquent, le glyphosate pénètre les membranes cellulaires, perturbe la synthèse des protéines et finalement tue les micro-organismes.

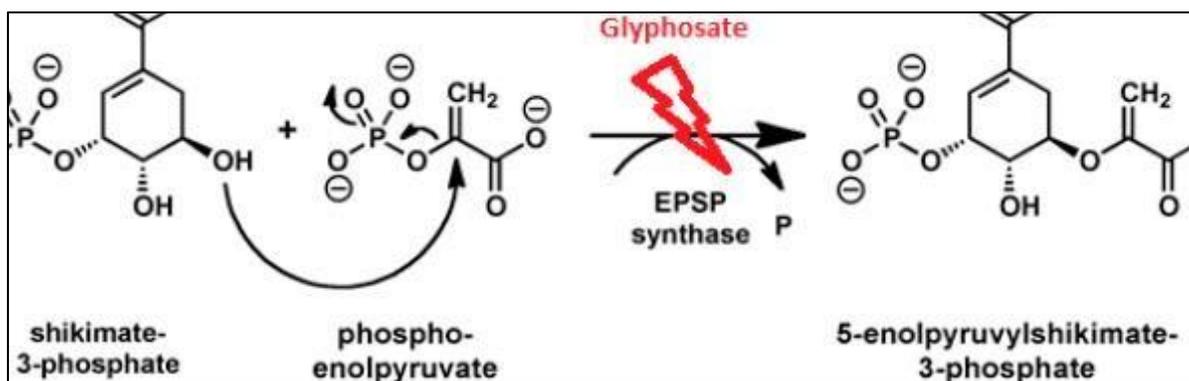


Figure 14. Représentation schématique de la liaison du glyphosate au site de liaison au substrat de la 5-enolPyruvylShikimate-3-Phosphate Synthase (EPSPS), inhibant ses activités

Comme nous l'avons précisé, l'effet toxique du glyphosate sur les bactéries se fait via l'enzyme 5-énolpyruvylshikimate-3-phosphate synthase (EPSPS). Cependant, d'après Paulitz, ce n'est pas toutes les bactéries qui possèdent une forme de cette enzyme sensible au glyphosate (Arnason, 2020).

Les micro-organismes du sol constituent une communauté idéale pour évaluer les effets non ciblés car ils sont directement et indirectement affectés par le glyphosate. Les effets toxiques directs résultent de l'inhibition de la synthèse des acides aminés via la voie de l'acide shikimique (Grossbard et Atkinson 1985) comme nous l'avons expliqué.

Les effets indirects du glyphosate peuvent également être une force motrice influençant la communauté microbienne (Ratcliff et al., 2000) comme nous l'avons constaté après 15 jours du traitement par le glyphosate.

Il est possible que le glyphosate provoque un petit changement dans la population de microbes du sol, où des bactéries et des champignons spécifiques prospéreraient et d'autres mourraient. (Arnason, 2020). Selon ce même auteur, le glyphosate pourrait sélectionner des microbes bénéfiques ou encourager la croissance de bactéries nuisibles.

La sensibilité des micro-organismes ayant la voie shikimate dépend de la classe d'enzyme EPSPS dont ils disposent. Traditionnellement, deux classes étaient distinguées : l'EPSPS de classe I sensible au glyphosate et l'EPSPS de classe II tolérant au glyphosate (Funke et al., 2007 ; Mesnage et Antoniou, 2020 ; Priestman et al., 200

Récemment, quatre groupements ont été distingués en fonction de la variation des séquences d'ADN codant pour l'enzyme EPSPS (Leino et al., 2021 ; Rainio et al., 2021). Les deux

classes d'origine se produisaient le plus fréquemment. Les classes III et IV étaient associées à la résistance au glyphosate, principalement chez certaines espèces bactériennes et archées (Leino et al., 2021).

Cela explique la croissance des bactéries au lieu d'une diminution après 15 jours de traitement par glyphosate, car ces bactéries n'ont pas la même forme d'enzyme ESPS sensible au glyphosate, elles sont associées à la classe II ou elles tolèrent et possèdent une résistance contre le glyphosate.

Le glyphosate est un simple acide aminé ($C_3H_8NO_5P$), capable de fournir de l'énergie (carbone) et des nutriments (azote, phosphore) pour la croissance microbienne.

Des expériences de suivi ont identifié le carbone comme le facteur limitant majeur pour les micro-organismes dans ces sols, et implique un rôle bénéfique de glyphosate comme source d'énergie disponible pour les micro-organismes (Ratcliff et al., 2000).

En effet, il est entendu que le glyphosate augmente l'activité microbienne du sol lorsque l'herbicide est ajouté parce que les microbes le décomposent et l'utilisent comme source de carbone, d'azote ou phosphore (Ibid, 2004 ; Garbisu, 2009).

Donc, le glyphosate a stimulé l'activité microbienne et le nombre de bactéries en fournissant l'énergie supplémentaire pour la croissance.

Ainsi, nous savons que les microorganismes du sol réalisent 90% des transformations chimiques intervenant dans le cycle de la matière organique et la fertilité chimique du sol et qu'ils sont capables de dégrader différents polluants en les utilisant comme source nutritive (Prosser, 2002 ; Lavelle et al., 2005).

Les micro-organismes du sol (bactéries et champignons) sont responsables de la dégradation du glyphosate par deux voies chimiques (See et al., 2015) ; la première voie produit un composé appelé AMPA (acide aminométhylphosphonique) que l'on retrouve dans les sols traités au glyphosate et la deuxième voie produit le composé sarcosine.

Au cours des 50 dernières années d'utilisation du glyphosate, des souches de diverses espèces bactériennes sont apparues qui peuvent décomposer l'herbicide ; ceux-ci incluent des agents pathogènes animaux / humains potentiels (Acosta-Cortés et al., 2019 ; Grube et al., 2019 ; Liu et al., 2013 ; Pérez Rodríguez et al., 2019 ; Xu et al., 2019). Ainsi, le glyphosate peut être détoxifié par plusieurs espèces bactériennes, y compris des espèces de *Bacillus* comme *B.*

cereus et *B. anthracis* (Acosta-Cortés et al., 2019).

En effet, l'utilisation à long terme du glyphosate peut entraîner une augmentation des niveaux de *B. anthracis* (agent causal de l'anthrax) dans l'environnement.

Il existe trois principaux intermédiaires du métabolisme du glyphosate, AMPA, acétyl-glyphosate et sarcosine, qui se dégradent davantage via différentes voies métaboliques.

Le principal métabolite du glyphosate est l'AMPA. Il provoque une contamination secondaire dans l'environnement en raison de la non-faisabilité de la dégradation intracellulaire.

La dégradation photocatalytique peut décomposer le glyphosate en composés non toxiques comme le CO₂, l'eau, et des ions inorganiques (Kumar et al., 2020). Ce mécanisme dépend de la réaction d'oxydation photocatalytique déclenchée par oxydation hautement réactive et radical hydroxyle (Fan et al., 2011). Les avantages de la photocatalyse comprennent coût-efficacité, stabilité et non-toxicité, alors que sa manipulation in situ est un inconvénient majeur.

Cette méthode de dégradation s'est avérée optimale pour éliminer le glyphosate dans le traitement des eaux usées (Wang et al., 2016).

Arthrobacter sp., *Alcaligenes sp.*, *Pseudomonas pseudomallei* (Zablotowicz et Reddy, 2007), et *Flavobacterium sp.*, utilisent le glyphosate comme source de phosphore (Lerbs et stock, 1990 ; Pipke et al., 1987 ; Bailey et al., 1995).

Les espèces microbiennes telles que *Arthrobacter atrocyaneus* ATCC 13752, *Alcaligenes sp.*, *Arthrobacter sp.*, *Geobacillus caldoxylosilyticus* et *Pseudomonas sp.*, ont été signalés consommateurs de glyphosate comme nutriment pour leur croissance (Lerbs et al., 1990 ; Jacobet al., 1987).

