

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

Université Constantine 1

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département de Biologie et Ecologie Végétale

N° d'ordre.....

N° de série.....



MEMOIRE

Pour obtenir le diplôme de

MAGISTER

Option

Biologie appliquée

Thème

**Evaluation de la rémanence de l'herbicide
Glyphosate dans les cultures maraîchères de la
wilaya de Jijel**

Présenté par : M^{elle} NAILI Fatima

Devant le jury

Président	: M. MERGHEM R.	Pr. Université Constantine 1
Rapporteur	: M. BENLARIBI M.	Pr. Université Constantine 1
Examineur	: M. LAHOUEL M.	Pr. Université de Jijel
Examineur	: M. KARA Y.	Pr. Université Constantine 1

Année universitaire : 2013-2014

REMERCIEMENTS

Le présent travail est réalisé au laboratoire de Développement et Valorisation des Ressources Phytogénétiques à l'Université Constantine 1 sous la direction de M. BENLARIBI M., Professeur à l'Université Constantine 1, qui m'a accordé beaucoup de son temps. Je le remercie pour sa disponibilité, son attention, son aide et les conseils qu'il m'a apportés au cours de la préparation de ce mémoire.

Mes sincères remerciements sont également adressés à M. MERGHEM R., Professeur à l'Université Constantine 1 d'avoir accepté de présider mon jury.

Je remercie vivement M. LAHOUEL M., Professeur à l'Université de Jijel d'avoir accepté de faire partie du jury de mon mémoire.

J'exprime aussi, tous mes remerciements à M. KARA Y., Professeur à l'Université Constantine 1 d'avoir bien voulu juger ce travail.

Mes remerciements vont également à :

- Monsieur BELHAOUANE A., MAA à l'Université Constantine 1 pour ses conseils, sa disponibilité, son encouragement et surtout sa bonne humeur.*
- Monsieur HADEF A., MAA pour les informations précieuses qu'il m'a apportées lors de la réalisation de ma recherche.*
- Madame Boulagroune R., Ingénieur au laboratoire d'Ecologie à l'université Constantine 1 pour ses conseils.*

J'adresse mes sincères remerciements à Madame ROULA M., MAA de l'Université de Jijel, Faculté SNV ainsi que tous les membres du laboratoire Éco-toxicologie de cette Université pour leur accueil chaleureux, leur amitié et leurs conseils.

Mes remerciements s'adressent aussi aux Ingénieurs du laboratoire de Développement et Valorisation des Ressources Phytogénétiques à l'Université Constantine 1 et aux membres de la subdivision agricole de Sidi Abdel Aziz, pour leur aide et la disponibilité qu'ils ont toujours manifestées.

Enfin, merci à toute personne qui a pu, de près ou de loin, contribuer à l'accomplissement de ce travail.

Dédicaces

A mes chers parents pour leur amour et leur support continu.

A Mes sœurs (Souhila, Nihed et Jouhaïna)

A Mes frères (Mohamed, Fouzi et Imed)

A mon beau-frère Nasr

A ma nièce Farah

A tous mes amis

A tous mes collègues

SOMMAIRE

Liste des abréviations

Introduction.....	i
--------------------------	----------

Première partie : Synthèse bibliographique

Chapitre 1 : Les pesticides

1.1. Histoire des pesticides	1
1.2. Définition des pesticides.....	1
1.3. Classification des pesticides.....	2
1.3.1. Classification selon l'usage.....	2
1.3.2. Classification chimique.....	2
1.3.3. Classification biologique.....	3

Chapitre 2 : Les herbicides

2.1. Définition des herbicides.....	6
2.2. Composition et formulation.....	6
2.3. Classification des herbicides.....	6
2.3.1. Classification selon les propriétés physico-chimiques.....	6
2.3.2. Classification selon le mode de pénétration dans la plante.....	7
2.3.3. Classification selon le mode d'action.....	8
2.4. La sélectivité des herbicides.....	10
2.5. Toxicité des herbicides	11
2.6. Impact sur l'environnement.....	12
2.7. Le glyphosate	12
2.7.1. Définition	12
2.7.2. Mode d'action.....	13
2.7.3 Propriétés physico-chimiques.....	14
2.7.4. Impact du glyphosate.....	14

Chapitre 3 : L'effet de la rémanence des herbicides et de glyphosate dans les cultures maraichères

3.1. Le sol	17
3.1.1. Définition du sol.....	17
3.1. 2. Constituants du sol.....	17
3.1.3. Les propriétés physico-chimiques.....	19
3.1.3.1. Les caractéristiques physiques.....	19
3.1.3.2. Les propriétés physico-chimiques du sol.....	19
3.1.4. Les type du sol.....	20
3.2. Devenir d'un herbicide dans le sol	20
3.2.1. La rétention	20
3.2.2. La dégradation	23
3.2.3. La dissipation.....	24
3.2.4. Le devenir de glyphosate dans le sol	25
3.2.4.1. La rétention du glyphosate.....	26
3.2.4.2. La dégradation du glyphosate	28

3.2.4.3. La dissipation du glyphosate.....	29
3.3. Rémanence des herbicides et du glyphosate dans le sol.....	30
3.3.1. La rémanence des herbicides	30
3.3.2. La rémanence du glyphosate dans le sol.....	33
3.4. Effet de la rémanence des herbicides et de glyphosate dans les cultures maraichères.....	33
3.4.1. Effet de la rémanence des herbicides dans les cultures maraichères.....	33
3.4.2. Effet de la rémanence du glyphosate dans les cultures maraichères.....	36

Deuxième partie : Matériels et méthodes

1. Echantillonnage	40
1.1. Le sol	40
1.1.1. Provenance du sol	40
1.1.2. Analyse physique du sol	42
1.1.2.1. Analyse granulométrique du sol.....	42
1.1.2.2. Détermination de la matière organique : méthode Walkley et Black modifié.....	47
1.1.2.3. Détermination du pH	49
1.1.2.4. Mesure de la conductivité électrique : méthode électrométrique.....	50
1.1.2.5. Détermination du calcaire total : Méthode du Calcimètre.....	51
1.1.2.6. Détermination de la capacité d'échange cationique.....	53
1.2. Le désherbant.....	54
1.3. La plante teste : le radis	55
1.4. Mises en place des essais.....	57
1.5. Le test de germination.....	58
1.6. L'analyse statistique.....	58

Troisième partie : Résultats et discussions

1. Premier essai	59
1.1. La serre 1 de Jimar	59
1.1.1. La germination.....	59
1.1.2. Le nombre de plantules.....	61
1.2. La serre 2 de Jimar	64
1.2.1. La germination.....	64
1.2.2. Le nombre de plantules.....	65
2. Deuxième essai.....	70
2.1. La serre 3 de Jimar.....	70
2.1.1. Caractéristiques du sol expérimenté : les paramètres physico-chimiques	70
2.1.2. La germination	77
2.1.3. Le nombre de plantules	78
2.2. La serre 4 d'El-Kennar.....	82
2.2.1. Caractéristiques du sol expérimenté : les paramètres physico-chimiques	82
2.2.2. La germination	88
2.2.3. Le nombre de plantules.....	90

Conclusion.....	95
------------------------	-----------

Références bibliographiques.....	97
---	-----------

Annexe.....	114
--------------------	------------

Liste des abréviations

AMPA : Acide Amino Méthyl Phosphonique

CE : Conductivité Electrique

CEC : Capacité d'Echange des Cations.

CT : Calcaire Totale

DDT : Dichloro Diphényle Trichlorométhane

DL50: Dose Létale 50

EPSPS : Enol Pyruvyl Shikimate Phosphate Synthétase

HCH : Hexa Chloro Cyclohexane

MO : Matière Organique

t_{1/2} : temps de demi-vie

TeP₁H₁ : Témoin profil un horizon un.

TrP₁H₁ : Traité profil un horizon un.

INTRODUCTION

Introduction :

Les pesticides sont des produits élaborés pour accroître les rendements agricoles en éliminant les antagonistes des cultures, compétiteurs (adventices) ou non (parasites).

Du fait de leur usage étendu, aussi bien en zone agricole qu'en zone non agricole, de leur caractère persistant et de la présence de résidus dans les milieux et dans l'alimentation, les pesticides posent un réel problème de santé publique puisque l'ensemble de la population est susceptible d'être exposée à leurs effets.

Ces effets à court terme et pour des doses élevées sont bien connus, notamment grâce à de nombreuses études menées chez les agriculteurs. En revanche, les effets à long terme d'une exposition chronique sont plus difficiles à apprécier. Cependant, les travaux publiés mettent en avant des effets retardés sur la santé, essentiellement des cancers mais aussi des effets neurologiques et des troubles de la reproduction et du développement. (Tellier, 2006).

Les herbicides sont les produits phytosanitaires les plus utilisés et sont surtout employés pour maintenir les champs nus ou sur les cultures aux premiers stades de développement afin de limiter leur concurrence. Une grande partie de ces produits arrive au sol. Cette catégorie de pesticides comprend plusieurs familles dont la famille de Glycine à laquelle appartient le produit Glyphosate sujet de notre étude (Tissut *et al.*, 2006).

Les herbicides sont des produits très efficaces. Ils offrent un excellent inhibiteur des mauvaises herbes. Plusieurs sont des produits résiduels. Ils risquent de rester dans le sol suffisamment longtemps pour affecter les cultures suivantes ou lors de la succession normale de cultures dans le cadre d'une rotation donnée. Il peut se faire qu'une plante soit sensible à un herbicide appliqué sur la culture précédente. (Bernier, 2001).

D'après l'Institut Technique de la Betterave (ITB), la rémanence du glyphosate est faible (Bizet *et al.*, 2010). Le glyphosate est rapidement inactivé dans le sol en raison de sa forte adsorption aux particules de sol, sachant que plus un produit s'adsorbe aux particules du sol, plus sa rémanence est faible (Prata *et al.*, 2003).

Lorsqu'il est appliqué sur des végétations en croissance, le produit s'accumule dans les méristèmes et se retrouve en partie rejeté dans le sol via le système racinaire. A ce niveau, il agit et perturbe l'écosystème du sol avec des conséquences pour les plantes. Une autre étude a montré que lorsque le glyphosate atteint le sol, il est immobilisé à travers la chélation des cations : il est donc très stable et il n'est pas facilement dégradé (Brett *et al.*, 2010).

La région de Jijel est bien connue par son agriculture familiale notamment de montagne. L'avènement de la révolution agraire a éveillé la population qui a précipité l'extension d'un type d'agriculture semi-contrôlée de plaines. Il s'agit du maraîchage qui était pratiqué de manière limitée en plein champ.

Ainsi, les cultures légumières ou maraîchères de plein champ et sous abris occupent actuellement une grande superficie à Jijel ; Celles sous abris (abri-serres, serres et petits tunnels) occupent une surface importante et ne cessent de s'étendre particulièrement aux niveaux des communes de Sidi Abdel Aziz, Jimar, El-Kennar, Taher etc.....

Ce nouveau mode de culture a engendré une utilisation considérable de produits phytosanitaires, notamment d'herbicides.

Ces produits phytosanitaires sont aussi diversifiés que les cultures pratiquées dans cette région.

Il a été choisi d'étudier l'herbicide glyphosate parmi les herbicides commercialisés à Jijel parce que c'est le plus utilisé et le plus vendu.

Ainsi, l'objectif principal de ce travail est d'évaluer la rémanence de cet herbicide dans certains sols agricoles de la wilaya en fonction de leurs caractéristiques physico-chimiques, de la matière organique, pH et de la texture du sol.

Des échantillons de sol en provenance de deux régions différentes de Jijel sont expérimentés : un sol agricole de Jimar, un autre sol agricole de la région d'El-Kennar.

Ce travail est composé de trois parties :

- A la suite d'une introduction générale, la première partie est une revue bibliographique qui consiste en une synthèse des connaissances sur les herbicides et surtout le glyphosate.
- La deuxième partie se rapporte aux matériels et méthodes particulièrement le prélèvement des échantillons et les analyses nécessaires.
- La troisième partie correspond aux résultats dégagés et à la discussion générée.

Le mémoire est enfin complété par une conclusion générale récapitulant les résultats obtenus et les perspectives.

PARTIE I :
REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE I :
LES PESTICIDES

I. Les pesticides

1.1. Histoire des pesticides

La lutte contre les organismes nuisibles aux cultures a été de tous temps une préoccupation de l'agriculteur. Pendant longtemps, l'essentiel des moyens était de nature physique : ramassage des larves, des insectes adultes, destruction des plantes malades par le feu, désherbage manuel puis mécanique. L'utilisation de produits chimiques est malgré assez ancienne comme l'indique l'emploi du soufre cité par Homère et celle de l'arsenic signalé par Pliny l'Ancien. (Calvet *et al.*, 2005).

Au cours du XIX^e siècle, les traitements insecticides, fongicides et herbicides apparaissent et prennent une grande importance en raison du développement de graves épidémies qui atteignent des productions agricoles vitales. Deux périodes peuvent être distinguées pour décrire le développement très important des pesticides. Ce sont la première et la deuxième moitié du XX^e siècle séparées par la deuxième guerre mondiale. L'utilisation des produits phytopharmaceutiques s'est beaucoup développée au cours de la deuxième moitié du XX^e siècle. (Flogeac, 2004).

Il existe aujourd'hui une pharmacopée très importante offrant aux divers utilisateurs une gamme variée de produits aux diverses activités sensées pouvoir répondre aux problèmes de protection des plantes et d'une façon générale aux problèmes posés par les organismes vivants nuisibles. Signalons, d'ailleurs, que à côté des insecticides, fongicides et des herbicides, il existe bien d'autres catégories de pesticides destinés à lutter contre d'autres organismes tels que les acariens, les nématodes, les mollusques, les rongeurs....etc. (Ndao, 2008).

1.2. Définition des pesticides

Pesticide est un mot récent emprunté à la langue anglaise. Il date de 1959. Il est composé de pest « insecte ou plante nuisible, parasite » (lui-même emprunté au français peste au XVI^e siècle) et de -cide, du latin caedere « frapper, abattre, tuer ». (Gatignol et Étienne., 2010). Les pesticides regroupent l'ensemble des substances (molécules) ou produits (préparations) utilisés dans le secteur agricole ou dans d'autres applications pour éliminer les organismes nuisibles. On distingue deux types de pesticides : les produits phytopharmaceutiques ou produits phytosanitaires et les biocides. (Regnault-Roger *et al.*, 2005).

La directive européenne 91/414/CE du 15 juillet 1991 concernant la mise sur le marché des produits phytosanitaires, les définit comme : « Les substances actives et les préparations contenant une ou plusieurs substances actives qui sont présentées sous la forme dans laquelle elles sont livrées à orienter l'utilisateur et qui sont à :

- Protéger les végétaux ou les produits végétaux contre tous les organismes nuisibles ou à prévenir leur action ;

- Exercer une action sur les processus vitaux des végétaux;
- Assurer la conservation des produits végétaux;
- Détruire les parties de végétaux, freiner ou prévenir une croissance indésirable des végétaux ».

La directive européenne 98/8/CE du 16 février 1998 concernant la mise sur le marché des produits biocides, les définit comme : « Les substances actives et les préparations contenant une ou plusieurs substances actives qui sont présentées sous la forme dans laquelle elles sont livrées à l'utilisateur, qui sont destinées à détruire, repousser ou rendre inoffensifs les organismes nuisibles, à en prévenir l'action ou à les combattre. » (Calvet *et al.*, 2005; Idrissi *et al.*, 2010).

1.3. Classification des pesticides

Il existe trois façons de classer les pesticides :

- Par leurs usages.
- Par les organismes vivants visés.
- Et par leurs caractéristiques chimiques. (VNF, 2004).

1.3.1. Classification selon l'usage

Les pesticides sont utilisés dans plusieurs domaines d'activité pour lutter contre des organismes vivants nuisibles, d'où des usages différents. Il existe six catégories :

1- L'homme et les animaux

Il s'agit d'insecticides et de fongicides utilisés pour l'hygiène humaine et vétérinaire.

2- Les bâtiments d'habitation

Ce sont des insecticides, des rodenticides, des bactéricides et des fongicides.

3- Les bâtiments d'élevage

Il s'agit surtout d'insecticides et de bactéricides.

4- Les locaux de stockage des produits végétaux

Ce sont des insecticides et des fongicides.

5- Les zones non agricoles

Il s'agit principalement d'herbicides utilisés pour désherber les voies de circulation routières et ferrées, les aires d'aéroport et les aires industrielles.

6- Les cultures

Ce sont les pesticides utilisés en agriculture. Ils sont les plus nombreux, principalement des insecticides-acaricides, des fongicides et des herbicides. (Calvet *et al.*, 2005; Beguin, 2005).

1.3.2. Classification chimique

Il existe trois catégories de pesticides :

➤ **Les pesticides inorganiques**

Ce sont aussi des pesticides très anciens, ils sont peu nombreux mais certains sont utilisés en très grandes quantités comme le soufre et le cuivre. Il n'existe plus d'insecticides inorganiques et un seul herbicide est encore employé aujourd'hui comme désherbant total, le chlorate de sodium. L'essentiel des pesticides inorganiques sont des fongicides employées pour traiter la vigne, les arbres fruitiers et de nombreuses cultures maraichères. (Mörner *et al.*, 2002 ; Druart, 2011).

➤ **Les pesticides organométalliques**

Ce sont des fongicides dont la molécule est constituée par exemple d'un métal tels que le zinc et le manganèse et d'un anion organique dithiocarbamate. Quelques exemples de ces pesticides sont le mancozèbe (avec le zinc) et le manèbe (avec le manganèse) (El Mrabet, 2007).

➤ **Les pesticides organiques**

L'ensemble des molécules dérivées d'un groupe d'atomes qui constituent une structure de base. Ils regroupent les pesticides organiques naturels, comme la pyrèthrine, et les pesticides organiques de synthèse qui sont très nombreux et appartiennent à diverses familles chimiques. Les principales familles sont les organochlorés, les organophosphorés, les carbamates, les pyrèthrinoïdes de synthèse, les dérivés de l'urée, les triazines. (Garon-Boucher, 2003).

1.3.3. Classification biologique

Face à la profusion de matières actives et de spécialités commerciales, les producteurs et les utilisateurs de pesticides les classent suivant leur cible. (Devault, 2007). Outre les classes de pesticides suivantes :

- Les acaricides utilisés contre les acariens.
- Les corvicides et corvifuges, contre les oiseaux ravageurs de culture.
- Les molluscicides, pour lutter contre les limaces sur les cultures maraichères.
- Les nématocides contre les vers du groupe des nématodes.
- Les rodenticides, dirigés contre les rongeurs. (Zegels et Salemi, 2003),

Les plus importants sont :

❖ **Les insecticides**

Les insecticides d'origine végétale (ex : pyrèthre, roténone, nicotine) ont été parmi les premiers insecticides employés par les agriculteurs mais les insecticides chimiques de synthèse demeurent un important outil de lutte antiparasitaire en agriculture, en foresterie, et dans les habitations et les paysages aménagés (Kesraoui, 2008). Un insecticide chimique est un produit issu de la synthèse chimique qui a la

propriété de tuer les insectes à court ou à long terme. On peut distinguer trois grandes classes d'insecticides selon leurs mécanismes d'action : action sur le système nerveux, perturbation de la fonction respiratoire ou réduction de la croissance. (Camard et Magdelaine, 2010 ; Bazzi, 2010).

❖ **Les fongicides**

Ils constituent le moyen de lutte, le plus efficace contre les maladies majeures des plantes cultivées. Ils sont nécessaires dans le maintien voire l'augmentation des rendements agricoles. (Thiollet-Scholtus, 2004). Ces molécules ciblent différents types de champignons pouvant directement infester les cultures à différents stades de développement, les récoltes durant les phases de stockages, ou encore les semences. Cependant, la plupart de ces molécules sont hautement toxiques et difficilement biodégradables. En effet, certains fongicides agissent sur le système énergétique des cellules fongiques en inhibant les processus respiratoires. D'autres agissent sur la synthèse des constituants du champignon. (Rocher, 2004 ; Aubertot *et al.*, 2005).

❖ **Les herbicides**

C'est cette catégorie qui nous intéresse par rapport au sujet traité. Leur utilisation massive et répétée peut engendrer des conséquences néfastes pour toutes les composantes de l'environnement. Même si la plupart des traitements sont appliqués sur les parties aériennes des plantes, une bonne part atteint toujours le sol où vivent des bactéries, des champignons, des algues et des insectes. (Bordjiba et Ketif, 2009).

CHAPITRE II :
LES HERBICIDES

Les herbicides sont les produits phytosanitaires utilisés pour détruire les plantes indésirables dans une culture, appelées encore mauvaises herbes (Neuweiler, 2009), cette opération est nommée désherbage. Avant d'entamer aux herbicides, il est essentiel de connaître qu'est-ce qu'une mauvaise herbe ? Et qu'elles sont les différentes autres techniques de désherbage utilisé avant l'arrivée des herbicides.

Le concept de mauvaise herbe qualifie un élément végétal inopportun, non semé ou non planté, et issue de graine ou de multiplication végétative. L'association française de protection des plantes la définit par : plante herbacée indésirable à l'endroit où elle se trouve. Elle note également, le terme d'adventice est synonyme de mauvaise herbe. Les mauvaises herbes sont considérées comme nuisibles par les effets indésirables qu'elles exercent sur les cultures. (Gaviglio, 2007).

La nuisibilité peut être d'ordre primaire ou secondaire. La nuisibilité primaire peut s'exprimer lors d'une concurrence vis-à-vis de la culture pour l'eau, les éléments fertilisants et la lumière. (Baudry *et al.*, 2001). Elle peut également être d'ordre secondaire par la présence d'un stock semencier qui, grâce au jeu des levées de dormance, vont permettre à la mauvaise herbe de se maintenir et de se développer dans le milieu. (Tissut *et al.*, 2006). Afin de limiter la concurrence de ces mauvaises herbes, les agriculteurs ont été utilisé plusieurs techniques du désherbage. Initialement le désherbage s'effectuait manuellement (la binette), puis progressivement il s'est fait de manière mécanique ou thermique puis chimique.

Le désherbage mécanique peut être pratiqué par binage, buttage, labour... entraînant l'arrachement des adventices ou leur coupe. Le désherbage thermique détruit les adventices grâce à l'action de la chaleur qui peut être apportée de différentes manières : par exposition directe des adventices aux flammes, par apport d'eau chaude...etc (Zadjan, 2004).

A partir des années 60, le désherbage chimique à fait son apparition et s'est très vite imposé avec le développement de l'agriculture moderne. Dès 1943-44, jusqu'à 12.000 défoliants furent testés aux USA et plus de 7.000 produits furent découverts. La recherche continua et en 1950, l'armée britannique fut la première à utiliser les herbicides au cours de la guerre contre la guérilla en Malaisie. C'est donc que la première génération d'herbicide, appelée les phytohormones de synthèse, (principalement le 2,4-D et le 2, 4,5-T: di- et tri-chlorophénoxy acide acétique). (Amalric et Ghestem , 2009 ; Bertonier *et al.*, 2012). Dès lors, une très grande variété d'herbicides apparut avec notamment les Carbamates, les Bypiridiles,etc.

Le Glyphosate arrive en 1974 sur un marché des herbicides déjà très étoffé mais avec des avantages qui en font rapidement un bestseller puisqu'il permet une destruction efficace des adventices. (Bertonier *et al.*, 2012).

2.1. Définition des herbicides

Les herbicides sont appelés parfois désherbants, notamment en horticulture. Ils sont utilisés pour la destruction de toutes les espèces végétales jugées indésirables comme les adventices des cultures et les mauvaises herbes. (CGA, 2000).

2.2. Composition et formulation

Un herbicide correspond au nom commercial du produit commercialisé par un distributeur ou un fabricant (R Cox., 2003). Ce produit se compose de deux types de constituants :

- **Les matières actives** qui lui confèrent son activité herbicide et
- **Les formulants** qui complètent la formulation. Cette dernière correspond à la forme physique sous laquelle le pesticide est mis sous le marché, les plus répandues sont les suivantes :
 - **Pour les formulations solides** : les granulés solubles, les poudres mouillables.
 - **Pour les formulations liquides** : les concentrés solubles, les concentrés émulsionnables, les suspensions concentrées. (Boschetto, 2013).

Les formulants sont des produits qui améliorent la préparation pour sa qualité : la stabilité (émulsifiant), la présentation (colorant, répulsif) ou pour son comportement physique lors de la pulvérisation : mouillant, adhésif, etc... (Rocher, 2004).

La teneur en matière active s'exprime en (g/l) pour les formulations liquides et en pourcentage (%) pour les formulations solides. (Boschetto, 2013).

2.3. Classification des herbicides

Selon Gauvrit (1996), plusieurs classifications sont possibles. On peut se baser sur leur formule chimique, sur leur cible, sur les symptômes qu'ils occasionnent aux mauvaises herbes..., il n'existe pas de classification idéale mais certaines peuvent être mieux appropriées à tel ou tel but.

2.3.1. Classification selon les propriétés physico-chimiques

A l'heure actuelle on peut classer les herbicides de synthèse en quelques grandes familles. Voici donc les principales classes chimiques (Pousset, 2003) :

- **Les aryloxyacides ou les hormones désherbantes**

Ces molécules sont constitués d'un noyau benzénique, naphténiq ue ou anthracénique dont un des atomes d'hydrogène est substitué par un atome d'oxygène lié à une chaîne hydrocarbonée comportant un groupe carboxyle. Les aryloxyacides sont très polaires, peu volatils. On trouve dans cette catégorie le 2,4-D, particulièrement : le 2,4-MCPA (Acide Méthyl ChloroPhénoxypropionique). (Roe *et al.*, 1997).

- **Les triazines**

Ce groupe présente une structure cyclique. Elles sont en général peu solubles dans l'eau. Leur persistance peut ainsi atteindre 6 à 12 mois pour certains. Elles sont assez fortement adsorbées sur le complexe argilo-humique. Les plus connues sont l'atrazine et la simazine. (Murati, 2012).

- **Les acétamides**

On les obtient par déshydratation des sels d'ammoniaque. Leur formule comporte au moins une fonction amide. On trouve notamment dans ce groupe : l'alachlore et le tébutame. Ils présentent une forte solubilité dans l'eau et une pression de vapeur plutôt élevée. (Gauvrit, 1996).

- **Les urées**

Ils sont thermosensibles et sont facilement dégradés en isocyanates, leur dégradation est lente dans l'environnement. Elles sont persistantes. Exemple: diuron, néburon... (Roe *et al.*, 1997).

- **Les toluidines (dinitroanilines)**

Elles comprennent notamment les uraciles parmi lesquelles on trouve le bromacile, la trifluraline. (Pousset, 2003).

La classification des herbicides ne repose généralement pas sur leur nature chimique, trop diversifiée, ni sur leur spécificité, qui dépend souvent de la dose d'emploi et du type d'application. Par contre, il est possible de se baser sur la voie de pénétration et leur mode d'action (CGA, 2000).

2.3.2. Classification selon le mode de pénétration dans la plante

Pour qu'un herbicide puisse faire effet, il faut, dans un premier temps, qu'il atteigne une partie de la plante qui lui permette de pénétrer dans le végétal puis qu'il atteigne en quantité suffisante une partie sensible. Les herbicides se distinguent par rapport à leur voie de pénétration en (Gama *et al.*, 2006) :

- **Herbicides à pénétration foliaire**

Appliqués sur les feuilles, sur les tiges avant formation de l'écorce et les bourgeons ouverts. Ce sont les traitements herbicides de post-levée, effectués après la levée de la plante considérée. Exemple : dinitrophénols, carbamates, acides aminés. (Gama *et al.*, 2006).

- **Herbicides à pénétration racinaire**

Appliqué sur le sol, ils pénètrent par les racines, les poils absorbants, par l'intermédiaire de mycorhizes, par les radicules ou les tigelles sortant de graines en cours de germination. Ce sont les traitements herbicides de prélevée, effectués avant la levée de la plante considérée. Ces substances actives ont alors une action anti-germinative et agissent un certain temps au travers de leur persistance dans le sol, ils ont une action résiduaire. Exemple : triazines, toluidines,alachlore, etc.... (Benmahdi, 2008).

Après la pénétration il y'a deux types de comportement des herbicides :

- **Les herbicides systémiques :**

Parfois appelés endothérapeutiques, migrent dans la plante depuis les points de pénétration jusqu'aux sites d'action. Ils sont ainsi distribués dans toute la plante. Leur action est généralement lente et progressive. (Gama *et al.*, 2006).

- **les herbicides de contact ou défanants:**

Présentent une diffusion nulle à l'intérieur du végétal. Ils détruisent les premières couches de cellules atteintes ce qui bloque toute diffusion aux organes plus lointains. (Roula, 2009).

Les herbicides se distribuent en six groupes selon leur type de pénétration et leur degré de systémie :

- Herbicide de contact à pénétration racinaire : ex : le métolachlor ;
- Herbicide systémique à pénétration racinaire : ex : l'atrazine ; (figure 1)
- Herbicide de contact à pénétration foliaire : ex : le paraquat ;
- Herbicide systémique à pénétration foliaire : le glyphosate (figure 1); S'y rajoutent :
- les herbicides à la fois foliaires et racinaires qu'ils soient de contact ou systémiques (Tissut *et al.*, 2006).

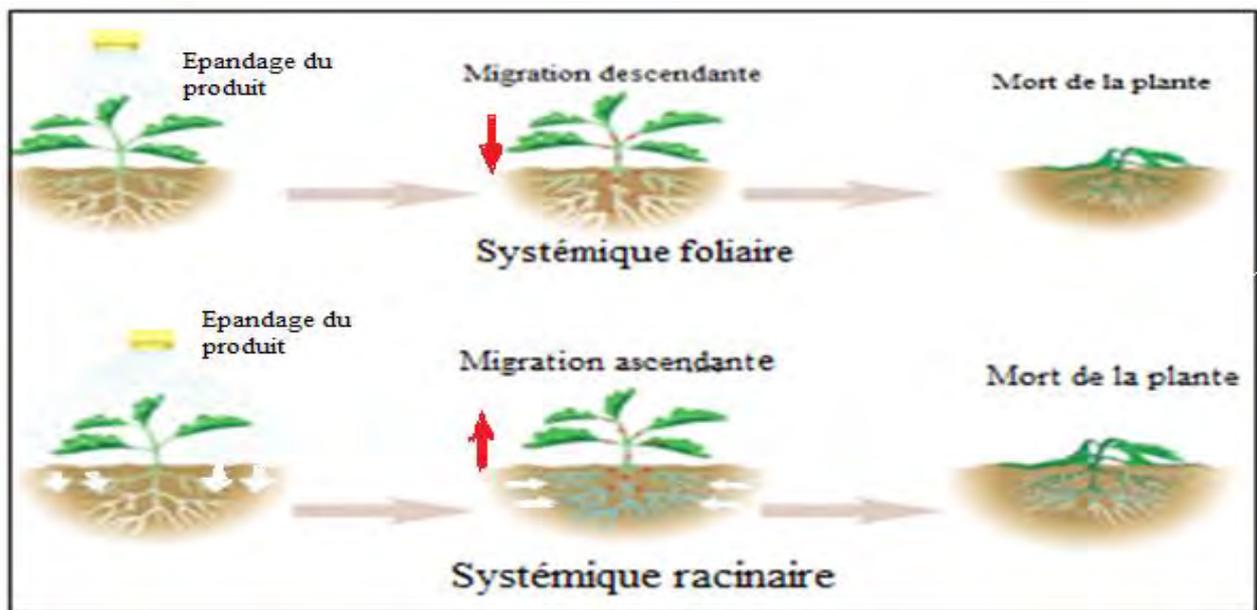
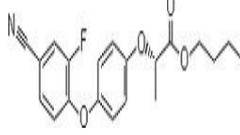
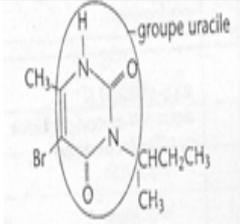
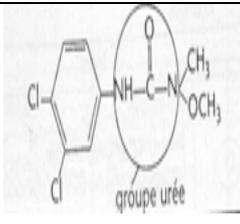
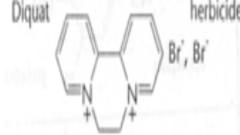
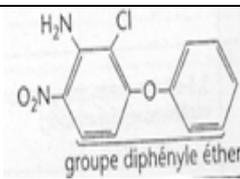
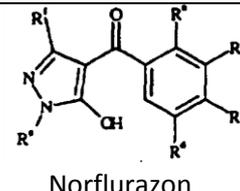
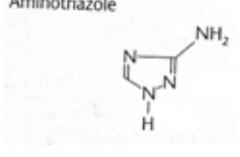
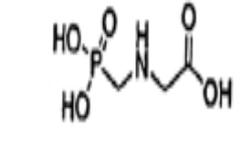


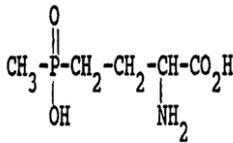
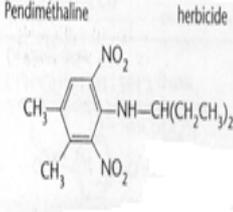
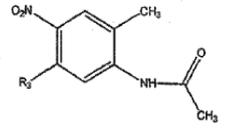
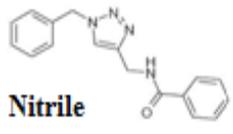
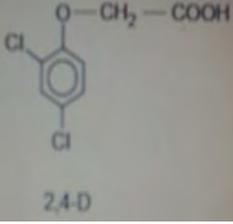
Figure 1 : Classification des herbicides selon le mode de pénétration dans la plante (Gama *et al.*, 2006).

2.3.3. Classification selon le mode d'action

L'action d'un herbicide résulte de son interaction avec une cible biochimique, la conséquence est généralement le blocage d'une fonction avec des répercussions dommageables pour la cellule végétale et in fine l'organisme entier. On recense à ce jour dix-neuf cibles connues d'herbicides désignée chacune par des lettres de A à P représenté dans le tableau I (Regnault-Roger *et al.*, 2005).

Tableau I : Principaux sites d'action des herbicides dans la plante (Baudry *et al.*, 2001).

Groupe	Mode d'action	Famille chimique	Substance active	Formule développé
A	Inhibition de l'ACCCase (acétyl coenzyme A carboxylase), enzyme impliqué dans la voie de la synthèse des lipides.	Aryloxy-phénoxy-propionates.	Fluazifop-p-butylquizalofop-P-éthylquizalofop-éthyl.	
C ₁	inhibition de la photosynthèse (blocage du transfert d'électrons) au niveau du photosystème II (site de fixation de la substance active sur la protéine cible légèrement différente de C ₂).	Triazines. Uraciles.	Simazine bromacil	
C ₂	Inhibition de la photosynthèse (blocage du transfert d'électrons) au niveau du photosystème II (site de fixation de la substance active sur la protéine cible légèrement différent de C ₁).	Urées	Diuron	
D	Inhibition de la photosynthèse par diversion des électrons au niveau de la photosynthèse I	Bipyridyles	Diquat paraquat	
E	Inhibition de la PPO (protoporphyrinogène oxydase), bloquant ainsi la synthèse des chlorophylles.	Diphényl-éthers Oxadiazoles	Oxyfluorène oxadiazon	
F ₁	Inhibition d'une étape (autre que F ₃) de la biosynthèse des caroténoïdes.	Pyridazinone	Norflurazon	
F ₃	Inhibition d'une étape (autre que F ₁) de la biosynthèse des caroténoïdes.	Triazole	Amino-triazole	
G	Inhibition de l'EPSP synthase (5-énolpyruvyl shikimate 3-phosphate synthase), enzyme sur la voie de la synthèse des acides aminés aromatiques.	Glycines	Glyphosate Sulfosate	

H	Inhibition de la glutamine synthase, entraînant un blocage de la photosynthèse.	Acides phosphoniques	Glufosinate	 <p>Glufosinate</p>
K ₁	Inhibition de la polymérisation des tubulines, protéines qui permettent l'assemblage des microtubules (éléments du squelette cytoplasmique) lors de la division cellulaire.	Dinitro-anilines	Butraline Oryzalin Pendiméthaline	 <p>Pendiméthaline herbicide</p>
K ₃	Inhibition de la division cellulaire par désorganisation des microtubules	Acétamides	Napropamide	 <p>Acetamide</p>
L	Inhibition de la synthèse de la cellulose des parois cellulaires.	Nitrile Benzamides	Chlorthiamide Dichlobénil Isoxaben	 <p>Nitrile</p>
O	Action de type hormonale (acide indolacétique) désorganisant division et croissance cellulaires.	Acide Phynoxy-carboxylique Acide pyridine-carboxylique	2.4 D Fluroxypyr- Clopyralid.	 <p>2,4 D</p>

2.4. La sélectivité des herbicides

Les herbicides seront dits sélectifs quand ils respectent certaines cultures et permettent de lutter contre certaines mauvaises herbes de ces cultures. Ils seront dits totaux quand ils sont susceptibles de détruire toute la végétation. La sélectivité des herbicides correspond à une modification d'au moins une des phases de l'action des produits dans la plante : mise en contact du produit avec la cible, pénétration, transport éventuel, site d'activité et métabolisme de dégradation (Gama *et al.*, 2006). On distingue :

- **sélectivité de position**

L'herbicide de prélevée, appliqué en surface, ne se répartit que dans la couche superficielle du sol à quelques centimètres de profondeur, c'est dans cette zone que germe les mauvaises herbes (CGA, 2000).

- **sélectivité anatomique**

Elle concerne les produits de post-levée, la pénétration par les feuilles peut être gênée par les poils ou par l'épaisseur de la cuticule de l'épiderme. Le port des feuilles modifie également l'adhérence de la

pulvérisation à leur surface: les feuilles de graminées, dressées et étroites, retiennent moins les gouttelettes que celles des dicotylédones, larges et étalées. (CGA, 2000).

- **sélectivité physiologique**

Elle peut être obtenue par des différences de comportement physiologique entre les végétaux : la sélectivité de l'atrazine pour le maïs tient en partie à son moins bon transport dans cette plante que dans les espèces sensibles et surtout à la présence d'enzymes qui dégradent la molécule d'atrazine, avant qu'elle ne parvienne à son site d'action, le chloroplaste. (Benmahdi, 2008).