De même, *Ochrobactrum intermedium*, *Agrobacterium radiobacter*, et *Achromobacter sp.*, utilise le glyphosate comme source d'azote ou de carbone (Fridous et al., 2018 ; Hallas et al., 1990).

De la liste des microbes dégradant le glyphosate (les actinomycètes, les bactéries, les champignons), les bactéries détiennent le principal place (Mesnage et al., 2015).

Il existe des preuves que le taux de dégradation est corrélé avec la taille de la population bactérienne dans les sols (Gimsing et al., 2004).

Dans l'ensemble, on pense que l'absorption du glyphosate sur les particules du sol diminue la dégradation, mais le glyphosate qui a été absorbé peut toujours être dégradé par des micro-organismes.

Les taux de dégradation du glyphosate varieront selon les caractéristiques topographiques qui influent sur la disponibilité de l'eau (Stenrod, 2006), le type de sol et l'augmentation de la température (Borggaard et Gimsing, 2008).

Ainsi, pour évaluer la capacité de dégradation du glyphosate des microbes pour leur application en bioremédiation, l'optimisation des conditions de croissance comme le pH, la température, le temps d'incubation, l'inoculum et la concentration de glyphosate est nécessaire. Yang *et al.*, (2012) ; Firdous *et al.*, (2017), ont révélé que les bactéries sont efficaces pour dégrader le glyphosate lorsqu'elles sont cultivées sous conditions optimales.

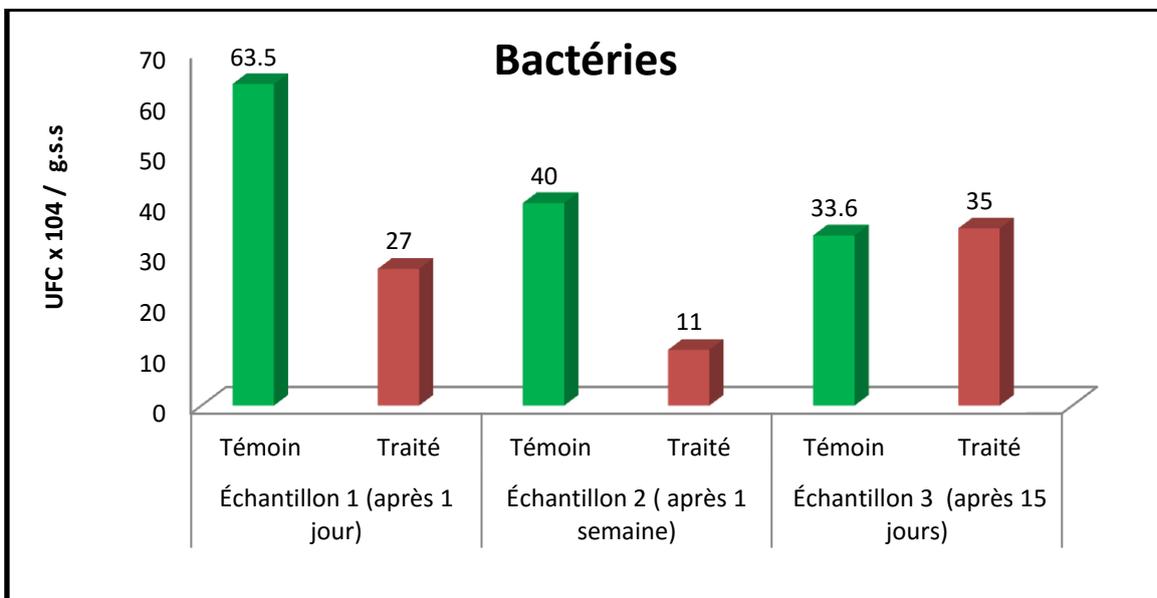


Figure 15: Représentation graphique de la densité bactérienne après 1 jour, 1 semaine et 15 jours

II.2. Coloration de gram

L'observation microscopique nous montre une présence des bactéries gram positive et gram négative.

Les bactéries classées en gram positive sont les prédominants dans les 3 échantillons du sol, bien que les bactéries gram négative sont peu.

Les bactéries gram négatives sont présent beaucoup plus dans l'échantillon 3, ce qui explique leur croissance après le traitement par le glyphosate, car elles sont constitués d'une couche de peptidoglycane recouverte de multiples couches minces de membrane qui éjectent les toxines, elles sont plus difficile à tuer et développent rapidement une résistance (Mitchell, 2020).

Par conséquent, les bactéries gram négative résistent au glyphosate grâce à leur structure multicouche, ce qui rend difficile au glyphosate de percer et traverser ces nombreuses couches.

Quelle que soit la finesse de leur couche de peptidoglycane, les bactéries Gram-négatives sont protégées de certaines agressions physiques car elles n'absorbent pas les matières étrangères qui les entourent. Leur membrane externe supplémentaire leur permet de contrôler ce qui atteint l'intérieur, leur permettant de séquestrer ou même d'éliminer les menaces dans cet espace entre les membranes (espace périplasmique) avant qu'il n'atteigne la cellule elle-même (Mitchell, 2020).

De ce fait, les bactéries Gram-négatives ne sont pas détruites par le glyphosate qui tue facilement les bactéries Gram-positives, parce qu'elles ont des différents niveaux de résistance au glyphosate.

Les bactéries peuvent développer une résistance au glyphosate en réduisant la sensibilité au glyphosate en augmentant la production d'EPSP synthase et dégrader le glyphosate par des hydrolases, pour accéder au phosphore présent dans la molécule sous forme source d'énergie (Hertel et al. 2021).

Les bactéries à gram positive sont susceptibles au glyphosate, ce qui indique leur intolérance avec ce dernier dans l'échantillon 1 et 2. Leur épaisse couche de peptidoglycane absorbe facilement les matériaux environnants, même les toxines, elles sont plus faciles à tuer et développent une résistance plus lentement (Mitchell, 2020), Cela les rend plus faciles à détruire avec le glyphosate.

Enfin, les bactéries Gram-négatives sont plus intrinsèquement résistantes aux glyphosate, elles n'absorbent pas la toxine à l'intérieur.

Les défenses naturelles des bactéries Gram-négatives empêche l'effet toxique de ces herbicides, en revanche elles l'utilisent comme source d'énergie ce qui cause sa dégradation comme nous l'avons indiqué après 15 jours de son traitement.

En bactériologie la morphologie des bactéries se présente sous 3 formes de base : coques, bacilles, spirales. Dans la présente étude nous avons observé uniquement des formes arrondies (coques) et de formes allongées (bacilles).

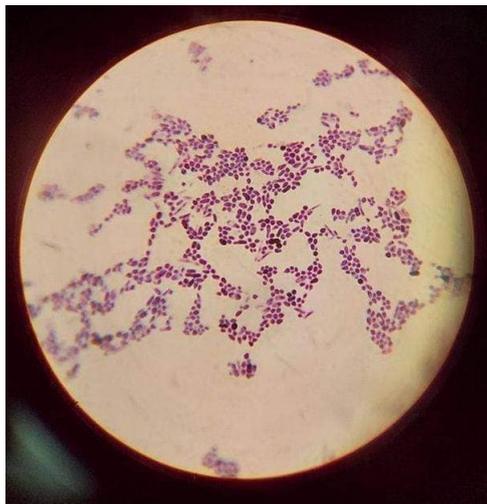


Photo 06. Observation par microscope optique des bactéries gram positive (Gross x 40)
(BOUIDIA et MAKKEB, 2022)

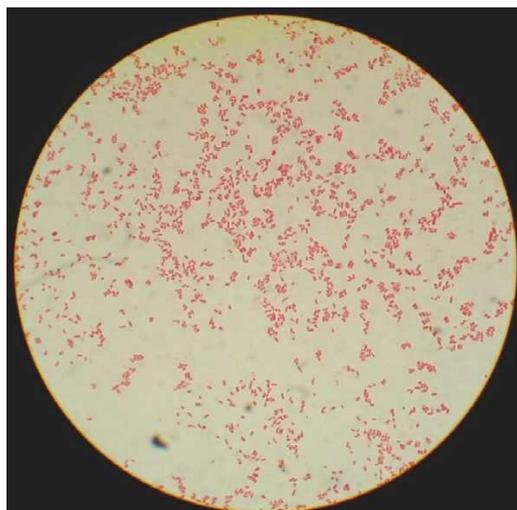


Photo 07. Observation par microscope optique des bactéries gram négative (Gross x 40)
(BOUIDIA et MAKKEB, 2022)

II.3. Caractères morphologiques

La morphologie d'une cellule bactérienne est la propriété la plus distinguée d'une bactérie, elle décrit la forme, la structure la taille, la couleur, l'opacité et l'aspect de la surface.