- **sélectivité artificielle**

Certains produits contiennent des phytoprotecteurs qui stimulent la décomposition de l'herbicide chez la plante cultivée. (figure 2)

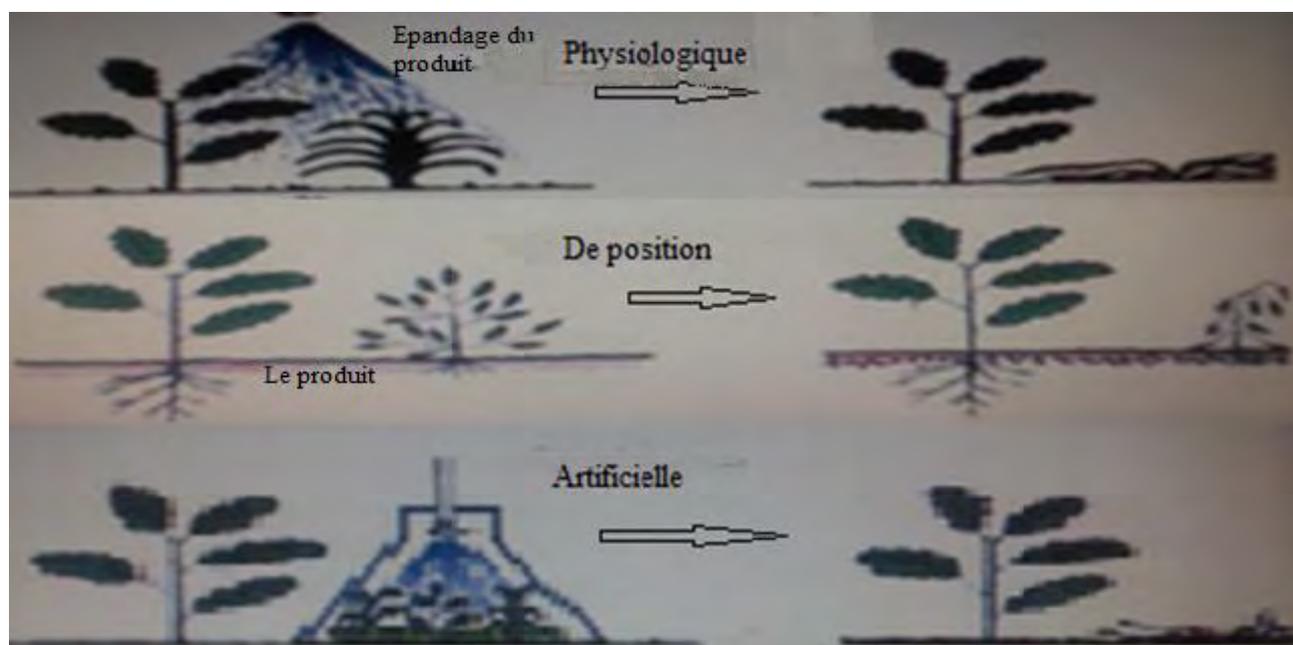


Figure 2 : Les différents types de sélectivité des herbicides. (Gama *et al.*, 2006)

2.5. Toxicité des herbicides

On distingue, la toxicité pour l'homme (applicateur, public, personnels assurant la fabrication du produit, voire le consommateur), pour les animaux domestiques et l'écotoxicité pour le milieu : faune sauvage, micro-organismes, champignons, flore non-cible. Les risques pour la santé humaine en cas d'exposition aiguë à des doses élevées de pesticides, sont connus de longue date et ont conduit à la publication de recommandations aux utilisateurs de manière à éviter ces risques. (Kersanté, 2003).

De fait, les pesticides peuvent être absorbés par inhalation, par ingestion via l'alimentation et par contact cutané. Les effets liés à une intoxication aiguë se produisent généralement tout de suite ou peu de temps après une exposition significative à des pesticides. Les malaises généraux peuvent être légers

(maux de tête, nausées, étourdissements, fatigue, irritations de la peau et des yeux) ou graves (fatigue chronique, coma, mort). Les symptômes varient selon les types de pesticides en cause. (Tellier, 2006).

La toxicité chronique est, quant à elle, nettement moins bien connue et beaucoup plus difficile à mettre en évidence. Elle peut être associée à une absorption de faibles quantités de pesticides présents dans différents milieux sur une longue période de temps. Elle peut provoquer différents problèmes de santé : cancers, problèmes de reproduction, troubles neurologiques (dont la maladie de Parkinson), affaiblissement du système immunitaire, troubles hormonaux...etc. (Camard et Franconi, 2004).

2.6. Impact sur l'environnement

La part des herbicides qui entre en contacts avec les organismes cibles, ou qu'ils ingèrent, est minime. Elle est évaluée à 0.3% ce qui veut dire que 99.7 % des substances déversées s'en vont "ailleurs" dans l'environnement, principalement dans les sols et les eaux. (Tissu *et al.*, 2006).

Comparée à la toxicité humaine, la nocivité pour l'environnement passe souvent au second plan. Or, de l'utilisation accumulée de l'herbicide résulte une dégradation progressive de la biodiversité des sols agricoles qui peuvent ainsi être assimilés plus à des systèmes artificialisés dévolus à une culture intensive qu'à des écosystèmes terrestres naturels. (CCME, 2012).

Ainsi, les herbicides parviennent jusqu'au sol et touchent bactéries, champignons, algues, vers de terre et insectes. Ces dégradations cumulées ont un effet nocif sur la fertilité du sol. Les vers de terre, sont particulièrement atteints par les herbicides via l'eau polluée qui imbibe le sol (Mamy *et al.*, 2011). Les morts de mammifères imputables aux herbicides sont généralement la conséquence de l'ingestion d'une nourriture contaminée. Comme par exemple les oiseaux après ingestion directe d'insectes ayant ingéré des toxiques. (Marc, 2004 ; Fortier *et al.*, 2005). Pour les poissons, la plupart des herbicides sont classés dans les catégories des produits non ou légèrement toxiques, sauf certains qui sont classés dans les catégories modérément à hautement toxiques, dont le 2,4-D, dichlobénil, glyphosate.... (Jerry Lee, 2002).

Dans notre étude, nous nous intéressons à l'herbicide Glyphosate.

2.7. Le Glyphosate

2.7.1. Définition

C'est un herbicide organophosphoré (Tsuioshi *et al.*, 2009), de formule moléculaire ($C_3H_8NO_5P$), il est appelé par les chimistes N-phosphonométhyl glycine. (Gounari, 2006 ; Hu *et al.*, 2008).

C'est l'herbicide le plus vendu dans le monde depuis son arrivée sur le marché en 1974 sous la formulation commerciale « Roundup » (Monsanto, Etats-Unis). (Mazzella *et al.*, 2009).

Il figure aujourd'hui sur le marché dans plus d'une dizaine de préparations commerciales (Brex, Glyphos, Roundup, Kalach... etc.). Il s'agit d'un herbicide total, pénétrant par les feuilles, puis transporté

de manière systémique jusqu'aux racines. (Delabays et Bohren, 2007 ; Druart *et al.*, 2011), le produit le plus courant contient 360 g de glyphosate/litre (FAO., 1987).

Le glyphosate seul est peu efficace car elle n'adhère pas aux feuilles ni ne les pénètre facilement. Pour accroître sa solubilité, il est donc habituellement préparé sous forme de sel d'isopropylamine ou bien des additifs ou des surfactants lui sont ajoutés pour le fixer sur les plantes. (Le Mer *et al.*, 2009).

2.7.2. Mode d'action

Le glyphosate pulvérisé est absorbé par les feuilles. Il se déplace rapidement par le phloème jusqu'aux racines, sans affecter les tissus qui reçoivent directement le produit s'il est appliqué selon les concentrations recommandées (Baylis, 2000 ; Delabays et Bohren, 2007). Il bloque la biosynthèse des acides aminés aromatiques. Plus précisément, il inhibe un des enzymes impliqués dans la biosynthèse de ces acides aminés: l'énolpyruvylshikimate phosphate synthétase (EPSPS), cet enzyme est uniquement présente dans les plantes et les microorganismes, elle n'est pas présente chez les animaux ou l'homme (Le Mer, 2009). En bloquant cette étape de la voie métabolique, l'herbicide induit une accumulation d'acide shikimique (figure 3). Il en résulte, une diminution du taux de synthèse protéique et de la formation de certains composés phénoliques. La cessation de la croissance aboutit à la mort de la plante. (Kouassi Brou *et al.*, 2012). Toutefois, les effets peuvent se manifester uniquement après une semaine selon les conditions météorologiques. Les symptômes de destruction se traduisent par une coloration jaune-roux du système aérien et un noircissement des parties souterraines. (figure 4) (Heddadj et Bouvier, 2012).

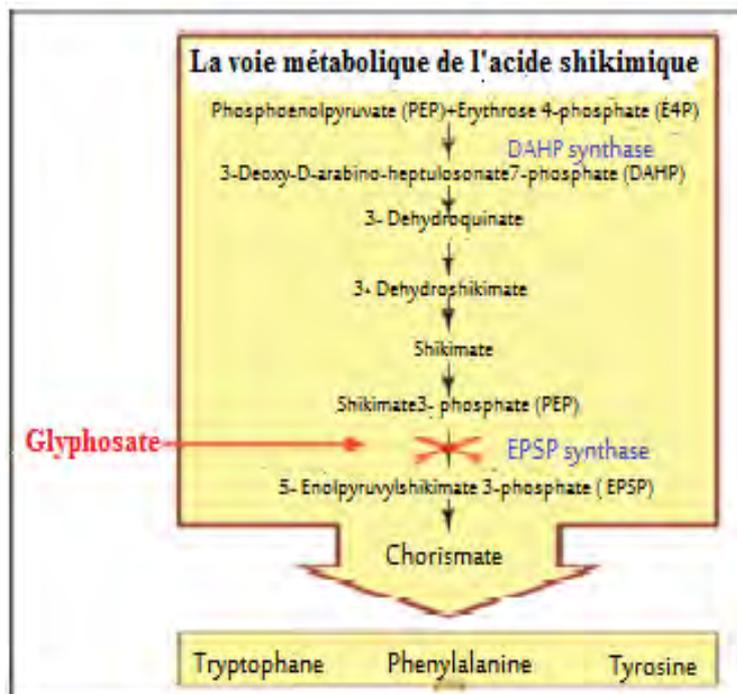


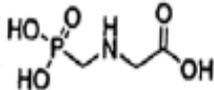
Figure 4 : Dommages causés à un champ de canneberges, à la suite d'un épandage de glyphosate (AAP, 2010).

Figure 3 : Mode d'action du glyphosate. (Amalric *et al.*, 2003).

2.7.3 Propriétés physico-chimiques

Le glyphosate est très polaire, il est très soluble dans l'eau mais insoluble dans la plupart des solvants organiques. Dans les sols, il est rapidement adsorbé (Ibanez *et al.*, 2005). (tableau II).

Tableau II : Les propriétés physico-chimiques du Glyphosate (Couture *et al.*, 1995 ; Baylis, 2000)

Molécule	Formule	Propriétés physico-chimiques
Glyphosate		<p>Poids moléculaire [g/mol]= 169.1. Pression de vapeur [Pa] $1.31.10^{-5}$ (T = 25°C) Coefficient d'adsorption : (Koc) [L/kg] = (884-60000) Constante de dissociation (pKa) pKa1= 2.34 à 20°C (acide phosphate) pKa2= 5.73 à 20°C (amine secondaire) pKa3= 10.2 à 20°C (acide carboxylique) Solubilité (eau) = 12 g/L à 25°C Stabilité : Eau : DT50 = 2 à 91 jours, (photodégradation) ; Sols : DT50 =3 à 174 jours, Kd = 61 g/m³ (coefficient d'adsorption très élevé) Point de fusion=200°C</p>

2.7.4. Impact du glyphosate

❖ Sur la santé humaine

Le glyphosate est relativement peu soluble dans les graisses, ce qui minimise les risques de bioaccumulation dans la chaîne alimentaire. De plus, son mode d'action touche une voie métabolique propre aux végétaux. Globalement, sa toxicité pour les animaux et les humains est donc relativement modérée (Pelfrène, 2003). Pourtant, de plusieurs enquêtes menées auprès d'utilisateurs et de services médicaux, il ressort que les herbicides à base de glyphosate sont à l'origine d'un grand nombre de plaintes pour atteinte à la santé (Goldstein *et al.*, 2002). La plupart de ces plaintes concernent des irritations de la peau, des yeux ou des voies respiratoires supérieures. Ces dernières, souvent assez agressives pour assurer une bonne pénétration de la matière active dans les plantes traitées ((Williams *et al.*, 2000 ; Onil, 2001).

Parallèlement, des publications scientifiques mentionnent régulièrement des effets toxicologiques sévères dus au glyphosate. On l'a accusé, par exemple, d'être mutagène et génotoxique (Bolognesi *et al.*, 1997), potentiellement associé au lymphome non-hodgkinien (Savitz *et al.*, 1997 ; Hardell *et al.*, 2002), au myélome multiple (De Roos *et al.*, 2005) ou, dernière polémique en date, d'avoir des effets délétères sur les cellules placentaires humaines, ainsi qu'une action sur la synthèse des hormones sexuelles

(Richard *et al.*, 2005). Selon les défenseurs du glyphosate, ces études, ne sont pas pertinentes pour estimer le risque sanitaire qu'il pose en conditions réelles d'utilisation; le plus souvent, ces dernières ne sont effectivement pas prises en compte. Ils relèvent par ailleurs que ces tests, lorsqu'ils sont appliqués à d'autres produits courants, y compris des aliments d'origine naturelle, aboutissent souvent à des résultats similaires (CCME, 2012). En fait, les dernières évaluations de risques des instances officielles européennes ont confirmé, dans le cadre des conditions d'utilisation proposées, l'innocuité des produits à base de glyphosate. (Gerajd *et al.*, 2010 ; Boughriet, 2012).

❖ Sur le système sol-plante

Selon les études effectuées en laboratoire, le glyphosate a un impact limité sur les micro-organismes du sol, de plus, Les essais réalisés en milieu naturel démontrent plutôt que les micro-organismes augmentent dans les sols traités au glyphosate suggérant ainsi l'utilisation du glyphosate comme substrat. (Couture *et al.*, 1995 ; Milon et Vernez, 2006).

Des études portant sur des lombrics exposés au glyphosate ont indiqué une réduction du rythme de leur croissance et une tendance de ces animaux à éviter les endroits traités à cet herbicide, toute atteinte à ces invertébrés risque de compromettre la santé des sols. (Brack *et al.*, 2010). Des chercheurs indépendants publient actuellement des études qui prouvent que le glyphosate s'attaque à certaines fonctions clés de la rhizosphère, ils ont constatés (Huber *et al.*, 2005) :

- Une moindre assimilation par les cultures des micronutriments qui leur sont essentiels ;
- Une fixation réduite de l'azote, avec réduction des rendements agricoles ;
- Une vulnérabilité accrue aux phytopathologies.

De telles altérations sont capables de nuire directement à la santé des cultures et d'en miner le rendement.

Les changements que le glyphosate induit dans la biologie et la chimie du sol favorisent de développement de diverses maladies comme le piétin-échaudage des céréales, la fonte des semis, la pourriture des racines et le syndrome de la mort subite chez le soja. Ces impacts préoccupent les agriculteurs et les écologistes. (Huber et Haneklaus, 2007 ; Watts et Cotter, 2011).

CHAPITRE III :
L'EFFET DE LA RÉMANENCE DES
HERBICIDES ET DU GLYPHOSATE DANS LES
CULTURES MARAÎCHÈRES

Le terme maraîchage est un secteur d'activité caractérisé par la production intensive d'espèces légumières destinée essentiellement à la vente en frais. Il tire son origine du mot marais parce que les premières cultures légumières étaient réalisées en zone de marais, bénéficiant d'un approvisionnement régulier en eau (Kankonde et Tollens, 2001).

Les cultures maraîchères sont des plantes annuelles ou pérennes, arbustives ou herbacées entretenues dans un espace agricole délimité généralement exploité de manière intensive et dont la récolte est vendue en plus ou moins grande quantité. (Autissier, 1994). On rencontre les cultures de légumes en plein de champ ou sous serre, dans le cadre de cette étude, l'accent sera mis sur les cultures maraîchères sous serre : tomate, haricot vert, oignon, poivron, courgette....etc.

Généralement, au niveau des serres, les agriculteurs utilisent système de rotation ou succession des cultures, La rotation se définit comme une suite de cultures échelonnées au fil des années sur un même champ. Cette pratique a été préconisée pour maintenir la productivité des plantes et du sol. Elle peut être de courte durée (2 ou 3 ans) ou s'étaler sur plusieurs années (5 ou 6 ans). Lorsque deux ou plusieurs cultures sont cultivées en séquence sur le même sol et pendant la même année, le terme « succession de cultures » peut être utilisé. (Moustier et David, 1996).

Les serres procurent un environnement idéal à la croissance des plantes, du fait du contrôle des facteurs climatiques et agronomiques (température, humidité, composition gazeuse de l'air et fertilisation). Ces conditions optimales pour les plantes, le sont également pour un certains nombres d'adventices, de ravageurs...etc. Ceci oblige le serriste à multiplier les applications phytosanitaires pour se maintenir au-dessus du seuil de rentabilité économique. Et cela peut engendrer des impacts sur l'environnement surtout avec la rémanence de ces molécules toxiques. Après pulvérisation, ils se trouvent réparties entre la plante, le sol et l'atmosphère. (Beckert *et al.*, 2011).

Le sol constitue le support direct de la plupart des activités humaines. (Flogeac, 2004), Bien que la plupart des traitements soit appliquée sur les parties aériennes des plantes, une bonne partie du produit atteint toujours le sol. Sans parler des applications qui sont directement dirigés vers le sol (les herbicides de prélevées). Le devenir des herbicides dans les sols va conditionner leur persistance, persistance d'action et leur dispersion vers d'autres compartiments de l'environnement (Scheyer, 2004).

La rémanence correspond à la durée pendant laquelle un produit herbicide manifeste son activité ; il est toujours nécessaire de s'assurer de l'absence d'arrière-effet d'un produit sur la culture suivante. (Schrack *et al.*, 2009). Dans ce chapitre, on va parler sur le sol, les différents processus qui se déroulent au niveau du sol et qui influent sur la rémanence des herbicides et le glyphosate, et on termine par l'effet de la rémanence des herbicides et du glyphosate dans les cultures maraîchères.

3.1. Le sol

3.1.1. Définition du sol

On appelle sol la couche superficielle meuble de la croûte terrestre, dénommée encore couverture pédologique, c'est un milieu hétérogène, dispersé et poreux, constitué de trois phases : solide, liquide et gazeuse. (Lemière *et al.*, 2001). L'épaisseur des sols varie de quelques centimètres à quelques mètres, il repose sur le sous-sol rocheux. Il est le support des végétaux terrestres qui y trouvent une grande partie de l'eau et des ions minéraux qui leur sont nécessaires. (Mermoud, 2006).

Le sol a de nombreuses fonctions, C'est un milieu biologique dans et sur lequel se développent des organismes vivants. Il est aussi un acteur déterminant du cycle de l'eau et de la qualité de cette eau (source de pollution, capacité de rétention des polluants). (Quénéa, 2004).

3.1.2. Constituants du sol

Comme nous l'avons déjà indiqué dans la définition, Le sol est constitué de trois phases :

➤ La phase solide

Elle est constituée par des minéraux et des matières organiques en proportions variables. On pourrait considérer les organismes vivants du sol font partie de la phase solide, puisqu'ils ne sont ni gazeux ni liquides (Quénéa, 2004). On distingue deux fractions dans le sol (Riman, 2010) :

❖ La fraction minérale

Les minéraux constituent, en général, de 95 à 99% du sol. La composition minérale dépend de la nature de la roche-mère. La nature des minéraux peut être extrêmement diverse avec des tailles granulométriques différentes : Ils sont classés suivant leur taille en : sable, limon et Argile. Deux catégories sont présentes, mais nous nous intéressons aux minéraux secondaires (Noumeur, 2008) :

- **Les minéraux primaires** (quartz, micas, feldspath, épidote...).
- **Les minéraux secondaires** (minéraux argileux, oxydes et hydroxydes d'aluminium et de fer...).

• Les minéraux argileux

Les argiles sont des silicates d'aluminium appelés encore phyllosilicates en raison de leur structure en feuillets. (Beauchamp, 2005). Dans le sol, la plupart des minéraux argileux sont dotés de charges négatives. Les minéraux argileux rencontrés dans un sol dépendent du type de sol et de la profondeur. Ils sont en général caractérisés par des particules de petites dimensions. (Azzouz, 2006).

• Les oxydes et oxyhydroxydes métalliques

Les oxydes et oxyhydroxydes de fer et d'aluminium essentiellement, mais aussi de manganèse, sont libérés au cours de l'altération de minéraux ferro-magnésiens et argileux sous forme soluble (Fe^{+3} ,

Fe^{+2} , Al^{+3} , Mn^{+2}) puis précipitent en minéraux amorphes ou cristallisés. Les groupements OH présents à la surface des oxydes et oxyhydroxydes métalliques peuvent s'ioniser conférant ainsi à ces minéraux des charges de surface variables en fonction du pH. (Flogeak, 2004).

❖ **La fraction organique**

La teneur en matière organique des sols passe par 0% pour les sols des régions désertiques à 10% voire plus pour les horizons superficiels. Pour la plupart des sols intermédiaires, elle se situe entre 1% et 3% dans les horizons superficiels (Koriko, 2010). La matière organique englobe toute substance organique, comme les champignons, les bactéries et les microbes ne peuvent être distingués des résidus de plante et d'animaux, ils sont inclus dans la fraction organique du sol. (Musy et Soutter, 1991). On distingue trois types de matériaux organiques :

- **La matière organique fraîche : la litière**

Elle comprend les organismes et les parties d'entre eux qui viennent de mourir et qui en sont détaché, qu'ils soient végétaux, animaux ou microbiens aériens ou souterrains, ainsi que les excréments des animaux et différents composés émis directement dans le milieu. (Gobat *et al.*, 2010).

- **L'humus**

L'humus, sous produit amorphe de la minéralisation primaire de la litière, Les substances humiques sont des macromolécules de haut poids moléculaire. (Munaron, 2004). Ils peuvent porter des charges positives mais ils sont en général chargés négativement. (Gobat *et al.*, 2010). L'existence de sites de charges négatives provient de la dissociation de groupes carboxyles ($-\text{COOH}$) et phénols ($-\text{OH}$) entrant dans la composition de l'humus. (Regnault-Roger *et al.*, 2005).

- **les composés en voie de dégradation**

Tous les termes de passage de la matière organique fraîche à l'humus stable, soit les produits transitoires. Il s'agirait de molécules dégradables (protéines, acides, cellulose, lignine) (Calvet, 2003).

➤ **La phase aqueuse**

C'est une solution dont la composition est très variable. On la désigne souvent par l'expression « solution du sol ». (Musy et Soutter, 1991). Cette dernière, est constituée d'eau où se trouvent des substances organiques et minérales dissoutes. La composition de la solution du sol varie selon celle du sol mais également en fonction des apports anthropiques (fertilisants, produits phytosanitaire...) et de l'activité biologique du sol. On peut distinguer deux catégories :

- Les micro-éléments dont la concentration est inférieure à 1 mmol/m^3 ,
- Les macroéléments dont la concentration est supérieure à cette limite; dont les plus fréquents sont: C (HCO_3^-), N (NO_3^-), Na^+ , Mg^{2+} , S (SO_4^{2-}), Cl^- , K^+ , H^+ , OH^- et O_2 . (El Arfaoui Benaomar, 2010).

➤ La phase gazeuse

La phase gazeuse occupe les pores du sol, où ceux-ci ne sont pas envahis par la phase liquide. Les sols bien aérés contiennent environ 180 à 205 ml O₂ par litre d'air mais cette teneur diminue à 100 ml ou moins dans les sols inondés. La teneur en CO₂ est généralement comprise entre 3 et 30 ml par litre de sol. Elle contient également d'autres substances telles que : NO, NH₃, CH₄ et parfois, des composés organiques volatils telles que les pesticides. (Calvet, 2003).

3.1.3. Les propriétés physico-chimiques

Les propriétés physicochimiques aident à connaître les potentialités d'un sol.

3.1.3.1. Les caractéristiques physiques

- **La texture du sol (granulométrie)**

Caractérise la nature, la taille et la distribution des particules solides qui le constituent. Quantitativement, elle s'exprime à travers de l'analyse granulométriques qui décrit les proportions relatives des diverses tailles des particules solides (Vian, 2009).

- **La structure du sol**

Dans le sol, les particules élémentaires solides (sable, limon et argile) peuvent être libre ou s'adhérer les uns aux autres, pour former des agrégats, on a trois types de structures : les structures simples ou particulières, les structures prismatiques et les structures en plaques (Vian, 2009).

- **La porosité du sol**

C'est la fraction de l'unité de volume du sol en place, elle est remplie par l'air et/ou par l'eau. (Mathieu et Pieltain, 2003)

- **La couleur du sol**

Elle dépend de la nature du matériau originel à partir duquel il s'est formé. Ils sont bruns, jaunes ou rouges ou gris-verte. (Mathieu et Pieltain, 2003).

3.1.3.2. Les propriétés physico-chimiques du sol

➤ La capacité d'échange des cations

Le processus par lequel les cations de la solution du sol remplacent ceux absorbés, s'appelle échange des cations. Les sols diffèrent quant à leur capacité d'échange des cations par unité de poids. Les milliéquivalents de cations absorbés par 100 g est ce qu'on appelle la CEC. (Monard, 2008).

➤ La réaction du sol ou pH

La réaction du sol est le degré d'alcalinité ou d'acidité du sol exprimé en termes de pH. Cet indice exprime la quantité relative de H⁺ et OH⁻ dans la solution du sol. (Mathieu et Pieltain, 2003).

➤ Le complexe colloïdal argilo-humique

Il confère au sol des propriétés comme : la dispersion et la cohésion.... (Gobat *et al.*, 2003).

3.1.4. Les type du sol

Selon le pourcentage des fractions minéraux : argile, limon et sable. Il y'a trois types du sol :

❖ Sol argileux

Sont généralement des sols riches qui retient bien l'eau et les éléments nutritifs, ils contiennent plus de 25% d'argile, ils sont toutefois mal aérés, mal drainés et ils ont tendance à être alcalins. De plus, ils sont difficiles à travailler, ils se réchauffent longuement (Davet, 1996).

❖ Sol limoneux

Sont formés de sables fins et de limons. Ces sols ont tendances à former une croute en surface sous l'effet des pluies et des arrosages, ce qui le rend imperméables à l'eau et à l'air. Ils se colmatent, ce qui a pour effet d'asphyxier les racines et les organismes vivant du sol. (Duchaufour et Blum, 2001).

❖ Sol sableux

Sont constitués de sables grossiers. Ils sont généralement pauvres en éléments nutritifs et ont tendance à être acide, ils ont une faible capacité d'échange anionique et cationique. Ils sont relativement espacés, ce qui permet à l'eau de s'écouler rapidement. (Duchaufour et Blum, 2001).

3.2. Devenir d'un herbicide dans le sol

Le devenir de ces toxiques, une fois introduits dans le milieu, est pratiquement incontrôlable. (Bérard et Pelte, 1999). Leur comportement va conditionner leur persistance et leur dispersion vers d'autres compartiments de l'environnement (figure 5). (Scheyer, 2004).

3.2.1. La rétention

La rétention renvoie prioritairement au processus d'adsorption, mais également au processus de diffusion du produit à l'intérieur d'espaces occupés par de l'eau immobile dans le sol ainsi que la biosorption par les organismes tel que les plantes et les micro-organismes. La rétention correspond principalement à l'adsorption et à la désorption. (Spark et Swift, 2002 ; Aubertot *et al.*, 2005).

D'un point de vue agronomique, le contrôle de certaines espèces végétales, a souvent été mis en relation avec la capacité d'un sol à adsorber l'herbicide, car c'est la concentration en matière active de la solution du sol qui conditionne son activité biocide. Une rétention trop intense entraîne une diminution de l'efficacité du traitement envers les organismes cibles. Un autre désavantage est le risque de reliquats trop importants en fin de cycle végétatif de la culture traitée et donc de phytotoxicité pour la culture suivante éventuellement sensible. (Flogeac, 2004).

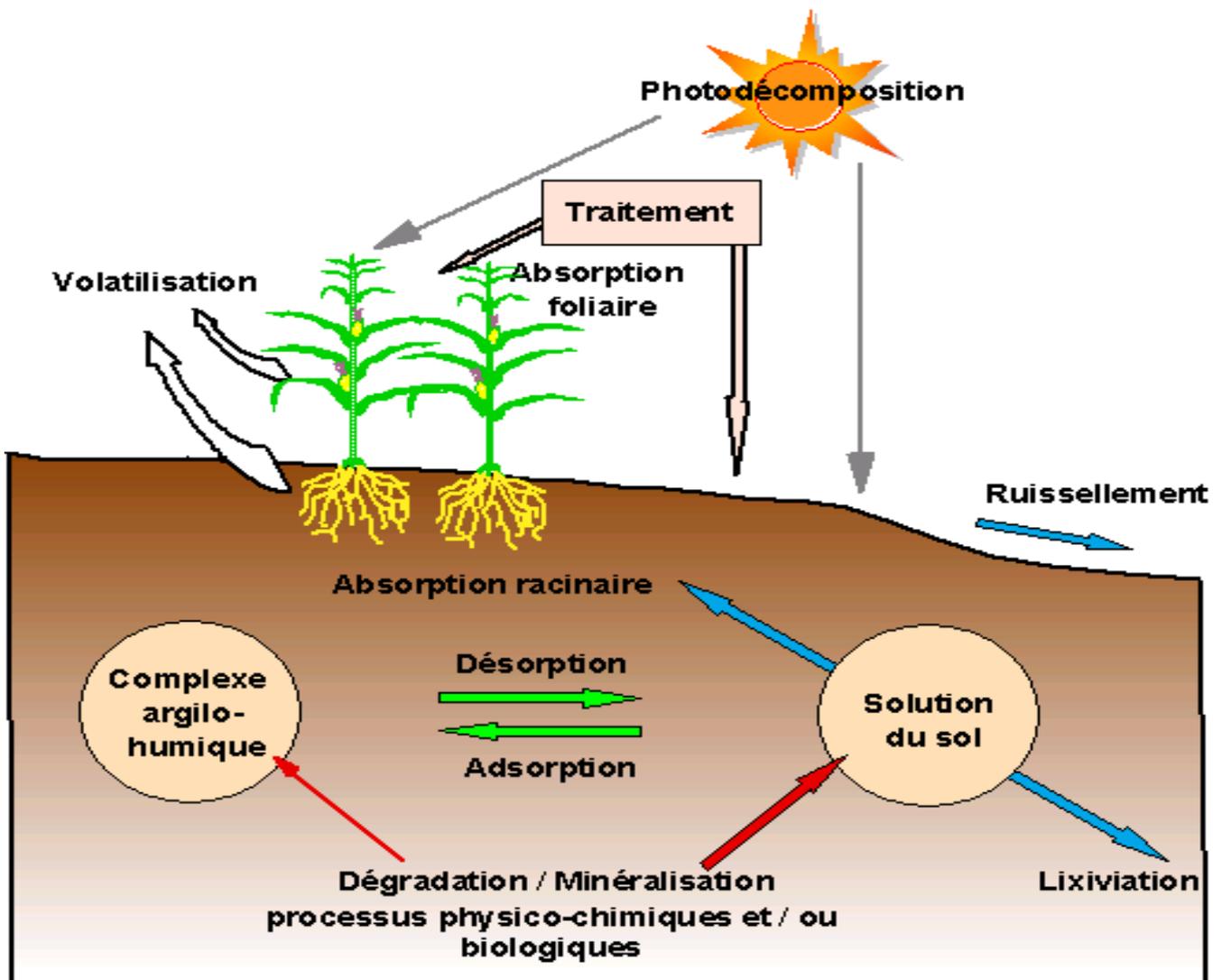


Figure 5 : Le devenir des herbicides dans le sol. ((Barriuso *et al.*, 1996).

❖ L'adsorption

L'adsorption correspond à l'accumulation d'un soluté au niveau de l'interface sol-eau, ou sol-air, impliquant l'attraction d'un produit chimique (adsorbat) sur une surface solide (adsorbant). La capacité d'adsorption d'un herbicide sur un sol accroîtra sa rémanence et donc la pollution à long terme tant des sols que des eaux souterraines. (Devault, 2007).

L'adsorption des pesticides sur le complexe argilo-humique du sol met en jeu des liaisons ioniques, hydrogènes et covalentes, des transferts de charge ou des mécanismes d'échange d'électrons, les forces de Van Der Waals, l'échange de ligand et les liaisons hydrophobes (Kersanté, 2003).

La cinétique d'adsorption comporte le plus souvent deux phases. La première, généralement rapide, correspond à l'adsorption de (30 à 70%) du produit présent en solution, tandis que la seconde est bien plus lente. (Zidani, Non daté).

Pour définir l'adsorption, on peut simplement calculer le coefficient de partage (K_d) entre l'adsorbant et la solution :

$K_d = \text{Quantité adsorbée par unité de masse d'adsorbant à l'équilibre (mg kg}^{-1}\text{) / Concentration de la solution à l'équilibre (mg l}^{-1}\text{)}$.

Cette démarche n'est valable que si l'adsorption est indépendante de la concentration en pesticide. En fait, le modèle le plus couramment utilisé est celui de Freundlich :

$$Q_{ads} = K_f \cdot C_e^{n_f}$$

Où :

Q_{ads} : quantité adsorbée par unité de masse d'adsorbant à l'équilibre,

C_e : concentration de la solution à l'équilibre,

K_f et n_f sont des constantes empiriques déterminées par régression à partir des données expérimentales, K_f définit l'intensité de l'adsorption et n_f sa variation en fonction de la concentration.

Plus la valeur de K_f est élevée et plus l'adsorption est importante. K_f est égal à K_d si n_f est égal à 1, ce qui est très souvent le cas pour de faibles concentrations. Dans la comparaison de l'adsorption ou pour préjuger de la mobilité de différents pesticides dans un sol, on exprime souvent cette valeur sous forme de K_{oc} en procédant à une normalisation du K_d par rapport au carbone organique du sol :

$$K_{oc} = (K_d \times 100) / \% \text{ Carbone Organique du sol.}$$

Mais ce concept suppose que la capacité d'adsorption du sol est uniquement contrôlée par la teneur en matière organique. Le K_{oc} devient un paramètre de prédiction sans intérêt si l'adsorption implique une forte participation des argiles. D'une façon générale le K_{oc} qui représente la capacité de la matière active à se fixer aux molécules du sol. Plus le K_{oc} est élevé, moins la molécule est mobile. (Scheyer, 2004)

➤ Facteurs influençant l'adsorption

L'adsorption est influencée par des facteurs qu'on peut les citer dans les points suivants :

- **Les propriétés de la molécule**

Quatre propriétés ont une influence sur l'adsorption : l'ionisation, la distribution des charges électriques dans la molécule, la structure moléculaire et les caractéristiques de partition (tels que la solubilité dans l'eau, la solubilité dans des solvants organiques ...etc.) (Kersanté, 2003).

- **Influence des propriétés des matériaux adsorbants du sol**

Les argiles constituent les adsorbants minéraux les plus importants. Elles se caractérisent par leurs propriétés d'échange ionique. Elles jouent un rôle certain, en particulier pour les composés polaires et/ou si la teneur en matière organique du sol est faible (Benlaribi, 1976). Elle empêche l'entraînement par lessivage de ces composés; elle les met aussi temporairement à l'abri d'une dégradation par les

microorganismes du sol. Les oxydes et les hydroxydes de fer et d'aluminium cristallisés, jouent également un rôle important, en particulier pour les pesticides de type « acides faibles » (Munaron, 2004).

D'une façon générale, les sols riches en matière organique adsorbent tous les pesticides non anioniques en grandes quantités, les pesticides cationiques sont très adsorbés par les sols contenant beaucoup de minéraux argileux et de matière organique et les pesticides anioniques sont très adsorbés par les sols riches en oxydes et hydroxydes métalliques. (Calvet, 2003 ; Schreck, 2008).

- **Facteurs du milieu**

Comme tout processus, l'adsorption est influencée par différents facteurs du milieu. Parmi ceux-ci, le pH, l'adsorption décroît avec l'augmentation du pH. (Edelahi, 2004).

La teneur en eau du sol et les solutés présents jouent également un rôle important dans la rétention des pesticides. L'eau peut constituer un soluté pour certains sites d'adsorption. (Edelahi, 2004)

Enfin, l'adsorption peut être influencée par la température dont l'effet diffère suivant les liaisons mises en jeu. Les quantités adsorbées diminuent quand la température augmente si les forces impliquées sont de nature physique et inversement si elles sont de nature chimique. Cependant, l'adsorption de composés neutres semble indépendante de la température. (Calvet, 2003).

- ❖ **La désorption**

Après adsorption, le sol se comporte comme un réservoir qui va délivrer le produit adsorbé dans la solution du sol lorsque sa concentration dans celle-ci diminue par prélèvement, dégradation ou transfert ou par dégradation de l'adsorbant comme la matière organique. (Kersanté, 2003). La désorption est un processus beaucoup plus lente que l'adsorption en raison des interactions entre le sol et le produit qui freinent la libération de celui-ci. Elle est plus prononcée dans les sols à forte teneur en matière organique et la quantité du produit libéré est rarement totale. (Regnault-Roger *et al.*, 2005).

3.2.2. La dégradation

La dégradation est due à de nombreuses transformations chimiques qui modifient la composition et la structure des molécules apportées au sol. (Calvet *et al.*, 2005 ; Id El Mouden, 2010).

L'intensité de ce phénomène présente un intérêt à la fois agronomique et environnemental. En agronomie, la dégradation constitue un processus qui définit pour partie la rémanence du produit et donc sa durée d'action biocide ou de contrôle des cibles visées. Du point de vue environnemental, la dégradation doit être considérée en prenant en compte les voies métaboliques. Lorsqu'elle est rapide et totale (minéralisation), elle contribue à la réduction du risque de dispersion de la matière active ou de ses métabolites. Lorsqu'elle est partielle et/ou lente, on peut aboutir à une diversification des produits de transformation et de la pollution du milieu. (Regnault-Roger *et al.*, 2005).

Par ailleurs les polluants qui sont piégés dans les pores du sol, deviennent inaccessibles aux micro-organismes et s'accumulent. La dégradation peut être de nature abiotique et biotique. (Scheyer, 2004).

- **Dégradation abiotique**

Elle concerne les réactions se développant dans la solution du sol ou sur la surface des colloïdes. Ce sont dues à des réactions chimiques telles que les réactions d'oxydations, de réduction, d'hydrolyse, de conjugaison et de photoréactions. La dégradation abiotique ne contribue le plus souvent qu'à la perte du pouvoir biocide spécifique de la matière active et à l'introduction dans le milieu de nouvelles structures chimique (Arias-Esével *et al.*, 2008). Dans ce type de dégradation, on distingue :

- **La dégradation chimique**

La dégradation chimique peut intervenir dans la solution du sol où l'hydrolyse, acide ou basique, est la réaction la plus fréquente. (Regnault-Roger *et al.*, 2005).

- **La photodégradation**

Elle n'est possible que lorsque la molécule est capable d'absorber les rayonnements ultraviolets. Elle n'intéresse principalement que deux familles d'insecticides: les carbamates et les pyréthrénoïdes. (Devault, 2007).

- **Dégradation biotique**

Cette dégradation est liée à l'activité enzymatique des micro-organismes dans le sol. Une bonne aération du sol, une teneur en matière organique élevée ainsi que l'humidité favorise le développement des microorganismes et donc accélèrent ce processus. (Bérard et Pelte, 1999). Parmi les altérations biotiques deux situations se différencient : dans le premier cas, le pesticide est dégradé en produits inorganiques (CO_2 , H_2O , $\text{Cl}^- \dots$), cette dégradation s'appelle la minéralisation. Dans le deuxième cas, le pesticide est partiellement dégradé en molécules organiques. (Fdil *et al.*, 2003).

3.2.3. La dissipation

La dissipation est un ensemble de processus particulièrement important puisqu'il détermine leur durée de résidence dont dépendent en grande partie leurs effets biologiques et leur potentiel de pollution de l'air et des eaux (Spark et Swift, 2002). On distingue trois types principaux :

- **Dissipation par dispersion**

Où le produit est susceptible d'être soumis aux processus suivants :

- **La volatilisation**

La volatilisation est définie comme le processus par lequel un composé s'évapore vers l'atmosphère depuis un autre compartiment environnemental.

Les herbicides passent dans l'atmosphère par évaporation ou sublimation selon qu'ils sont à l'état liquide ou solide (Reyes-Perez, 2009). Il semblerait que la volatilisation depuis les plantes soit plus importante que celle depuis le sol nu mais elle a été moins étudiée. La volatilisation dépend essentiellement des propriétés physico-chimiques du composé, mais elle peut être influencée par les conditions météorologiques (température, humidité ensoleillement). (Id El Mouden, 2010).

- **Transfert sous l'action des mouvements de l'eau**

Il y'a deux cas suivant l'écoulement de l'eau :

- ✓ **Transfert vers les eaux de profondeur, le lessivage**

Le lessivage (appelé parfois lixiviation) est le processus de transfert des solutés en profondeur jusqu'aux nappes d'eaux souterraines (Les herbicides peuvent se retrouver dans les drains, dans les puits, dans les nappes d'eau de surface ou souterraines). Elle concerne les molécules qui sont en solution du sol ou qui sont adsorbées. Ce transfert varie en fonction des caractéristiques de l'herbicide, des propriétés du sol, de la vitesse d'infiltration et de la fréquence et de l'intensité des précipitations. (Bernier, 2002).

- ✓ **Transfert vers les eaux de surface : Le ruissellement**

Le transfert de produits phytosanitaires vers les eaux de surface se fait essentiellement par ruissellement. Il est défini par l'entraînement des pesticides par solubilisation dans l'eau (de la pluie ou de l'irrigation). Il se produit lorsque la quantité d'eau tombée est supérieure à la capacité d'infiltration du sol, ou à partir du moment où le sol a atteint son état de saturation. (Regnault-Roger *et al.*, 2005).

- **Dissipation par formation de résidus non extractibles**

Correspond aux résidus liés aux constituants du sol par des liaisons stables et qui sont devenus des résidus liés ou résidus non extractibles. (Roberts *et al.*, 1984 ; Regnault-Roger *et al.*, 2005).

- **Dissipation et prélèvement par les plantes**

Peu de travaux ont été entrepris en vue de quantifier le passage du pesticide du sol à la plante par voie racinaire. En conditions de terrain, le dosage de résidus d'atrazine dans les plantules de maïs et dans le sol montre que l'absorption réalisée par le maïs est de l'ordre de 10% de la dose appliquée, à partir des résidus présents dans la solution du sol. Les résultats présentés dans la littérature tendent à montrer que le prélèvement par la plante est conditionné par la disponibilité des résidus, l'accessibilité, la solubilité dans l'eau et les constituants lipidiques racinaires et par les paramètres qui définissent l'activité biologique de la plante (capacité d'absorption, température et humidité). (Regnault-Roger *et al.*, 2005).

3.2.4. Le devenir de glyphosate dans le sol

Lorsqu'il atteint le sol, le glyphosate, peut subir différents processus. (figure 6).

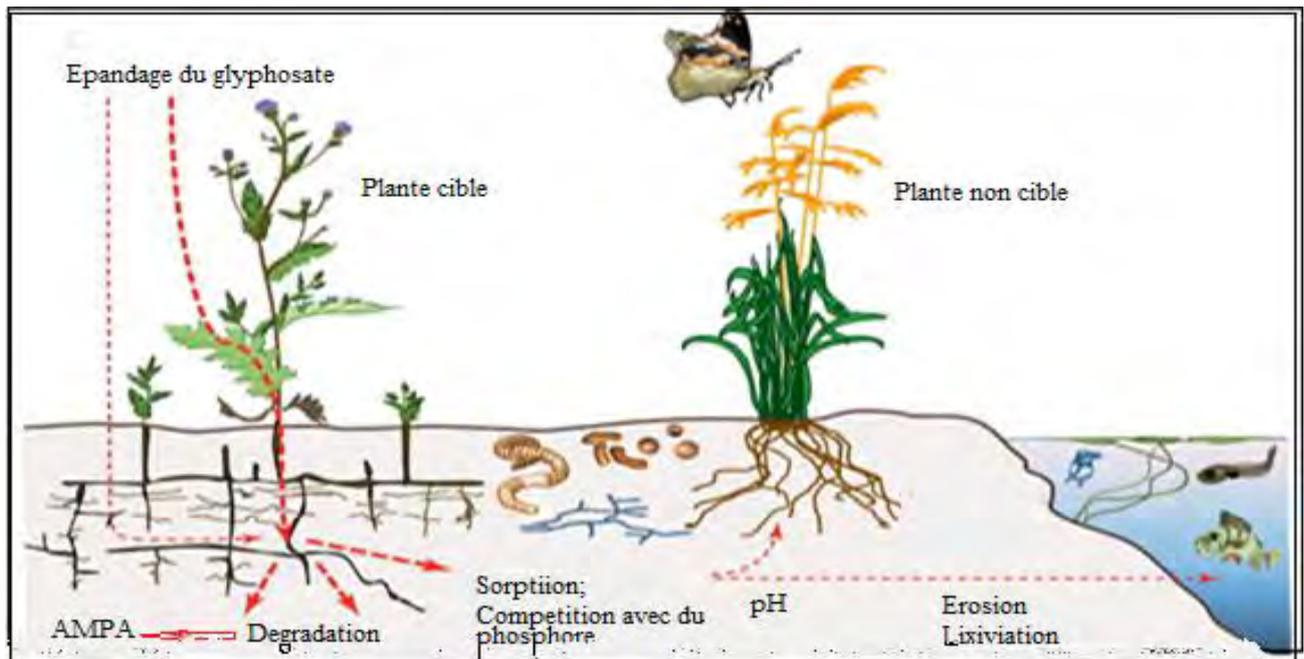


Figure 6 : Le devenir du glyphosate dans le sol. (Sturny, 2012.)

3.2.4.1. La rétention du glyphosate

➤ L'adsorption du glyphosate

Le glyphosate se distingue par la présence de deux groupements acides, l'un carboxylique, l'autre phosphonique. Il est fortement et rapidement adsorbé dans les sols, mais très dépendante du pH du sol, de la présence de cations échangeables di et trivalents et d'oxydes de fer et d'aluminium chargés positivement. Néanmoins, dans certains cas, notamment les sols sableux ou calcaires, l'adsorption est plus modérée. (Grunewald *et al.*, 2001). Dans les sols, le glyphosate est difficile à mesurer en raison de son adsorption rapide sur les sols et difficile à extraire sans la dénaturer. (Le Mer *et al.*, 2009). Les valeurs de Kf obtenues pour neuf sols aux propriétés physico-chimiques très différentes et comportant un sol sablo-limoneux, vont de 18 à 377 L/Kg. Le mécanisme d'adsorption pourrait impliquer l'établissement de liaisons hydrogènes entre le groupement phosphonate du glyphosate et des groupements hydroxyles de composés phénoliques contenus dans les substances humiques (Ndjeri-Ndjouhou, 2012).

L'adsorption du glyphosate en sols sableux, calcaires ou humifères est plutôt lente; elle est plus rapide en sols argileux, faiblement acides ou pauvres en humus, mais elle n'est jamais totale. Cette adsorption est responsable de l'inactivation rapide du glyphosate dans le sol plutôt que sa dégradation. Ainsi le processus d'adsorption rend l'herbicide plus persistant dans le sol. (Sprankle *et al.*, 1975).

- **Effet du pH**

L'adsorption du glyphosate dans les sols dépend fortement du pH, et, dans le cas général, l'adsorption augmente quand le pH diminue. Quand le pH du sol diminue apparaissent des espèces moléculaires (glyphosate et constituants du sol) moins chargées négativement et l'adsorption est facilitée (Accinelli *et al.*, 2005). Pour des pH fortement alcalins (>11.5), le glyphosate est chargé négativement de même que les surfaces des minéraux argileux, des oxydes et de la matière organique, donc l'adsorption diminue. Il est fortement adsorbé sur les sols, en particulier les sols à pH neutre ou faible. (A pH neutre, le glyphosate est chargé négativement et d'après les auteurs, cela favorise les interactions (probablement des liaisons hydrogènes) avec les substances humiques (Maqueda *et al.*, 1998 ; Ndjeri-Ndjouhou, 2012).

- **Effet de la teneur des sols en argiles et oxydes métalliques**

Les résultats des premiers travaux sur l'adsorption du glyphosate avec un sol argilo-limoneux et un sol sableux, avaient conduit à suggérer que les argiles étaient responsables de l'adsorption de cet herbicide. De même, un peu plus tard, d'autres travaux menés par Dion *et al.*, (2001) concluaient que l'adsorption du glyphosate était liée à la teneur en argiles des sols et à leur capacité d'échange cationique. Cependant, selon Mils et Moye, (1988) ; Morillo *et al.*, (2000), l'adsorption ne dépend pas de la capacité d'échange cationique des argiles. Suivant Gimsing *et al.*, (2004), l'adsorption du glyphosate est faible au pH très acides ou très alcalins puisqu'ils porteront la même charge, et elle sera maximale pour des valeurs intermédiaires. Le mécanisme d'adsorption se fait par des liaisons covalentes avec oxydes de Fe et Al (Cheah *et al.*, 1997; Prata *et al.*, 2003).

- **Effet de la teneur des sols en matière organique**

Dans l'adsorption du glyphosate, certains auteurs attribuent un rôle majeur à la matière organique (Morillo *et al.*, 2000). Dans une étude faisant appel à un sol d'une forêt Canadienne Feng et Thompson, (1990) observent que 90 % de la totalité des résidus de glyphosate et d'AMPA sont retenus principalement dans la couche de surface du sol 0-15 cm où la teneur en matière organique est la plus élevée. De même, une étude a montré que le glyphosate est plus adsorbé sur sol organique que sur sol minéral. (Barrett et McBride, 2006). Cependant, d'après De Jonge *et al.*, (2001), la présence de matières organiques dans les sols a peu d'influence sur l'adsorption du glyphosate. L'adsorption se fait par des liaisons hydrogènes avec les substances humiques (Piccolo *et al.*, 1996). Souligner que la matière organique est souvent considérée comme l'un des plus importants adsorbants des composés porteurs de fonctions phosphoniques dans les sols, (Couture *et al.*, 1995).

- **Influence des ions métalliques**

Le glyphosate peut chélater les ions métalliques par ses trois groupements amine, phosphonate et carboxylate. (Forlani *et al.*, 1999 ; Mamy et Barriuso, 2006).

➤ Désorption du glyphosate

Le phosphate excédentaire dans les engrais et autres amendements du sol provoque la désorption du glyphosate. Si le phosphate appliqué dépasse les montants requis par les plantes, le phosphate s'accumule dans le sol et va donc occuper les sites d'adsorption de la matrice du sol en raison de sa forte adsorption dans les sols. Cela conduit à une capacité réduite à retenir le glyphosate. (Gimsing *et al.*, 2004)

Des études menées sur 2 sols malaisiens, l'un sablo-limoneux et l'autre argileux à forte teneur en matière organique (30,5 % de carbone). Montrent que la désorption faisant suite à l'adsorption à partir d'une solution à 1 mg. l⁻¹ de glyphosate, est très minime. En 4 pas de désorption, seulement 5,51 % de l'herbicide initialement adsorbé est désorbé à partir du sol sablo-limoneux et seulement 0,73 % pour le sol argileux organique. (Rueppel *et al.*, 1977).

3.2.4.2. La dégradation du glyphosate

Des études faites sur des sols stérilisés ont montré l'absence de dégradation du glyphosate et ont conclu que la dégradation chimique n'est pas la voie principale. De plus, ils ont montré que la photodégradation du glyphosate est très faible. (Thompson *et al.*, 2000 ; Al rajab, 2007).

La dégradation du glyphosate produit plusieurs métabolites (figure 7), dont le principal est l'AMPA. La dégradation de celui-ci est microbienne et plus lente que celle du glyphosate. (Prata *et al.*, 2005 ; Liu *et al.*, 1991). Le stade ultime de dégradation de glyphosate est la minéralisation en CO₂. Le temps de minéralisation varie entre 8 à 92 jours selon les caractéristiques chimiques et biologiques du sol (Araújo *et al.*, 2003 ; Al-Rajab et Schiavon, 2010). Ainsi, les études de Mamy (2001) ont montrés la présence de résidus non négligeables de glyphosate dans un sol sableux un an après application. En effet, la première phase de dégradation qui suit l'application au sol est rapide ; elle est supposée concerner le glyphosate libre, puis le processus ralenti et serait tributaire de la désorption (Gimsing *et al.*, 2004). Des études montrent qu'en profondeur (3 ou 9 m) le glyphosate était plus aisément minéralisé dans un sol argileux que dans un sol sableux ((Dick et Quinn, 1995 ; Sorensen *et al.*, 2006).

Le tableau III donne des exemples de valeurs de DT50 (qui représente le temps pris pour la dégradation (mesurée au laboratoire) ou de la dissipation (au champ) de 50% de la quantité appliquée au départ (Craven et Hoy, 2005; Gosciny et Hanot, 2012) et de quantité de glyphosate minéralisées issues de la littérature (Mamy, 2004). Une expérimentation réalisée en laboratoire sur des échantillons de sols reconstitués et en conditions contrôlées, s'éloigne des conditions d'application au champ montre que le glyphosate met toute même un certain temps à se dégrader suivant les types de sols. (Cheah *et al.*, 1997 ; Onil *et al.*, 2012)

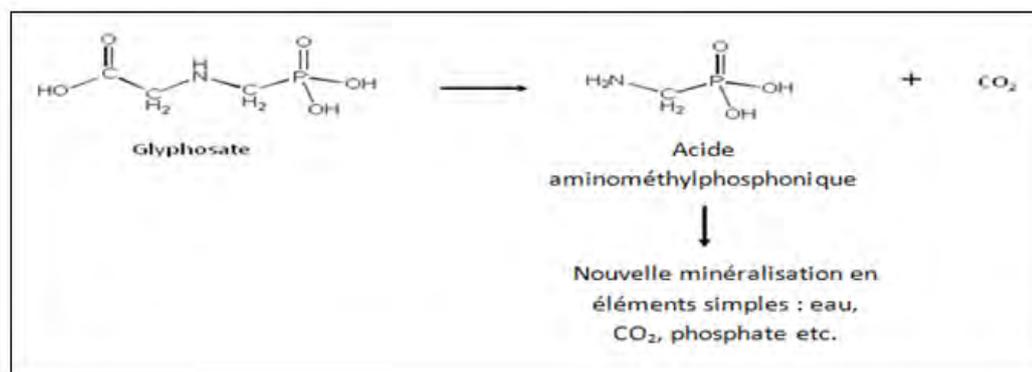


Figure 7 : Dégradation de glyphosate dans le sol. (Sturny, 2012.)

Tableau III: Quantité de glyphosate minéralisé et DT50 (Mamy, 2004)

Auteurs	Sol (pH, matière organique %, argile, limons, sable)	Température (°c)	Glyphosate minéralisé		DT50 (jrs)
			(%)	(jrs)	
Rueppel <i>et al</i> 1977	Sablo-limoneux (6.5 1 0.6 82.3 6)	30	46.8	28	3
	Sablo-limoneux (5.7 1 2.3 11 86).	30	7	87	130
Smith et Aubin (1993)	Limono-sableux	20	68	90	37
Mamy, 2001	Sablo-limoneux (6.3.7 32 7.4 32.9 39)	28	30	42	43

3.2.4.3. La dissipation du Glyphosate

❖ Mobilité et transfert du Glyphosate

• Volatilisation

Le glyphosate n'est pas susceptible de se volatiliser directement à partir des surfaces traitées. Cependant, une partie du glyphosate appliqué dans les cultures peut être transférée dans l'atmosphère lors des traitements par vaporisation des gouttelettes entre la rampe d'application et le sol. (Zablotowicz *et al.*, 2009)

• Le ruissellement

Nombreux résultats indiquant la présence de glyphosate et surtout son métabolite AMPA dans les eaux de surface et dans les eaux souterraines et démontrant sa mobilité ainsi que celle de l'AMPA (Kolpin *et al.*, 2005), la mobilité augmente légèrement à un pH élevé (Doliner, 1991). En effet, sa forte adsorption et de sa faible désorption associées à sa rapide dégradation font que la mobilité de cette substance devrait être très faible (Al rajab, 2007). De même, une étude montre des résultats, indiquant des concentrations élevées dans les eaux de ruissellement obtenues juste après l'application du glyphosate. Cependant,

d'autres auteurs dans une étude au champ, montrent que moins de 1% du glyphosate appliqué se trouvait dans les eaux de ruissellement à la suite d'un premier orage suivant un traitement. (Hwang et Young, 2011)

- **Le lessivage**

Même si Laitinen *et al.*, (2006) considèrent qu'aucun risque potentiel de contamination des nappes n'est avéré, Dans un suivi de la solution du sol à l'aide de bougies poreuses placées à une profondeur de 120 cm, Domange (2005) montre des concentrations atteignant 90 pg .l⁻¹ pour des analyses effectuées 6 jours après le traitement. Par contre, des études au laboratoire indiquent que le potentiel de lessivage du glyphosate est faible. Les travaux relatifs à son mouvement dans le sol fournissent des résultats variables en fonction de la nature des sols.

- ❖ **Transfert du glyphosate vers les plantes**

Il y'a relativement peu de résultats concernant l'absorption du glyphosate par les racines. Une étude montre que le glyphosate est rapidement absorbé par du blé placé en solution nutritive. Par conséquent, les plantes sont capables de prélever le glyphosate par les racines et la faible activité du glyphosate dans les sols n'est pas due à l'incapacité des plantes à le prélever par la racine mais plutôt à une faible disponibilité du glyphosate en raison de sa forte adsorption sur le sol (Al rajab, 2007). Ainsi Sprankle *et al.*, (1975) ont observé une réduction du poids frais des plantes qui ont poussé sur des sols où le glyphosate est faiblement adsorbé. Néanmoins, Hans (1976) a montré, en cultivant des plantes en solution, qu'il faut appliquer une forte quantité de glyphosate sur les racines de la plante pour qu'elle soit atteinte. Le glyphosate est donc relativement peu toxique quand il est appliqué sur les racines.

3.3. La rémanence des herbicides et du glyphosate dans le sol

3.3.1. La rémanence des herbicides

Les herbicides sont les plus persistants dans les sols que les insecticides et les fongicides et génèrent des produits de dégradation stables qui peuvent également présenter une activité biocide. (Lemièrre *et al.*, 2001). S'il est nécessaire que les herbicides sont appliqués au sol pour contrôler les mauvaises herbes pendant la saison d'application, il n'est pas souhaitable qu'ils soient rémanent et affectent la croissance des cultures suivantes. La durée d'un herbicide qui reste actif dans le sol est appelé «rémanence » ou « persistance d'action ». (Hager et Nordby, 2007) (figure 8)

La rémanence peut être défini aussi par la durée pendant laquelle un herbicide, ou tout autre produit de traitement épandu ou incorporé au sol, continue à exercer son action. (Jerry Lee, 2002).



Figure 8 : Persistance de l'herbicide et persistance d'action (Gama *et al.*, 2006)

Historiquement, le concept de persistance appliqué aux pesticides concernait les aspects agronomiques ; ce terme définit le temps pendant lequel l'action du pesticide appliqué se manifeste dans la parcelle cultivée. Il a été élargi par la suite à des considérations environnementales. La signification de la persistance d'une substance dépend de son mode d'observation. Ainsi, Calvet (2003) définissent trois sortes de persistance dans les sols (figure 9), basées sur la cinétique de dissipation : (i) la persistance agronomique correspondant au temps pendant lequel les effets phytotoxiques se manifestent, (ii) la persistance chimique résultant d'analyses chimiques (valeur dépendant de la sensibilité de la méthode) et enfin (iii) la persistance environnementale basée sur l'observation d'effets sur les organismes non cibles et le milieu. La persistance dans le sol d'une molécule appliquée est déterminée par la dissipation qui est le résultat de l'ensemble des phénomènes déterminant la quantité de substance présente à un moment donné dans un compartiment donné.

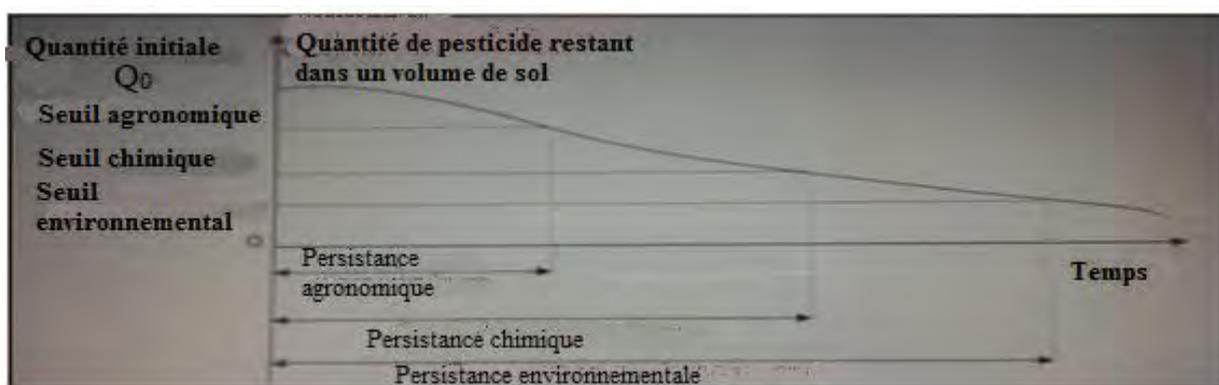


Figure 9 : Les différentes définitions de la persistance d'un pesticide dans le sol, (Calvet *et al.*, 2005).

La rémanence des herbicides est appréhendée par le terme de demi-vie (DT50), plus la DT50 est faible, plus la rémanence du produit est faible. Plus le produit se dégrade vite, plus sa durée d'action est courte et plus rapidement il disparaîtra de l'environnement (Métallaoui, 2000 ; Mamy, 2001).

Plusieurs facteurs déterminent la rémanence des herbicides. Comme les facteurs du sol, les conditions climatiques, les propriétés de l'herbicide et d'autres facteurs. Tous ces facteurs interagissent les uns avec les autres. (Hager et Nordby, 2007).

- Facteurs du sol

Ce sont de nature physique, chimique et microbienne. Le facteur physique qui mesure: la texture et le contenu en matière organique. Les propriétés Chimiques du sol comprennent le pH, les éléments nutritifs et l'abondance des microorganismes du sol. (Hager et Nordby, 2007).

➤ **La composition du sol**

En général, les sols riches en argile, matière organique, ou les deux ont un plus grand potentiel de lier l'herbicide aux particules du sol, avec une diminution correspondante de lessivage et les pertes par volatilisation. Les microorganismes du sol sont les plus responsables de la dégradation des herbicides. La rémanence des pesticides est directement liée à leur dégradation (Mamy, 2004 ; Gobat *et al.*,2010)

➤ **Le pH**

La décomposition chimique et microbienne des herbicides est souvent plus lente dans les sols de pH élevé. (Villeneuve et Bernier, 2004)

- Les facteurs climatiques

La persistance d'action d'un herbicide est liée à sa dégradation. Celle-ci augmente généralement avec l'augmentation de la température et l'humidité du sol. Un sol sec nuit à la dégradation de plusieurs herbicides. Les microorganismes du sol sont très impliqués dans la dégradation. Ils sont à leur maximum d'activité lorsque le sol est humide juste comme il faut et lorsque les températures y varient de 21° à 32°C. (Benmahdi, 2008). En plus, la rétention des herbicides se traduit par une diminution initiale de l'activité herbicide. Par conséquent, les herbicides retenus peuvent être libéré plus tard, potentiellement blessant les cultures sensibles suivantes. (IFEN, 2012).

- Les propriétés du l'herbicide

Les propriétés chimiques d'un herbicide ont une incidence sur sa rémanence. Ces propriétés comprennent solubilité dans l'eau, pression de vapeur, et de la sensibilité de la molécule à l'altération chimique ou microbienne (dégradation). (Curran, 1998).

- D'autres facteurs :

La méthode d'application peut influencer l'activité résiduelle de l'herbicide. Premièrement, le temps d'application. En général, les traitements appliqués plus tard dans la saison de croissance ont un

plus grand potentiel d'influence sur la croissance des cultures ultérieure. Car, au début du semis les herbicides sont perdus principalement par l'altération microbienne. (Curran, 1998).

Le travail du sol suivant l'application d'herbicides peut affecter la rémanence. Il favorise la décomposition microbienne et chimique des herbicides. Les techniques de travail minimal du sol favorisent l'accumulation des herbicides à certaines profondeurs. En outre le semis direct a tendance à laisser une plus grande concentration d'herbicide à proximité de la zone de surface. Ainsi, la persistance des herbicides dans cette zone concentrée peut affecter les cultures sensibles. (Mamy et Barriuso, 2006).

3.3.2. La rémanence du glyphosate dans le sol

D'après, Bizet *et al.*, (2010), la rémanence du glyphosate est faible. Comme nous l'avons expliqué précédemment, plus un produit s'adsorbe aux particules du sol, plus sa rémanence est faible. Le glyphosate est rapidement inactivé dans le sol en raison de sa forte adsorption aux particules de sol. La dissipation du glyphosate, varie considérablement avec le type du sol. La demi-vie de dissipation du glyphosate a des valeurs moyennes de 38 jours (Prata *et al.*, 2003). La valeur moyenne retenue est de 25 jours, tandis que la demi-vie de son métabolite est plus longue que celle de la molécule mère (valeur moyenne : 154 jours). (Heddadj et Bouvier, 2012). D'autre part, sa demi-vie de minéralisation peut atteindre des valeurs aussi élevée que 22,7 ans comme un réflexe de son taux de sorption élevée. (Nomura et Hilton, 1977)

La rémanence d'un herbicide dépend de l'hydrolyse, la photolyse et la biodégradabilité, pour le glyphosate, il s'hydrolyse en des temps de demi-vie supérieurs à 30 jours à pH 5,7 et 9. La photolyse du glyphosate varie suivant le pH ($t_{1/2} = 33j$ à pH 5, $t_{1/2} = 69j$ à pH 7, $t_{1/2} = 77j$ à pH 9). Cependant, dans les sols à pH acide, le glyphosate est plus persistant. Concernant la biodégradabilité, le glyphosate n'est pas facilement biodégradable (Watts et Cotter, 2011).

3.4. Effet de la rémanence des herbicides et de glyphosate dans les cultures maraîchères

3.4.1. Effet de la rémanence des herbicides dans les cultures maraîchères

Les herbicides sont des produits très efficaces. Ils offrent une excellente répression des mauvaises herbes. Plusieurs sont des produits résiduels. Ils peuvent être phytotoxiques pour les cultures des années suivantes même celles prévues sur l'étiquette. Il est important de porter une attention particulière afin de mettre en place une stratégie d'utilisation de ces herbicides sans nuire aux cultures suivantes. (Bernier, 2001)

Ici, l'étude de l'évaluation de la rémanence des herbicides à un objectif dans le cas de la succession ou la rotation des cultures pour éviter d'éventuels phytotoxicités des cultures suivantes, ainsi on peut trouver deux situations :

- Dans le cas de la succession normale de cultures dans le cadre d'une rotation donnée. Il peut se faire qu'une plante soit sensible à un herbicide appliqué sur la culture précédente. Dans ce cas, une estimation de la quantité résiduelle et sa comparaison avec le seuil de phytotoxicité de la plante considérée peut aider à la réalisation des semis, notamment par le choix de leurs dates, quand cela est techniquement possible. (figure 10).
- L'autre est une situation accidentelle qui se présente lorsqu'il est nécessaire de remplacer une culture défaillante à cause d'un accident climatique comme le gel, ou de l'attaque parasitaire d'un champignon ou d'un ravageur. Le remplacement amène donc à devoir installer une nouvelle culture sur un sol qui peut contenir des quantités non négligeables d'herbicides qui avaient été appliquées sur la culture à remplacer. Là encore, l'évaluation de la rémanence peut permettre d'estimer le risque d'avoir une phyto-toxicité sur la nouvelle culture. (figure 10) (Calvet, 2003).

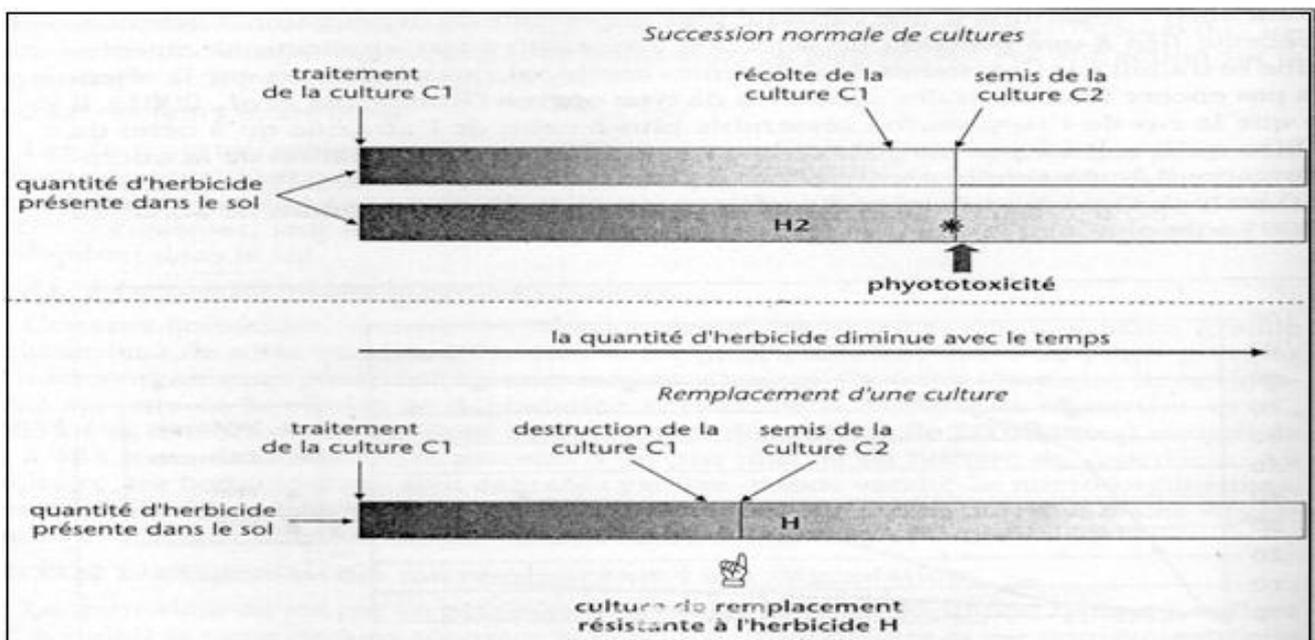


Figure 10 : Persistence des herbicides et cultures successives (Calvet, 2003)

Au cours de ces dernières années, des producteurs et des productrices ont eu des problèmes avec ce type de rotation. Ils ont observé des symptômes et des dommages sur leurs cultures. (Bernier, 2001).

Le risque de rémanence des herbicides est accru. Il concerne surtout les produits appliqués tardivement sur céréales, comme les sulfonyles. Ces dernières peuvent en effet induire des problèmes de phytotoxicité sur les cultures implantées derrière céréales. Par exemple, pour l'implantation des Ciper ou du colza après des céréales traitées aux sulfonyles, mieux vaut prévoir au minimum un travail du sol profond. (Schrack *et al.*, 2009).

Les résidus d'herbicides risquent de rester dans le sol suffisamment longtemps pour affecter les cultures suivantes. Au Brésil, avant de semer du maïs, il faut attendre de 150 à 300 jours à partir de la

date d'application des herbicides pour le Soja tels que le clomazone. En règle générale, les effets résiduels sont plus importants dans les zones tempérées que dans les zones tropicales, compte tenu de la plus faible bioactivité dans le sol lié à la décomposition des herbicides. (FAO, 1995).

Des résidus d'herbicide sur des sections de culture déjà traitées peuvent endommager les jeunes pousses de plantes au simple contact. Une pression inégale le long de la rampe de pulvérisation peut contribuer à la pulvérisation de doses plus faibles aux extrémités et d'une surdose au milieu de la rampe (figure 11). Par ailleurs, une mauvaise évaluation de la texture du sol peut donner lieu à une trop forte concentration d'herbicide sur un sol sablonneux ou de gravier. (Bernier, 2001)



Figure 12 : Dommages causés dans un champ de fraisières, par une dose forte de Terbacil dans un sol sablonneux. (Bernier, 2001)



Figure11. Dommages de surdose causés à une bleuetière (Bernier, 2001)

Pour certains types d'herbicides radicaux, le fabricant recommandera diverses concentrations, selon la texture du sol. Un mauvais dosage (par exemple, une forte dose du produit dans un sol sablonneux) peut entraîner des dommages à la culture (figure12). Dans de nombreux cas, Semer avant la période d'intervalle peut provoquer des dommages à la culture (figure13). Par un temps particulièrement sec, même un herbicide qui présente une persistance modérée peut toujours demeurer dans le sol au-delà du délai habituel et nuire à la prochaine culture. Les conditions météorologiques ont une grande incidence. Un temps chaud qui survient peu de temps après la pulvérisation d'un produit radicaux avant la levée des plantes peut donner lieu à une croissance rapide de la culture, entraîner l'absorption du produit et provoquer des dommages à la culture. De fortes précipitations après l'épandage d'un herbicide radicaux pourraient faire percoler le produit dans la zone des racines de culture (figure 14). (AAP, 2010)



Figure 13. Dommages dans un champ de haricots mange-tout. (AAP, 2010).



Figure 14. Dommages causés dans un champ de bleuet par l'hexazinone, après que de fortes pluies (AAP, 2010).

3. 4.2. Effet de la rémanence du glyphosate dans les cultures maraîchères :

Une fois dans le sol, le glyphosate est ensuite immobilisé à travers la chélation des cations : il est donc très stable et il n'est pas facilement dégradé. Cependant, le phosphore, en particulier par les engrais phosphatés qui peuvent désorber l'herbicide, ce dernier redevient en fait à nouveau actif dans le sol. Le glyphosate réduit l'absorption des nutriments par les plantes. En fait, beaucoup de nutriments sont des constituants des structures végétales mais aussi les composants des activateurs, des inhibiteurs et des régulateurs des processus physiologiques (Feng et Thompson, 1990). Souvent, la réduction ou l'élimination d'un seul micronutriment perturbe toute une fonction biologique, troublant en conséquence la physiologie de la plante pouvant aller jusqu'à être létale. Pour le glyphosate, l'activité herbicide est basée sur l'inhibition de l'enzyme EPSPS catalysant la première étape de la voie des shikimates du métabolisme secondaire des plantes. Il chélate donc tous les ions positifs dans le sol sans sélectivité et participe ainsi à l'immobilisation de nutriments comme le Ca, Co, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Ni, Zn réduisant leur absorption par les plantes. Cela signifie qu'il agit sur toutes les réactions enzymatiques dans lesquelles ces cations sont impliqués et inhibe le système naturel de défense des végétaux fondés sur des métabolites secondaires comme des alcaloïdes, des flavonoïdes, des composés phénoliques et des phytoalexines. En conséquence, la disponibilité en nutriments est réduite affectant ici la croissance des plantes et la résistance aux maladies et aux ravageurs (Sturny, 2012 ; Sirinathsingji, 2012).

En d'autres termes, ce n'est pas le glyphosate qui « tue » directement la plante mais l'ensemble des infections potentielles qui profitent de la disparition du bouclier immunitaire sur un individu en difficulté pour s'alimenter. Ainsi, des études montrent que l'utilisation intensive et répétée de glyphosate entraîne une perturbation du complexe immuno-nutritionnel pouvant déboucher sur des pénalités de rendement et une augmentation des pathogènes et maladies. (Brack *et al.*, 2010).

L'application de glyphosate en absence de labour et mise en place des semences dans des sols préparés uniquement avec un désherbage chimique a augmenté, de façon significative, la pourriture due au *Fusarium* dans des cultures de blés de printemps. L'infection par le *Fusarium* a non seulement affecté la production de blé, mais elle a également augmenté le risque de mycotoxines nocives pour les êtres humains et les animaux domestiques. (Fernandez *et al.*, 2005). Dans des expériences en serres et en chambres culture, le traitement au glyphosate a causé des augmentations significatives dans la sévérité de la maladie et l'infection des racines. (Sanogo *et al.*, 2000 ; Fernandez *et al.*, 2005).

La mort subite due au *Fusarium* est clairement liée à l'utilisation du glyphosate. Actuellement, il n'est pas encore possible de déterminer si l'effet est dû aux résidus de la matière végétale dans le sol résultant de l'utilisation d'herbicide, ou si le champignon est lui-même affecté par le glyphosate. En cas de sécheresse, le glyphosate réduit le rendement jusqu'à 25 pour cent (King *et al.*, 2001) .

Les mécanismes de ce processus peuvent être expliqués par une autre étude, qui a constaté que le glyphosate pénètre les nodules de racines et influence négativement les bactéries bénéfiques du sol qui participent à la fixation de l'azote. Il inhibe le développement des racines, en réduisant la biomasse des nodules d'un taux allant jusqu'à 28 pour cent. (Reddy et Zablotowicz, 2003).

Les maladies, tels que le piétin-échaudage des céréales et le *Corynespora*, pourriture des racines du soja, s'aggravent après l'application du glyphosate. De nombreuses études ont montré qu'il existe un lien entre l'application du glyphosate et la fusariose. (Huber et Haneklaus, 2007)

Des études montrent également que dans le cas du glyphosate, qui est utilisé massivement, peut avoir des conséquences désastreuses pour l'agriculture, telles qu'une perte de la fertilité des sols, une baisse de la productivité des cultures et des produits récoltés qui sont moins nutritifs », mettant en péril non seulement la durabilité agricole, mais également la santé et le bien-être des animaux et des êtres humains (Sanogo *et al.*, 2000).

À l'automne 2010, passant devant un champ de soja en visitant la parcelle de démonstration de maïs d'un négociant semencier de l'Iowa, le **Dr Don Huber** a remarqué une ligne de démarcation marquée, avec à droite du soja gravement malade en train de jaunir et à gauche des plantes vertes saines. La partie jaunie souffre du syndrome de mort subite, une grave maladie végétale qui, en ravageant le Midwest états-unien en 2009 et 2010, a entraîné une baisse des rendements et bénéfiques. Ayant pratiqué 35 ans la phytopathologie à l'université Purdue, ce dernier connaît beaucoup de choses sur ce qui jaunit les plantes vertes et les fait mourir prématurément (figure 15) (Brett *et al.*, 2010).