Les caractéristiques morphologiques des bactéries observées sont présentées dans le tableau :

Tableau 03. Caractères morphologiques des bactéries

| Caractères Germe | Couleur | Forme | Opacité | Taille | Aspect de Surface |
|---------------------|------------|---------------------|-------------------------|--------------------|-------------------|
| Bactéries | Blanchâtre | Arrondie | Opaque/ transparente | Petite | Lisse |
| | Orangée | Plate / arrondie | Opaque | Moyenne | Lisse |
| | Beige | Arrondie | Transparente | Moyenne/ petite | Lisse |
| | Blanchâtre | Plate | opaque | Moyenne | Lisse |
| | Blanchâtre | Arrondie | opaque | petite | Lisse |

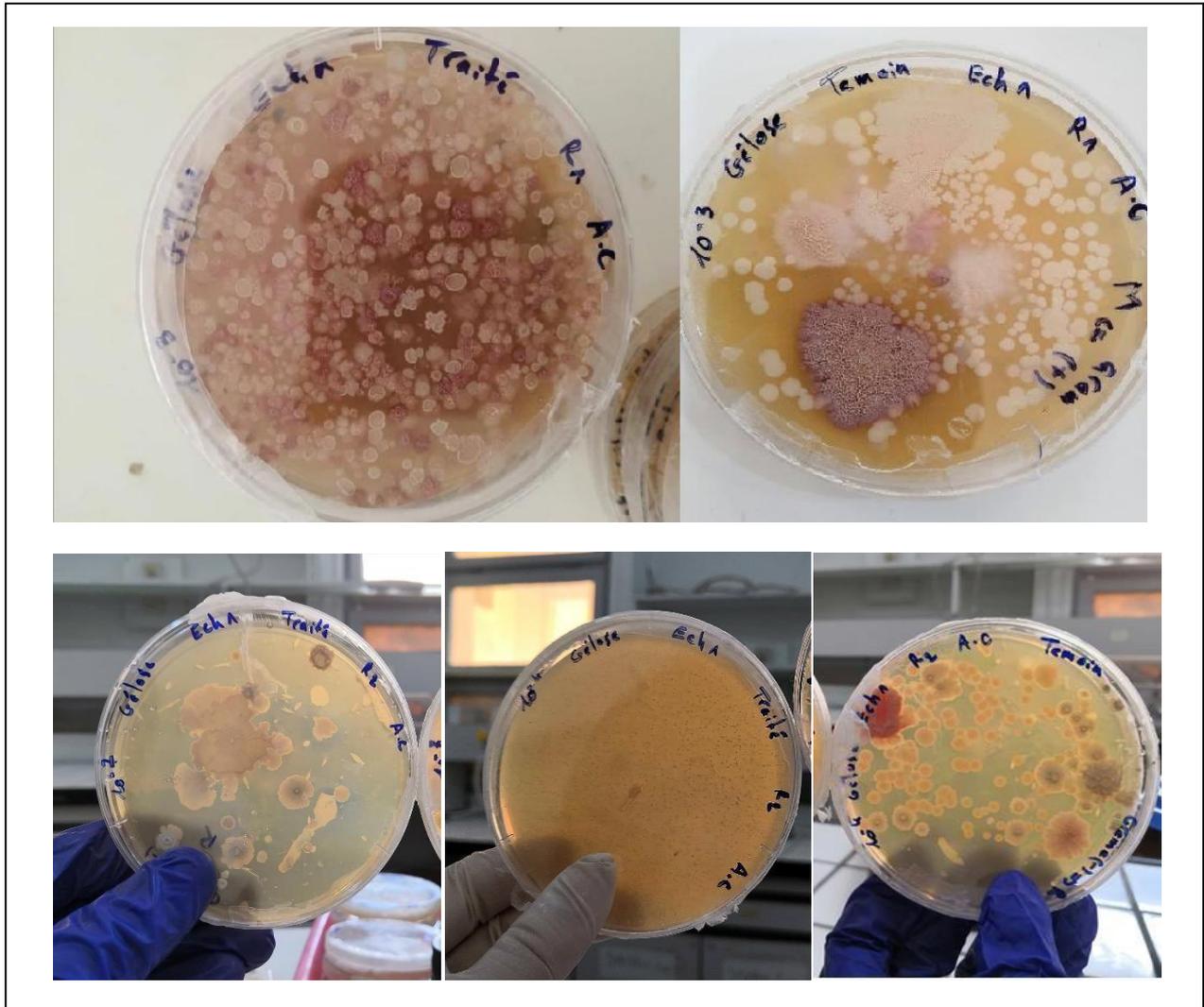


Photo 08. Observation macroscopique des bactéries (BOUIDIA et MAKKEB, 2022)

Conclusion

Conclusion

L'objectif de notre étude était de déterminer l'impact de l'herbicide glyphosate sur la densité bactérienne, et aussi d'étudier sa biodégradation par la densité bactérienne des sols oasiens, cas de la région de Ouargla. L'étude a été menée au niveau de l'exploitation agricole de l'université de Ouargla. Elle consiste à déterminer la densité bactérienne dans des échantillons de sol traités par le glyphosate comparé à un sol témoin.

Les résultats des analyses physico-chimiques ont montré que :

La texture du sol est sablo-limoneuse.

Le taux de l'humidité est faible pour les 3 échantillons.

La conductivité électrique est élevée dans le sol (sol extrêmement salé).

Le pH de sols traités est faiblement acide.

Le taux de matière organique faible.

La détermination du nombre de bactéries dans nos échantillons du sol montre qu'il y a parfois une augmentation des bactéries et parfois nous enregistrons une diminution de la biomasse microbienne.

La diminution de la densité bactérienne est dû à l'efficacité de l'effet toxique du le glyphosate sur la croissance bactérienne.

D'autre part, l'application du glyphosate dans autre échantillon (échantillon 3) détecte un résultat négatif de l'effet du glyphosate sur les communautés bactériennes, car Le glyphosate a stimulé la croissance et l'activité microbienne. Les mécanismes de détoxification des sols reposent sur l'aptitude des micro-organismes des sols à dégrader les pesticides.

Concernent l'observation macroscopique des souches bactériennes nous avons remarqué qu'il existe une grande similitude entre les bactéries tels que la forme et la taille, la couleur, l'opacité l'aspect de la surface.

L'observation microscopique a montré la présence des bactéries Gram négatives et les bactéries Gram positives dans les échantillons du sol avec la prédominance des bactéries Gram positives. Ce pendant les bactéries Gram négatives se présentent dans les échantillons de sol traité par le glyphosate.

En conclusion, nous pensons que l'évaluation et la caractérisation des problèmes associés à l'utilisation intensive et à grande échelle du glyphosate et d'autres pesticides sont beaucoup plus décourageantes, en particulier en raison de l'accumulation dans le sol.