Figure 15: La partie du champ de Soja malade à droite a reçu la saison précédente une application de glyphosate. (Jeffrey, 2011).

Là où le syndrome a sévit, le semencier avait fait pousser de la luzerne qu'il avait ensuite détruite en fin de la saison en pulvérisant un herbicide à base de glyphosate. D'autre part, dans la partie saine du champ, il avait planté du maïs sucré, et ne l'avait pas traité au glyphosate. (Sirinathsinghji, 2012). La preuve est encore plus évidente dans de nombreux autres champs. La maladie a été plus sévère à l'extrémité des rangées où l'applicateur d'herbicide a fait demi-tour pour revenir dans le champ afin de faire un autre passage (photo ci-dessous). À cet endroit, un supplément de Roundup a été appliqué.



Figure 16 : Le syndrome de mort subite est plus intense aux extrémités des rangées, là où la dose Roundup a été plus importante (Jeffrey, 2011).

Le glyphosate détruit les organismes utiles du sol, comme les *Pseudomonas* et les bactéries *Bacillus* qui vivent autour des racines. Puisqu'ils facilitent l'absorption des nutriments.

La concentration de glyphosate dans le sol augmente saison après saison à la suite de chaque application, le glyphosate peut aussi s'accumuler pendant 6 à 8 ans dans les plantes vivaces comme la luzerne, qui en seront encore aspergés (figure 17) (Jeffrey, 2011).



Figure 17 : À gauche, blé affecté après 1 an d'application de glyphosate sur le champ. À droite, blé affecté après 10 ans d'application. (Jeffrey, 2011).

Dans le sol, les résidus de glyphosate liés et immobilisés peuvent être réactivés par l'application d'engrais phosphatés ou par d'autres méthodes. Dans l'Ouest et le Midwest, les producteurs de pommes de terre, par exemple, ont subi de lourdes pertes à cause de la réactivation du glyphosate. (De Jonge *et al.*, 2001 ; Jeffrey, 2011).

DEUXIEME PARTIE :
MATÉRIELS ET MÉTHODES

Dans cette partie, nous présentons les méthodes d'analyse, les réactifs utilisés et les procédures expérimentales préconisées.

En effet, l'évaluation de la rémanence de l'herbicide étudié « glyphosate » a débuté par la récupération du sol traité dans les serres des différents agriculteurs visités et également des échantillons témoins non traités, récupérés en dehors des serres. Cette évaluation est réalisée à l'aide d'un test biologique.

Remarque : Parallèlement au test biologique, nous avons prévu des analyses chimiques que nous n'avons pu réaliser en raison du prix exigé par le laboratoire.

1. Echantillonnage :

1.1. Le sol :

1.1.1. Provenance du sol :

La collecte de nos échantillons s'est faite au niveau d'exploitations agricoles localisées dans la wilaya de **Jijel**. Qui est située à 360 km à l'Est d'Alger et qui s'étend sur une superficie de 2398.69 km² avec une façade maritime de 120 km. Elle est limitée au Nord par la mer Méditerranée, au Sud par la wilaya de Mila, au Sud-ouest par la wilaya de Sétif ; la wilaya de Skikda délimite la partie Est, tandis que celle de Bejaia borde la partie Ouest.

Notre étude s'est focalisée sur deux sites agricoles indiqués sur la figure 18 :

- Site I localisé à **Jimar**.
- Site II situé dans la zone **d'El-Kennar**.



Figure 18 : Les sites de prélèvement.

Nous avons entrepris deux essais. Les prélèvements du premier essai n'ont touché que la localité de **Jimar**. Cet essai préliminaire nous a permis de maîtriser la procédure du test biologique. Par la suite, nous avons fait un deuxième essai dont les prélèvements sont réalisés au niveau de **Jimar** et **El-Kennar**. Tous les prélèvements sont réalisés quelque temps après l'épandage, mais ne dépassant pas 3 mois, comme le montre le tableau suivant :

Tableau IV : Les différents épandages de produits distribués dans les sols prélevés

1 ^{er} essai	Localité	Produit utilisé	Nombre de serres	Date du 1 ^{er} épandage	Date du 2 ^{ème} épandage	Date du 3 ^{ème} épandage	Date de prélèvement
	Jimar (1 ^{er} agriculteur)	Kalach	2serres voisines	20/02/2012	18/04/2012	15/06/2012	23/06/2012 (8 jrs après le 3 ^{ème} épandage)
2 ^{ème} essai	Jimar (2 ^{ème} agriculteur)	Roundup	Une serre	20/09/2012	27/11/2012	/	25/12/2012 (28 jrs après le 2 ^{ème} épandage)
	El-Kennar (3 ^{ème} agriculteur)	Kalach	Une serre	23/03/2012	29/09/2012	/	25/12/2012 (86 jrs après le 2 ^{ème} épandage)

Pour le premier essai, les prélèvements sont réalisés une semaine après l'épandage du produit (Kalach) au niveau des serres. Tandis que pour le deuxième essai, Les prélèvements sont réalisés au même jour pour les deux localités. Les échantillons de **Jimar** sont prélevés environ un mois après l'épandage du produit (Roundup) au niveau des serres, alors que les échantillons **d'El-Kennar** sont prélevés près de 3 mois après l'épandage du produit (Kalach).

Les prélèvements de sol sont effectués dans les 30 (trente) premiers centimètres supérieurs du sol récupéré au moyen d'une tarière manuelle enfoncée verticalement (pour respecter la proportion des horizons). Le sol est réparti en trois profondeurs respectivement (0-10cm, 10-20cm et 20-30cm).

La prise des échantillons à l'intérieur de la serre a été effectuée dans 5 points différents considéré chacun comme un profil, de la même façon nous avons prélevé des échantillons en dehors de la serre mais dans 3 points seulement comme le montre le tableau V et cela pour les deux essais.

Tableau V: les différents échantillons du sol prélevés :

		Témoin (Hors serre)			Traité (à l'intérieur de la serre)				
		Profils			Profils				
		I	II	III	I	II	III	IV	V
Profondeurs (Horizons)	I (0-10cm)								
	II (10-20cm)								
	III (20-30cm)								

Le poids de sol récupéré dans chaque horizon est de 2.5kg. Les échantillons de sol sont conservés dans des sachets fermés pour le transport, le sol est divisé en deux parties :

- L'une (2 kg) est utilisée pour le semis.
- L'autre (0.5 kg) est conservée pour l'analyse physique.

Avant l'analyse, les échantillons doivent être étalés à l'air libre pour sécher dans une pièce libre de poussière. Après séchage, les roches et les débris végétaux sont séparés et le reste est broyé à l'aide d'un mortier, ensuite, Les échantillons sont tamisés à 2 mm. La terre fine de chaque échantillon a été conservée dans des contenants en plastique à l'abri de la lumière et stockée jusqu'à son utilisation (Molenat, 2012).

1.1.2. Analyse physique du sol :

Les analyses pédologiques et physiques du sol sont effectuées au niveau du Laboratoire d'Ecologie de l'Université de Constantine 1 et au niveau du laboratoire d'Écotoxicologie à l'Université de Jijel, selon des protocoles standardisés. Les paramètres suivis sont les suivants:

- La granulométrie : réalisée par la méthode internationale à la pipette de Robinson.
- Le carbone organique est dosé par la méthode de Walkley et Black modifiée.
- Le pH eau grâce au pH-mètre.
- La conductivité électrique : au conductimètre
- Le calcaire total : au Calcimètre de Bernard.
- La capacité d'échange cationique par la méthode AFNOR 1994.

Les analyses ont porté sur les différents échantillons des deux sites (localités) du deuxième essai, soit $24 \times 2 = 48$ échantillons.

1.1.2.1. Analyse granulométrique du sol :

L'analyse granulométrique a pour but de quantifier les particules minérales élémentaires groupées en classes, et de définir la composition granulométrique de nos sols. Elle permet de classer les particules minérales constitutives des agrégats en un certain nombre de fractions par catégorie de diamètre. On suppose que ces particules minérales sont sphériques. En effet, la taille des particules a une influence sur de nombreuses caractéristiques du sol et donc sur le comportement des polluants par les phénomènes d'infiltration et de rétention des éléments. (Richer de Forges *et al.*, 2008).

L'association internationale de la science du sol a adopté en 1926 l'échelle d'Atterberg qui classe les particules constituant la terre fine ($< 2\text{mm}$) comme le montre la figure 19. (Riman, 2010) :

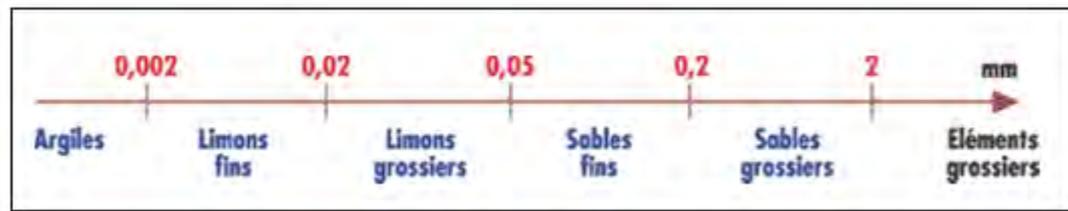


Figure 19 : Classement des particules suivant l'échelle d'Atterberg. (Riman, 2010)

➤ **Principe :**

L'analyse par sédimentation est basée sur la loi de Stokes qui lie la vitesse de chute d'une particule à son diamètre. La force qui s'applique à la particule due à la pesanteur peut s'exprimer comme suit :

$$F = 4/3\pi(X^3/8) (d_s - d_l) \times g$$

Où :

X : diamètre de la particule;

g : accélération de la pesanteur;

d_s : masse volumique moyenne des particules de sol (g/cm^3);

d_l : masse volumique du liquide contenant la suspension du sol, soit $1g/cm^3$ pour l'eau.

La deuxième force qui s'applique sur la particule est une force de freinage (de bas en haut) due à la viscosité du fluide :

$$F = 6 \pi X \eta \cdot v$$

Où :

v : vitesse de chute (cm/s);

η : viscosité cinématique du fluide (poise ou $g/cm/s$), facteur dépendant de la température.

Cette particule solide atteint une vitesse de chute limite quand les deux forces s'équilibrent, ce qui conduit à :

$$V = g (d_s - d_l) X^2 / 36 \eta$$

L'application de cette formule est possible grâce aux hypothèses suivantes :

- La vitesse limite des particules est atteinte très rapidement;
- La force de freinage est due à la viscosité uniquement;
- Les particules sont sphériques et « lisses »;
- Les particules n'interagissent pas pendant la sédimentation.

Le temps de sédimentation pour une hauteur donné peut être calculé par la relation suivante :

$$t = h/v$$

Où :

h : est la hauteur en cm;

v : la vitesse en cm/seconde. (Mathieu et Pieltain, 2003).

- **Remarque :**

Pour prélever les particules, il faut les disperser c'est-à-dire détruire les agrégats sans altérer les particules. Un milieu dispersé contient les particules isolées dont la séparation (dispersion) résulte de traitements préalables, le milieu inter particulaire étant appelé milieu dispersant. Différents traitements préalables sont appliqués pour disperser les particules selon que le sol soit riche en matières organiques, qu'il contienne peu ou non de calcaire. (Duchaufour et Blum, 2001).

- **Réactifs :**

Eau oxygénée (H₂O₂), hexamétaphosphate de sodium [(NaPO₃)₆, 50g/l], ammoniac NH₃ et alcool éthylique.

- **Mode opératoire :**

- **Destruction de la matière organique (MO) :**

- Verser 50 ml de peroxyde d'hydrogène à 6% sur la prise d'essai de 20g de terre séchée à l'air, passée sur tamis à mailles de 2 mm et placée dans un bécher de 500 ml ; Une mousse apparaît et sera d'autant plus abondante qu'elle contient une quantité importante de matière organique surveille la pour qu'elle ne provoque pas de débordement ;
- Agiter fréquemment le bicher pour descendre la mousse en y ajoutant au besoin quelques gouttes d'alcool éthylique pour faciliter la destruction et laisser reposer une nuit (attaque au froid) ;
- Porter au bain de sable (Chauffer doucement); une réaction parfois importante peut se produire avec production de CO₂ (attaque à chaud) ;
- Répéter le traitement en ajoutant successivement de petites quantités de peroxyde d'hydrogène (H₂O₂) à 6% (± 5 ml) jusqu'à ce que le chauffage ne produisait plus de réaction ; Accélérer éventuellement l'attaque à chaud part ajout de H₂O₂ à 30% ; Faire bouillir la solution pour éliminer l'excès de peroxyde d'hydrogène ; Si la mousse monte, il faut l'éliminer par de petites additions d'environ 5ml d'éthanol ;

- C'est la décoloration de la suspension (virage vers le marron clair) et l'absence de dégagement de mousse qui indiquent la fin de l'opération (attaque à chaud) ;
- Le traitement peut demander plusieurs heures (des jours) et nécessite de nouvelles additions d'eau oxygénée si la terre est très humifère, l'échantillon doit rester toujours mouillé. (Mathieu et Pieltain, 2003).

- **Dispersion :**

- Faire passer la terre dans un flacon de 500ml et bien récupérer les particules restantes sur la paroi en rinçant avec l'eau déminéralisée ; Compléter le volume à 500ml environ avec de l'eau déminéralisée ;
- Agiter en milieu alcalin (50 ml d' hexamétaphosphate de sodium) pendant 2h à l'agitateur mécanique ;
- Transvaser dans une allonge de sédimentation de 1000ml et bien rincer le flacon d'agitation pour entraîner la totalité des particules dans l'allonge et couvrir l'allonge avec un film alimentaire.

- **N.B :**

On prépare la solution d'hexamétaphosphate de sodium en dissolvant dans 1litre d'eau déminéralisée tiède, 40g du produit.

Nous avons préféré ne pas procéder à la décarbonatation (destruction du carbonate de calcium) à l'acide chlorhydrique. Car notre sol n'est pas calcaire.

➤ **Méthode de prélèvement par sédimentation : Utilisation de la pipette**

Robinson :

- **Description et principe de la pipette Robinson :**

C'est une pipette à longue tige de volume connu surmontée un robinet à trois voies. Elle est fixée sur un bâtis coulissant verticalement par crémaillère. Un videx solidaire de la pipette permet de repérer son niveau sur une règle graduée. La pointe de la pipette est formée un embout qui présente des ouvertures latérales, ainsi l'aspiration du liquide dans un plan horizontale, à la profondeur (h) désiré après un temps (t) il reste en suspension toutes les particules ayant une vitesse de chute inférieure (h) les autres étant déposés exemple : si on prend une hauteur de chute de 10 cm à 20C°, la fraction argile mettra un temps de chute d'environ 8 heures.

- **Manipulation :**

Cette analyse est basée sur la loi de Stokes dans des conditions bien déterminées de temps et de température. Le prélèvement est effectué comme suit :

On prélève à une profondeur donnée (10 cm) après un temps de chute donné à une température donnée (17°C par exemple), des particules de diamètre supérieur connu. Pour une même allonge et dans

l'ordre, on prélève après agitation (agiter la dispersion énergiquement de manière que tout le dépôt qui ait pu se faire au fond de l'allonge soit entièrement en suspension). Comme le montre le tableau VI.

Tableau VI : Méthode de prélèvement

Température (°c)	Particules de 0.002 mm de diamètre			Particules de 0.02 mm de diamètre	
	Temps de chute pour 10cm en heures-minutes	Profondeur de décantation ou de prélèvement en cm après			Temps de chute pour 10cm en minutes et secondes
		8h	7h	6h	
17	8, 37	9,3	8,1	7	5,10

• **Argile+Limons :**

- Au bout de à 17°C, on prélève à 10 cm de profondeur une partie aliquote (10-20 ml) de la fraction argile +Limons. Il est nécessaire de toujours commencer par le prélèvement de cette fraction pour que le deuxième prélèvement, celui de l'argile, corresponde à 1/50 de l'argile totale.
- Fermer le robinet à trois voies, Environ 30 secondes avant le prélèvement proprement dit, on amène la pointe de la pipette en contact avec la surface libre de la suspension ; en évitant toute turbulence, on descend la pointe de la pipette à la profondeur désirée (10cm), le robinet à 3 voies restant fermé pour empêcher le liquide de monter avant le temps exact.
- Ouvrir lentement le robinet et quand le liquide arrive à son niveau et trop plein par l'ajutage latéral.
- Vider lentement son contenu dans une capsule tarée de 50 ml à 100 ml.
- Placer celle-ci à l'étuve à 105 C° pendant une nuit, après séchage, la capsule avec le résidu sec est mise à refroidir dans un dessiccateur puis pesée.

• **Argile:**

- Après une nouvelle agitation vigoureuse, opérer exactement de la même façon après repos de 8h3 7' à 17°C. Suivant la température moyenne de la suspension, modifier à l'aide du tableau le temps de sédimentation, où si celui-ci ne convient pas, adopter la profondeur correspondant au temps choisie.

• **Sable:**

- Faire passer tout le contenu de l'allonge sur deux tamis de maille égale 50µm et lavant les sables sur le tamis par courant d'eau ordinaire.
- Verser le contenu de chaque tamis dans les capsules tarées à l'aide d'un jet de pissette d'eau distillée.
- Evaporer et sécher à 105 °C pendant une nuit. Le lendemain, on les laisse refroidir dans un dessiccateur puis on les pèse (Mathieu et Pieltain, 2003).

- **Calculs :**

- Pour chaque échantillon, Nous avons 3 récipients avec les tares suivantes :
- p_1, p_2 , en grammes pour les prélèvements 1, 2 ;
- S en gramme pour le sable.
- Après séchage et refroidissement, on trouve les poids suivants, aussi en grammes :
- M_1, M_2 , (récipients + prélèvement à la pipette) ;
- R (récipient + sable).
- on a également prélevé X grammes d'hexamétaphosphate,
- Fractions fines recueillies à la pipette :
- 1^{er} prélèvement = $(M_1 - p_1 - X)$ pour la fraction (Argile+Limons),
- 2^e prélèvement = $(M_2 - p_2 - X)$ pour la fraction (Argile),
- Pour la fraction sableuse 50 à 2 mm = $(R - S)$.
- Exemple pour le 1^{er} prélèvement:

$$(M_1 - p_1 - X) \text{ gr. } 1000/v. 100/P$$

Où :

v : étant le volume prélevé;

P : le poids de sol dans le cylindre.

- Les résultats obtenus peuvent être représentés sur le diagramme triangulaire des textures comme suit :
 - Il faut porter sur les trois axes les pourcentages d'argile, de limons et de sables.
 - Pour chacun des points ainsi trouvés, mener une parallèle à l'axe précédent selon le sens des aiguilles d'une montre.
 - L'intersection de ces trois parallèles désigne la classe du sol, (figure 20) (Richer de Forges et al., 2008).

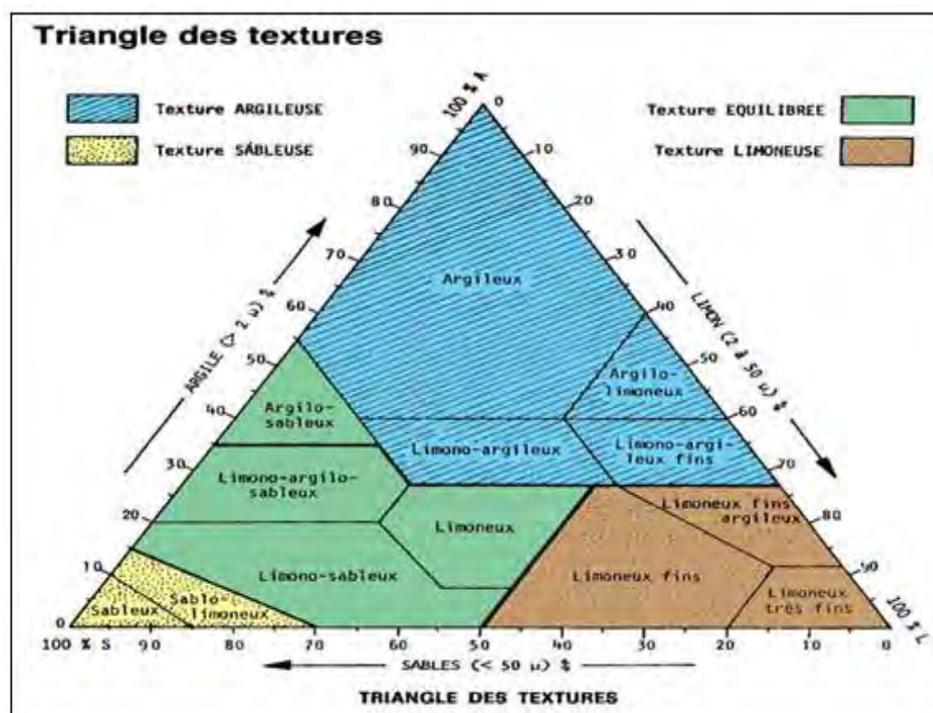


Figure 20 : Diagramme de texture. (Richer de Forges *et al.*, 2008)

1.1.2.2. Détermination de la matière organique : méthode Walkley et Black modifiée :

Les débris végétaux de toute nature, feuilles et rameaux morts qui tombent sur le sol, constituent la source essentielle de la matière organique : dès leur arrivée au sol, ils sont plus ou moins rapidement décomposés par l'activité biologique. (Duchaufour et Blum, 2001)

La matière organique est ainsi peu à peu transformée et cela donne naissance d'une part à des éléments solubles ou gazeux comme l'ammoniac, l'acide nitreux et le gaz carbonique, et d'autre part à des complexes humiques (humus) qui se décomposeront, se minéraliseront très lentement, très progressivement. La teneur en matière organique du sol n'est pas une donnée utilisée pour effectuer des recommandations de fertilisation, mais elle joue néanmoins un rôle important dans la fertilité du sol.

Ainsi, en général, le carbone organique présent dans le sol est mesuré, puis le résultat obtenu est transformé pour obtenir la matière organique présente en admettant que le carbone organique de l'humus du sol constitue 58% de la matière organique (Mathieu et Pieltain, 2003).

La méthode Walkley et Black modifiée est utilisée dans ce travail pour déterminer la matière organique dans les sols par dosage du carbone organique présent. (Mathieu et Pieltain, 2003).

➤ Principe de dosage :

Le principe du dosage repose sur l'oxydation du carbone de la matière organique par le bichromate de potassium ($K_2Cr_2O_7$) en excès, en milieu acide sulfurique.



La quantité de $K_2Cr_2O_7$ utilisée doit excéder la quantité nécessaire pour l'oxydation du carbone organique (CO). L'excès de $K_2Cr_2O_7$ (n'ayant pas réagi) est ensuite dosé en retour par une solution titrée d'un réducteur qui est le sulfate ferreux ($FeSO_4$ sel de Mohr) en présence de ferroïne (indicateur d'oxydoréduction).

Ce dosage en retour permet donc de calculer la quantité de bichromate qui a été neutralisée par le carbone organique.



Le taux en carbone organique permet d'estimer le taux de matière organique (MO) en multipliant le résultat obtenu par 1, 724. (Delaune *et al.*, 1991).

➤ **Appareillage et réactifs :**

- Burette ; agitateur magnétique ; balance.
- L'eau utilisée pour la préparation des réactifs.
- Dichromate de potassium, $K_2Cr_2O_7$ – solution à 1N
- Sel de Mohr, $FeSO_4 \cdot 6H_2O$ (0.25N)
- Acide sulfurique concentré, H_2SO_4 (d=1.83).
- Diphénylamine sulfonate de barium 0,5 % P/V,
- Acide orthophosphorique concentré (85 %), H_3PO_4

• **Préparation des réactifs :**

- **Dichromate de potassium 1 N :**

Dissoudre 49.04 g de dichromate de potassium préalablement séché à l'étuve à 105°C dans de l'eau et compléter le volume à 1000 ml.

- **Sel de Mohr-0.25N- :**

Dissoudre 98.1g environ de sel de Mohr cristallisé dans 500ml d'eau, ajouter 20ml de H_2SO_4 concentré, ajuster un litre, conserver dans un flacon de verre brun et placer dans un réfrigérateur, conserver deux semaines.

- **la solution de diphénylamine 0,5%:**

Dissoudre 0,5g de diphénylamine dans 100 ml d'acide sulfurique concentré, verser cette solution avec précaution dans un flacon, de verre brun contenant 20ml d'eau distillé, conservé au réfrigérateur.

➤ **Mode opératoire :**

- Peser 1g de terre fine passée au tamis de 0.2mm, introduire la prise dans un buchner de 300 -500ml.
- Ajouter 10 ml de dichromate de potassium 1 N, agiter légèrement pour disperser le sol dans la solution.
- Ajouter 20 ml d'acide sulfurique concentré, agiter vigoureusement pendant 1 minute et laisser reposer pendant 30 minutes.
- Transvaser dans une fiole jaugée de 250ml et laver le bécher avec 150ml d'eau distillé, compléter au volume.
- Prélever 100ml à la pipette, introduire dans un erlenmeyer de 250ml, diluer à 150ml, ajouter 4ml de d'acide orthophosphorique concentré et 12 gouttes de la solution indicatrice de diphénylamine.
- Titrer, en agitant, avec la solution de sel de Mohr 0.25N, la couleur passe du bleu foncé au bleu vert. Soit n le nombre de ml versés.

Procéder à un témoin (en trois répétitions) en remplaçant la terre par de sable calciné. Soit n' le nombre de ml de sel de Mohr versés. (Delaune *et al.*, 1991).

- La teneur en carbone organique pour 100gde sol est :

$$C\%=(n'-n) \times 0.9975 \times 0.1$$

- **Le taux de matière organique est :**

$$MO\% = C\% \times 1,724$$

1.1.2.3. Détermination du pH :

Les sols ont une réaction neutre, acide ou basique. Leur degré d'acidité ou de basicité est exprimé par le pH. La mesure du pH constitue le test le plus sensible aux modifications survenant dans l'évolution d'un sol. L'acidité du sol est déterminée par la concentration en ion H^+ : on oppose l'acidité effective qui correspond à la concentration en ion H^+ libre existant dans la solution du sol (c'est le pH-eau) à l'acidité titrable (c'est le pH-Kcl) qui est représentée par les ions H^+ échangeables, fixés par les colloïdes et constituant une réserve non disponible. (Duchaufour, 1991).

➤ **Principe :**

On réalise une mise en équilibre ionique entre la phase solide et la phase liquide. La mesure est effectuée dans des conditions déterminées (rapport masse de sol (g)/volume de solution (ml)=1/2.5) de la différence de potentiel existant entre une électrode de mesure et une électrode de référence plongées dans la solution aqueuse à l'aide pH-mètre (Duchaufour, 1991).

➤ **Matériel et réactifs :**

Balance de précision ; agitateur magnétique ; béchers de 100 ml; pissette ; pipette à 10 ml. L'eau distillée; solution tampon à pH 7,00 et solution tampon à pH 4,00 et pH-mètre

• **Étalonnage du pH-mètre :**

Calibrer le pH-mètre en l'ajustant à pH 7,00 avec la solution tampon à pH 7,00. Vérifier si l'instrument donne une lecture de 4,00 pour la solution tampon à pH 4,00. S'il est impossible d'obtenir une lecture correcte du pH des deux tampons, un problème d'électrode ou de pH-mètre est fortement probable.

➤ **Mode opératoire :**

- Peser 10 g de sol (broyé et tamisé à 2 mm) dans un flacon de 100 ml et ajouter 25 ml d'eau distillée ou déminéralisée.
- Agiter 30 minutes avec un agitateur magnétique
- Laisser reposer pendant (2-4) heures.
- Transvaser dans des flacons de 25ml.

Agiter et plonger l'électrode dans le mélange sol-eau et prendre la lecture après stabilisation du pH-mètre. (Duchaufour, 1991).

1.1.2.4. Mesure de la conductivité électrique : méthode électrométrique :

➤ **Principe :**

La conductivité d'un liquide est fonction de sa concentration en électrolytes. En pratiquant des extrais aqueux de sols, la mesure de la conductivité permet d'obtenir rapidement une estimation de la teneur globale en sols dissous telle que des chlorures, sulfates, carbonates et bicarbonates alcalins et alcalino-terreux et accidentellement des nitrates et des phosphates. La connaissance préalable de la conductivité d'un extrait aqueux de sel est importante car les fortes salinités impliquent des méthodes d'analyses différentes. Les mesures sont effectuées à l'aide d'un conductimètre.

La conductivité d'une solution est donnée par l'expression :

$$C=K /R$$

Où :

K : est la constante d'étalonnage de la cellule;

R : la résistivité.

C : s'exprime en ($\mu\sigma^{-1}/\text{cm}$). Suivant les pays et les circulaires différentes de l'administration, cette mesure est donnée à des températures différentes : 20°C en France, 25°C au USA (la conductivité s'exprime aussi en Siemens par centimètre (S/cm), $1\text{S/cm}=1\ \mu\sigma^{-1}/\text{cm}$). (Mathieu et Pieltain, 2003).

➤ **Appareillage :**

Conductimètre ; balance de précision ; agitateur magnétique ; entonnoir ; bécher de 100 ml ; pissette ; pipette à 10 ml ; papier filtre.

➤ **Mode opératoire :**

- Peser (5g de terre fine dans un flacon de 50ml et ajouter 25ml d'eau distillée (quantité sol : v H₂O = 1 : 5);
- Agiter 30 minutes avec un agitateur magnétique;
- Laisser reposer demi heure;
- Filtrer le mélange sol-eau;
- Mesurer la conductivité de filtrat avec la conductimètre à la température mesurée;
- plonger l'électrode dans le filtrat et prendre la lecture après stabilisation du conductimètre. (Mathieu et Pieltain, 2003).

1.1.2.5. Détermination du calcaire total : Méthode du Calcimètre

Le calcaire peut se trouver dans le sol à l'état de fragments de dimensions quelconques depuis les blocs et les graviers jusqu'à la taille des colloïdes argileux. Dans le sol, le calcaire est la source la plus fréquente du calcium, celui-ci étant fixé constitue le calcium échangeable du sol ; il est donc fourni au complexe par les solutions du sol dans lesquelles il se trouve à l'état de bicarbonate mais aussi de sulfate et parfois de nitrate. On trouve le plus fréquemment les carbonates sous forme de calcite et d'aragonite (CaCO_3) mais on peut les trouver également sous forme de dolomite ($\text{Ca, Mg}(\text{CO}_3)_2$), de sidérite (FeCO_3) et, dans les sols arides des régions sèches, de carbonate de sodium ($\text{Na}_2\text{CO}_3, 10\ \text{H}_2\text{O}$). (Mathieu et Pieltain, 2003).

➤ **Principe :**

On décompose par un acide fort (acide chlorhydrique) les carbonates de calcium contenus dans l'échantillon de terre et on mesure le volume de gaz carbonique dégagé par la réaction à la température et à la pression atmosphérique :



Le volume de gaz carbonique dégagé lors de la réaction est mesuré à l'aide d'une burette à

gaz, appelée Calcimètre Bernard. Un poids connu de carbonate de calcium pur pour analyses est traité de la même manière. En comparant les deux volumes, on détermine le taux de carbonate exprimé en carbonate de calcium dans l'échantillon du sol. (Mathieu et Pieltain, 2003).

➤ **Réactifs et appareillage :**

HCL (6N), CaCO₃ pur, eau distillé saturée en NaCl (300g / l), Calcimètre de Bernard, balance technique, capsule, éprouvette graduée de 10 ml, pissette, pince.

➤ **Mode opératoire :**

• **Etalonnage du calcimètre de Bernard :**

- Remplir le tube en U d'eau salé de manière à ce que le niveau correspond à l'origine des mesures.
- Peser 0.3 g de CaCO₃ pur et sec et le déposer dans l'erenmeyer, il va servir à étalonner l'appareil.
- Remplir le petit tube à essai d'HCL (6N) que l'on place délicatement dans l'erenmeyer au moyen de pinces en ayant soin, qu'aucune goutte ne tombe sur le CaCO₃.
- Boucher soigneusement l'erenmeyer.
- Faire la lecture du niveau de burette : soit V₀ le volume lu.
- Renverser l'acide sur leCaCO₃ en ayant soin de ne pas échauffer le mélange avec la main.
- Laisser la réaction se faire et attendre la stabilisation du niveau de l'eau dans le tube, marquant la fin du dégagement gazeux.
- Faire la lecture soit V₁ le volume lu, le volume réel est donc : $V_1 - V_0 = V_r$

• **Dosage du calcaire total dans le sol :**

- Renouveler l'opération en remplaçant le CaCO₃ par les échantillons de sol tamisés à 2mm (prise d'essai de 0.5 g à 1g selon la richesse en calcaire), tant que notre sol n'est pas calcaire, on a pris 5g, soit V_R le volume dégagé par l'échantillon de sol. Déterminer V₁, V₀ et V_R pour le sol.

• **Calcul et expression des résultats :**

$$\text{CaCO}_3\% = (V_R \times 0.3 / V_r \times p) \times 100 = 30V_R / V_r P$$

V_r= volume de CO₂ produit par 0.3 de CaCO₃ pur et sec.

V_R=volume de CO₂ produit par x g de CaCO₃ contenu dans un poids P de sol

P = poids de la prise d'essai de terre en gramme.

1.1.2.6. Détermination de la capacité d'échange cationique (CEC) : méthode AFNOR 1994

La capacité d'échange cationique d'un sol est la quantité totale de cations que ce sol peut adsorber sur son complexe et échanger avec la solution environnante dans des conditions de pH bien définies.

Pour un sol, la capacité d'échange cationique est due aux substances colloïdales portant des charges négatives telles que les minéraux argileux, la matière organique et la silice colloïdale. Le total des charges négatives du sol disponibles (essentiellement dues au complexe argilo-humique) est également appelé le complexe adsorbant. La CEC est généralement exprimé en milliéquivalents pour 100 grammes de sol sec. Dans la plupart des cas, les valeurs varient entre 2 et 35 méq.(100 g)⁻¹ selon le type de sol. Les sols avec une CEC élevée ont généralement des teneurs plus élevées d'argile et de matière organique.

Selon le système international d'unités, la CEC est exprimée en centimole de charges positives par kilogramme (cmol⁺.Kg⁻¹).

- **Principe:**

La mesure de la CEC est basée sur la titration par l'acide sulfurique H₂SO₄ de la solution du sol, après l'addition des réactifs (couleur violette). Elle est caractérisée par un point de virage au niveau d'un volume déterminé de H₂SO₄ titré (s'il fait apparaître une couleur verte). (Mathieu et Pieltain, 2003).

- **Préparation des réactifs**

- **Solution d'oxalate d'ammonium** : dissoudre 5.07g d'oxalate d'ammonium dans 1000ml d'eau distillé.
- **Solution hydroxyde de sodium (NaOH)** : faire dissoudre 33g de NaOH dans 100ml d'eau distillé.
- **Solution d'acide borique** : faire dissoudre 49g d'acide borique dans 1000ml d'eau distillé.
- **Solution phénol phtaléine** : faire dissoudre 0.01g de phénolphtaléine dans 5ml d'éthanol 95%.
- **Solution H₂SO₄ (0.025 mol/l)** : faire diluer 2.45 ml d'acide sulfurique dans 1000ml d'eau distillé.

- **Mode opératoire :**

- Préparation de la solution du sol : dans un buchner, mettre 5g du sol, 7.5 mg de CaCO₃ et 50ml d'oxalate d'ammonium.
- Agiter dans un agitateur magnétique pendant 1h et ½ h et laisser reposer (12 à 16) h dans un réfrigérateur.
- Dans un ballon de 1000ml muni d'un chauffe-ballon mettre 10 ml de la solution du sol, 10 ml de la solution NaOH, 190 ml d'eau distillé et quelques gouttes de phénol phtaléine.

- Dans le buchner de collection, mettre 40 ml d'acide borique et quelques gouttes d'indicateur de Tashiro.
- Dans la colonne de titration, mettre la solution d'acide sulfurique (0.025 mol/l)
- Faire préparer un témoin avec le même procédé sans mettre la solution du sol.
- Au moment où le virage de la couleur du violet vert le vert est effectué, commencer la titration par l'acide sulfurique et marquer le volume de H₂SO₄ et appliquer la formule suivante :

$$T = (V_2 - V_1) \times C \times 50 \times 2 \times 100 / m \times V$$

Où :

V₁ : volume de l'échantillon;

V₂ : volume témoin;

C : concentration de H₂SO₄ (0.025 mol/l);

m : Prise d'essai : 5g de sol;

V : prise d'essai volume 10 ml de la solution du sol.

Note : vue le manque de matériel, on a seulement fait (12) échantillons, on a mélangé les échantillons de l'horizon (0-10cm) des trois profils pour le sol témoin et de même, on a mélangé les échantillons de l'horizon (0-10cm) pour les cinq profils, on l'a répété avec l'horizon (10-20cm) et l'horizon (20-30cm).

1.2. Le désherbant :

- **Composition :**

Les herbicides utilisés portent des noms commerciaux différents qui sont (Kalach et Roundup) mais les deux possèdent la même composition. Chacun d'eux est un produit liquide concentré soluble, composé de 360g/l de glyphosate.

- **Caractéristiques :**

C'est un désherbant total, il détruit toutes les adventices monocotylédons et dicotylédones. Il agit par contact et par systémie sur toutes les parties vertes des adventices. Le glyphosate pénètre à travers les organes aériens de la plante; il est très mobile et migre rapidement de son point de pénétration jusqu' aux points de croissance (apex, méristèmes) à travers toute la plante (tige, feuilles et racines). Il bloque la synthèse des acides aminés aromatiques au niveau de tous les organes de réserve (feuille, rhizome, bulbe), Il est appliqué généralement en post-levée de la culture (Kouassi Brou *et al*, 2012).

Concernant la toxicité du glyphosate, il est classé dans la classe C.

- **Usages**

La dose appliquée généralement est de 2 l/h, pour les fortes densités de chiendent ou cypéris utiliser la dose de 2.5 l/h.

- **Recommandations relatives, application :**

- Traiter sur des mauvaises herbes bien vertes non couvertes de rosée.
- Eviter au maximum tout contact avec les feuilles, les tiges et les rejets.
- Lors du traitement, le glyphosate est efficace même si la pulvérisation atteint une partie de la plante, elle soit annuelle ou vivace. Le glyphosate est la seule matière active réellement efficace contre les vivaces car elle permet de bien contrôler tous les organes souterrains de reproduction végétative (stolons, rhizomes).

Dans la région de **Jimar**, les herbicides utilisés à base de glyphosate ont été pratiqué dans les serres depuis 5 ans. Alors que dans la région **d'El-Kennar**, Kalach a été utilisé pendant 3 ans. Nous avons choisi le glyphosate parce que c'est le plus utilisé s'il n'est pas le seul utilisé.

Nous devons indiquer que notre étude est basée sur un test biologique qui utilise une plante test. Par ailleurs, nous savons qu'une plante test doit avoir de petites graines afin d'avoir un nombre d'individus suffisamment élevé dans chaque pot (Demolon, 1968). Plusieurs plantes test figurent dans la littérature telles que :

- Lolium perenne
- Trifolium alba
- Sinapis alba
- Nicotiana tabacum
- Raphanus sativus : le radis dont le cycle végétatif dure à peu près 30 jours (Demolon, 1968) (figure 21)

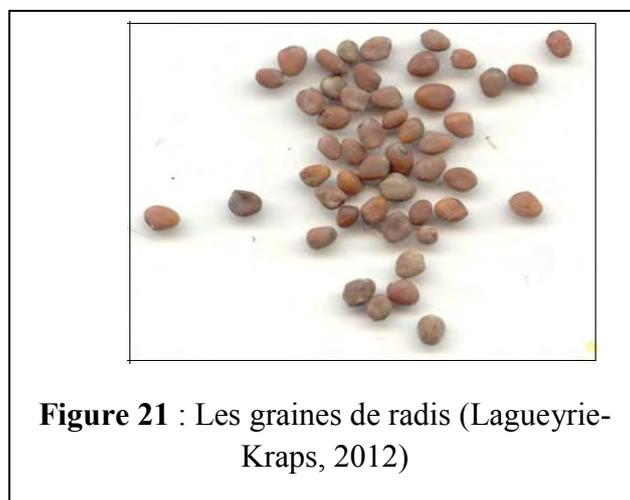


Figure 21 : Les graines de radis (Lagueyrie-Kraps, 2012)

1.3. La plante test : le radis :

Le radis, Raphanus sativus L., est une plante potagère de la famille des Brassicacées (figure 22).

Dans notre étude, nous avons choisi le radis comme plante indicatrice à cause des caractéristiques qu'il possède :

- Très sensible aux produits chimiques et donc aux herbicides.

- Cycle biologique très court du semis à la récolte (25 à 35 jours).
- Absorption rapide.

Le radis est resté essentiellement une culture maraîchère, à cause de ses exigences et de sa récolte presque qu'exclusivement manuelle. (Monnier, 2004).

Le radis est en réalité une plante rustique bisannuelle cultivée comme une plante annuelle. Sa culture est connue depuis l'antiquité en Chine et en Egypte. Chaque variété de radis est adaptée à une saison propre, ce qui permet une production étalée sur toute l'année. Il est cultivé pour sa racine pivotante, charnue, que l'on consomme crue comme légume. (Mappa, 2010).

Les radis préfèrent les endroits humides, ensoleillés ou à mi-ombre, Ils poussent vite, et leur chair devient piquante s'ils demeurent trop longtemps dans le sol. Il lui faut une certaine fraîcheur surtout en été, il redoute les fortes insulations. En été, lui réserver des emplacements ombragés, par contre, au printemps et en automne, préférer les situations plus chaudes En serre, éviter les températures supérieures à 15°C. Il pousse dans tous les sols mais de préférence humifères et limoneux. Semés dans un sol chaud et fertile, les radis se récoltent presque tout au long de l'année. (Pitrat et Foury., 2003)

Les variétés se différencient par la taille de leur racine et par leur époque de culture :

- Radis de tous les mois : rond, demi-long.
- Radis d'hiver : radis noir très allongé et assez volumineux.

Le radis est caractérisé par de petites racines renflées, rose vif et blanches, ou entièrement rouges, sphériques ou allongées, tige de 50-80 cm, dressée, creuse. (Messiaen et Messiaen-Pagotto, 2010).

Pour notre radis, c'est un radis de tous les mois rond, demi-long, rose, la récolte a lieu trois semaines après le semis.

• Classification de Cronquist (1981)

Règne :	Plantae
Sous règne :	Tracheobionta
Division :	Magnoliophyta
Classe :	Magnoliopsida
Sous-classe :	Dileniidae
Ordre :	Capparales(Brassicales)
Famille :	Brassicacée.
Genre :	Raphanus
Nom binominal :	<u>Raphanus sativus</u> L., 1753



Figure 22 : Schéma de la plante Raphanus sativus L. (Mappa, 2010).

1.4. Mises en place des essais:

➤ Les pots :

Nous avons utilisés 48 pots uniformes circulaires, en plastique, de capacité de 2.5 kg de forme circulaire, ayant une section de 550cm² et perforés à la base (4 points) pour permettre le drainage éventuel de l'eau d'arrosage qui serait excédentaire.

➤ Le dispositif expérimental :

Le dispositif expérimental adopté est un dispositif factoriel à deux facteurs non équilibrés.

Le 1^{er} facteur correspond au traitement (témoin et traité).

Le 2^{ème} facteur représente la profondeur avec trois niveaux

Profondeur 1 (Horizon 1)..... (0-10) cm

Profondeur 2 (Horizon2)..... (10-20) cm

Profondeur 3 (Horizon3)..... (20-30) cm

Pour chaque profondeur, comme le montre le tableau V, nous avons effectué trois répétitions fois pour les témoins et cinq répétitions pour les traités dans les deux essais. Le dispositif expérimental est représenté dans la figure suivante.



Figure 23 : Schéma du dispositif expérimental

➤ Le semis :

Pour le premier essai, le semis a été réalisé le 02/07/2012 c'est-à-dire environ 15 jours après l'épandage de l'herbicide, tandis que pour le deuxième essai, le semis a été fait le 29/12/2012, environ un mois après l'épandage de l'herbicide pour les échantillons de **Jimar**, et environ trois mois après l'épandage pour les échantillons **d'El-Kennar**.

Dans chaque pot contenant 2 kg de sol, on répartit 40 graines de radis à la surface, ensuite chaque graine est enfoncée de 2mm. On veut que le radis pousse en feuille mais pas en racine, dans le but

d'observer l'effet résiduel du glyphosate sur les feuilles. Les graines sont ensuite recouvertes d'une couche fine de terreau et arrosées.

Les essais sont montés dans un endroit bien aéré, ensoleillé dans la serre vitré du biopôle à Chaab Erssas à l'Université Constantine 1.

➤ **Conditions de l'essai :**

• **L'irrigation :**

Elle s'effectue manuellement trois fois par semaine pendant le matin à raison de 20ml d'eau dans chaque pot, le nombre d'arrosage est augmenté dès qu'il y'a un dessèchement de la surface du conteneur, dû à la chaleur élevée. Ce volume d'eau a été testé sur des échantillons à part dans le but d'éviter de provoquer le lessivage.

1.5. Le test de germination :

Pour tester la variabilité des graines de Raphanus sativus L retenues pour le test biologique, nous avons procédé à une germination préliminaire.

Dans 5 boîtes de Petri contenant un papier filtre imbibé d'eau distillé, nous avons étalé 125 graines de radis à raison de 25 graines par boîte dont nous avons suivi la germination.

1.6. L'analyse statistique :

Pour une meilleure exploitation des résultats nous avons procédé au calcul des moyennes, d'écart type et des matrices de corrélation. L'analyse statistique proprement dite est effectuée en faisant appel à l'analyse de la variance (Annova) et le test de (Student). Tous les calculs ont été effectués en utilisant le logiciel : Excel, Statistica (version 7).

***TROISIEME PARTIE :
RÉSULTATS ET DISCUSSION***

Afin de suivre l'effet de la rémanence de l'herbicide glyphosate sur notre plante-test, nous avons pris des photos après l'apparition des premières plantules (germination et levée), puis régulièrement chaque cinq jours.

Les manifestations de la toxicité du glyphosate relevées chez les plantules comprennent la chlorose puis la nécrose des feuilles, et d'autres signes comme le plissement et la malformation des feuilles, le flétrissement graduel ainsi qu'un jaunissement de la plante, ceci a été déjà décrit par les auteurs comme le montre la figure (4).

Les résultats dégagés de notre travail et relatifs aussi bien aux caractéristiques du sol, au premier essai (essai préliminaire) du test biologique, qu'au deuxième essai sont présentés, commentés et discutés dans ce qui suit :

1. PREMIER ESSAI

1.1. La serre 1 (une) de JIMAR

1.1.1. La germination

La levée constitue un premier diagnostic de réussite d'une culture. Une mauvaise levée peut avoir plusieurs causes liées soit à la conduite culturale (semis trop profond) soit aux conditions climatiques (température...) soit encore à l'effet des résidus d'un produit chimique.

Concernant le test de germination, les observations menées durant les 15 jours qui ont suivi le semis nous ont permis de relever les résultats regroupés dans le tableau VII ci-dessous :

Tableau VII : Les résultats du test de germination :

Numéros des boîtes	1 ^{ère}	2 ^{ème}	3 ^{ème}	4 ^{ème}	5 ^{ème}	Total	Moyenne	Pourcentage de germination
Nombre de graines germées	18	24	24	22	18	106	21.2	84.8 %

La germination de 40 graines sur sol témoin en pots dans le premier essai a donné un pourcentage de levée de 100%, c'est-à-dire :

$$40 \times 100 / 40 = 100\%$$

Tandis qu'au niveau du sol traité, le nombre le plus élevé est de 29 plantules. Soit un pourcentage de germination de :

$$29 \times 100 / 40 = 72.5\%.$$

Dans le tableau VIII nous présentons l'exemple détaillé des pourcentages de germination du premier essai obtenus dans la serre 1 de **Jimar** ainsi que leurs moyennes.

Dans le reste des résultats nous ne présenterons que les moyennes et les figures qui leurs correspondent ; les valeurs détaillés seront portées dans les annexes (page 114).

Tableau VIII: Les pourcentages de germination et leurs moyennes au niveau de la serre 1 de **Jimar** après 15 jours :

Serre 1											
		Témoin (hors serre) (%)				Traité (à l'intérieur de la serre) (%)					
		Profils			Moyenne ± écartype	Profils					Moyenne ± écartype
		I	II	III		I	II	III	IV	V	
Profondeurs (Horizons)	I	77.5	77.5	87.5	80.83±5.77	52.5	65	45	55	35	50.5±11.23
	II	47.5	80	100	75.83±26.49	45	65	42.5	60	52.5	53±9.58
	III	82.5	67.5	42.5	64.16±20.2	65	72.5	55	67.5	55	63±7.78

Les graines dans le sol témoin ont rapidement et massivement levé pour atteindre une moyenne de germination de 80.83 % en quinze jours. Par contre dans le sol traité, le pourcentage de germination est de 63%. Les graines ont levé à un rythme plus faible et en quantité moindre que pour le sol témoin, les pourcentages moyens de la germination des différentes profondeurs sont représentés dans la figure 24.

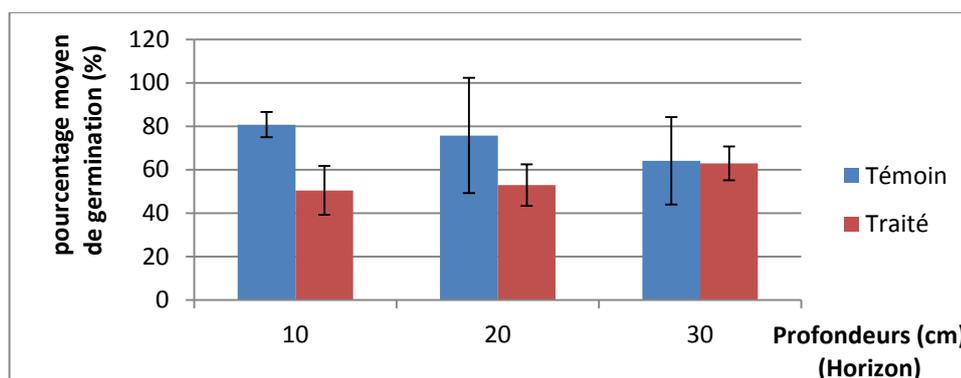


Figure 24 : Pourcentage moyen de germination au niveau de la serre 1 de **Jimar**

L'analyse de la variance n'a pas révélé de différence significative entre les différentes profondeurs aussi bien chez le témoin ($F=0.57, p=0.59$) que chez le traité ($F=2.35, p=0.13$).

Les résultats représentés dans la figure 24 et le test de Student ($t=-4.25, p=0.005$) ont montré une différence significative au niveau de l'horizon (0-10 cm) entre le sol témoin et le sol traité, mais n'ont pas montré de différence pour l'horizon (10-20 cm) ($t= -1.81, p=0.11$) et l'horizon (20-30 cm) ($t=-0.12, p=0.90$).

En comparant les résultats représentés dans la figure 24 avec le test de germination où nous avons trouvé un pourcentage de germination de **84.8%**, nous pouvons dire qu'il ya une diminution de levée au niveau du sol traité. Cela a été montré par le test de Student qui a révélé une différence significative au niveau des trois horizons respectivement : ($t=4.63, p=0.001$), ($t=4.59, p=0.001$) et ($t=3.38, p=0.009$).

1.1.2. Le nombre de plantules

Dans le tableau IX_i nous présenterons l'exemple détaillé des résultats bruts du premier essai obtenus dans la serre 1 (une) à **Jimar** ainsi que leurs moyennes et leurs photos (figure 25_i). Dans le reste des résultats nous ne présenterons que les moyennes et les figures qui leurs correspondent ; les valeurs brutes seront portées dans les annexes.

Tableau IX_i : Evaluation du nombre de plantules par profil et par horizon (serre 1 de Jimar) (figure 25_i)

Serre 1											
Témoin (hors serre)				Moyenne ± écartype	Traité (à l'intérieur de la serre)					Moyenne ± écartype	
Profils					Profils						
I	II	III	I		II	III	IV	V			

IX₁- Cinq (5) jours après la levée (figure 25₁)

Horizons	I	28	24	29	27± 2.64	19	25	13	19	13	17.8± 5.01
	II	22	27	35	28± 6.55	16	18	17	17	19	17.4± 1.14
	III	31	21	15	22.3± 8.08	21	19	13	24	6	16.6± 7.16

IX₂- Dix (10) jours après la levée (figure 25₂)

Horizons	I	29	31	33	31±2	21	27	17	23	14	20.4±5.07
	II	20	31	40	30.33±10.01	18	26	17	24	21	21.2±3.83
	III	32	27	17	25.33±7.63	26	27	22	27	22	20.8±2.58

IX₃- Quinze (15) jours après la levée (figure 25₃)

Horizons	I	31	31	35	32.33±2.30	21	26	18	22	14	20.2±4.5
	II	19	32	40	30.33±10.6	18	26	17	24	21	21.2±3.83
	III	33	27	17	25.66±8.08	26	29	22	27	22	25.2±3.11

IX₄- Vingt (20) jours après la levée (figure 25₄)

Horizons	I	31	31	35	32.33±2.30	21	26	17	21	13	19.6±4.87
	II	19	32	40	30.33±10.6	17	21	17	23	17	19±2.82
	III	32	27	14	24.33±9.30	25	29	19	27	22	24.4±3.97

IX₅- Vingt cinq (25) jours après la levée

Horizons	I	28	29	32	29.66±2.08	21	24	16	21	11	18.6±5.12
	II	16	31	39	28.66±11.67	17	16	17	22	16	17.6±2.50
	III	31	25	13	23±9.16	24	27	18	27	18	22.8±4.54

Figure 25₁ : Comportement des plantules par profil et par horizon



Figure 25₁ : Cinq (5) jours après la levée.



Figure 25₂ : Dix (10) jours après la levée



Figure 25₃ : Quinze (15) jours après la levée



Figure 25₄ : Vingt (20) jours après la levée

Les résultats du premier essai obtenus dans la serre 1 (une) de **Jimar** permettent de constater une augmentation du nombre de plantules levées pendant les quinze premiers jours aussi bien dans les profils témoins que dans les profils traités.

A partir de vingt jours, ce nombre a tendance à stagner ou même à diminuer dans les certains cas.

L'important de ces résultats est de voir un nombre plus faible de plantules levées dans les profils traités au glyphosate, ce qui peut s'expliquer par l'effet inhibiteur de l'herbicide sur la germination et la levée.

Nous avons observé la même tendance et presque les mêmes résultats au niveau des quatre serres. Les plantules de radis sont apparues tardivement sur le sol traité en comparaison avec le sol témoin. En plus, ces plantules étaient moins nombreuses au niveau du sol traité par rapport au sol témoin.

Les valeurs de l'horizon III sont voisines à 10, 15 et 20 jours après la levée, ce qui suggère l'absence de ce produit dans cet horizon.

Ces résultats sont représentés graphiquement dans les figures 26₁ (la levée), 26₂ (où le nombre de plantules atteint son maximum) et la figure 26₃ (où on arrête de compter les plantules), ces représentations sont répétées pour toutes les serres.

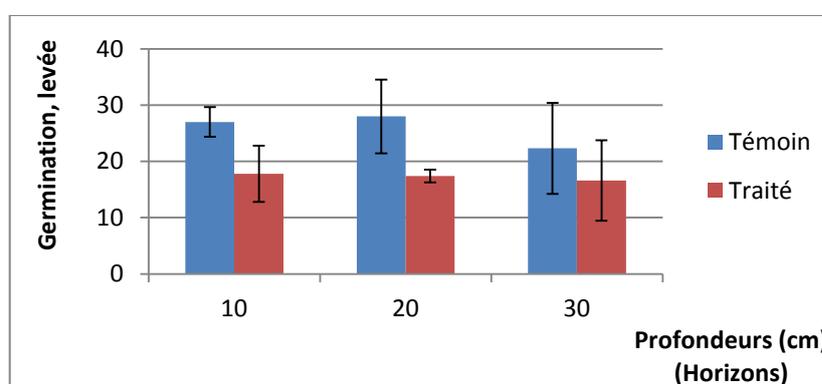


Figure 26₁: Nombre moyen de plantules (5 jours après la levée)

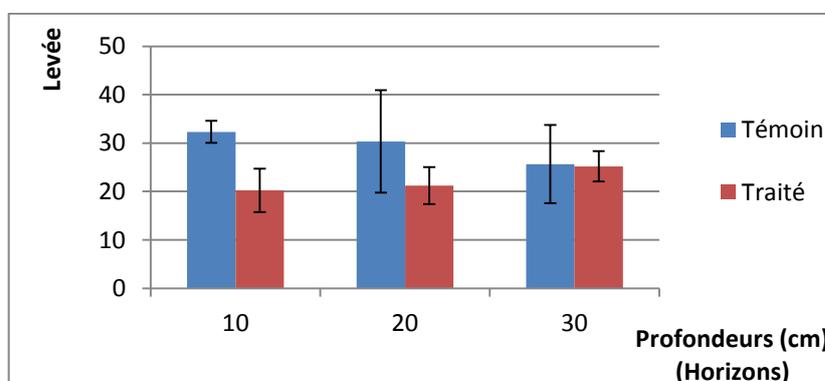


Figure 26₂: Nombre moyen de plantules (15 jours après la levée)

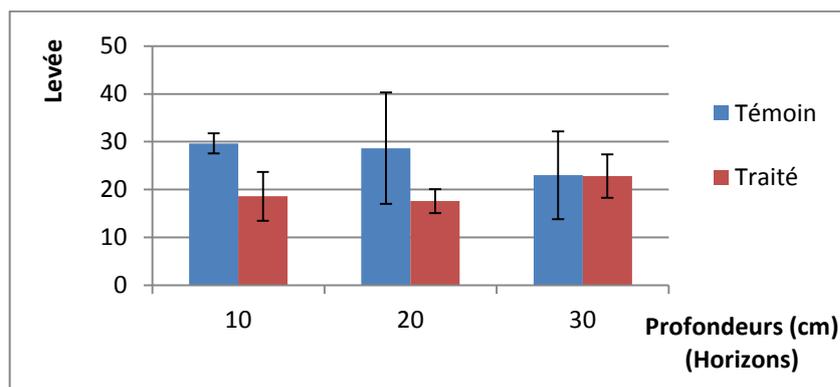


Figure 26₃: Nombre moyen de plantules (25 jours après la levée)

Concernant le nombre de plantules levées pour la première serre de **Jimar**, l'analyse de la variance n'a pas montré un effet horizon au niveau du sol témoin ($F=0.57$, $p=0,59$) ou au niveau du sol traité ($F=2.35$, $p=0,13$).

Au niveau de l'horizon superficiel 0-10 cm, le test de Student et les résultats représentés dans les figures (25₃, 26₂) ont montré que le nombre de plantules varie très significativement entre le sol témoin et le sol traité ($t=-4.25$, $p=0,005$), mais n'ont pas montré de différence significative au niveau de l'horizon (10-20cm) ($t=-1.81$, $p=0,11$) et l'horizon (20-30cm) ($t=-0.12$, $p=0,90$).

1.2. La serre 2 (deux) de JIMAR

1.2.1. La germination

Les pourcentages moyens de germination de la serre 2 (deux) de **Jimar** sont regroupés dans le tableau X. Alors que les détails sont portés en annexe I, tableau I.

Tableau X : pourcentages moyens de germination dans la serre 2 (deux) de JIMAR (après 15 jours)

Serre 2			
		moyenne± écartype chez le témoin	moyenne± écartype chez le traité
Profondeurs (Horizon) (cm)	0-10	90±6.61	54.5±21.6
	10-20	80.83±15.06	50±11.59
	20-30	85.83±15.06	51±11.8

Nous remarquons que les graines dans le sol témoin ont rapidement et massivement germé. Le pourcentage moyen de germination le plus élevé est de 90%. Tandis qu'au niveau du sol traité, le pourcentage moyen de germination le plus élevé dans l'horizon 0-10cm ne dépasse pas 54.5%. Ces résultats sont représentés graphiquement dans la figure 27.

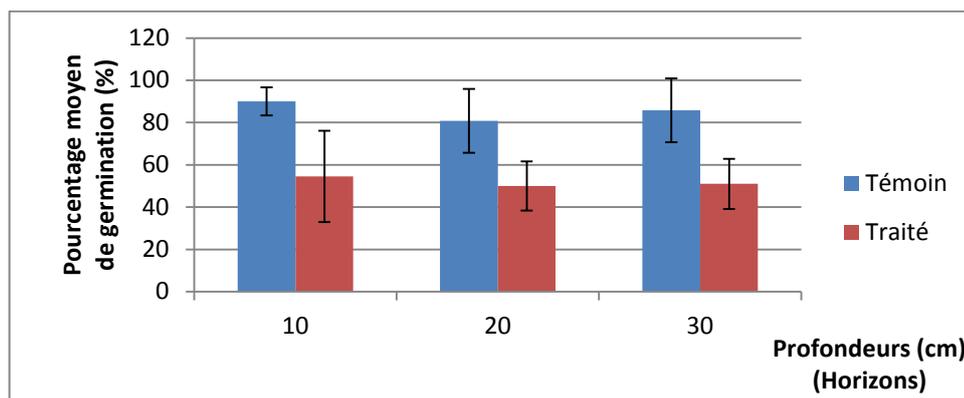


Figure 27: Le pourcentage moyen de germination au niveau de la serre 2 de **Jimar**

L'analyse de la variance n'a pas montré de différence significative entre les différentes profondeurs (horizons) aussi bien pour le sol témoin ($F=0.38$, $p=0.69$) que pour le sol traité ($F=0.11$, $p=0.89$).

La différence de moyenne entre les deux sols est significative au niveau des trois horizons comme le montre les résultats représentés dans la figure 27 et le test de Student (0-10 cm) ($t= -2.69$, $p=0.03$), (10-20cm) ($t=-3.28$, $p=0.01$) et (20-30cm) ($t=-3.67$, $p=0.01$). Donc, nous pouvons dire qu'il ya peut être un effet inhibiteur de l'herbicide sur la germination.

En comparant les résultats représentés dans la figure 27 avec le test de germination où le pourcentage de germination est de 84.8%, nous pouvons dire qu'il ya une diminution de levée au niveau du sol traité. Cela a été montré par le test de Student qui a révélé une différence significative au niveau des trois horizons respectivement : ($t=2.73$, $p=0.02$), ($t=4.63$, $p=0.001$) et ($t=4.46$, $p=0.002$).

1.2.2. Le nombre de plantules

Les résultats détaillés du nombre de plantules du premier essai obtenus dans la serre 2 (deux) de **Jimar** sont représentés dans l'annexe II, les moyennes et les figures qui leur correspondent sont portés dans le tableau XI_i et la figure 28_i.

Ces résultats permettent de constater une augmentation du nombre de plantules levées pendant les quinze premiers jours aussi bien dans les profils témoins que dans les profils traités. A partir de vingt jours, ce nombre à tendance à diminuer.

Les valeurs des horizons du sol traité sont différentes tout au long de l'expérimentation, ce qui suggère l'existence d'un effet herbicide.

Tableau XI₁ : Evaluation du nombre de plantules par profil et par horizon

XI₁- Cinq (05) jours après la levée (figure 28₁) :

moyenne ± écartype		chez le témoin	chez le traité
Horizons	I	26.33±3.21	18.2±8.46
	II	26.33±4.16	18.2±5.16
	III	21.33±6.65	15.4±4.72

XI₂- Dix (10) jours après la levée (figure 28₂) :

moyenne ± écartype		chez le témoin	chez le traité
Horizons	I	34.33±2.88	21.2±9.01
	II	32.33±6.02	19.6±4.15
	III	32.33±5.50	20±4.18

XI₃- Quinze (15) jours après la levée (figure 28₃) :

moyenne ± écartype		chez le témoin	chez le traité
Horizons	I	36±2.64	21.8±8.64
	II	32.33±6.02	20±4.63
	III	34.33±6.02	20.4±4.72

XI₄- Vingt (20) jours après la levée (figure 28₄) :

moyenne ± écartype		chez le témoin	chez le traité
Horizons	I	33	19.2±8.19
	II	32±7.81	18±5.43
	III	32.66±8.73	18.4±5.17

XI₅- Vingt cinq (25) jours après la levée (figure 28₅) :

moyenne ± écartype		chez le témoin	chez le traité
Horizons	I	33.66±2.88	18±7.51
	II	27.66±4.50	16.8±5.67
	III	30.66±8.02	17.6±4.82

Figure 28_i : Comportement des plantules par profil et par horizon



Figure 28₁ : Cinq jours après la levée



Figure 28₂ : Dix jours après la levée



Figure 28₃ : Quinze jours après la levée

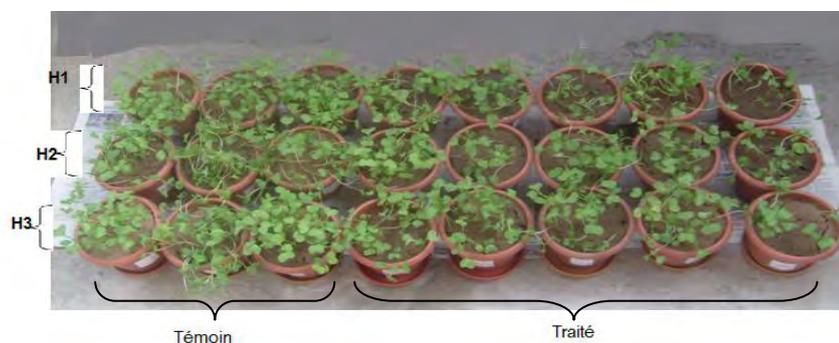


Figure 28₄ : Vingt jours après la levée

La représentation graphique des moyennes de ces résultats est illustrée dans les figures suivantes :

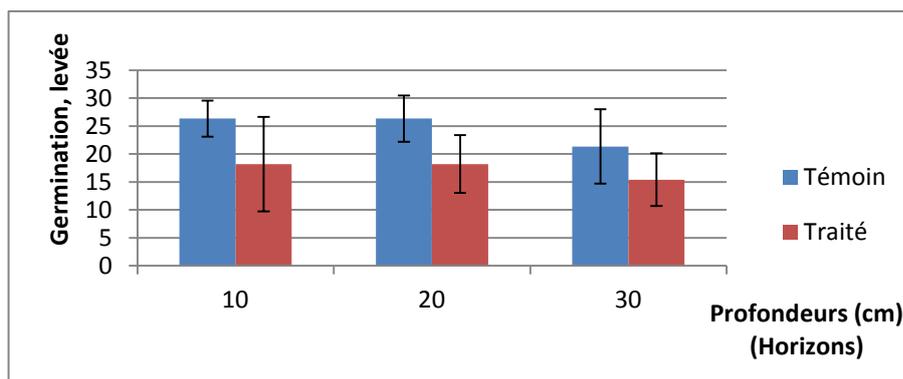


Figure 29₁ : Nombre moyen de plantules (5 jours après la levée)

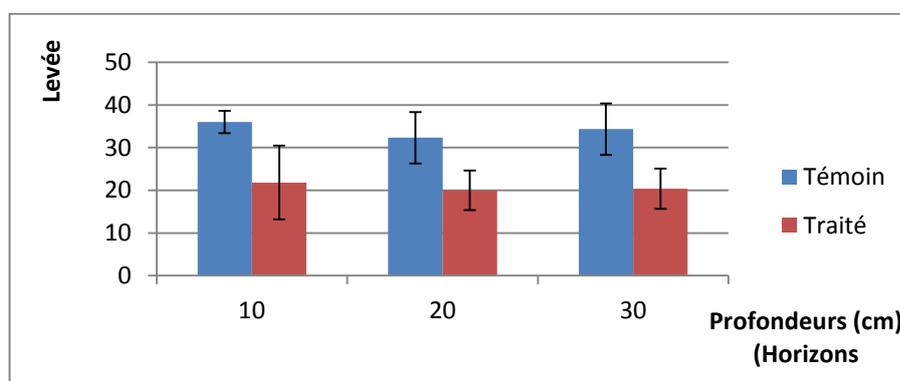


Figure 29₂ : Nombre moyen de plantules (15 jours après la levée)

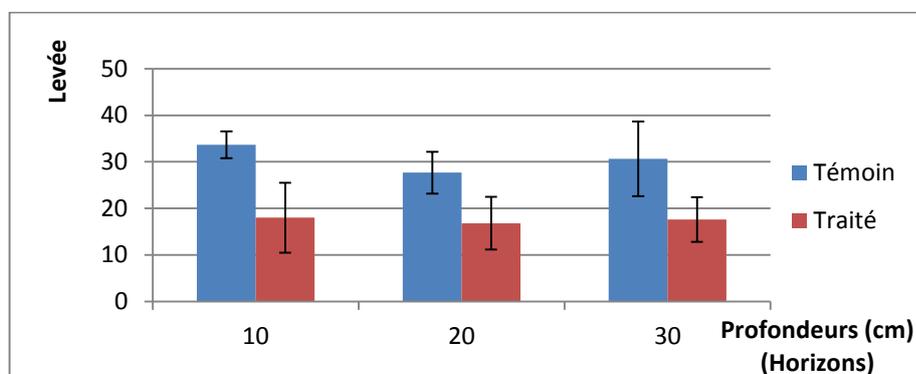


Figure 29₃ : Nombre moyen de plantules (25 jour après la levée)

Ces valeurs ne représentent pas de variations du point de vue horizon, ceci est mis en évidence par l'analyse de la variance qui ne montre aucun effet horizon au niveau du sol témoin ($F=0.38$, $p= 0,69$) et au niveau du sol traité ($F=0.11$, $p= 0,89$).

Tandis que l'analyse de Student et les résultats représentés dans les figures (28₃, 29₂) ont montré l'existence d'une différence significative du nombre de plantules entre le sol témoin et le sol traité au niveau des trois horizons : (0-10cm) ($t= - 2.69$, $p= 0,03$), (10-20cm) ($t= - 3.28$, $p= 0,01$) et (20-30cm) ($t= - 3.67$, $p= 0,01$), ce qui donc suggère la présence d'un effet inhibiteur du produit.

Les résultats d'étude du premier essai sont discutés ensemble en ce qui suit :

La présence d'herbicides peut nécessiter l'utilisation des analyses coûteuses. Les analyses peuvent dans certains cas donner des résultats négatifs sans exclure pour autant la présence d'herbicides dans la serre. De même, l'analyse chimique ne peut pas donner une idée sur l'effet de la rémanence d'un herbicide et la détection de résidus de glyphosate dans les sols ne signifie pas que ces résidus sont biodisponibles (actifs).

L'utilisation du test biologique est nécessaire pour vérifier s'il ya un effet résiduel sur les cultures suivantes. Les symptômes observés sont fonction de l'herbicide ou du groupe d'herbicides utilisé.

Les effets de phytotoxicité peuvent être observés à la levée de la culture, durant son développement, ou à la récolte. Ces effets peuvent être temporaires ou permanents. Les symptômes peuvent affecter la plante entière ou une partie seulement : racines, pousses, feuilles, fleurs, fruits. Ils doivent être décrits de façon précise (EPPO, 2011).

✓ La rémanence du glyphosate

D'après nos résultats, nous avons enregistré la levée des plantules au niveau des différents sols traités et cela malgré la durée réduite séparant l'épandage du produit du semis (15 jours), ce qui suggère que le glyphosate n'a pas eu d'action persistante dans le sol, Ceci concorde avec les résultats de Ragab *et al.*, (1985).

✓ Les symptômes sur la végétation

L'état de la végétation rapporté par les figures 25_i et 28_i des sols traités n'indique pas de différence dans le comportement des plantules et par la suite des plantes. On ne remarque pas de symptômes tels que le flétrissement et le jaunissement au autres apparents sur la végétation, ce qui concorde avec les résultats de Ragab *et al.*, (1985) ; Hopkins (2003).

Il convient de remarquer à ce niveau que les symptômes de toxicité sont peu évidents et rapportés par EPPO (2011) comme suit :

- Modification de cycle de développement (retard à la levée ou retard de croissance, ainsi que toutes les modifications phénologiques) ;
- Éclaircissage : en nombre de plantes par parcelle, par unité de surface ou par unité de longueur de rang, après la levée (par dénombrement ou estimation) ;
- Retard ou accélération au niveau des stades de développement ;
- Inhibitions ou stimulations : en nombre d'organes particuliers, en hauteur, longueur des pousses ;
- Modifications de couleur, nécrose, déformation, etc.

De même, on peut dire aussi que le nombre élevé de plantules par pot (40 graines par pot) peut influencer sur l'apparition des symptômes, car la dose de glyphosate sera dispersée entre les plantules s'agissant d'un volume réduit de sol. Ici, malgré que les agriculteurs utilisent beaucoup le glyphosate au niveau de **Jimar** (5ans) on n'a pas remarqué de symptômes comme le montre les figures (15 et 16) de Jeffrey (2011).

✓ **Le nombre de plantules**

D'après nos résultats, les graines ont d'abord germées à un rythme plus faible sur le sol traité que sur le sol témoin, ensuite (20-25) jours après le semis, le nombre de plantules vivantes a régressé.

Les dynamiques de levée des sols témoins et traités sont d'abord comparables. Puis, les plantules des sols traitées régressent au moment où celles des sols témoin se maintiennent d'une façon générale.

De même, pour le premier essai, le semis réalisé après 15 jours après l'épandage du glyphosate a donné une différence significative du nombre de plantules au niveau de l'horizon1 (un) (profondeur 0-10cm) au niveau de la serre une, et une différence significative remarquable au niveau des trois horizons (trois profondeur 0-10cm, 10-20cm et 20-30cm) dans la deuxième serre. Donc nous avons enregistré une diminution du nombre de plantules au niveau du sol traité par le glyphosate; cela concorde avec les résultats de Sanogo *et al.*, (2000) qui montrent que dans le cas du glyphosate qui est utilisé massivement, peut avoir des conséquences désastreuses pour l'agriculture, telles qu'une perte de la fertilité des sols, une baisse de la productivité des cultures et des produits récoltés qui sont moins nutritifs et cela à faible dose par rapport à d'autres herbicides.

On peut dire qu'il ya un effet de l'herbicide puisque on a semé dans un délai de 15 jours et le produit n'est pas encore dégradé suivant les résultats de Araùjo *et al.*, (2003) ; Al-Rajab et Schiavon, (2010) car le DT50 est de 43 jours.

2. DEUXIEME ESSAI

Le deuxième essai a porté sur deux serres, l'une à **Jimar** et l'autre à **El-Kennar**.

2.1. La serre 3 (trois) de JIMAR

2.1.1. Caractéristiques du sol expérimenté : les paramètres physico-chimiques

➤ La texture du sol

Les résultats obtenus peuvent être représentés sur le diagramme triangulaire des textures comme suit :

- Il faut porter sur les trois axes les pourcentages d'argile, de limons et de sables représentés dans l'annexe III₁, tableau I, page 117 ;
- Pour chacun des points ainsi trouvés, mener une parallèle à l'axe précédent selon le sens des aiguilles d'une montre (le sens des flèches) ;
- L'intersection de ces trois parallèles désigne la classe du sol, comme exemple, voici la texture de l'horizon 2 du profil 3 du sol témoin **TeP₃H₂** (figure 30):

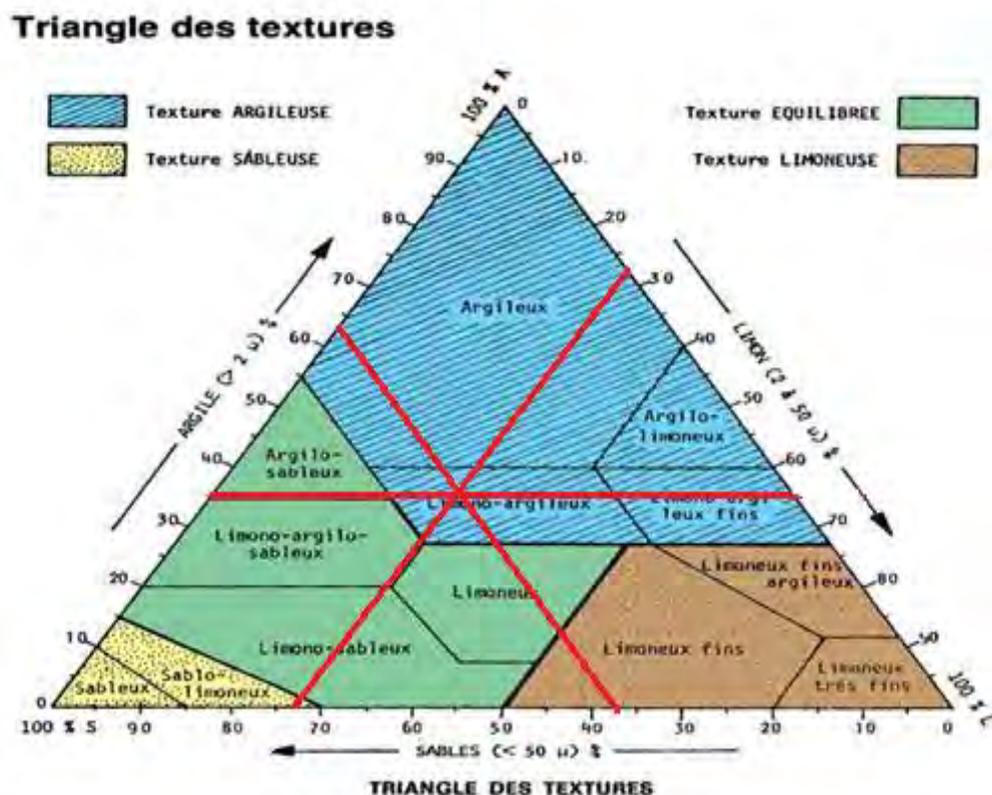


Figure 30 : La texture de sol de l'horizon **TeP₃H₂**

Tableau XII : Texture du sol des différents horizons de la serre 3 (trois) de **Jimar**

Jimar									
		Témoïn (Hors serre)			Traité (à l'intérieur de la serre)				
		Profils			Profils				
		I	II	III	I	II	III	IV	V
Profondeurs (Horizons)	I	Limono-argilo-sableux	Argileux	Limono-sableux	Limono-argilo-sableux	Limono-sableux	Limono-argilo-sableux	Limono-argilo-sableux	Limono-argilo-sableux
	II	Limono-argilo-sableux	Limono-argileux	Limono-argileux	Limono-argilo-sableux	Limono-sableux	Limono-sableux	Limono-argilo-sableux	Limono-sableux
	III	Limono-argilo-sableux	Limono-argilo-sableux	Limono-argilo-sableux	Limono-argilo-sableux	Limono-sableux	Limono-argilo-sableux	Limono-argileux	Limono-sableux

La plupart des horizons du sol de **Jimar** présente un sol limono-argilo-sableux avec présence parfois de sol limono-sableux, limono-argileux et rarement argileux.