Il existe toujours une controverse sur les effets ultimes du glyphosate sur les communautés microbiennes du sol.

En perspective, nous espérons réaliser des études pratiques de biodégradation des pesticides les plus utilisés dans les sols arides Algériens, et mettre en œuvre ces résultats et les exploiter dans le traitement biologique des sols pollués par le glyphosate

Références bibliographiques

Références bibliographiques

1. **Aciego Pietri J.C., Brookes.P.C, 2018.** Relationships between soil pH and microbial properties in a UK arable soil. *Soil Biology and Biochemistry*, Volume 40, Issue 7, Pages 1856-1861.
2. **Ahsan, N.; Lee, D.G.; Lee, K.W.; Alam, I.; Lee, S.H.; Bahk, J.D.; Lee, B.H.** Glyphosate-induced oxidative stress in rice leaves revealed by proteomic approach. *Plant Physiol. Biochem.* **2008**, 46, 1062–1070.
3. **Ajiboye T., 2022.** What Is Glyphosate ? *Verywell health*.91(8):2723-2743.
4. **Aktar W., Sengupta D., Chowdhury A.** Impact of pesticides use in agriculture : Their benefits and hazards. *Interdiscip. Toxicol.* **2009** ;2 :1–12.
5. **ALOUÏ N., 2020.** Etude de la biodégradation de quelques pesticides par des bactéries isolées de différentes niches écologiques de la wilaya de Ouargla. Thèse de doctorat. Faculté de Ouargla des Sciences de la Nature et de la Vie et Sci ences de la Terre, pages : 148.
6. **Ameur H., 2014.** Mém de Doc.Univ.Ferhat Abbas sétif. P : 1. P: 3. 4.
7. **Anggoro S., Sunoko H.R., Rachmawati S., 2017.** Pesticides Usage in the Soil Quality Degradation Potential in Wanasari Subdistrict, Brebes, Indonesia. *Applied and environmental soil science*, 5896191
8. **Anirf, 2013-**Agence Nationale d’Intermédiation et de Régulation Foncière, Rubrique Monographie Wilaya d’Ouargla, Algérie, p 08.
9. **Araujo A.S.F., Monteiro R.T.R., Abarkeli R.B.** Effect of glyphosate on the microbial activity of two Brazilian soils. *Chemosphere.* **2003**.
10. **Arnason R., 2020.** The science of glyphosate. The western producer.
11. **Aubert G., 1978.** Méthodes d’analyses des sols. edit : c.r.d.p., marseille, 191p.
12. **Bazzine, M., Belhadj, H A. (2014).** Etude des Croûtes biologiques de quelques sols gypseux et salins du milieu saharien: cas de la cuvette de Ouargla (Sahara septentrional EEst algérien). *Algerian Journal of Arid Environment “AJAE”*, *Journal of Arid Environment “AJAE”*,4 (1), 45-52
13. **Bedjadj S., 2011.** Contribution à l’étude des caractéristiques microbiologiques des sols dans la région de Ouargla (Cas de l’exploitation de l’Université d’ Ouargla). Mém d’ingénieur. Univ.Ouargla. 84p
14. **Beraud J., 2001,** le technicien d'analyses biologiques. LAVOISIER. Londres-ParisNewyork. p: 855-856

15. **Berkal, I. (2006).** Contribution à la connaissance des sols du Sahara d'Algérie. Mémoire de magister : Sciences agronomique. Institut National Agronomique : I-N-A EL HARRACH- ALGER, 95p.
16. **Bernardes M.F.F., Pazin M., Pereira L.C., Dorta D.J.** Toxicology Studies—Cells, Drugs and Environment. IntechOpen ; London, UK : **2015**. Impact of Pesticides on Environmental and Human Health ; pp. 195–233.
17. **Berthelin J., 1999.** Microbiologie. DEA national de science du sol. ina, paris, 237P.
18. **Bioud, R., Boutarfi, I. (2017).**Évaluation de la biodiversité bactérienne d'un sol dunaire du sud Algérien (Région de Biskra).Mémoire de master : Microbiologie Générale et Biologie Moléculaire des Microorganismes. Département de microbiologie : Université des Frères Mentouri Constantine, 68p.
19. **Bussey M.D., Ratcliff A.W., Shestak C.J., Powers R.F.** Glyphosate toxicity and the effects of long-term vegetation control on soil microbial communities. *Soil Biol. Biochem.* **2001**.
20. **Calvet R., 2003,** Le sol, propriété et fonction, phénomènes physiques et chimiques. Tome 2. Ed. France. Agricole, 511 p.
21. **Campbell C. A., 1978.** Soil organic carbon, nitrogen and fertility In soil organic matter. *Développements in soil science*, 8: 173-265.
22. **Cherif R.R., 2020,** Etude comparative des activités biologiques des extraits aqueux de deux plantes spontanées récoltées au Sahara Algérien. Thèse de doctorat. Faculté de Ghardaïa des Sciences de la Nature et de la Vie et Sciences de la Terre, pages :
23. **Claude , Lydia B., 2008.** Le sol, la terre et les champignons pour retrouver une agriculture saine., P68-83.
24. **Clement M. et Lozet J., 2011.** Dictionnaire encyclopédique de science du sol.LAVOISIER, Londres-Paris-Newyork. P:65.
25. **Cooper J., Dobson H.** The benefits of pesticides to mankind and the environment. *Crop. Prot.* **2007** ;26 :1337–1348.
26. **CTCA, 2021,** Does glyphosate cause cancer. cancer treatment centers of America. (855) 609-0375.
27. **Dubief J., 1959** -*Le climat du Sahara*. Mém. Inst. Rech. Saha., Alger, Tome I, 298 p.
28. **Dubief J., 1963** -*Le climat du Sahara*. Mém. Inst. Rech. Saha., Alger, Tome II, 262 p.
29. **Dubost D., 1991.** -Ecologie, aménagement et développement agricole des oasis algériennes. Thèse Doct, Université François Rabelais, Tours, 544

30. **Dutil P., 1971** -Contribution à l'étude des sols et des paléosols du Sahara. Thèse Doctorat ès. Sc. Natu., Univ. Strasbourg, 300p.
31. **Fan, J. ; Yang, G. ; Zhao, H. ; Shi, G. ; Geng, Y. ; Hou, T. ; Tao, K.** Isolation, identification and characterization of a glyphosate-degrading bacterium, *Bacillus cereus* CB4, from soil. *J. Gen. Appl. Microbiol.* **2012**, 58, 263–271.
32. **FAO, (2019).** FAOSTAT Statistical Database; FAO: Rome, Italy,
33. **Feng J.C. et Thompson D.G. 1990.** Fate of Glyphosate in a Canadian Forest Watershed. 2. Persistence in Foliage and soils. *Journal of Agricultural and Food Chemistry.* 38: 1118-1125.
34. **Ferreira R.V., Sousa O., Carneiro f.f., Nobre C., 2021.** Tolerance to glyphosate and antibiotic resistance in gram-negative bacteria isolated from soils of different agricultural management systems in Ceará, Brazil. *Gaia scientia*, Volume 15(2): 45-60.
Firdous, S. ; Iqbal, S. ; Anwar, S. ; Jabeen, H. Identification and analysis of 5-enolpyruvylshikimate-3-phosphate synthase (EPSPS) gene from glyphosate-resistant *Ochrobactrum intermedium* Sq20. *Pest Manag. Sci.* **2018**, 74,1184–1196.
35. **Firdous, S.; Iqbal, S.;** Anwar, S. Optimization and Modeling of Glyphosate Biodegradation by a Novel *Comamonas odontotermitis* P2 through Response Surface Methodology. *Pedosphere* **2017**.
36. **Firdous, S.; Iqbal, S.;** Anwar, S. Optimization and Modeling of Glyphosate Biodegradation by a Novel *Comamonas odontotermitis* P2 through Response Surface Methodology. *Pedosphere* **2017**.
37. **Fletcher M.M., Latham M.J., Lynch J.M., Rutter P.R., 1980.**The characteristics of interfaces and their role in microbial attachment. In *Microbial adhesion to surface* ces.Ed .W. Berkeley et al, 67-78
38. **Funke, T., Han, H., Healy-Fried, M. L., Fischer, M., Schönbrunn, E.** Molecular basis for the herbicide resistance of Roundup Ready crops. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* **103**, 13010–5 (2006).
39. **Gamouh A., Bensalah M., Abaadi N., Zyad A., Coste C., Fournier J-C., 2005.** Effets comparés et interactifs des pesticides et facteurs physiques sur la minéralisation des substrats carbonés dans le sol. *Bulletin de l'Institut Scientifique, section Sciences de la Vie*, N°26- 27,2004-2005 : 35-38.