La texture du sol est un paramètre très important dans la rémanence des herbicides, généralement le fabricant recommandera diverses concentrations de l'herbicide, selon la texture du sol (par exemple, une forte dose du produit dans un sol sablonneux peut entraîner des dommages à la culture suivante (Bernier, 2001).

D'après nos résultats, le sol n'est pas argileux, cela peut diminuer les possibilités de l'adsorption du glyphosate qui reste dans la solution du sol, ceci rejoint la conclusion de Pousset (2003), donc on peut dire que le glyphosate peut s'infiltrer et atteindre des horizons profonds, cela concorde avec les résultats de Domange (2005) qui montre des concentrations atteignant 90 pg l⁻¹ de glyphosate à une profondeur de 120 cm.

De même, on peut dire que le glyphosate n'est encore dégradé car le semis est pratiqué environ 30 jours après l'épandage du produit et cela concorde avec les résultats de Prata *et al.*, (2003) qui disent que La demi-vie de dissipation du glyphosate a des valeurs moyennes de 38 jours.

D'un autre côté, des études montrent que le glyphosate s'adsorbe rapidement sur tous les types du sol (Sprankle *et al.*, 1975), cette adsorption le rend inactif (Torstensson, 1985) mais provoque la chélation des micronutriments cela a un effet sur la production. (Sturny, 2012).

➤ **La matière organique :**

Les résultats bruts de la matière organique des différents horizons du sol témoin et traité sont regroupés dans le tableau II, annexe III₁. Ces résultats présentent des teneurs en matière organiques plus

ou moins variables d'un horizon à un autre. La plus forte teneur 1.88% a été observée au niveau du sol témoin, tandis que la plus faible teneur 0.31% a été enregistrée au niveau du sol traité.

Les valeurs moyennes de la matière organique dans les différents horizons étudiés sont portées dans l'Annexe III₂, Tableau I et représentées graphiquement dans la figure 31. Ces valeurs sont comprises entre (1.02±0.39 et 1.43±0.46) dans le sol témoin et entre (0.42±0.08 et 0.6±0.18) dans le sol traité.

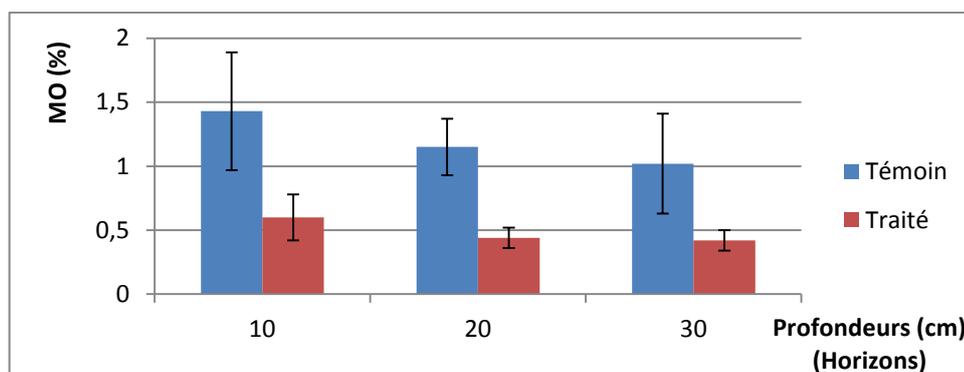


Figure 31: Variation des moyennes de la matière organique au niveau de la serre 3 de **Jimar**

D'après les normes d'interprétation de la matière organique citées dans l'annexe V, tableau I (Schafer, 1975), nous remarquons que les valeurs de la matière organique dans les horizons du sol témoin sont comprises entre (1 et 2%), donc elles sont classées parmi les sols pauvres en matière organique, tandis que les valeurs de la matière organique dans les horizons du sol traité sont inférieures à 1% donc considérés comme sol très pauvre.

Ces valeurs ne représentent pas de variations considérables du point de vue horizon, ceci est mis en évidence par l'analyse de la variance qui ne montre aucun effet horizon pour le sol témoin ($F= 0.95$, $p= 0,43$) ou pour le sol traité ($F= 2.97$, $p= 0,08$).

Au niveau de l'horizon 0-10 cm, le test de Student a montré une différence hautement significative ($t= - 3.72$, $p= 0,009$) entre le sol témoin et le sol traité pour la matière organique. De même, il ya une variabilité significative entre les moyennes du sol témoin et du sol traité pour l'horizon 10-20 cm ($t= - 6.75$, $p= 5,1509E^{-4}$) et l'horizon 20-30 cm entre le sol témoin et le sol traité ($t= - 3.44$, $p= 0,01$).

La matière organique joue un rôle important dans la rémanence des herbicides, la rémanence sera faible dans les sols riches en matière organique (Cheah *et al.*, 1997). En plus, le glyphosate est fortement adsorbé sur la plupart des types de sols par collage principalement sur la matière organique (Veiga *et al.*, 2001).

Nous avons enregistré au niveau du sol traité des teneurs faibles en matière organique, et donc il est possible que le glyphosate n'ait pas retenu par les sols étudiés et peut avoir un effet sur les plantules.

Mais, d'après les résultats on a enregistré une levée normal des plantules dans le sol traité, donc le glyphosate peut être s'infiltrer à cause du texture du sol.

De même, la matière organique joue un rôle dans la fertilité du sol (Gobat *et al.*, 2010), donc dans la production, et d'après les résultats, le pourcentage de la matière organique est significatif entre le sol témoin et le sol traité pour les trois horizons du sol.

Mais, d'après la matrice de corrélation de **Jimar** présenté au niveau de l'annexe IV, tableau I, il n'existe pas une corrélation entre le nombre de plantules et la matière organique. Donc, la matière organique n'a pas d'effet sur le nombre de plantules.

➤ Le pH eau :

Les résultats du pH sont exprimés en unités de pH à la température de 17°C et sont lus directement sur le cadran du pH-mètre à 0,01 unité.

Les valeurs brutes du pH obtenus au niveau du sol de la serre 3 de **Jimar** sont représentés dans l'annexe III₁, tableau III), ces valeurs varient entre un minimum de (7.03) et un maximum de (7.84) pour le sol témoin, et entre (6.34) et (7.14) pour le sol traité. Les valeurs moyennes sont portées dans l'annexe III₂, tableau II) et représentées graphiquement dans la figure 32.

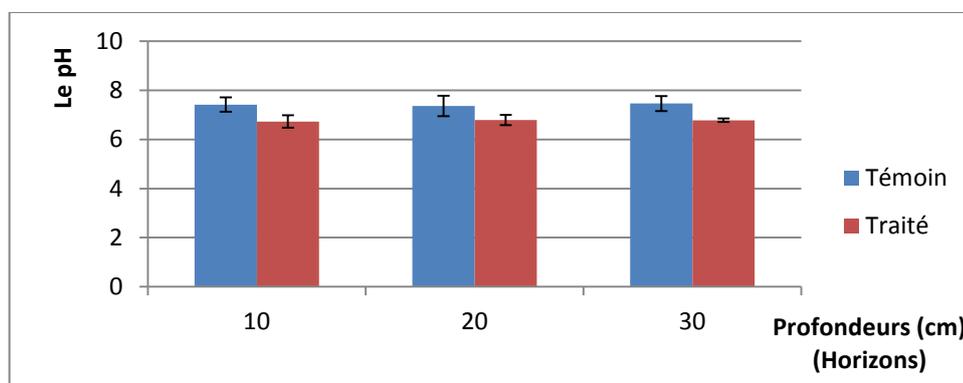


Figure 32: Variation des moyennes du pH au niveau de la serre 3 de **Jimar**

D'après ces résultats ci-dessus, les valeurs moyennes de pH sont comprises entre 7.36 ± 0.42 et 7.46 ± 0.31 dans le sol témoin. Et entre 6.73 ± 0.25 et 6.79 ± 0.21 dans le sol traité. En comparant ces résultats obtenus aux normes d'interprétation du pH du sol dans l'annexe V, tableau II, nous trouvons que le pH du sol témoin de **Jimar** est neutre à faiblement alcalin, tandis qu'il est neutre au niveau du sol traité.

L'examen de la figure 32 montre une légère variation de ces valeurs d'un horizon à l'autre. Dans ce sens, l'analyse de la variance ne montre aucun effet horizon significatif respectivement au niveau du sol témoin et du sol traité ($F= 0.06$, $p= 0,93$) ($F= 0.13$, $p= 0,87$).

Le test de Student montre que les valeurs de pH varient significativement au niveau de l'horizon (0-10cm) entre le sol témoin et le sol traité ($t = -3.54$, $p = 0,01$), même observation signalé respectivement au niveau de l'horizon (10-20cm) ($t = -2.59$, $p = 0,04$) et l'horizon (20-30cm) ($t = -4.84$, $p = 0,002$).

Le pH joue un rôle important dans la rémanence des herbicides, plus le pH sol est faible plus la rémanence des herbicides est grande (Hager et Nordby, 2007).

Le pH est un élément de grande importance car l'adsorption du glyphosate dans les sols dépend fortement du pH, et la rémanence dépend de l'adsorption, si l'herbicide s'adsorbe, il devient non rémanent. Le glyphosate est fortement adsorbé sur les sols, en particulier les sols à pH neutre ou acide. (Legris et Couture., 1989 ; Ndjeri-Ndjouhou, 2012). D'après les moyennes de pH des sols traités, le pH de notre sol est neutre, donc le glyphosate s'adsorbe et devient inactif cela confirme nos résultats où on a enregistré une levée des plantules de radis.

Il faut remarquer que la matrice de corrélation n'a pas montré une relation entre le pH du sol traité et la nombre de plantules levé.

➤ **La conductivité électrique (mS / cm) :**

Ici la conductivité a été mesuré à la température de 20°C, les valeurs mesurées de la conductivité électrique aux différents horizons sont représentées dans le l'annexe III₁, tableau IV).

Les valeurs moyennes de la conductivité électrique sont portées dans l'annexe III₂, tableau III et représentées graphiquement dans la figure 33. Elles donnent une aidée générale sur la salinité des échantillons.

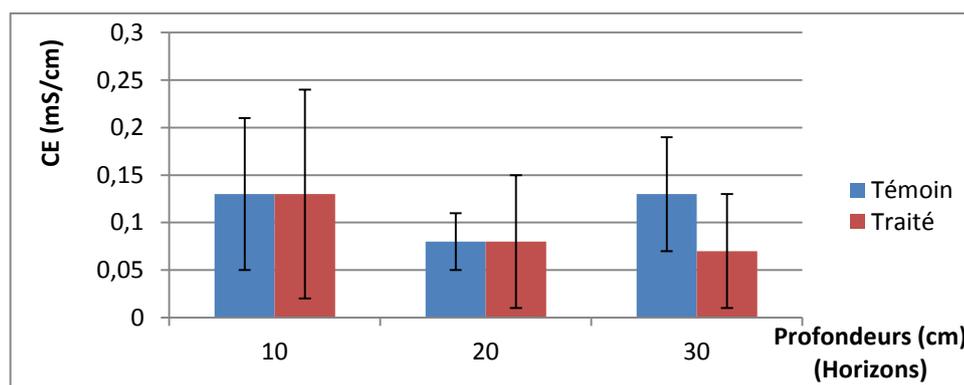


Figure 33 : Variation des moyennes de la conductivité au niveau de la serre 3 de **Jimar**

D'après l'histogramme, les valeurs de la CE sont comprises entre (0.08 ± 0.03) et (0.13 ± 0.08) au niveau du sol témoin et entre (0.07 ± 0.06) et (0.13 ± 0.11) au niveau du sol traité.

D'après l'échelle de la salinité des sols proposée par Gros (1979) qui est représenté dans l'annexe V, tableau III, nous remarquons que les valeurs de la conductivité électrique dans le sol de **Jimar** sont inférieures à 0.6 dS/m (ou 0.6mS/cm) donc classé parmi les sols non salés.

A travers ces résultats nous pouvons constater à première vue que les valeurs de la conductivité sont pratiquement homogène, ceci est confirmé statistiquement par l'analyse de la variance qui n'a pas montré un effet horizon au niveau du sol témoin ($F= 0.48$, $p= 0,63$) ou au niveau du sol traité ($F=0.67$, $p= 0,52$).

D'après les résultats représentés dans la figure 33 et le test de Student, il n'existe pas une différence significative entre les valeurs moyennes de la conductivité du sol témoin et celle de sol traité au niveau de l'horizon 0- 10 cm ($t = 0.02$, $p = 0,97$), de même au niveau de l'horizon 10-20 cm ($t = 0.02$, $p= 0,97$) et au niveau de l'horizon 0-30 cm ($t= - 1.30$, $p= 0,24$).

La conductivité électrique d'un échantillon de sol dépend de la quantité de sels en solution mais aussi de la température et de la teneur en eau (Gros, 1979), selon les normes, la conductivité inférieure à 0.6 mS /cm, ce qui signifie que notre sol n'est pas salé, donc favorise à la croissance des plantes, ce qui est montré par la matrice de corrélation qui a révélé l'existence d'une corrélation entre la conductivité électrique et le nombre de plantules.

➤ Le calcaire total (CaCO_3):

Les valeurs des teneurs en calcaire total dans le sol de **Jimar** sont représentées dans l'annexe III₁, tableau V).

Les valeurs moyennes du calcaire total dans le sol de différents horizons sont portées dans le tableau IV, annexe III₂ et représentées graphiquement par l'histogramme ci-dessous. Les valeurs enregistrées varient entre (0.11 ± 0.13 et 0.56 ± 0.9) au niveau du sol témoin et varient entre (0.03 ± 0.01 et 0.05 ± 0.03) au niveau du sol traité. Donc toutes ces valeurs sont inférieures à 1%, ce qui signifie que le sol de **Jimar** est non calcaire d'après Baize (1988) (annexe V, tableau IV).

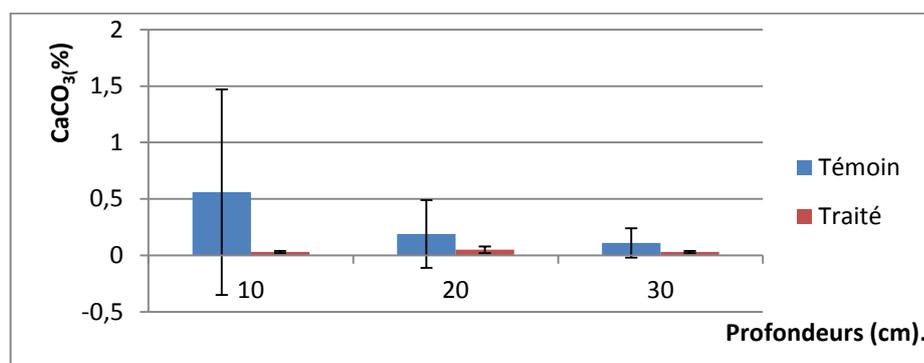


Figure 34 : Variation des moyennes du calcaire total au niveau de la serre de **Jimar**

L'analyse de variance n'a pas montré l'existence d'un effet horizon sur le taux du calcaire total que ce soit au niveau du sol témoin ($F= 0.55$, $p= 0,60$) ou au niveau du sol traité ($F= 0.93$, $p= 0,42$).

Le test de Student n'a pas révélé une différence significative entre les valeurs moyennes du calcaire total du sol témoin et celles du sol traité au niveau de premier horizon (profondeur 0-10cm) ($t= - 1.38$, $p= 0,21$), au niveau du deuxième horizon (profondeur 10-20cm) ($t= - 1.11$, $p= 0,30$) et au niveau du troisième horizon (profondeur 20-30cm) ($t= - 1.48$, $p= 0,18$).

Généralement le glyphosate se fixe dans tous les types du sol mais d'une façon plus ou moins différente. Suivant les études d'Al-Rajab et Schiavon., (2010) la disponibilité du glyphosate était plus élevé dans un sol argilo-limoneux puis dans un sol sableux et finalement dans un sol argilo-calcaire d'une façon moins inférieurs que les deux, de même, Mamy et Barriuso (2002) disent que l'adsorption du glyphosate diminue dans un sol calcaire. D'après les résultats, nos sols sont non calcaires, donc le glyphosate s'adsorbe et devient moins actif, ceci confirme nos résultats.

On doit signaler que la matrice de corrélation n'a pas montré une corrélation entre le nombre de plantules et le calcaire total.

➤ La capacité d'échange cationique :

Les résultats des mesures de la capacité d'échange cationique sont portés dans le tableau VI annexe III₁ et représentés graphiquement dans la figure 35.

Selon les normes d'interprétation pour la capacité d'échange cationique dans l'annexe V, tableau V), nous constatons que la capacité d'échange cationique est moyenne au niveau des horizons 0-10cm, 20-30cm, et faible au niveau de l'horizon 10-20 cm du sol témoin.

Tandis qu'au niveau du sol traité, elle est faible dans l'horizon 0-10 cm, moyenne dans l'horizon 10-20cm et élevée au niveau de l'horizon 20-30 cm du sol traité.

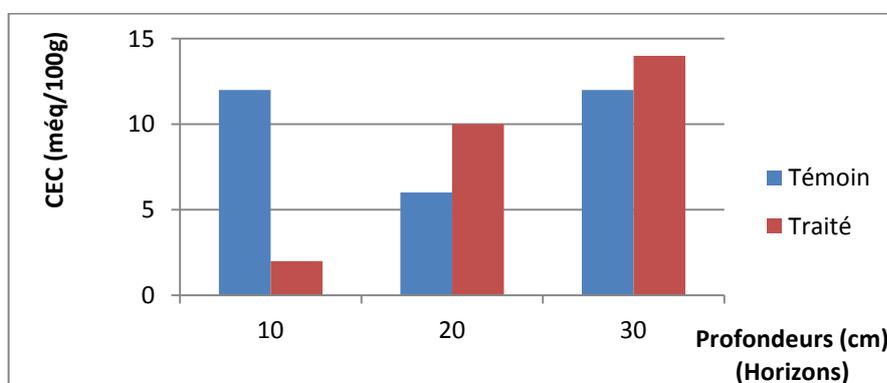


Figure 35 : Comparaison de la capacité d'échange cationique en fonction des horizons

Généralement la CEC est variée d'un sol à l'autre, elle est plus faible dans les textures sableuses, et plus élevée dans la texture argileuse. (Tremel-Schaub et Feix, 2005). En plus, le glyphosate est retenu facilement par les sols où la CEC est élevée selon Sorensen *et al.*, (2005)

Pour les résultats de **Jimar**, la CEC augmente en dirigeant vers les horizons profonds du sol traité, donc l'adsorption du glyphosate augmente en dirigeant vers la profondeur 20-30 cm, et donc aura inactif, ceci confirme nos résultats où on a enregistré une levée des plantules au niveau du sol traité.

2.1.2. La germination

Les pourcentages moyens de germination de la serre 3 de **Jimar** sont représentés dans le tableau XIII. Les détails sont portés en annexe I, tableau II.

Tableau XIII : Pourcentage moyen de germination de la serre 3 de **Jimar**

Serre 3			
		moyenne± écartype chez le témoin	moyenne± écartype chez le traité
Profondeur (cm) Horizons	I	63.33±8.03	42±21.96
	II	60.83±2.88	49.5±11.91
	III	50.83±2.88	30±10.75

Nous remarquons que les graines du sol traité sont moins germées par rapport à celles du sol témoin. Le pourcentage moyen de germination le plus élevé chez le témoin est de 63.33% au niveau de l'horizon 0-10 cm, tandis qu'au niveau du sol traité, le pourcentage moyen de germination le plus élevé est enregistré dans l'horizon 10-20 cm, il ne dépasse pas 49.5%. Ces résultats sont représentés graphiquement dans la figure suivante

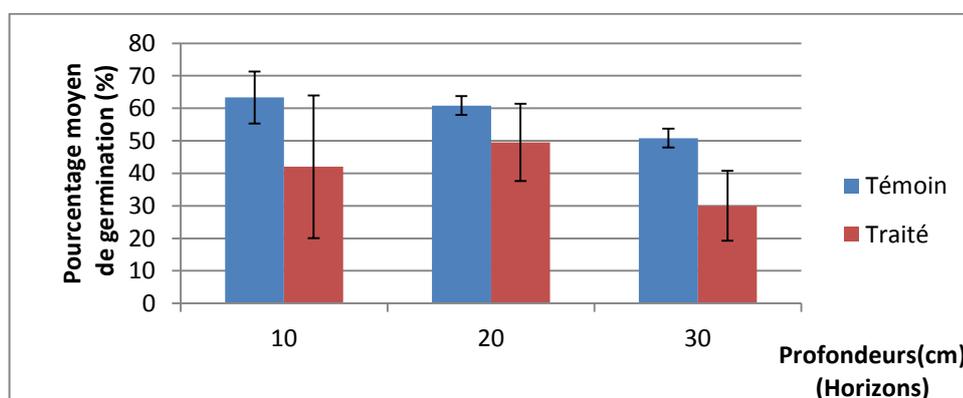


Figure 36 : Le pourcentage moyen de germination au niveau de la serre 3 trois de **Jimar**

Les résultats d'étude de la variance n'ont pas montré un effet horizon au niveau du sol témoin ($F=4.84$, $p=0.05$) ou au niveau du sol traité ($F=1.96$, $p=0.18$).

La différence de moyenne entre les deux sols est significative au niveau du troisième horizon comme le montre les résultats représentés dans la figure 36 et le test de Student avec ($t = -3.19$, $p = 0.01$), tandis qu'il n'y a pas une différence au niveau de l'horizon (0-10cm) ($t = -1.57$, $p = 0.16$) et l'horizon (10-20cm) ($t = 1.57$, $p = 0.16$).

En comparant ces résultats avec le test de germination qui a donné 84.8%, nous pouvons dire qu'il y a une diminution de levée au niveau du sol témoin avec une différence significative au niveau des trois horizons successifs ($t = 2.68$, $p = 0.03$), ($t = 3.26$, $p = 0.01$) et ($t = 4.63$, $p = 0.003$). De même au niveau du sol traité ($t = 3.81$, $p = 0.005$), ($t = 4.64$, $p = 0.001$) et ($t = 7.55$, $p = 6.55.E^{-5}$).

Le faible pourcentage de germination chez le témoin peut venir de l'effet du produit lors des inondations qui touchent de temps en temps la région sachant que les graines utilisés proviennent du même lot.

2.1.3. Le nombre de plantules

Les moyennes du nombre de plantule et les figures qui leur correspondent de la serre 3 de **Jimar** sont représentées dans le tableau XIV_i et les figures 37_i. Les détails sont portés en Annexe III₃.

Les résultats du deuxième essai obtenus dans la serre 3 de **Jimar** permettent de constater une augmentation du nombre de plantules levées pendant les vingt premiers jours aussi bien dans les profils témoins que dans les profils traités. A partir vingt cinq jours, ce nombre a tendance à stagner ou à diminuer dans les certains cas.

Nous remarquons ici l'enregistrement d'un retard de levée des plantules par rapport au premier essai, cela à cause des conditions météorologiques hivernales (diminution de la température). Tandis que, le premier essai a été fait pendant l'été où la température accélère la levée.

L'état de la végétation rapporté par la figure 37_i n'indique pas de différence dans le comportement des plantules et par la suite des plantes. On ne remarque pas de symptômes apparents sur la végétation.

A partir de l'âge de trente cinq jours, nous remarquons une croissance des feuilles des plantules au niveau du sol traité par rapport au sol témoin, cela peut être dû au nombre réduit des plantules dans le sol traité en comparaison avec le sol témoin.

Nous remarquons une diminution de plantules au niveau de tous les horizons du profil 1 (un) du sol traité et cela en comparaison avec les autres profils, cela peut être la cause d'une forte dose à ce profil par rapport aux autres profils, cela concorde avec les remarques de Bernier (2001).

Tableau XIV_i : Evaluation du nombre de plantules par profil et par horizon

XIV₁- Dix (10) jours après la levée (figure 37₁):

moyenne ± écartype		chez le témoin	chez le traité
Horizons	I	18±2.64	11.4±7.05
	II	16.66±1.15	10.6±3.43
	III	15±3	14.2±5.54

XIV₂- Quinze (15) jours après la levée (figure 37₂):

moyenne ± écartype		chez le témoin	chez le traité
Horizons	I	22±6.55	16.4±8.08
	II	23.33±1.52	18.4±4.82
	III	19±1	11.4±3.64

XIV₃- Vingt (20) jours après la levée (figure 37₃):

moyenne ± écartype		chez le témoin	chez le traité
Horizons	I	25.33±3.21	16.8±8.78
	II	24.33±1.15	19.8±4.76
	III	20.33±1.15	12±4.30

XIV₄- Vingt cinq (25) jours après la levée (figure 37₄):

moyenne ± écartype		chez le témoin	chez le traité
Horizons	I	22±6	16.4±8.38
	II	24.33±1.15	19.2±4.76
	III	20.33±1.15	13±4.63

Figure 37_i : Comportement des plantules par profil et par horizon



Figure 37₁ : Dix jours après la levée



Figure 37₂ : Quinze jours après la levée



Figure 37₃ : Vingt jours après la levée



Figure 37₄ : Vingt cinq jours après la levée

XIV₅- Trente(30) jours après la levée
(figure 37₅):

moyenne ± écartype		chez le témoin	chez le traité
Horizons	I	22.33±4.16	15.6±8.04
	II	21.66±2.30	17.8±4.14
	III	19±1.73	11±2.91



Figure 37₅ : Trente jours après la levée

XIV₆- Trente cinq(35) jours après la levée
(figure 37₆):

moyenne ± écartype		chez le témoin	chez le traité
Horizons	I	21.66±5.03	15.2±7.66
	II	21.66±2.30	17.6±4.03
	III	18.33±2.30	10.6±2.96



Figure 37₆: Trente cinq jours après la levée

XIV₇- Quarante (40) jours après la levée
(figure 37₇) :

moyenne ± écartype		chez le témoin	chez le traité
Horizons	I	21.66±5.03	15.2±7.66
	II	21.66±2.30	17.4±3.97
	III	18±1.73	10.6±2.96



Figure 37₇ : Quarante jours après la levée

XIV₈- Quarante cinq(45) jours après
la levée (figure 37₈):

moyenne ± écartype		chez le témoin	chez le traité
Horizons	I	21.66±5.03	15±7.44
	II	21.66±2.30	17.4±3.97
	III	17.66±1.15	10.6±2.96



Figure 37₈ : Quarante cinq après la levée

Les valeurs moyennes sont représentées graphiquement dans les figures suivantes :

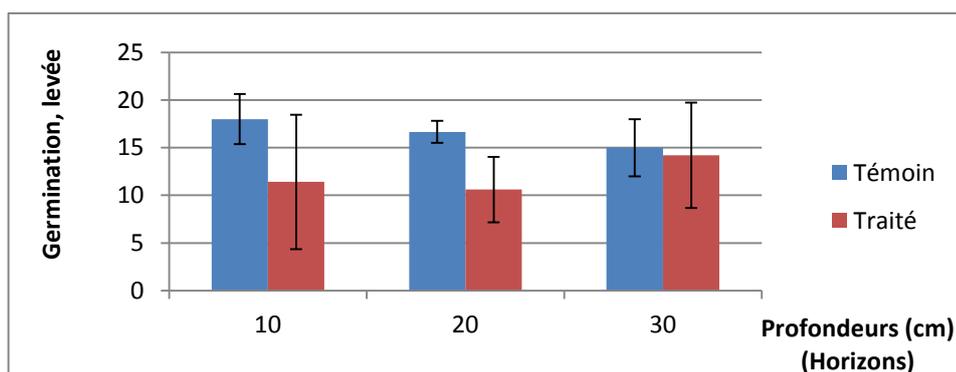


Figure 38₁ : Nombre moyen de plantules (10 jours après la levée)

L'âge des plantes pendant laquelle, le nombre de plante atteint son maximum est l'âge de 20 jours. Cela est représenté par la figure 38₂.

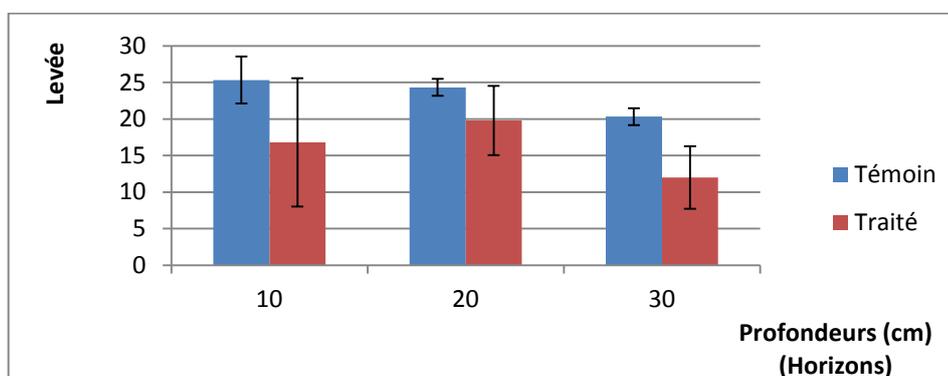


Figure 38₂ : Nombre moyen de plantules (20 jours après la levée)

Pour ce qui est des horizons (différents profondeurs), les valeurs moyennes obtenues au niveau du sol témoin et au niveau du sol traité respectivement n'autorisent pas de dégager une quelconque différence ($F= 4.84, p= 0,05$) ($F= 1.96, p= 0,18$).

D'après les résultats portés dans les figures (37₃, 38₂) et le test de Student, il n'existe pas une variabilité de nombre de plantules au niveau de l'horizon H1, H2 successivement entre le sol témoin et le sol traité ($t= - 1.57, p= 0,16$) ($t= -1.57, p= 0,16$). Tandis que, le nombre de plante varie entre le sol témoin et le sol traité au niveau du troisième horizon 20 – 30 cm ($t= 10.19, p= 0,01$). Ce qui peut s'expliquer par l'effet inhibiteur de l'herbicide à ce niveau.

Le suivi de l'évolution des plantules de radis continue jusqu'à l'âge de 45 jours, il est représenté dans la figure 38₃.

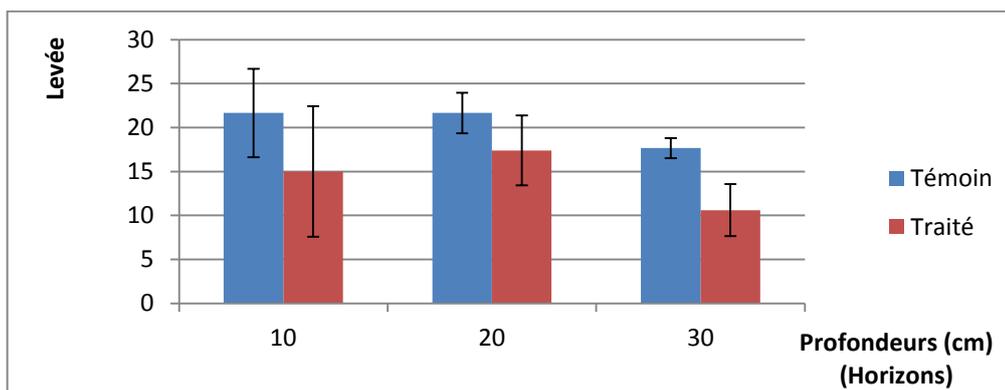


Figure 38₃ : Nombre moyen de plantules (45 jours après la levée)

Au niveau du troisième serre où on a semé un mois après l'épandage de glyphosate, on a enregistré une différence significative pour le nombre de plantules au niveau seulement du troisième horizon 20-30 cm ce qui peut s'expliquer par l'effet inhibiteur de glyphosate qui s'infiltré.

2.2. La serre 4 (quatre) d'EL-KENNAR :

2.2.1. Caractéristiques du sol expérimenté : les paramètres physico-chimiques :

➤ La texture du sol :

Les résultats sont représentés dans le tableau I, annexe IV₁. De la même façon, en utilisant le diagramme triangulaire, nous pouvons connaître la texture des différents horizons du sol d'El-Kennar. Comme exemple, voici la texture du sol du témoin profil 1(un) horizon 1(un) (TeP₁H₁) représenté dans la figure 39.

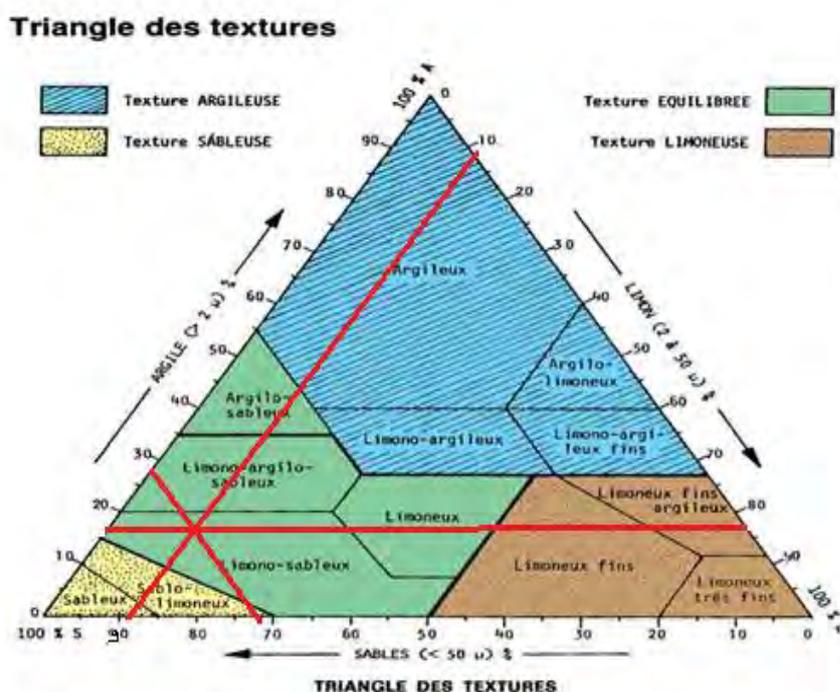


Figure 39 : la texture du sol de l'horizon TeP₁H₁.

Tableau XV : Texture du sol des différents horizons de la serre 4 (quatre) **d’El-Kennar**

Serre 4									
		Témoin (Hors serre)			Traité (à l’intérieur de la serre)				
		Profils			Profils				
		I	II	III	I	II	III	IV	V
Horizons	I	Limono-sableux	Limono-argilo-sableux	Limono-argilo-sableux	Limono-sableux	Limono-sableux	Limono-sableux	Limono-sableux	Limono-argilo-sableux
	II	Limono-argilo-sableux	Limono-sableux	Limoneux	Limono-sableux	Limono-sableux	Limono-sableux	Limono-sableux	Limono-argilo-sableux
	III	Limono-sableux	Limono-sableux	Limono-argilo-sableux	Limono-sableux	Limono-sableux	Limono-sableux	Limono-argilo-sableux	Limono-argilo-sableux

La plupart des horizons présente une texture limono-sableux avec présence parfois de sol limono-argilo-sableux et une texture limoneux au niveau de l’horizon 2 du profil III du sol témoin.

Suivant les résultats de Smith et Aubin (1993) dans un sol limono-sableux, le glyphosate est minéralisé dans 90 jours, donc on peut dire que le glyphosate a été dégradé puisque nous avons semé dans un délai de 90 jours après l’épandage du produit. Mais le glyphosate peut s’adsorber également sur tous les types du sol et s’il y a adition d’engrais phosphatés le glyphosate peut être désorber et redevenu actif, cela concorde avec les résultats de Jeffrey (2011).

Concernant le nombre de plantules, nous avons trouvé une différence significative au niveau de l’horizon 2 (10-20 cm) qui correspond à des sols limono-sableux et sol limono-argilo-sableux.

➤ **La matière organique :**

Les valeurs de la matière organique mesurées aux différents horizons pour la serre située au niveau **d’El-Kennar** sont représentées dans l’annexe IV₁, tableau II. La plus forte teneur 2.58% a été observée au niveau du sol témoin, tandis que la plus faible teneur 0.57% est celle observé au niveau du sol traité.

Les valeurs moyennes de la matière organique sont représentées dans l’annexe IV₂, tableau I et graphiquement dans la figure 40, ces valeurs sont comprises entre (0.81±0.29 - 2.38±0.25) au niveau du sol témoin et allant de (0.68±0.06) à (0.79±0.08) au niveau du sol traité. En comparant les résultats obtenus aux normes représentés dans annexe V, tableau I, nous remarquons que les valeurs de la matière organique diminuent en profondeur et donc nous pouvons dire que le sol témoin est moyen en matière organique au niveau de l’horizon 0-10 cm et s’appauvrit en dirigeant vers l’horizon 20-30cm. Tandis que

les valeurs de la matière organique au niveau du sol traité sont inférieures à 1% donc, le sol est considéré très pauvre en matière organique.

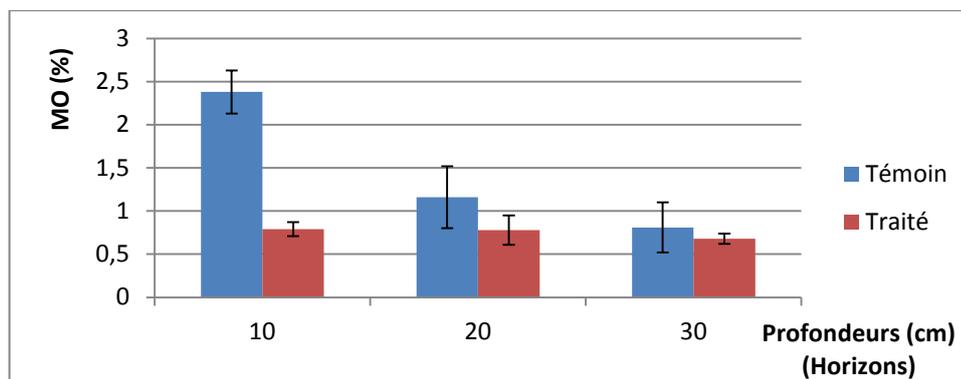


Figure 40 : Variation des moyennes de la matière organique au niveau de la serre 4 d'El-kennar

D'après les résultats représentés dans la figure 40 et l'analyse de la variance, les teneurs en matière organique varient d'une façon hautement significative d'un horizon à l'autre au niveau du sol témoin ($F= 21.25$, $p= 0,001$). Mais au niveau du sol traité, l'analyse de la variance n'a pas enregistré une différence significative entre les horizons ($F= 1.61$, $p= 0,23$).

Selon le test de Student, les teneurs en matière organique au niveau de l'horizon 1 (0-10 cm) entre le sol témoin et le sol traité varient d'une façon très significative ($t= - 13.38$, $p= 1,07451E^{-5}$).

Mais il n'y a aucune différence de teneur en matière organique au niveau de l'horizon H2 et H3 entre le sol témoin et le sol traité ($t= - 2.03$, $p= 0,08$) ($t= -1.04$, $p= 0,33$).

On a obtenu presque les mêmes résultats enregistrés au niveau du sol de **jimar**, le sol **d'El-kennar** est très pauvre en matière organique pour le sol traité, donc le glyphosate peut s'infiltrer.

On doit signaler également qu'il n'y a pas une corrélation entre la matière organique et le nombre de plantules enregistré au niveau du sol traité, et cela d'après la matrice de corrélation représenté dans le tableau II, annexe VI.

➤ Le pH eau:

Les valeurs de pH mesurées aux différents horizons pour la serre situé au niveau **d'El-Kennar** sont représentées dans l'annexe IV₁, tableau III.

Les moyennes des horizons H1, H2 et H3 du sol témoin et traité sont représentés dans l'annexe IV₂, tableau II et graphiquement dans la figure 41, ces valeurs s'échelonnent entre (6.82 ± 0.44 et 7.07 ± 0.39) au niveau du sol témoin et entre (7.08 ± 0.71 et 7.15 ± 0.63) au niveau du sol traité. Et selon les normes d'interprétation du pH-eau du sol, cité par Clech (2000) représenté dans l'annexe V, tableau II, le pH du sol **d'El-Kennar** est neutre.

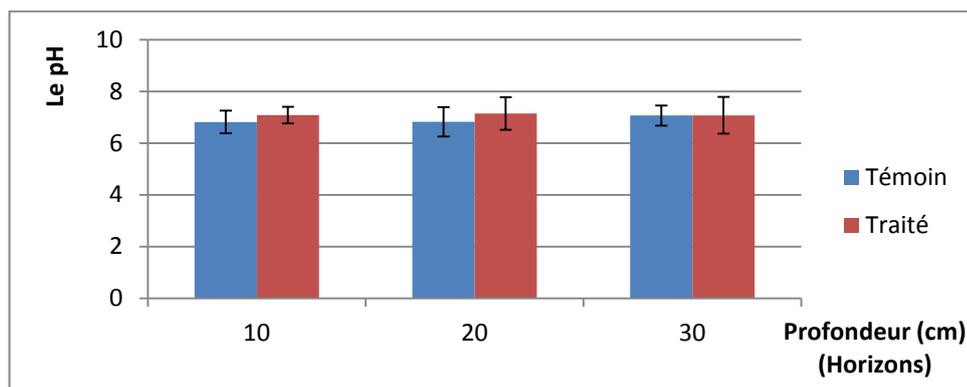


Figure 41: Variation des moyennes de pH en fonction des horizons au niveau de la serre 4 d'El-Kennar.

D'une manière générale, les valeurs moyennes de pH présentent une faible différence d'un horizon à l'autre, ce qui est bien vérifié par l'analyse de la variance qui a montré l'absence d'un effet horizon aussi bien chez le témoin ($F= 0.27, p = 0,76$) que chez le traité ($F= 0.01, p= 0,98$).

L'analyse de Student n'a pas révélé une différence significative de pH entre le sol témoin et le sol traité pour chaque horizon (H1, H2 et H3) comme le montre respectivement les valeurs suivantes ($t= 1,02, p= 0,34$), ($t= 0.70, p= 0,50$) et ($t= 0.01, p= 0,99$).

D'après la matrice de corrélation **d'El-Kennar**, il ya un effet du pH sur le nombre de plantules, parce que, le pH de nos sols est neutre, donc le glyphosate s'adsorbe et devient inactif favorisant la croissance des plantules.

➤ La conductivité :

Les valeurs mesurées de la conductivité électrique aux différents horizons au niveau du sol **d'El-Kennar** sont représentés dans le (tableau IV annexe IV₁).

Les valeurs moyennes de la conductivité sont représentées dans l'annexe IV₁, tableau III et graphiquement dans la figure 42, ces valeurs sont comprises entre (0.05 ± 0.02 et 0.06 ± 0.03) au niveau du sol témoin, et entre (0.13 ± 0.04 et 0.38 ± 0.33), en comparant ces valeurs avec les normes d'interprétation de la conductivité électrique représentées dans l'annexe V, tableau III, nous remarquons que le sol **d'El-Kennar** est comme le sol de **Jimar** non salé.

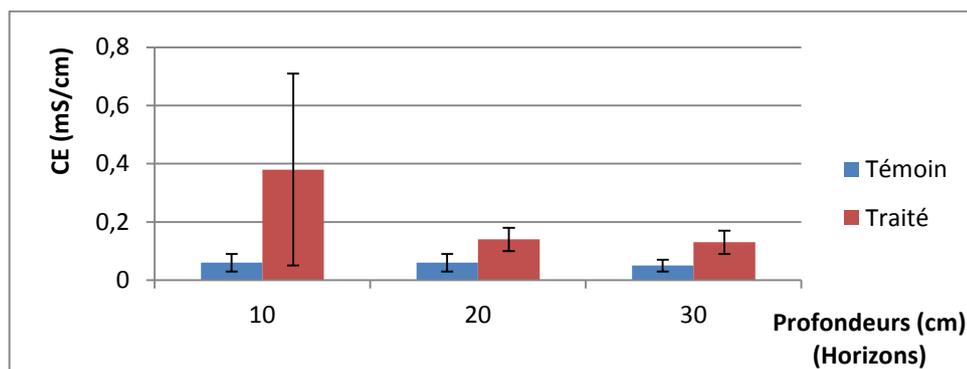


Figure 42 : Variation des moyennes de la conductivité électrique au niveau de la serre **d’El-Kennar**

Selon les résultats représentés dans la figure 42 et l’analyse de la variance ($F= 0.24$, $p= 0,79$), ($F= 2.42$, $p= 0,13$), les valeurs moyennes de la conductivité ne diffèrent pas d’un horizon à l’autre (H1, H2 et H3) au niveau du sol témoin et au niveau du sol traité respectivement.

Le test de Student, ($t=1.56$, $p= 0,16$) ne révèle pas une différence significative de la conductivité au niveau de l’horizon 0-10 cm entre le sol témoin et le sol traité, mais il y a une différence nettement significative entre le sol témoin et le sol traité au niveau de l’horizon 10-20 cm et l’horizon 20-30 cm respectivement ($t= 2.64$, $p= 0,03$), ($t= 3.12$, $p= 0,02$).

De même, la matrice de corrélation représentée dans le tableau II, annexe VI, ne révèle pas une relation entre le nombre de plantules et la conductivité électrique du sol traité.

➤ **Le calcaire total :**

Les résultats obtenus des teneurs de CaCO_3 dans les différents horizons de la serre **d’El-Kennar** sont représentés dans l’annexe IV₁, tableau V, avec enregistrement d’une valeur élevée au niveau de l’horizon 3 du profil 5 : (2.03 %).

Les valeurs moyennes des teneurs en calcaire total sont représentées dans l’annexe IV₂, tableau IV et graphiquement dans la figure 43, ces valeurs sont comprises entre (0.03 ± 0.03 et 0.04) et entre (0.35 ± 0.59 et 0.44 ± 0.88).

En comparant ces valeurs à celles signalées par Baise (1988) (annexe V, tableau IV), nous constatons que le sol **d’El-Kennar** est considéré comme sol non calcaire.

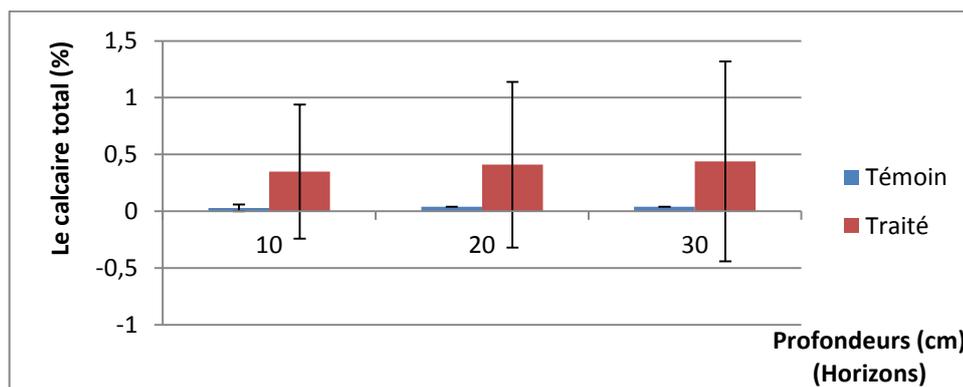


Figure 43 : Variation des moyennes du calcaire total au niveau de la serre d'El-Kennar

Selon les résultats représentés dans la figure 43 et l'analyse de la variance, les valeurs moyennes des différents profondeurs du sol témoin ne révèlent pas une différence significative ($F=0.14$, $p=0,86$).

De même au niveau du sol traité, l'analyse de la variance ($F=0.02$, $p=0,97$) ne présente pas une différence entre les différentes profondeurs, cependant, nous observons une légère augmentation du calcaire total au niveau des horizons du profil 5 du sol traité, ceci peut justifier les résultats du sol traité représenté dans la figure 43.

Le test de Student n'a pas montré une variabilité des moyennes de calcaire total entre le sol témoin et le sol traité et cela pour tous les horizons 0-10 cm ($t=0.88$, $p=0,40$), l'horizon 10-20 cm ($t=0.85$, $p=0,42$) et l'horizon 20-30 cm ($t=0.76$, $p=0,47$).

La matrice de corrélation représentée dans le tableau II, annexe VI ne montre pas une relation entre le nombre de plantules et le calcaire total.

➤ La capacité d'échange cationique :

Les résultats des mesures de la capacité d'échange cationique sont portés dans l'annexe IV₁, tableau VI et représentés graphiquement dans la figure 44.

Selon les normes d'interprétation pour la capacité d'échange cationique dans l'annexe V, tableau V, nous constatons que la capacité d'échange cationique est élevée au niveau de l'horizon 0-10cm du sol témoin, elle est moyenne au niveau de l'horizon 20-30cm du sol témoin et les horizons 0-10cm, 20-30cm du sol traité (à l'intérieur de la serre), alors qu'elle est faible au niveau de l'horizon 10-20cm du sol témoin et du sol traité.

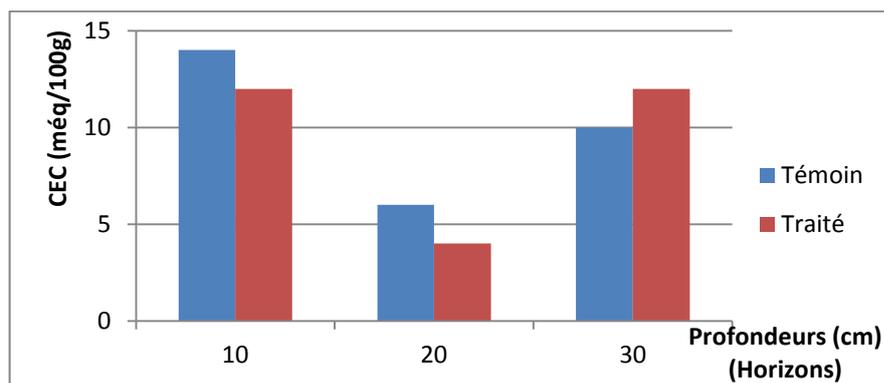


Figure 44 : Comparaison des valeurs de la capacité d'échange cationique en fonction de l'horizon.

Selon Sorensen *et al.*, (2005), le glyphosate est retenu facilement par les sols riches en ions échangeables tels que le Fe^{++} , Al^{+++} et Cu^{++} . D'après les résultats obtenus de la serre **d'El-Kennar**, la CEC est élevée au niveau de l'horizon 0-10cm, moyenne au niveau de l'horizon 20-30cm ce qui signifie que le glyphosate est retenu au niveau de ces horizons, mais très faible au niveau de l'horizon 10-20cm, ce qui confirme nos résultats, on a enregistré un nombre faible de plante au niveau de l'horizon 10-20 cm.

2.2.2. La germination :

Les moyennes de pourcentages de germination de la serre 4 **d'El-Kennar** sont représentées dans le tableau XVI Les détails sont portés en annexe I, tableau III.

Tableau XVI : Les moyennes de pourcentage de germination de la serre 4 **d'El-Kennar**

Serre 4			
		moyenne± écartype chez le témoin	moyenne± écartype chez le traité
Horizons	I	65.83±10.4	52±15.04
	II	58.33±5.2	42.5±8.83
	III	51.66±17.55	49±16.54

Comme pour les serres précédentes, En comparant avec le test de germination où, nous avons trouvés un pourcentage de 84.8%, nous pouvons dire qu'il ya une diminution de levée au niveau du sol traité.

Nous remarquons les mêmes résultats que les serres précédentes, les graines du sol traité étant moins germées que celles du sol témoin. La moyenne de pourcentage de germination le plus élevé atteint 65.83% Au niveau de l'horizon 0-10cm, tandis qu'au niveau du sol traité, la moyenne de pourcentage de germination le plus élevé était au niveau de l'horizon 20-30 cm avec 49%. Ces résultats sont représentés graphiquement dans la figure 45.

L'analyse statistique de la variance n'a pas montré une variation de pourcentage de germination d'un horizon à un autre au niveau du sol témoin ($F=1.01$, $p=0.41$) ou au niveau du sol traité ($F=0.61$, $p=0.55$).

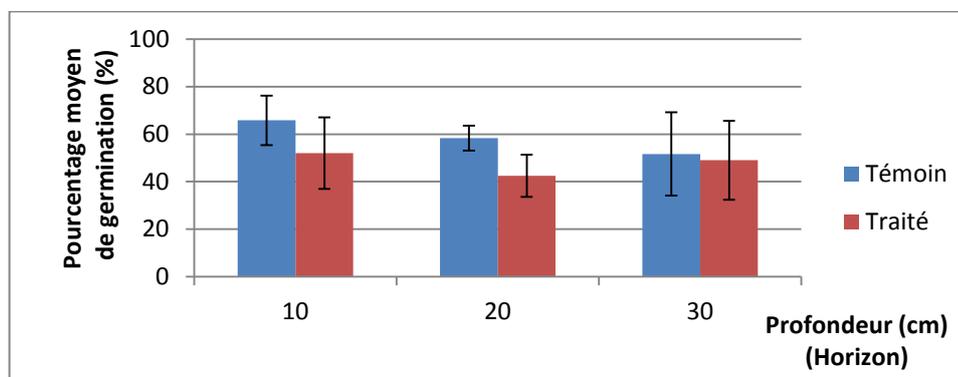


Figure 45 : Le pourcentage de germination au niveau de la serre 4 d'El-Kennar

Il y'a une différence significative entre les moyennes de pourcentage de germination des sols témoins et traités au niveau de l'horizon 10-20cm, cela est vérifié par le test de Student ($t= - 2.77$, $p=0.03$), où ce n'est pas le cas au niveau de l'horizon 0-10cm avec ($t= - 1.38$, $p=0.21$) et l'horizon 20-30cm ($t= -0.21$, $p=0.83$).

En comparant avec le pourcentage du test de germination, nous trouvons qu'il y'a une différence significative au niveau des trois horizons successives pour le sol traité : ($t=3.79$, $p=0.005$), ($t=6.30$, $p=2.32.E^{-4}$) et ($t=3.90$, $p=0.004$). De même pour le sol témoin, au niveau de l'horizon 10-20cm ($t=3.50$, $p=0.01$) et l'horizon 20-30cm ($t=3.20$, $p=0.01$). Mais non significative au niveau de l'horizon (0-10cm) ($t=2.24$, $p=0.06$).

2.2.3. Le nombre de plantule :

Les moyennes du nombre de plantule et les figures qui leur correspondent de la serre 4 **d'El-Kennar** sont représentées dans le tableau XVI_i et les figures 46_i. Les détails sont portés en annexe IV₃.

De même on observe les résultats enregistré pour les serres précédentes.

Les résultats du deuxième essai obtenus dans la serre 4 (quatre) **d'El-Kennar** permettent de constater une augmentation du nombre de plantules levées pendant les vingt premiers jours, aussi bien dans les profils témoins que dans les profils traités.

A partir de vingt cinq jours, ce nombre à tendance à diminuer ou à stagner dans les certaines cas.

L'état de la végétation rapporté par la figure 46_i ne mentionne pas de différence dans le comportement des plantules et par la suite des plantes. On ne remarque pas de symptômes apparents sur la végétation.

Nous voyons également qu'à partir de l'âge de trente cinq une croissance remarquables des feuilles des plantules au niveau des horizons du profil 1 et 3 du sol traité, cela est dû au nombre réduit des plantules au niveau de ces profils.

Tableau XVII₁ : Evaluation du nombre de plantules par profil et par horizon XVII₁- Dix (10) jours après la levée

(figure 46₁) :

moyenne ± écartype		chez le témoin	chez le traité
Horizons	I	19±2	10.6±7.92
	II	16.66±5.85	11.6±4.27
	III	17±3.60	8±3.31

Figure 46₁ : Comportement des plantules par profil et par horizon



Figure 46₁ : Dix jours après la levée

XVII₂- Quinze (15) jours après la levée (figure 46₂) :

moyenne ± écartype		chez le témoin	chez le traité
Horizons	I	25±2.64	16.6±4.82
	II	22.33±2.88	16.2±3.34
	III	19.33±6.50	18.2±6.37



Figure 46₂ : Quinze jours après la levée

XVII₃- Vingt (20) jours après la levée (figure 46₃) :

moyenne ± écartype		chez le témoin	chez le traité
Horizons	I	26.33±4.16	20.8±6.01
	II	23.33±2.08	17±3.53
	III	20.66±7.02	19.6±6.61



Figure 46₃ : Vingt jours après la levée

XVII₄- Vingt cinq (25) jours après la levée (figure 46₄) :

moyenne ± écartype		chez le témoin	chez le traité
Horizons	I	26±3.60	20±5.56
	II	23.66±2.51	16.6±4.15
	III	21±7.54	19.6±6.50



Figure 46₄ : Vingt cinq jours après la levée

XVII₅- Trente(30) jours après la levée

(figure 46₅) :

moyenne ± écartype		chez le témoin	chez le traité
Horizons	I	23.66±2.08	17±4.58
	II	22.66±2.51	15±4.12
	III	19.33±6.50	18.4±5.50



Figure 46₅ : Trente jours après la levée

XVII₆- Trente cinq(35) jours après la levée

(figure 46₆) :

moyenne ± écartype		chez le témoin	chez le traité
Horizons	I	23.33±2.30	16.2±5.40
	II	22±1.73	14.8±3.96
	III	17.33±3.78	18±5.95



Figure 46₆: Trente cinq jours après la levée

XVII₇- Quarante (40) jours après la

levée (figure 46₇) :

moyenne ± écartype		chez le témoin	chez le traité
Horizons	I	23±2.64	15.6±4.72
	II	21.33±1.52	14.8±3.96
	III	17.33±3.78	17.4±5.72



Figure 46₇ : Quarante jours après la levée

XVII₈- Quarante cinq(45) jours après

la levée (figure 46₈) :

moyenne ± écartype		chez le témoin	chez le traité
Horizons	I	23±2.64	15.4±4.82
	II	21.33±1.52	14.8±3.96
	III	17.33±3.78	17±5.70



Figure 46₈ : Quarante cinq jours après la levée

Les valeurs moyennes sont représentées graphiquement dans les figures suivantes :

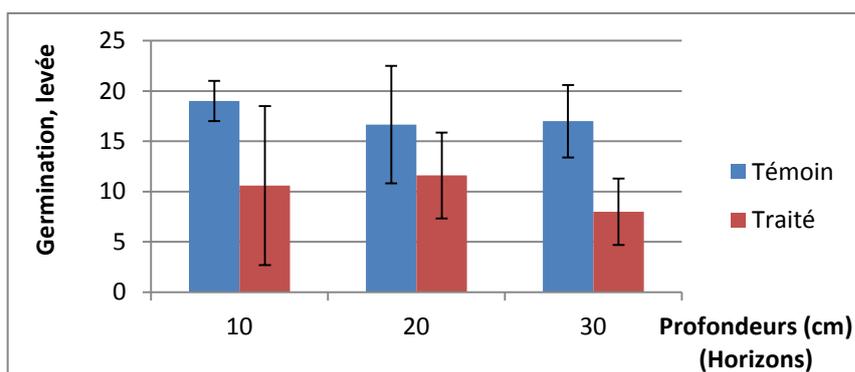


Figure 47₁ : Nombre moyen de plantules (10 jours après la levée)

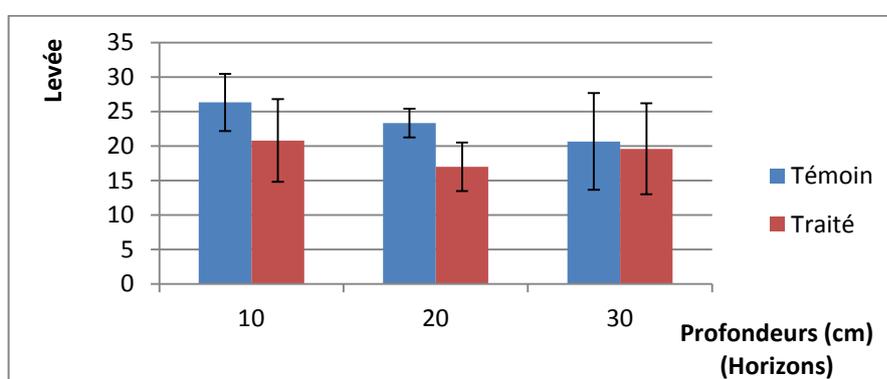


Figure 47₂ : Nombre moyen de plantules (20 jours après la levée)

Pour ce qui est des horizons (différents profondeurs), les valeurs moyennes obtenues au niveau du sol témoin et au niveau du sol traité respectivement n'autorisent pas de dégager une quelconque différence, ceci est met en évidence par l'analyse de la variance ($F= 1.01, p=0,41$) ($F= 0.61, p= 0,55$).

L'analyse de la Student et les résultats représentés dans les figures (46₃, 47₂) ne relèvent pas une différence significative de nombre de plantules au niveau des horizons (0-10 cm et 20-30 cm) entre le sol témoin et le sol traité : ($t= - 1.38, p= 0,21$) et ($t= - 0.21, p= 0,83$) mais ont montré une différence significative de nombre de plantules au niveau de l'horizon 10-20 cm entre le sol témoin et le sol traité ($t= - 2.77, p= 0,03$). Ce qui peut s'expliquer par l'effet inhibiteur de l'herbicide à cet horizon.

Dès que les racines commencent à se former au niveau des pots où le nombre de plante était petit (au niveau du sol traité), on a arrêté le suivi de l'évolution des plantes (l'âge de 45 jours), Les plantes commencent à mourir au niveau du sol traité d'une façon remarquable par rapport au sol témoin comme le montre la figure 47₃.

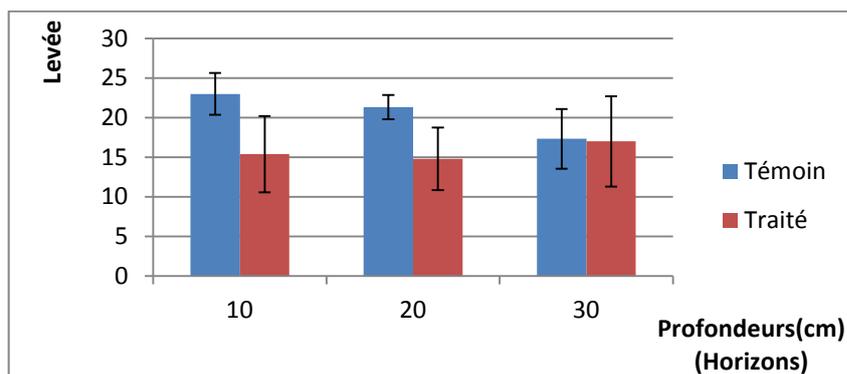


Figure 47₃ : Nombre moyen de plantules (45 jours après la levée)

L'épandage du glyphosate au niveau de la serre **d'El-Kennar** était trois mois avant le semis, on a trouvé que le nombre de plante entre le sol témoin et le sol traité est significative au niveau de l'horizon 10-20cm. On peut dire que le glyphosate s'infiltré, ce qui concorde avec une expérience menée en Finlande pendant 2 ans sur 2 sols à betteraves, l'un sablo-limoneux et l'autre argileux, Laitinen *et al.*, (2006) observent un transfert de résidus de glyphosate vers la profondeur spécifique à chaque sol. En plus la demi-vie de glyphosate peut aller de 20-100 jours selon l'état du sol (Tortensson, 1985).

CONCLUSION

Ce travail a été réalisé en deux essais :

Le premier essai a porté sur des sols provenant de deux serres de la région de **Jimar** 15 (quinze) jours après l'épandage du glyphosate.

Le deuxième essai a touché deux serres : l'une de **Jimar** 1 (un) mois après l'épandage du produit, l'autre **d'El-Kennar** 3 (trois) mois après l'épandage du produit.

L'évaluation de la rémanence est réalisée par un test biologique dans les deux essais. Le deuxième essai n'a été entrepris qu'après avoir déterminé les caractéristiques physico-chimiques du sol.

A travers les résultats du premier essai, on peut remarquer ce qui suit :

- ✓ La levée des plantules dans le sol traité a montré que le glyphosate n'a pas eu d'effet résiduel dans le sol.
- ✓ L'état de la végétation montre l'absence de symptômes de phytotoxicité comme rapporté par EPPO (2011) sur les plantules du sol traité.
- ✓ Mais cela n'empêche pas de remarquer un retard de levée des plantules semées sur le sol traité, une diminution du nombre de plantules levées au niveau de l'horizon 0-10cm pour la première serre et au niveau des trois horizons pour la deuxième serre, et cela en comparaison avec le sol témoin.

Concernant les résultats du deuxième essai, on peut les citer dans les points suivants :

- Premièrement pour la serre de **Jimar**
 - ✓ Les résultats des paramètres physico-chimiques montrent que la plupart des horizons du sol de **Jimar** sont de nature limono-argilo-sableuse avec présence parfois de sol limono-sableux, limono-argileux et rarement argileux, Ces sols sont pauvres en matières organique, non salés, non calcaires et neutres du point de vue pH.
 - ✓ Concernant les résultats du test biologique, on n'a pas enregistré de symptômes de phytotoxicité sur les plantules de radis mais on a remarqué quand-même que leur nombre était inférieur de façon significative au niveau de l'horizon 20-30cm dans le sol traité. De même les plantules sont apparues tardivement en comparaison avec celles du sol témoin.
 - ✓ Il faut remarquer que la matrice de corrélation ne dégage aucune relation entre les caractéristiques physico-chimiques notamment le pH, la teneur en argile et en matière organique et le nombre des plantules.

- Deuxièmement pour la serre **d'El-Kennar** :
 - ✓ Concernant les paramètres physico-chimiques, La plupart des horizons présente une texture limono-sableuse avec présence parfois de sol limono-argilo-sableux et une texture limoneuse au niveau du sol témoin.
 - ✓ Le sol **d'El-Kennar** est pauvre en matière organique, à pH neutre, non salé et non calcaire.
 - ✓ Concernant le test biologique, nous avons enregistré presque les mêmes résultats que dans les serres précédentes ; les plantules de radis dans le sol traité ont levé à un rythme plus faible et en quantité moindre au niveau de l'horizon 10-20cm.
 - ✓ De même, on doit signaler que la matrice de corrélation n'a pas donné une liaison entre les différents paramètres et le nombre de plantules excepté pour le pH qui semble lier le glyphosate (aider à l'adsorption) entraînant l'expression naturel des plantules.

Il faut bien indiquer que le test biologique n'est pas suffisant à lui seul ; Il doit être secondé par des analyses chimiques afin de confirmer la rémanence de cet herbicide.

Comme perspectives, ce mémoire doit nous inciter :

- A la prudence s'agissant d'un produit utilisé de façon intensive sur les cultures maraîchères qui constituent une partie de l'alimentation algérienne.
- A continuer nos recherches sur le sujet tout en intégrant l'analyse chimique parallèlement au test biologique.

RÉFÉRENCES BIBLIOLGRAPHIQUES

Les références bibliographiques

- AAP : Agriculture, Aquaculture et Pêches., 2010-** Dommages causés par les herbicides. Nouveau Brunswick, Canada, 5 p.
- Accinelli C., Koskinen W., Seebinger J.D., Vicari A et Sadowsky M., 2005-** Effects of incorporated corn residues on glyphosate mineralization and sorption in soil. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, p 53.
- Al- Rajab A.J., 2007-** Impact sur l'environnement d'un herbicide non sélectif, le glyphosate : Approche modélisée en conditions contrôlées et naturelles. Thèse de doctorat, Spécialité: Sciences Agronomiques, Institut National Polytechnique de Lorraine, Université Nancy, 168 p.
- Al-Rajab A.J et Schiavon M., 2010** -Degradation of ¹⁴C-glyphosate and aminomethylphosphonic acid (AMPA) in three agricultural soils, *Journal of Environmental Sciences*, Vol. 22, p 1374-1380.
- Amalric L. et Ghestem J., 2009-** Substances candidates de la directive 2008/105/CE : méthodes d'analyse disponibles et capacités analytiques des laboratoires. Rapport BRGM/RP-57956-FR, 99 p.
- Amalric L., Baran N., Jeannot R., Martin J.C. et Mouvet C., 2003-** Les mécanismes de transfert des produits phytosanitaires du sol vers les nappes et les méthodes d'analyse des produits phytosanitaires dans les eaux. Rapport final, BRGM/RP/51590. Fr, 116 p.
- Araújo A., Monteiro R. et Abarkeli B., 2003-** Effect of glyphosate on the microbial activity of two Brazilian soils, *Journal of Chemosphere*, Vol. 52, p 799-802.
- Arias-Esévez M., Lopez-Periago E., Martinez-Carballo E., Merut J. et Garcia-Rio L., 2008-** The mobility and degradation of pesticides in soils and the pollution of groundwater resources. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, Vol. 123, p 247-260.
- Aubertot J., Barbier J., Carpentier A., Gril J., Guichard L., Savary S. et Voltz M., 2005-** Pesticides, agriculture et environnement. Réduire l'utilisation des pesticides et limiter leurs impacts environnementaux. Rapport d'Expertise scientifique collective, INRA et Cemagref (France), 64 p.
- Autissier V., 1994-** Jardins de villes, Jardins des champs: maraîchage en Afrique de l'Ouest du diagnostic à l'intervention, Edition GRET, 295 p.
- Azzouz F., 2006-** Contribution à l'étude de la stabilisation chimique de quelques argiles gonflantes de la région de Tlemcen. Mémoire de Magister, Faculté des sciences de l'ingénieur, Département de Génie Civil, Université Abou bekr Belkaid – Tlemcen, p10-15.
- Baize D., 1988-** Guides des analyses courantes en pédologie, Edition INRA, Paris, p 170.

- Barrett K.A. et McBride M., 2006-** Trace element mobilisation in soils by glyphosate. *Soil Science*, p 1887.
- Barriuso E., Calvet R., Schiavon M. et Soulas G., 1996-** Les pesticides et les polluants organiques des sols : Transformations et dissipation. *Etudes et Gestion des Sols*, numéro spécial : Le sol, un patrimoine menacé, In <http://www.inra.fr>, p 279-295.
- Baudry O., Barralis G., Bizot C. et Barnaud C., 2001-** Désherbage des arbres fruitiers. Edition Ctifl, Paris, p 29.
- Baylis A., 2000-** Why glyphosate is a global herbicide: strengths, weaknesses and prospects, *Journal of Pest Management Science*, Vol. 56, p 302.
- Bazzi L., 2010-** Etude de la persistance de quelques pesticides dans la culture de l'haricot vert dans la région de Souss Massa. Thèse de doctorat, Spécialité : Environnement, Université Ibn Zohr, Ecole nationale des sciences appliquées, Agadir, 139 p.
- Beauchamp j., 2005-** Cours de pédologie : Les argiles. Université de Picardie Jules Vern, p12.
- Beckert M ., Dessaux Y., Charlier C., Darmency H., Richard C. et Savini I., 2011-** Les variétés végétales tolérantes aux herbicides : Effets agronomiques, environnementaux, socio-économiques. Expertise scientifique collective, Synthèse du rapport, CNRS-INRA, France, Vol. 84, p 65.
- Beguin D., 2005-** Guide du jardinage écologique. Comment jardiner sans utiliser de pesticides. Document édité par l'AREL (l'Agence Régionale de l'Environnement en Lorraine) en partenariat avec l'Agence de l'eau Rhin-Meuse, p7.
- Benlaribi M., 1976-** Contribution à l'étude de la redistribution en profondeur de divers herbicides à absorption racinaire dans le sol en fonction de la nature de celui-ci. Mémoire d'Ingénieur Agronome, INA, El-Harrach, Alger. 73p.
- Benmahdi F., 2008-** Etude de la rétention d'un herbicide dans un sol agricole. Mémoire de magister Option Chimie de l'eau, dessalement et environnement, Faculté des sciences, Département de chimie, Université du Colonel Hadj Lakhdar- Batna, 116 p.
- Bérard A. et Pelte T., 1999-** Les herbicides inhibiteurs du photo-système II, effet sur les communautés algales et leur dynamique. *Revue des sciences de l'eau*, Cedex, France, p 333-361.
- Bernier D., 2001-** Les résidus d'herbicides et leurs impacts sur la culture du soya, Colloque mais-soya « Mieux savoir pour mieux agir », Direction des services technologiques Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec. 18 p.

- Bernier D., 2002-** Impact des herbicides dans l'eau et le terreau. Direction de l'innovation scientifique et technologique, Agriculture, Pêcheries et Alimentation, Québec. 3 p.
- Bertonnier L., Bonansea V., Bonnet F. et Duran R-C., 2012-** Etude du glyphosate (Roundup). INP, Genie industriel, Grenoble, p3.
- Bizet j., Ferey P. et Grosclaude J., 2010-** Recommandation relative au dossier. EFSA/GMO « Betterave H7-1 ». Rapport final, Haut Conseil des biotechnologies, Comité économique, éthique et social, p 10.
- Bolognesi C., Bonatti S., Degan P., Gallerani E., Peluso M., Rabboni R. et Roggieri P., 1997-** Genotoxic activity of glyphosate and its technical formulation Roundup. Journal of Agricultural and Food Chemistry, Vol. 45, p 1957-1962.
- Bordjiba O. et Ketif A., 2009-** Effect of Three Pesticides (Hexaconazole, Bromuconazole and Fluazifop-p butyl) On Some Biochemical Metabolites of the Hard Wheat: *Triticum durum*, Faculté des Sciences, Departement de Biologie, Université Badji Mokhtar Annaba, European Journal of Scientific Research, p 260-268.
- Boschetto G., 2013-** Evaluation de la pertinence de l'utilisation des herbicides en lien avec le développement durable. Maitrise en environnement, Essai présenté au centre universitaire de formation en environnement, Université de Sherbrooke, 86 p.
- Boughriet R., 2012-** Les herbicides à base de glyphosate auraient un impact sur les embryons. Revue Chemical Research in Toxicology Actu-Environnement, Cogiterra - CNIL N°845317, p2.
- Brack P., Antoniou M., Carrasco A., Fagan J., Habib M., Leifert C. et Pengue W., 2010-** Le Soja OGM Durable ? Responsable ? ARGE Gentechnik-frei (Arbeitsgemeinschaft für Gentechnik-frei erzeugte Lebensmittel), Bochum, Germany, p 30-36.
- Brett Ch., Hallard J. et Wan Ho M., 2010-** Les cultures de plantes tolérantes au glyphosate apportent des maladies et la mort, Rapport de l'ISIS, États-Unis, p 7-10. In www.isis.org.uk/glyphosateTolerantCrops.php.
- Calvet G. et Villemin P., 1986** - Interprétation des analyses de terre, Edition SCPA., p 20.
- Calvet R., 2003-** Le sol propriétés et fonctions constitution et structure, phénomènes aux interfaces, Tome 1, Edition France Agricole, Paris France, p 82-90.
- Calvet R., Barriuso E., Bedos C., Benoit P., Charnay M.P. et Coquet Y., 2005-** Les pesticides dans le sol conséquences agronomiques et environnementales. Editions France Agricole, 637 p.

- Camard J.Ph. et Franconi A., 2004-** L'impact sanitaire et environnemental des pesticides : la situation en Île-de-France, Institut d'aménagement et d'urbanisme de la région d'Ile- de- France, p3.
- Camard J.Ph. et Magdelaine Ch., 2010-** Produits phytosanitaires Risques pour l'environnement et la santé. IAU : Institut d'Aménagement et d'Urbanisme, Ile-de-France, p 9.
- CCME : Conseil Canadien des Ministres de l'Environnement., 2012-** Recommandations canadiennes pour la qualité des eaux : protection de la vie aquatique – Glyphosate. Conseil canadien des ministres de l'environnement, p 4-9.
- CGA : Cirad-Ca Gec Amatrop., 2000-** Les herbicides, Document obtenu sur le site Cirad du réseau [http: agroecologie.cirad.fr](http://agroecologie.cirad.fr), p 1-7.
- Cheah U.B., Kirkwood R. et Lum K., 1997-** Adsorption, desorption and mobility of four commonly used pesticides in malaysian agricultural soils. Journal of Pesticide Science, Vol. 50, p 53-63.
- Clech B., 2000-** Agronomie « des bases aux nouvelles orientations », Synthèse Agricole, Bordeaux, p 260.
- Couture G., Legris J. et Langevin R., 1995-** Évaluation des impacts du glyphosate utilisé dans le milieu forestier. Direction de l'environnement forestier, Service du suivi environnemental, Ministère des Ressources naturelles, gouvernement du Québec, Québec, 199 p.
- Craven C. et Hoy S., 2005-** Pesticides persistence and bound residues in soil – regulatory significance, Journal of Environmental Pollution, Vol. 133, p 5-9.
- Curran W. S., 1998-** Persistence of Herbicides in Soil, Pennsylvania State University Extension, 4 p.
- Davet P., 1996-** Vie microbienne du sol et production végétale. Edition : Institut National de la Recherche Agronomique, rue de l'Université- Paris Cedex, p 125.
- De Jonge H., De Jonge L., Jacobsen O.H., Yamaguchi T. et Moldrup P., 2001-** Glyphosate sorption in soils of different pH and phosphorus content, Journal of Soil Science, p 230-238.
- De Roos A., Blair A., Rusiecki J., Hoppin J., Svec M., Dosemeci M. et Alavanja M., 2005-** Cancer incidence among glyphosate-exposed pesticide applicators in the agricultural health study. Environmental Health Perspectives, Vol. 113, 54 p.