40. **Gazey C., Azam G., 2018**, Effects of soil acidity. Agriculture and food.
41. **Giesy J.P., Dobson S., Solomon K.R.** Reviews of Environmental Contamination and Toxicology. Volume 167. Springer; New York, NY, USA: **2000**. Ecotoxicological risk assessment for Roundup herbicide; pp. 35–120.
42. **Gillet P., Boel L., Jacobs J., 2009**. Bacteriologie medicale tropicale (notes pratiques), Institute of Tropical Medicine, Antwerp. p47
43. **Gimsing A.L., Borggaard O.K., Jacobsen O.S., Aamand J., Sorensen J.** Chemical and microbiological soil characteristics controlling glyphosate mineralization in Danish surface soils. *Appl. Soil Ecol.* **2004**.
44. **Grau, D., Grau, N., Gascuel, Q. et al., (2022)** Quantifiable urine glyphosate levels detected in 99% of the French population, with higher values in men, in younger people, and in farmers. *Environ Sci Pollut Res* 29, 32882–32893.
45. **Griffiths B. S. et Philippot L.,2013**. Insights into the resistance and resilience of the soil microbial community. *FEMS Microbiology Reviews* **37**, 112–129
46. **Guessoum A., 2001**.L'effet de l'irrigation sur la salinité du sol dans la région de Saada - Biskra., memoire ing, Agro,Univ Batna., 50 P. Institut Technologique Agricole, Mostaganem, 78 p
47. **Hagner, M., Mikola, J., Saloniemi, I. et al.** Effects of a glyphosate-based herbicide on soil animal trophic groups and associated ecosystem functioning in a northern agricultural field. *Sci Rep* 9, 8540 (**2019**).
48. **Halitim A., 1989** -Contribution à l'étude des sols des zones arides (Hautes Plaines Steppiques d'Algérie). Morphologie, distribution et rôle des sels dans la gènes et le comportement des sols. Thèse de Doctorat d'Etat, Université de Rennes, 383 p.
49. **Hamdi aissa B., 2001** - fonctionnement actuel et passé de sols du Nord Sahara (cuvette de Ouargla). Approches micromorphologique, géochimique et minéralogique et organisation spatiale.Thèse Doct.INA Paris-Grignon.
50. **Haney R.L., Senseman S.A., Hons F.M., Zuberer D.A.** Effect of glyphosate on soil microbial activity and biomass. *Weed Sci.* **2000**.
51. **Harsimran K.G., Harsh G., 2013**. Pesticides. Pesticides : environmental impacts and management strategies, 10.5772, 57399.
52. **Haslam, E.** The Shikimate Pathway: Biosynthesis of Natural Products Series; Butterworths: London, UK, **2014**.

53. **Hassaan M.A, El Nemr A., 2020.** Pesticides pollution: Classifications, human health impact, extraction and treatment techniques. *The Egyptian Journal of Aquatic Research*, Volume 47, Issue 3, September 2021, Pages 335-336.
54. **Hui Z. , Yanmei F. , Xinghui F. , Shaohua C., 2018.** Recent advances in glyphosate biodegradation. *National Library of Medicine*, **102(12) :5033-5043.**
55. **Institut de Génie Rural, 1973.** Travaux pratiques Guide de laboratoire. Suisse, 50 pages.
56. Involved in glyphosate utilization by *Pseudomonas pseudomallei*. *Appl. Environ. Microbiol.* **1995**, 61, 538–543.
57. **ITA., 1975.**Laboratoire du sol : méthodes d’analyses physiques et chimiques du sol. Institut technologique agricole. Mostaganem. 78p
58. **J. Baxter, S.P. Cummings,** The degradation of the herbicide bromoxynil and its impact on bacterial diversity in a top soil, *J. Appl. Microbiol.*, 104 (6) (**2008**), pp. 1605-1616.
59. **Kanissery R., Gairhe B., Kadyampakeni D., Batuman O., et Alferez F., 2019.** Glyphosate : Its Environmental Persistence and Impact on Crop Health and Nutrition. *Plants*, 8(11) : 499.
60. **Kaur R., Kaur Mavi G., Raghav S., (03 Novembre 2019).** « Pesticides Classification and its Impact on Environment ». *International Journal of Current Microbiology and Applied Science*, [article], sur le site <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2019.803.224>.
61. **Keraron L., 21 juillet 2021,** Les dangers du glyphosate : le point sur l’état des connaissances et les controverse, Basta.
62. **Khbiz, N Boudjella , H Abdelghani Z. et al (2015).** P180:Taxonomie et activité et activité antifongiques d’une souche de streptomyces isolée d’un sol saharien algerien.*Archives de l'Institut Pasteur de Tunis*, 92 (1 / 2) ,13
63. **Kim K.-H., Kabir E., Jahan S.A.** Exposure to pesticides and the associated human health effects. *Sci. Total Environ.* **2017** ;575 :525–535.
64. **Kjaer J., Ullum M., Olsen P., Helweg A., Mogensen B.B., Plauborg F., Grant R., Fomsgaard I.S., Brüsch W.** The Danish Pesticide Leaching Assessment Programme: Monitoring Results May 1999–June 2002. Danish Institute of Agricultural Sciences, National Environmental Research Institute; Roskilde, Denmark: **2003**. Geological Survey of Denmark and Greenland. Third Report.

65. **Krüger, M., Shehata, A. A., Schrödl, W. & Rodloff, A.** Glyphosate suppresses the antagonistic effect of *Enterococcus spp.* On *Clostridium botulinum*. *Anaerobe*. **20**, 74–8 (2013).
66. **Lamichhane J.R.** Pesticide use and risk reduction in European farming systems with IPM : An introduction to the special issue. *Crop. Prot.* **2017** ;97 :1–6.
67. **Lavelle P. et Spain, A. V., 2001.** Soil Ecology. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht, The Netherlands. 65 p
68. **Lavelle P., Alister M., Martin S., Blanchart E., Gilot C., 2003.** Conservation de la fertilité des sols de savane par la gestion de l'activité de la faune du sol. In Savanes d'Afrique, terres fertiles. Ministre de la coopération et du développement-Cirad, Montpellier. P:370-398
69. **Lawler S.P.** Environmental safety review of methoprene and bacterially-derived pesticides commonly used for sustained mosquito control. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* **2017** ;139 :335–343.
70. **Le Clech B., 2000** .Agronomie « des bases aux nouvelles orientations ».Edition Synthèses Agricole.Bordeaux.260p
71. **Leino L., Tall T., Helander M., Saloniemi I., Saikkonen K., Ruuskanen S., Puigbò P., 2021.** Classification of the glyphosate target enzyme (5-enolpyruvylshikimate-3-phosphate synthase) for assessing sensitivity of organisms to the herbicide. *Journal of Hazardous Materials*, Volume 408, 124556.
72. **Lerbs, W. ; Stock, M. ; Parthier, B.** Physiological aspects of glyphosate degradation in *Alcaligenes spec. Strain GL*. *Arch. Microbiol.* **1990**, 153, 146–150.
73. **Lidiane P.Agostini, Raquel S.Dettogni, Raquel S.dos Reis, ElaineStur, Eldamária V.W.dos Santos, Diego P.Ventorim, Fernanda M.Garcia, Rodolfo C.Cardoso, Jones B.Graceli et Iúri D.Louro, 2020.** Effects of glyphosate exposure on human health: Insights from epidemiological and in vitro studies. *Science of The Total Environment*. Volume 705. 135808.
74. **Local f.**, « Soil Basics : Soil Microbiology. » YouTube, publié par Perdue Extension, 22 sept 2017, URL.
75. **Lupi L., Miglioranza K.S., Aparicio V.C., Marino D., Bedmar F., Wunderlin D.A.** Occurrence of glyphosate and AMPA in an agricultural watershed from the southeastern. Region of Argentina. *Sci. Total Environ.* 2015; 536:687–694. doi: 10.1016/j.scitotenv.2015.07.090.

76. **M. Saud AL-Ahmadi**, Pesticides, anthropogenic activities, and the health of our environment safety Pesticides - Use and Misuse and Their Impact in the Environment (2019), 10.5772/intechopen.84161.
77. **M'Sadak Y., Elouaer M.A., Elkamel R., 2013** .Evaluation du comportement chimique des composts sylvicoles, des tamis et des mélanges pour la conception des - 46 -substrats de culture, revue « Nature Et Technologie ».C-Sciences De l'Environnement, N°08/01/2013.
78. **Macalady A., 1996**.Microphytic soil crusts and desert ecosystems. journal of arid environnement kluweacademicpublishers, California , p 62-85
79. **Maggi F., Cecilia D.L., Tang F.H.M., McBratney A., 2020**. The global environmental hazard of glyphosate use. Science of the Total Environment, Volume 717, 137167.
80. **Mamy, L., Barriuso, E., Bedos, C. et al. (2009)**. Des pesticides qui s'accumulent dans les sols. [En ligne]. (Page consultée le 13/08/2020) (<https://www.researchgate.net/publication/281471148> Des pesticides qui s'accumulent dans les sols).
81. **Manseur A., décembre 17, 2018**. « Algérie : utilisation des pesticides, un meilleur contrôle s'impose (contribution) » Maghreb emergent, journal.
82. **Mathieu C., Pieltain., 2009**. Les principaux sols du monde. voyage au centre de l'épiderme de la planète terre. Lavoisier, Editions Tech et Doc., 233 p.
83. **McAuli_e, K.S. ; Hallas, L.E. ; Kulpa, C.F.** Glyphosate degradation by Agrobacterium radiobacter isolated from activated sludge. J. Ind. Microbiol. **1990**, 6, 219–221.
84. **Meena, R.S., Kumar, S., Datta, R., Lal, R., Vijayakumar, V., Brtnicky, M., Sharma, M.P., Yadav, G, S., Jhariya , M.K., Jangir, C.K ., Pathan, S.I ., Dokulilova, T., Pecina, V., and Marfo, T.D ., (2020)**. Impact of Agrochemicals on Soil Microbiota and Management: A Review.Land, 9 (34), 1-21.
85. **Mehjin A.M. AL-Ani, Hmoshi R.M., Kanaan I.A., and Thanoon A.A., 2019**. Effect of pesticides on soil microorganisms. Journal of Physics: Conference Series, 1294 072007.
86. **Mesnager, R. ; Defarge, N. ; Spiroux de Vendômois, J. ; Séralini, G.E.** Potential toxic effects of glyphosate and its commercial formulations below regulatory limits. Food Chem. Toxicol. **2015**, 84, 133–153.

87. **Mesnager, R.; Defarge, N.; Spiroix de Vendômois, J.; Seralini, G.E.** Potential toxic effects of glyphosate and its commercial formulations below regulatory limits. *Food Chem. Toxicol.* **2015**, 84, 133–153.
88. **Mitchell E., 2020.** Gram Positive vs Gram Negative Bacteria and the Fight against HAIs. *HEALTH. CARE. | AN EDUCATIONAL BLOG.*
89. **Molope M.B., Grieve I C., 1987.** Contribution by fungi and bacteria to aggregate stability of cultivated soils. *J. Soil. Sci.*, 38: 71-77
90. **Morand T., 2001.** Soil landscape of the Woodbun 1:100000 sheets. Department of land and water conservation, Sydney: 271-273p
91. **Nanypetra M., 2013.** Response of soil respiration and microbial biomass to changing ec in saline soils, *soil biology & biochemistry* 65 322 e 328. nicklin j., graene couk k., paget p et killington r., 2000. *Microbiologie*, 362 p
92. **Neina D., 2019.** The Role of Soil pH in Plant Nutrition and Soil Remediation. Hindawi, 5794869.
93. **Okada E, Costa JL, Bedmar F.** Adsorption and mobility of glyphosate in different soils under no-till and conventional tillage. *Geoderma.* **2016**; 263:78-85.
94. **Pal R., Chakrabarti A., Muyaiaier T., Huada D.R., Li W., Jia L., Ross S., Des C., Cordia C., Dung T.P., 2021.** Agriculture Development, Pesticide Application and Its Impact on the Environment. *International journal of environmental research and public health*, 18(3): 1112.
95. **Penaloza-Vazquez A.; Mena G.L.; Herrera-Estrella L.; Bailey A.M.** Cloning and sequencing of the genes
96. **Penaloza-Vazquez, A. ; Mena, G.L. ; Herrera-Estrella, L. ; Bailey, A.M.** Cloning and sequencing of the genes involved in glyphosate utilization by *Pseudomonas pseudomallei*. *Appl. Environ. Microbiol.* **1995**, 61, 538–543.
97. **Pipke, R. ; Amrhein, N. ; Jacob, G.S. ; Schaefer, J. ; Kishore, G.M.** Metabolism of glyphosate in an *Arthrobacter* sp. GLP-1. *Eur. J. Biochem.* **1987**, 165, 267–273.
98. **Pipke, R. ; Amrhein, N.** Degradation of the phosphonate herbicide glyphosate by *Arthrobacter atrocyaneus* ATCC 13752. *Appl. Environ. Microbiol.* **1988**, 54, 1293–1296.
99. **Pius F., Freek Van H.,** « Film PHC : le sol est un organisme vivant. » YouTube, publié par Plant Health Cure, 6 déc 2017, URL

100. **R. Pal, K. Chakrabarti, A. Chakraborty and A. Chowdhury, 2006.** Degradation and Effects of Pesticides on Soil Microbiological Parameters-A Review. International Journal of Agricultural Research, 1: 240-258.
101. **Rasool S., Rasool T., Gani K.M, 2022.** A review of interactions of pesticides within various interfaces of intrinsic and organic residue amended soil environment. Chemical Engineering Journal Advances. Volume 11.100301.
102. **Richards BK, Pacenka S, Meyer MT, Dietze JE, Schatz AL, Teuffer K, et al.** Antecedent and post-application rain events trigger glyphosate transport from runoff-prone soils. Environmental Science & Technology Letters. **2018**; 5(5):249-254.
103. **Ri-He P., Yong-Sheng T., Ai-Sheng X., Wei Z., Xiao-Yan F., Hong-Juan H., Chen C., Xiao-Fen J., Quan-Hong Y., 2012.** A Novel 5-Enolpyruvylshikimate-3-Phosphate Synthase from *Rahnella aquatilis* with Significantly Reduced Glyphosate Sensitivity. Ploss one, 0039579.
104. **Roger P. et Garcia J.L., 2011.** Introduction à la Microbiologie du sol du sol. Univ de Provence et Univ de la Méditerranée et Ecole Supérieure d'Ingenieurs de Luminy. P: 28.
105. **Ross G.** Risks and benefits of DDT. Lancet. **2005** ;366 :1771–1772.
106. **Rouvillois-Brigol M., 1975** - Le pays de Ouargla (Sahara algérien); variations et organisation d'une espace rurale en milieu désertique. Publication du Département de géographie de l'Université de Paris-Sorbonne, (2) 389 p.
107. **Sadiqa F., Samina I., Samina A., 2020.** Optimization and modeling of glyphosate biodegradation by a novel *Comamonas odontotermitis* P2 through Response surface methodology. Pedosphere, Volume 30 (5), Pages 618-627.
108. **Saunders LE, Pezeshki R.** Glyphosate in runoff waters and in the root-zone: A review. Toxics. **2015**; 3(4) :462-480.
109. **Schaeffer A., Wijntjes C., 2022.** Changed degradation behavior of pesticides when present in mixtures. Eco-Environment and Health. Volume 1, Issue 1, Pages 23-30.
110. **Schönbrunn E., Eschenburg s., Shuttleworth W.A., Schloss J.V., Amrhein N., Evans J.N.S., Kabsch W., 2001.** Interaction of the herbicide glyphosate with its target enzyme 5-enolpyruvylshikimate 3-phosphate synthase in atomic detail. PNAS, 13; 98(4): 1376–1380.
111. **Sedogo P. M., 1993.** Évolution des sols ferrugineux lessivés sous culture: incidence des modes de gestion sur la fertilité. Thèse Doct., Mention Sciences

- Naturelles, Univ.Nat.,Côte d'Ivoire, 329 p.
112. See **Sviridov et al (2015)** for a full list of glyphosate degrading micro-organisms and their sources (pp.191).
113. **Silva V, Montanarella L, Jones A, Fernandez-Ugalde O, Mol HGJ, Ritsema CJ**, et al. Distribution of glyphosate and aminomethylphosphonic acid (AMPA) in agricultural topsoils of the European Union. *Science of the Total Environment*. **2018**; 621:1352-1359.
114. **Singh S., Kumar V., Kaur Gill J.P., Datta S., Singh S., Dhaka V., Kapoor D., Wani A.B., Dhanjal D.S., Kumar M., Harikumar S.L., Singh J., 2020.** Herbicide Glyphosate: Toxicity and Microbial Degradation. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17, 7519.
115. **Singh, S. ; Kumar, V. ; Datta, S. ; Wani, A.B. ; Dhanjal, D.S. ; Romero, R. ; Singh, J.** Glyphosate uptake, translocation, resistance emergence in crops, analytical monitoring, toxicity and degradation : A review. *Environ. Chem. Lett.* **2020**, 18, 663–702
116. **Sprankle P., Meggitt W.F., Penner D.** Adsorption, mobility and microbial degradation of glyphosate in the soil. *Weed Sci.* **1975**.
117. **Strassemeyer J., Daehmlow D., Dominic A., Lorenz S., Golla B.** SYNOPSIS-WEB, an online tool for environmental risk assessment to evaluate pesticide strategies on field level. *Crop. Prot.* **2017** ;97 :28–44.
118. **Sun M, Li H, Jaisi DP.** Degradation of glyphosate and bioavailability of phosphorus derived from glyphosate in a soil-water system. *Water Res.* **2019** Oct 15; 163:114840. Epub 2019 Jul 4. PMID: 31319360.
119. **Sviridov, A.V. ; Shushkova, T.V. ; Ermakova, I.T. ; Ivanova, E.V. ; Epiktetov, D.O. ; Leont'evskii, A.A.** Microbial degradation of glyphosate herbicides (review). *Prikl. Biokhim. Mikrobiol.* **2015**, 51, 183–190.
120. **Tarazona, J.V., Court-Marques, D., Tiramani, M.** et al. Glyphosate toxicity and carcinogenicity: a review of the scientific basis of the European Union assessment and its differences with IARC. *Arch Toxicol* 91, 2723–2743 (2017). <https://doi.org/10.1007/s00204-017-1962-5>.
121. **Tisdall J.M., 1994.** Possible role of soil microorganisms in aggregation in soils. *Plant & Soil*, 159: 115-121.

122. **Torstensson L.** Behaviour of glyphosate in soils and its degradation. In: Grossbard E., Atkinson D., editors. *The Herbicide Glyphosate*. Butterworths; London, UK: **1985**. pp. 450–490.
123. **Traoré S., Millogo J.R., Thiombiano L., Guinko S., 2007.** Carbon and nitrogen enhancement in Cambisols and Vertisols by *Acacia* spp. in eastern Burkina Faso: Relation to soil respiration and microbial biomass. *Applied Soil Ecology*, 35: 660-669.
124. **Tzanetou E., Karasali H., 2020.** Pests, Weeds and Diseases in Agricultural Crop and Animal Husbandry Production. *Glyphosate Residues in Soil and Air: An Integrated Review*. DOI: 10.5772/intechopen.93066.
125. **Tzanetou E., Karasali H., 2020.** Pests, Weeds and Diseases in Agricultural Crop and Animal Husbandry Production. *Glyphosate Residues in Soil and Air: An Integrated Review*, 93066.
126. **Usta C., 2013,** Microorganisms in Biological Pest Control — A Review (Bacterial Toxin Application and Effect of Environmental Factors). *Current progress in biological research*, 10.5772, 55786.
127. **Van Bruggen A. H. C., Finckh M. R., He M., Ritsema C. J., Harkes P., Knuth D., Geissen V., 2021.** Indirect Effects of the Herbicide Glyphosate on Plant, Animal and Human Health through its Effects on Microbial Communities. *Frontier in environmental science. Sci.* 9 :763917.
128. **Van Bruggen AHC, Finckh MR, He M, Ritsema CJ, Harkes P, Knuth D and Geissen V (2021)** Indirect Effects of the Herbicide Glyphosate on Plant, Animal and Human Health Through its Effects on Microbial Communities. *Front. Environ. Sci.* 9:763917. doi: 10.3389/fenvs.2021.763917
129. **Van Bruggen AHC, Finckh MR, He M, Ritsema CJ, Harkes P, Knuth D, Geissen V (2021)** Indirect Effects of the Herbicide Glyphosate on Plant, Animal and Human Health Through its Effects on Microbial Communities. *Front. Environ. Sci.* 9 :763917.
130. **Vandecasteele., 2003.** Saturated hydraulic conductivity reduction caused by aerobic bacteria in sand columns. *Soil Science Society of America Journal*, 56, pp
131. **Vereecken H.** Mobility and leaching of glyphosate: A review. *Pest Manag. Sci.* **2005** ; 61:1139–1151. doi : 10.1002/ps.1122.

132. **Wang, S. ; Seiwert, B. ; Kästner, M. ; Miltner, A. ; Schä_er, A. ; Reemtsma, T. ; Yang, Q. ; Nowak, K.M.** (Bio)degradation of glyphosate in water-sediment microcosms—A stable isotope co-labeling approach. *Water Res.* **2016**, 99, 91–100.
133. **Wild A., 1993.** *Soils and the Environment* .Cambridge University Press. P: 300.
134. **Xu, X. ; Ji, F. ; Fan, Z. ; He, L.** Degradation of glyphosate in soil photocatalyzed by Fe₃O₄/SiO₂/TiO₂ under solar light. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2011**, 8, 1258–1270.
135. **Yucheng W., Jun Z., Qinghe Z., Zhenfa Z., Xiangui L., 2017.** pH is the primary determinant of the bacterial community structure in agricultural soils impacted by polycyclic aromatic hydrocarbon pollution. *Scientific reports*, [10.1038/srep40093](https://doi.org/10.1038/srep40093).
136. **Zablotowicz, R.M. ; Reddy, K.N.** Nitrogenase activity, nitrogen content, and yield responses to glyphosate in glyphosate-resistant soybean. *Crop Prot.* **2007**, 26, 370–376
137. **Zinger L., 2009.** Variations spatio-temporelles de la microflore des sols alpins. *Mém de Doc. Univ. Joseph Fourier, Grenoble I, France*. P : 19

Annexes

Annexe 01. Milieux de culture

Milieu pour les bactéries telluriques : Gélose nutritive (Biokar, 2014)

- Extrait de viande.....01g
- Extrait de levure.....02g
- Chlorure de sodium (Na Cl)----- 05g
- Peptone.....10g
- Agar-agar.....15g
- Extrait de terre..... 100 ml

Dissoudre les constituants dans un litre d'eau distillée, puis l'autoclaver à 121°C pendant 15 minutes. Ajuster le pH à 7

Annexe 02. Echelle d'interprétation des analyses physicochimiques du sol

Tab. 01: Echelle d'interprétation de pH extrait 1/5 (AUBERT, 1978).

| Valeur du pH | Classe |
|--------------|------------------------|
| < 4,5 | Extrêmement acide |
| 4,5-5,0 | Très fortement acide |
| 5,1-5,5 | Fortement acide |
| 5,6-6,0 | Moyennement acide |
| 6,1-6,5 | Légèrement acide |
| 6,6-7,3 | Neutre |
| 7,4-7,8 | légèrement alcalin |
| 7,9-8,4 | Moyennement alcalin |
| 8,5-9,0 | Fortement alcalin |
| >9,0 | Très fortement alcalin |

Tableau 02. Echelle de salinité en fonction de la conductivité électrique de l'extrait 1/5 (AUBERT, 1978)

| CE (dS/m) à 25 °C | Degré de salinité |
|-------------------|----------------------|
| $\leq 0,6$ | Sol non salé |
| $0,6 < CE < 1,2$ | Sol peu salé |
| $1,2 < CE < 2,4$ | Sol salé |
| $2,4 < CE < 6$ | Sol très salé |
| $CE \geq 6$ | Sol extrêmement salé |

Tableau 03. L'échelle d'interprétation de la teneur en matière organique (MO %) (MORAND, 2001)

| MO% | Nom de classe |
|-----------|----------------------------|
| 0.5 à 1 % | Très faible en MO |
| 1 à 2 % | Faible en MO |
| 2 à 3 % | Moyenne (ou modérée) en MO |
| 3 à 5 % | Elevée en MO |
| > à 5 % | Très élevée en MO |

Annexe 04. Fiche technique du produit utilisé (glyphosate)

Glyphosate

Description:

sans
Tallow
amines

Herbicide foliaire à action systémique.

Efficacité:

Le produit est absorbé par les feuilles et les autres parties vertes de la plante et est transporté vers les parties souterraines (racines, rhizomes) ce qui assure une efficacité percutante même sur les plantes vivaces.

- effet non sélectif (détruit toutes les plantes, gazon inclus)
- très efficace contre les vivaces tels que contre les chardons, liserons, chiendents, égopodes etc.

Domaines d'application:

- agriculture
- jardin
- avant le resemis du gazon (pour burler la pelouse ancienne)
- Sous les arbres et arbustes
- le long des routes nationales et cantonales
- talus et bandes vertes le long des voies de communication (selon ORRChim)
- surfaces de promotion de la biodiversité (SPB) selon OPD

Emploi:

Traiter Glyphosate sur des mauvaises herbes sèches en pleine croissance et suffisamment développées. En règle générale avant la floraison, sauf pour les liserons pour lesquelles un traitement pendant la floraison garantit les meilleurs résultats. Les meilleurs résultats sont obtenus par temps poussant. Afin que le produit pénètre complètement dans la plante, il ne doit pas pleuvoir ou tomber de la rosée durant 6 heures après le traitement.

Dosage:

Agriculture, traitements de surface: 2-10 l/ha dans 200-400 d'eau
Plante par plante, pompe à dos: 0,5-1,5 % (0,5-1,5 dl sur 10 l d'eau)

Informations techniques:

Matière active:
Glyphosate 360 g/l
avec surfactant
sans Tallow amines

Respectez les instructions d'utilisation pour éviter les risques pour l'homme et l'environnement.
No contr. féd.: W 5553

Emballages:

| | | |
|---------------|--------|--------------------|
| Flacon doseur | 500 ml | carton 12 x 500 ml |
| Bouteille | 1 l | carton 12 x 1 l |
| Bidon | 5 l | carton 4 x 5 l |
| | 10 l | carton 2 x 10 l |
| | 20 l | |
| | 200 l | |



Résumé

L'application du glyphosate pour améliorer la production agricole a de graves répercussions sur l'environnement. Son application inefficace et non réglementé est l'une des principales raisons de la contamination du sol et une détérioration de sa fertilité. Notre présent travail a pour objectif d'étudier l'effet de l'application du glyphosate et sa biodégradation par la densité bactérienne d'un sol oasien, au niveau de l'exploitation de l'université de Ouargla. Des analyses microbiologiques ont été réalisées parallèlement aux analyses physico-chimiques sur des échantillons de sol pour déterminer la densité bactérienne avant et après 01 jour, 07 jours et 15 jours de traitement par le glyphosate. Les résultats montrent que, la densité bactérienne est affectée négativement par l'application du glyphosate ce qui explique la toxicité de ce dernier vis-à-vis des bactéries du sol. L'observation microscopique a montré la présence des bactéries Gram (-) plus résistantes dans les échantillons du sol traité, alors que les bactéries Gram (+) se retrouve dans le sol témoin.

Mots clé : herbicides, glyphosate, densité bactérienne, sol oasien, Ouargla, Algérie.

Study of glyphosate effect on the bacterial density of an oasis soil. Case of Ouargla University soil farm

Abstract

The application of glyphosate to improve agricultural production has serious environmental implications. Its ineffective and unregulated application is one of the main reasons for soil contamination and deterioration of its fertility. Our present work aims to study the effect of the application of glyphosate and its biodegradation by the bacterial density of an oasis soil, at Ouargla University farm. Microbiological analyzes were carried out in parallel with physico-chemical analyzes on soil samples to determine the bacterial density before and after 01 day, 07 days and 15 days of treatment with glyphosate. The results show that the bacterial density is negatively affected by the application of glyphosate, which explains the toxicity of the latter towards soil bacteria. Microscopic observation showed the presence of Gram (-) bacteria more resistant in the treated soil samples, while Gram (+) bacteria were found in the control soil.

Key words: herbicides, glyphosate, bacterial density, oasis soil, Ouargla, Algeria.

دراسة تأثير الغليفوسات على الكثافة البكتيرية لتربة الواحات. حالة مزرعة تربة جامعة ورقلة

ملخص

استعمال الغليفوسات لتحسين الإنتاج الزراعي له آثار بيئية خطيرة. يعد تطبيقه غير الفعال وغير المنظم أحد الأسباب الرئيسية لتلوث التربة وتدهور خصوبتها. يهدف عملنا الحالي إلى دراسة تأثير تطبيق مادة الغليفوسات وتحللها البيولوجي بالكثافة البكتيرية لتربة الواحات على مستوى استغلال جامعة ورقلة. أجريت التحاليل الميكروبيولوجية بالتوازي مع التحليلات الفيزيائية والكيميائية لعينات التربة لتحديد الكثافة البكتيرية قبل وبعد يوم واحد و 7 أيام و 15 يوماً من العلاج بالغليفوسات. بينت النتائج أن الكثافة البكتيرية تتأثر سلباً بتطبيق مادة الغليفوسات مما يفسر سمية الأخير تجاه بكتيريا التربة. أظهرت الملاحظة المجهرية وجود بكتيريا جرام (-) أكثر مقاومة في عينات التربة المعالجة ، بينما تم العثور على بكتيريا جرام (+) في التربة الضابطة.

الكلمات المفتاحية: مبيدات الأعشاب ، الغليفوسات ، الكثافة البكتيرية ، تربة الواحات ، ورقلة ، الجزائر.