- Delabays N. et Bohren C., 2007-** Le glyphosate : bilan de la situation mondiale et analyse de quelques conséquences malherbologiques pour la Suisse. *Revue suisse de viticulture arboriculture horticulture*, Station de recherche Agroscope Changins-Wädenswil ACW, Nyon, Vol. 39, p 333-340.
- Delaune M., Reiffsteck M. et Feller Ch., 1991-** L'analyse granulométrique de sols et sédiments Deposits and Persistence of Forest Herbicide Residues in Sugar Maple (*Acer saccharum*) Foliage dans *Canadian Journal of Forestry Research*, Vol. 24, p 2260-2262.
- Demolon A., 1968-** Principes d'agronomie: croissance des végétaux cultivés, Tome II, Editeurs Dunod Paris, 6^{ème} édition, 590 p.
- Devault D., 2007-** Approche spatio-temporelle de la contamination par les herbicides de prélevée du biotope de la Garonne Moyenne. Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Toulouse, 208 p.
- Dick R. et Quinn J., 1995-** Glyphosate-degrading isolates from environmental samples : occurrence and pathways of degradation. *Journal of Microbiology and Biotechnology*, Vol. 43, p 550.
- Dion H., Harsh J. et Hill H., 2001-** Competitive sorption between glyphosate and inorganic phosphate on clay minerals and low organic matter soils. *Radio-analytical and Nuclear Chemistry*, p 385-390.
- Doliner L.H., 1991-** Emploi avant récolte du glyphosate (Roundup), Document de travail, Agriculture Canada, Direction des pesticides, 107 p.
- Domange N., 2005-** Etude des transferts de produits phytosanitaires à l'échelle de la parcelle et du bassin versant viticole (Rouffach, Haut-Rhin), Thèse de doctorat, Discipline : Science de la Terre et de l'Univers, Université Louis Pasteur Strasbourg 1, 278 p.
- Doucet R., 2006-** Le climat et les sols agricoles. Guide pour l'interprétation d'une analyse de sol, Cours « Fertilisation des sols en agriculture bio » Québec, p 382.
- Druart C., 2011-** Effets des pesticides de la vigne sur le cycle biologique de l'escargot dans divers contextes d'exposition. Thèse de doctorat, Spécialité : Sciences de la Vie et de l'Environnement, École doctorale : Homme, Environnement, Santé, Université Franche-Comité, 326 p.
- Druart C., Delhomme O., De Vaufléury A., Ntchoe E. et Millet M., 2011-** Optimization of extraction procedure and chromatographic separation of glyphosate, glufosinate and aminomethylphosphonic acid in soil. *Journal of Analytical and Bioanalytical chemistry*, p 1725-1732.
- Duchaufour Ph., 1991-** Pédologie : sol, végétation et environnement. Edition Masson, Paris, 330 p.
- Duchaufour Ph. et Blum W., 2001-** Introduction à la science du sol (sol, végétation, environnement). 6^e édition de l'Abrégé de pédologie, Dunod, Paris, p 10-42.

Edelahi M.Ch., 2004- Contribution à l'étude de dégradation in situ des pesticides par procédés d'oxydation avancés faisant intervenir le fer, Application aux herbicides phénylurées. Thèse de doctorat, Spécialité : Chimie, Université de Marne-La-Vallée, p 24.

El Arfaoui Benaomar A., 2010- Etude des processus d'adsorption et de désorption de produits phytosanitaires dans des sols calcaires. Thèse de doctorat, Discipline : Chimie de l'environnement, Ecole Doctorale Sciences, Technologies et Santé, Université de Reims Champagne- Ardenne, 217 p.

El Mrabet Kh., 2007- Développement d'une méthode d'analyse de résidus de pesticides par dilution isotopique associée à la chromatographie en phase liquide couplée à la spectrométrie de masse en tandem dans les matrices céréalières après extraction en solvant chaud pressurisé, Thèse de doctorat, Spécialité : Chimie Analytique, Université Pierre et Marie Curie, Paris Cedex, 295 p.

EPPO : Organisation Européenne et Méditerranéenne pour la Protection des Plantes., 2011- Evaluation biologique des produits phytosanitaires, en particulier les herbicides et régulateurs de croissance, p 135-144.

FAO., 1987- Résidus de pesticides dans les produits alimentaires. Rapport de la réunion conjointe FAO/OMS, Rome Italie, p 14.

FAO., 1995- Le soja dans les tropiques : amélioration et production. Office brésilien de recherche agricole, Centre national de recherche sur le soja (EMBRAPA-CNPSO), Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, Rome, p 160.

Fdil F., Aaron J. et Oturan N., 2003- Dégradation photochimique des herbicides chlorophénoxyalcanoïques en milieux aqueux. Revue des sciences de l'eau, Vol. 16, N°1, p 123-142.

Feng J.C. et Thompson D., 1990- Fate of Glyphosate in a Canadian Forest Watershed, Persistence in Foliage and soils. Journal of Agricultural and Food Chemistry, p 1118-1125.

Fernandez M., Selles F., Gehl D., DePauw R. and Zentner R., 2005- Crop production factors associated with Fusarium head blight in spring wheat in Eastern Saskatchewan. Crop Science, Vol. 45, p16.

Flogeac K., 2004- Etude de la capacité de rétention de produits phytosanitaires par deux solides modèles des sols, Influence de la présence des cations métalliques. Thèse de doctorat, Université de Reims, France, 162 p.

Forlani G., Mangiagalli A., Nielsen E. et Suardi C., 1999- Degradation of the phosphonate herbicide glyphosate in soil: evidence for a possible involvement of un culturable microorganisms, Journal of Soil Biology and Biochemistry, Vol. 31, p 991-997.

- Fortier J., Messier C. et Coll L., 2005-** La problématique de l'utilisation des herbicides en foresterie: le cas du Québec. Département des sciences biologiques, institut des sciences de l'environnement et groupe de recherche en écologie forestière interuniversitaire, Université du Québec à Montréal, Montréal, Canada, *Vertigo* – La revue en sciences de l'environnement, Vol. 6, 19 p.
- Gama A., Yann D. et Henri F., 2006-** Utilisation des herbicides en foret et gestion durable, Ministre de l'Agriculture et de la pêche, Département de la santé des forêts et de l'Office national des forêts (ONF), Edition Quae, 240 p.
- Garon-Boucher C., 2003-** Contribution à l'étude du devenir des produits phytosanitaires lors d'écoulements dans les fosses : caractérisation physico-chimique et hydrodynamique. Thèse de Doctorat, Université Joseph-Fourier, Grenoble, p 15.
- Gatignol C. et Étienne J.C., 2010-** Pesticide et santé. Rapport d'Office Parlementaire D'évaluation des choix scientifiques et Technologiques, 262 p.
- Gauvrit C., 1996-** Efficacité et sélectivité des herbicides. Institut National de la Recherche Agronomique, Editions Quae, 3^{ème} édition, Paris Cedex, p1-10.
- Gaviglio C., 2007 -** Alternatives au désherbage chimique sous le rang : désherbage mécanique. Institut Français de la vigne et du vin, p 4-7.
- Gerajd M., Dill R., Douglas S., Paul C., Feng C., Kohn F., Honegger J. and Farmer D., 2010-** Glyphosate resistance in crops and weeds: History, Development and Management. Edited by Vijay K, Nandula, Printed in the United States of America, 135 p.
- Gimsing Al., Borggaard O. et Sestoft P., 2004-** Modeling the kinetics of the competitive adsorption and desorption of glyphosate and phosphate on goethite and gibbsite and in soils. *Journal of Environmental Science and Technology*, p 718-722.
- Gobat J-M., Aragno M. et Matthey W., 2010-** Le sol vivant: Bases de pédologie, Biologie des sols. 3^{ème} édition revue et augmentée, science de la terre, Presses polytechniques et universitaires Amazon, France, p 9-21.
- Goldstein D., Acquavella J., Mannion R. et Farmer D., 2002-** An analysis of glyphosate data from the California Environmental Protection Agency pesticide illness surveillance programm. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, p 885-892.
- Gosciny S. et Hanot V., 2012-** Le glyphosate dans tous ses états, Institut Scientifique de Santé Publique, Unité Pesticides. *Labinfo* N°7, 16 p.

- Gounari R., 2006-** Principales intoxications du chien dans les jardins. Thèse de doctorat, Université Paul-Sabatier de Toulouse, Ecole Nationale Vétérinaire Toulouse, p 63.
- Gros A., 1979-** Engrais guide pratique de la fertilisation, Edition Maison rustique, 7^{ème} édition, p 533.
- Grunewald k., Schmidt W. et Unger C., 2001-** Behavior of glyphosate and aminomethylphosphonic acid AMPA in soils and water of reservoir Radeborg II catchment (Saxony/Germany), Journal of Plant Nutrition and Soils Science, p 65-70.
- Hager A.G. and Nordby D., 2007-** Herbicide persistence and how to test for residues in soil. Department of Crop Sciences, University of Illinois Extension, p 343-350.
- Hance R.-J., 1976-** Adsorption of glyphosate by soils. Journal of Pesticides Science, p 363-366.
- Hardell L., Eriksson M. et Nordsrom M., 2002-** Exposure to pesticides as risk factor for non-Hodgkin's lymphoma and hairy cell leukaemia : pooled analysis of two Swedisch case-control studies. Journal of Leukemia and Lymphoma, Vol. 43, p1043-1049.
- Heddadj Dj. et Bouvier D., 2012-** Peut-on se passer de glyphosate ? Techniques culturelles sans labour, Chambre d'Agriculture de Bretagne, p 34-36.
- Hopkins W.G., 2003-** physiologie végétale. Edition De Boec, 2^{ème} édition, Université des Sciences et Technologie de Lille, p 481
- Hu J.Y., Chen C.L and Li J.Z., 2008-** A Simple Method for the Determination of Glyphosate Residues in Soil by Capillary Gas Chromatography with Nitrogen Phosphorus. Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing China, Journal of Analytical Chemistry, Vol. 63, N° 4, p 371–375.
- Huber D.M., Cheng M.W. and Winsor B.A., 2005-** Association of severe Corynespora root rot of soybean with glyphosate-killed giant ragweed. Journal of Phytopathology Vol. 95, p 45.
- Huber D.M. and Haneklaus S., 2007-** Managing nutrition to control plant disease. Journal of Landbauforschung Volkenrode, Vol. 57, p 313–322.
- Hwang H.M. and Young T., 2011-** Environmental decay of glyphosate in broom-infested: Tamalpais soils and its transport through stormwater runoff and soil column infiltration. Environmental Quality Laboratory, Department of Civil and Environmental Engineering, University of California, Davis, Final Report, p 3-5.
- Ibanez M., Pozo O., Sancho J., Lopez E. et Hernandez F., 2005-** Residue determination of glyphosate, glyphosinate and aminomethylphosphonicacid in water and soil samples by liquid chromatography coupled to electrospray tandem mass spectrometry. Journal of chromatography, p 146.

- Id El Mouden O., 2010-** Quantification des résidus de pesticide sur la tomate et le poivron et l'étude de la dégradation de difenoconazole sous l'effet de photo-oxydants atmosphériques à l'interface solide /gaz. Thèse de doctorat, Spécialité : Environnement, Ecole Nationale des Sciences Appliquées d'Agadir, Université de Reims Champagne-Ardenne, 160 p.
- Idrissi M., Ait Daoud N. et Soulaymani Bencheikh R., 2010-** Pesticides, définition et classification. Laboratoire du Centre Anti Poison du Maroc, Revue Toxicologie Maroc N° 4. Edition Société Empreintes, Bourgogne, Casablanca, p3.
- IFEN : Institut Français de l'Environnement., 2012-** Impact des pratiques agricoles sur les transferts des produits phytosanitaires dans les eaux, Rapport Lorraine France, p 5-9.
- Jeffrey M. S., 2011-** Roundup, le pesticide absolu, Roundup de Monsanto le désastre absolu, Natural News, p 1-7. In www.naturalnews.com_Monsanto_Roundup.html.
- Jerry Lee M., 2002-** Impact des herbicides sur les écosystèmes forestiers et aquatiques et la faune sauvage : l'expérience américaine, Revue Forestière Française Vol. 54 n°6, p 593-608.
- Kankonde M. et Tollens E., 2001-** Sécurité alimentaire au Congo-Kinshasa: production, consommation et survie. Publié par L'Harmattan, ISBN: 478 p. In www.editionsarmattan.fr
- Kersanté A., 2003-** Rôle régulateur de la macrofaune lombricienne dans la dynamique de l'herbicide atrazine en sol cultivé tempéré, Thèse de doctorat, Option : Biologie, Ecole Doctorale Vie-Agro-Santé, U.F.R. Sciences de la Vie et de l'Environnement, l'Université de Rennes 1, 201 p.
- Kesraoui A., 2008-** Dégradation des pesticides chlortoluron, carbofurane et bentazone en milieux aqueux par les procédés d'oxydation avancée. Thèse de doctorat, universités Paris-Est et Tunis El- Manar, 169 p.
- King A., Purcell L. et Vories E., 2001-** Plant growth and nitrogenase activity of glyphosate-tolerant soybean in response to foliar glyphosate applications. *Agronomy Journal*, Vol. 93, p 179-186.
- Kolpin D., Thurman M., Lee E., Meyer M., Furlong E. et Glassmeyer S., 2005-** Urban contributions of glyphosate and its degradate AMPA to streams in the United States, *Journal of Science of the Total Environment*, Vol. 354, p 191– 193.
- Koriko M., 2010-** Extraction, caractérisation, réactivité chimique des substances humiques naturelles avec les phosphates Dehahotie-Kpogame et leurs propriétés photo dégradantes. Thèse de doctorat, Spécialité : Physico-chimie des matériaux, Université de Lome (Togo) et de Blaise Pascal de Clermont Ferrand (France), 158 p.

- Kouassi Brou G., Denezon Dogbo O., N'Zué B., Akhanovna J. et Yves-Alain Békro Y., 2012-** Effet du glyphosate sur la biosynthèse des constituants phénoliques de *Manihot esculenta* Crantz. Revue de génie industriel, Laboratoire de Biologie et Amélioration des Productions Végétales (LBAPV), Centre National de Recherche Agronomique (CNRA), Abidjan, Côte d'Ivoire, p32-43.
- Lagueyrie-Kraps A., 2012-** Mon jardin ne me coûte plus un radis. Editions Rustica, p 49-50.
- Laitinen P., Siimes K., Eronen L., Ramo S., Welling L., Oinonen S. et Mattsoff L., 2006.** Fate of the herbicide glyphosate, glyphosinate ammonium, phenmedipham, ethofumesate and metamilon in two Finnish arable soils. Journal of Pest Management Science, p 480-482.
- Le Mer Ch., 2009-** Effets des expositions aux herbicides : Atrazine, Glyphosate sur des larves d'épinoches à trois épines, *Gasterosteus aculeatus* L, Programme de la maîtrise en Océanographie, Université du Québec à Rimouski, 120 p.
- Le Mer Ch., Roy R., Pellerin J. et Maltais D., 2009-** Effects of chronic exposures to the herbicides atrazine and glyphosate to larvae of the three-spined stickleback (*Gasterosteus aculeatus*). Université du Québec à Rimouski, Québec, Canada, p6.
- Legris J. et Couture G., 1989-** Résidus de glyphosate dans l'eau et les sédiments suite à des pulvérisations terrestres en milieu forestier en 1986, Gouvernement du Québec, ministère de l'Énergie et des Ressources, Service des études environnementales, Québec, p 501.
- Lemière B., Seguin J., Le Guern C., Guyonnet D. et Baranger Ph., 2001-** Guide sur le comportement des polluants dans les sols et les nappes. Editions BRGM, Cedex, France, 83 p.
- Liu C., Mclean P., Sookdeo C. et Cannon F., 1991-** Degradation of the Herbicide Glyphosate by Members of the Family Rhizobiaceae, Applied and Environmental Microbiology, Vol. 57, p 1799-1804.
- Mamy L. et Bariusso E., 2002-** Evaluation des impacts environnementaux liés aux changements des pratiques de désherbage dans un contexte d'introduction de plantes génétiquement modifiées résistantes à des herbicides à large spectre (cas de Glyphosate : Conséquences sur la contamination du milieu par les herbicides. UMR INRA INA P-G Environnement et Grandes Cultures, BP01, Thiverval-Grignon, Séminaire de restitution des résultats de l'AIP « OGM et environnement », Paris, p 1-5.
- Mamy L. et Bariusso E., 2006-** Desorption and time-dependent sorption of herbicides in soils. European Journal of Soil Science, p 174-187.
- Mamy L., Bariusso E. et Benoît G., 2011 -** impacts sur l'environnement des herbicides utilisés dans les cultures génétiquement modifiées, Revue financée par l'INRA et le Centre technique interprofessionnel des oléagineux métropolitains (CETIOM), Versailles Cedex, N° 60, p 121-143.

- Mamy L., 2001-** Devenir des résidus de pesticides dans le sol dans les systèmes de culture employant des OGM résistants à ces molécules. Biosphère continentale : sols, écosystèmes, atmosphère, INRA Grignon, p 30-32.
- Mamy L., 2004-** Comparaison des impacts environnementaux des herbicides à large spectre et des herbicides sélectifs : Caractérisation de leur devenir dans le sol et modélisation. Thèse de doctorat, Institut National Agronomique, Paris-Grignon, 357 p.
- Mappa D., 2010-** Les productions légumières : Cahiers d'activité. Editions Educagri, troisième édition, Dojon Cedex, p 49-50.
- Maqueda C., Morillo E., Undabeytia T. and Martin F., 1998-** Sorption of glyphosate and Cu(II) on a natural fulvic acid complex : mutual influence. Journal of Chemosphere, Vol. 37, p 1063-1072.
- Marc J., 2004-** Effets toxiques d'herbicides à base de glyphosate sur la régulation du cycle cellulaire et le développement précoce en utilisant l'embryon d'oursin. Thèse de doctorat, Ecole doctorale : Vie-Agronomie et Santé, Université de Rennes1, 164 p.
- Mathieu C. et Pielain F., 2003-** Analyse chimique des sols, Editions Tec et Doc, Lavoisier, Paris, 380 p.
- Mazzella N., Tran-Thi Nhu-T., Delest B. et Delmas F., 2009-** Développement et validation d'une méthode permettant le dosage du glyphosate et de l'AMPA dans les eaux surface par HPLC-ESI-MS/MS. XXIXème congrès du Groupe Français des Pesticides, Toulouse, France, 4 p.
- Mermoud A., 2006-** Cours physiques du sol, Généralités. Ecole polytechnique fédérale de Lausanne p 9-14.
- Messiaen C.M. et Messiaen-Pagotto F., 2010-** Le potager familial méditerranéen. Editions Quae, Cedex France, p 136.
- Métallaoui F., 2000-** Evaluation de la rémanence de deux types d'herbicides appliqués sur culture de pomme de terre par test biologique sur radis. Mémoire de Magister, Option pathologie des écosystèmes. ISN, Département d'Ecologie et Environnement, Université d'Annaba, 100 p.
- Miles C.J. et Moye H.A., 1988-** Extraction of glyphosate herbicide from soil and clay minerals and determination of residues in soils. Journal of Agricultural and Food Chemistry. p 486-491.
- Milon A. et Vernez D., 2006-** Traitements phytosanitaires: évaluation des risques pour l'utilisateur. Revue suisse de Viticulture Arboriculture Horticulture. Vol. 39, p 79-82.

- Molenat J., 2012-** Analyse de pesticide sur échantillons environnementaux d'eau et de sol. Cahier des clauses techniques particulières. INRA (Institut National de la Recherche Agronomique). Montpellier Cedex, p5.
- Monard C., 2008-** Biodégradation des herbicides en sols tempérés – Contrôle des communautés bactériennes dégradantes par la bioturbation du sol, Thèse de doctorat, Ecole Doctorale Vie-Agro-Santé UFR Sciences de la Vie et de l'Environnement, Université de Rennes 1, p 9.
- Monnier M., 2004-** Les graines germées : livre de cultures, Editions Vivez Soleil, p 139.
- Morillo E., Undabeytia T., Maqueda C. et Ramos A., 2000-** Glyphosate adsorption on soils of different characteristics. Influence of copper addition, Journal of Chemosphere vol. 40, p 103-107.
- Mörner J., Bos R. et Marjon F., 2002-** Réduire et éliminer l'usage des pesticides organiques persistants. Document d'orientation sur des stratégies alternatives de gestion durable des déprédateurs et des vecteurs, Programme des Nations Unies pour l'Environnement (PNUE), Maison Internationale de l'Environnement (Genève) Suisse, p 56.
- Moustier P. et David O., 1996-** La dynamique du maraîchage périurbain en Afrique Subsaharienne. Collection «Aliments dans les villes», DT/02-96F, Programme FAO, «Approvisionnement et distribution alimentaires des villes», Rome 57 p.
- Munaron D., 2004-** Etude des apports en herbicides et en nutriments par la charente : Modelisation de la dispersion de l'Atrazine dans le bassin de Marennes- Oleron. These de doctorat, Spécialité : Océanologie Chimique et Environnement, Université Pierre et Marie curie, Paris, 341 p.
- Murati M., 2012-** Etude d'élimination de trois herbicides : Atrazine, Sulcotrione et Mésotrione, en milieu aqueux par les procédés électrochimiques d'oxydation avancée. Thèse de doctorat, École doctorale, Université Paris-EST, 140 p.
- Musy A et Soutter M., 1991-** physique du sol. Première édition, Presse polytechniques et universitaires Romandes, Lausanne, Suisse, p10.
- Ndao T., 2008-** Etude des principaux paramètres permettant une évaluation et une réduction des risques d'exposition des opérateurs lors de l'application de traitements phytosanitaires en culture maraichères et cotonnière au Sénégal. Thèse de doctorat, Faculté Universitaires des Sciences Agronomiques, 77 p.
- Ndjeri-Ndjouhou M., 2012-** Synthèse et caractérisation de la birnessite électro déposée : Application à la dégradation de glyphosate , Thèse de doctorat, Laboratoire Analyse et Modélisation pour la Biologie et l'Environnement, Ecole Doctorale Sciences et Ingénierie, Université d'Evry Val d'Essonne, 276 p.

- Neuweiler R., 2009-** Optimisation de la tolérance des cultures aux herbicides, Station de recherche Agroscope Changins- Wädenswil ACW, Département fédéral de l'économie. Confédération Suisse, Information Cultures Maraîchères n° 15, 3 p.
- Nomura H. et Hilton H., 1977-** The adsorption and degradation of glyphosate in five Hawaii sugarcane soils. *Journal of Weed Research*, vol. 17, p113-121.
- Noumeur S., 2008-** Biodégradation du 2,4-dichlorophénol par le microbiote tellurique de la région de Hamla (Batna). Mémoire de Magister, Option : Microbiologie appliquée et Biotechnologies microbiennes, Département de Biochimie et de Microbiologie, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Université Mentouri Constantine, p 3-9.
- Onil S., 2001-** Risques liés à l'utilisation de Roundup pour le contrôle des plantations de Cocaïne en Colombie. Organisation panaméricaine de la santé, Direction de la toxicologie humaine, Institut national de santé publique du Québec, 19 p.
- Onil S., Dion S., Laurent S. et Apirl M., 2012-** Indicateurs de risque des pesticides du Québec, 2^{ème} édition, bibliothèque et archives nationales du Québec (Collection Santé et environnement), p 40.
- Pelfrène A., 2003-** Glyphosate : toxicologie et évaluation du risque pour l'homme. *Environnement, Risques et Santé*, p 323-334.
- Piccolo A., Celano G. et Conte P., 1996-** Adsorption of glyphosate by humic substances. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 44, p 2442- 2446.
- Pitrat M et Foury C., 2003-** Histoires de légumes : des origines à l'orée du XXI^e siècle, Edition Quae, France, p 148.
- Pousset J., 2003-** Agriculture sans herbicides (principe et méthodes). Edition Agri décisions groupe France Agricole, 1^{ère} édition, Paris Cedex, p120-124.
- Prata F., Camponez V., Lavorenti A. et Tornisielo V., 2003-** Glyphosate sorption and desorption in soils with distinct phosphorus levels. *Journal of Scientia Agricola*, Vol. 60, p 175-180.
- Prata F., Lavorenti A., Regitano J., Vereecken H., Tornisielo V. et Pelissari A., 2005-** Glyphosate behavior in a rhodicoxisol under no-till and conventional agricultural systems, *Revue of Brasileira. De Ciencia do Solo*, Vol. 21, p 69.
- Quénéa K., 2004-** Etude structurale et dynamique des fractions lipidiques et organiques réfractaires de sols d'une chronoséquence forêt/maïs (Cestas, sud-ouest de la France). Thèse de doctorat, Institut des Sciences et Technologies, p10.

- R Cox J., 2003-** Echantillonnage en vue de l'analyse de résidus de pesticides. Natural Resources Institute, University of Greenwich at Medway, Central Avenue, Chatham Maritime, Kent ME4 4TB, Royaume-Uni, 23 p.
- Ragab M-T., Abdel-Kader M. and Stiles D., 1985-** Fate of glyphosate in a sandy loam soil and analysis for residues in Field-Grown Crops. Acadia University, Agriculture Canada, Research Station, Kentville, Vol. 35, p 67-70.
- Reddy K. et Zablutowicz R., 2003-** Glyphosate-resistant soybean response to various salts of glyphosate and glyphosate accumulation in soybean nodules. Journal of Weed Science Vol. 51, p 496–502.
- Regnault-Roger C., Fabres G. et Philogène B.J., 2005-** Enjeux phytosanitaires pour l'agriculture et l'environnement. Edition Tec et Doc, Paris, 977 p.
- Regnault-Roger C., Philogène B.J.R et Vincent Ch., 2005-** Biopesticides d'origine végétale. Editions Tec et Doc, Lavoisier, Paris, p 465.
- Reyes-Perez E., 2009-** Chimie multiphasique des pesticides dans l'air: Distribution et photo réactivité, Thèse de doctorat. Discipline : Chimie. Université de Strasbourg, 123 p.
- Richard S., Moslemi S., Sipahutar H., Benachour N. et Seralini G-E., 2005-** Differential effects of glyphosate and Roundup on human placental cells and aromatase. Environmental Health Perspective, Vol. 113, p 716-720.
- Richer de Forges A., Feller C., Jamagne M. et Arrouays D., 2008-** Perdus dans le triangle des textures, Etude et Gestion des Sols INRA, Montpellier Cedex, Vol. 15, p 98.
- Riman K., 2010-** Gestion de la fertilité du Sol en Agriculture Biologique. Intervention au CFPPA Carpentras. France, p 15.
- Roberts T., Klein W. et Still G., 1984-** Non-extractable pesticide residues in soils and plants. Chemistry and Biology Research, Institute, Canada Department of Agriculture, IUPAC Reports on Pesticides Vol. 17, p 946-950.
- Rocher F., 2004-** Lutte chimique contre les champignons pathogènes des plantes : évaluation de la systémiephloémienne de nouvelles molécules à effet fongicides et d'activateurs de réactions de défense. Thèse de doctorat, Faculté des sciences fondamentales et appliquées, Ecole doctorale : Ingénierie chimique, biologique et géologie, p 9.
- Roe M., Burton J. et Kuhr R., 1997-** Herbicide activity, toxicology, biochemistry and molecular biology. Edited by IOS Press, Canada, p 1-4.

- Roula M., 2009.** Evaluation du risque de contamination des légumes par les résidus de pesticides. Mémoire de magister, Option : Ecotoxicologie, Faculté des sciences, Département d'Ecologie et Environnement, Université de Jijel, 118 p.
- Rueppel M., Brightwell B., Schaefer J. et Marvel J., 1977-** Metabolism and degradation of glyphosate in soil and water. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, Vol. 25, p 517-528.
- Sanogo S., Yang X. et Scherm H., 2000-** Effects of herbicides on *Fusarium solanif. sp.* glycines and development of sudden death syndrome in glyphosate tolerant soybean. *Journal of Phytopathology*, Vol. 90, p 57–66.
- Savitz D., Arbuckle T., Kaczor D. et Curtis K., 1997-** Male pesticide exposure and pregnancy outcome. *American Journal of Epidemiology*, Vol. 146, p 1025-1036.
- Schafer R., 1975-** La matière organique du sol, 1^{er} séminaire sur la croissance des sols du Maghreb, Institut National Agronomique El Harrach, Alger.
- Scheyer A., 2004-** Développement d'une méthode d'analyse par CPG/MS/MS de 27 pesticides identifiés dans les phases gazeuse, particulaire et liquide de l'atmosphère. Application à l'étude des variations spatio-temporelles des concentrations dans l'air et dans les eaux de pluie. Thèse de doctorat, Discipline : Chimie, Université Louis Pasteur de Strasbourg, 273 p.
- Schrack D., Coquil X., Ortat A. et Benoît M., 2009-** Rémanence des pesticides dans les eaux issues de parcelles agricoles récemment converties à l'Agriculture Biologique. *Innovations Agronomiques*, 268 p.
- Schreck E., 2008-** Influence des modes d'entretien du sol en milieu viticole sur le transfert des pesticides vers les eaux d'infiltration – Impact sur les lombriciens, Thèse de doctorat, Spécialité : Ecotoxicologie, l'Université Toulouse III – Paul Sabatier, 301 p.
- Sirinathsinghji E., 2012-** Un scientifique américain de l'USDA révèle tous les dangers du glyphosate sur les plantes, les sols, les animaux et les consommateurs, Université Purdue, Rapport de l'ISIS, 19 p, In http://www.i-sis.org.uk/USDA_scientist_reveals_all.php.
- Smith A.E. and Aubin A., 1993-** Degradation of C¹⁴ –Glyphosate in Saskatchewan soils. *Bulletin of environmental Contaminant Toxicology*, Vol. 50, p 499-505.
- Sorensen R., Schultz A., Jacobsen O. et Aamand J., 2006-** Sorption, desorption mineralization of the herbicides glyphosate and MPCA in samples from two Danish soil and subsurface profiles. *Journal of Environmental Pollution*, p 184-194.
- Spark K. et Swift R., 2002-** Effect of soil composition and dissolved organic matter on pesticide sorption. *Journal of Science Total Environment*, Vol. 298, p 147–161.

- Sprankle P., Meggitt W.F. et Penner D., 1975-** Adsorption, Mobility, and Microbial Degradation of Glyphosate in the Soil. *Journal of Weed science*, p 229-234.
- Sturny W., 2012-** Apprendre à limiter l'utilisation du glyphosate : Un enjeu majeur à relever par les réseaux AC. *Techniques culturales simplifiées N°68*, 14 p.
- Tellier S., 2006-** Les pesticides en milieu agricole : état de la situation environnementale et initiatives prometteuses. Direction des politiques en milieu terrestre, Service des pesticides, Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, 90 p.
- Thiollet-Scholtus M., 2004-** Construction d'un indicateur de qualité des eaux de surface vis-à-vis des produits phytosanitaires à l'échelle du bassin versant viticole. Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Lorraine, 206 p.
- Thompson D.G., Pitt D., Buscarini T., Staznik B. et Thomas D., 2000-** Comparative fate of Glyphosate and triclopyr herbicides in the forest floor and mineral soil of an Acadian forest regeneration site. *Canadian Journal of Forest Research*, Vol. 30, p 1808-1816.
- Tissut M., Delval Ph., Mamarot J. et Ravanel P., 2006-** Plantes, herbicides et désherbage. Edition: Association de coordination technique agricole, Paris Cedex, 635 p.
- Tortensson L., 1985-** Behaviour of glyphosate in soils and its degradation. In: Grossbard E et D. Atkinson D., *The herbicide glyphosate*. Butterworths, London, R.-U, p 137-156.
- Tremel-Schaub A. et Feix I., 2005-** Contamination des sols : Transfert des sols vers les plantes. EDP Sciences/ADEME, p 90-105.
- Tsuiohi Y., Kremer R. et Paulo R., 2009-** Glyphosate interactions with physiology, nutrition, and diseases of plants : Threat to agricultural sustainability? *European Journal of Agronomy*, Guest Editor Institute, Brazil, p13.
- Veiga F., Zapata J., Fernandez M. and Alvarez E., 2001-** Dynamics of glyphosate and aminomethylphosphonic acid in a forest soil in Galicia, north-west Spain. *The Science of the Total Environment*, Vol. 271, p 135-144.
- Vian J-F., 2009-** Comparaison de différentes techniques de travail du sol en agriculture biologique : effet de la Structure et de la localisation des résidus sur les microorganismes du sol et leurs activités de minéralisation du carbone et de l'azote. Thèse de doctorat, Institut des Sciences et Industries du Vivant et de l'Environnement, INRA, UMR 1229 Microbiologie du Sol et de l'Environnement, Dijon, 204 p.
- Villeneuve Ch. et Bernier D., 2004-** Les résidus d'herbicides et les engrais verts de céréale. Article. MAPAQ Québec, 2 p.

VNF : Voies Navigables de France., 2004- Guide technique sur les bonnes pratiques phytosanitaires réalisé par la Fédération Régionale de Défense contre les Ennemis des Cultures (F.R.E.D.E.C.). Direction de l'infrastructure et de l'environnement, France, p 7.

Watts M., Cotter J., 2011- Cultures OGM et tolérance aux herbicides : Pourquoi devrait-on interdire le Roundup (Résumé exécutif et conclusion) Rapport de Laboratoires de recherche de Greenpeace à l'Université d'Exeter, Royaume-Uni Québec, p 9-12.

Williams G., Kroes R. et Munro I., 2000- Safety evaluation and risk assessment of the herbicide Roundup and its active ingredient, glyphosate, for humans. Journal of Regulatory Toxicology and Pharmacology, Vol. 31, p117-165.

Zablotowicz R., Accinelli C., Jason Krutz L. and Reddy K., 2009- Soil depth and tillage effects on glyphosate degradation. Journal of Agricultural and Food Chemistry, Vol. 57, p 4867-4871.

Zadjan E., 2004- Guide de bonnes pratiques de désherbage en ZNA. LEF (Liberté Egalité Fraternité) Ministre de l'agriculture, de l'alimentation, de la recherche des affaires rurales, France, p 61-72.

Zegels A. et Salemi J.C., 2003- Guide de bons conseils pour le respect de l'environnement dans les pratiques de jardinage. Edition responsable : Direction générales des ressources naturelles et de l'environnement, Région wallonne, p15.

Zidani L., Non daté- Etude de la dégradation de quatre colorants azoïques par photocatalyse- Comparaison avec d'autres procédés d'oxydation avancés. Magister en Chimie, Option Chimie de l'eau / Dessalement et environnement, Département de Chimie, Faculté des Sciences Exactes, Université de Batna, 149 p.

ANNEXE

Annexe I : Les pourcentages de germination**Tableau I : Les pourcentages de germination au niveau de la serre 2 (deux) de Jimar (15 jours)**

Serre 2									
		Témoin (hors serre)			Traité (à l'intérieur de la serre)				
		Profils			Profils				
		I	II	III	I	II	III	IV	V
Profondeurs (Horizons)	I	92.5	82.5	95	72.5	52.5	37.5	80	30
	II	95	65	82.5	62.5	45	55	55	32.5
	III	70	87.5	100	55	57.5	40	65	37.5

Tableau II : Les pourcentages de germination au niveau de la serre 3 (trois) de Jimar (20 jours)

Serre 3									
		Témoin (hors serre)			Traité (à l'intérieur de la serre)				
		Profils			Profils				
		I	II	III	I	II	III	IV	V
Profondeurs (Horizons)	I	72.5	57.5	60	25	52.5	62.5	57.5	12.5
	II	62.5	57.5	62.5	30	60	52.5	57.5	47.5
	III	52.5	47.5	52.5	15	37.5	42.5	30	25

Tableau III : Les pourcentages de germination au niveau de la serre 4 d'El-Kennar (20 jours)

Serre 4									
		Témoin (hors serre)			Traité (à l'intérieur de la serre)				
		Profils			Profils				
		I	II	III	I	II	III	IV	V
Profondeur (Horizons)	I	57.5	62.5	77.5	32.5	57.5	40	67.5	62.5
	II	62.5	52.5	60	42.5	50	27.5	47.5	45
	III	35	50	70	32.5	47.5	35	72.5	57.5

Annexe II : Evaluation du nombre de plantules par profil et par horizon (serre deux de Jimar du 1^{er} essai :

Tableau I : Le nombre de plantules, cinq jours après la levée.

Serre 2									
		Témoin (hors serre)			Traité (à l'intérieur de la serre)				
		Profils			Profils				
		I	II	III	I	II	III	IV	V
Horizons	I	30	25	24	24	15	11	30	11
	II	31	23	25	19	17	23	22	10
	III	14	27	23	15	19	15	20	8

Tableau II : Le nombre de plantules, dix jours après la levée.

Serre 2									
		Témoin (hors serre)			Traité (à l'intérieur de la serre)				
		Profils			Profils				
		I	II	III	I	II	III	IV	V
Horizons	I	36	31	36	29	19	15	32	11
	II	38	26	33	23	18	22	22	13
	III	27	32	38	22	24	16	23	15

Tableau III : Le nombre de plantules, quinze jours après la levée.

Serre 2									
		Témoin (hors serre)			Traité (à l'intérieur de la serre)				
		Profils			Profils				
		I	II	III	I	II	III	IV	V
Horizons	I	37	33	38	29	21	15	32	12
	II	38	26	33	25	18	22	22	13
	III	28	35	40	22	23	16	26	15

Tableau IV : Le nombre de plantules, vingt jours après la levée.

Serre 2									
		Témoin (hors serre)			Traité (à l'intérieur de la serre)				
		Profils			Profils				
		I	II	III	I	II	III	IV	V
Horizons	I	37	33	33	27	15	14	29	11
	II	37	23	36	26	14	19	19	12
	III	23	35	40	22	21	15	23	11

Tableau V : Le nombre de plantules, vingt cinq jours après la levée.

Serre 2									
		Témoin (hors serre)			Traité (à l'intérieur de la serre)				
		Profils			Profils				
		I	II	III	I	II	III	IV	V
Horizons	I	37	32	32	24	14	13	28	11
	II	28	23	32	24	11	19	19	11
	III	23	32	39	21	20	14	22	11

Annexe III : Les résultats détaillés de la serre 3 (trois) de Jimar du 2^{ème} Essai**Annexe III₁ : Les résultats bruts des paramètres physico-chimiques de la serre 3 de Jimar****Tableau I : Les résultats de l'analyse granulométrique**

Echantillon	% argile	% limons (LF+LG)	% sable (SF+SG)	Texture
TeP ₁ H ₁	29.25	21.5	49.25	Limono-argilo-sableux
TeP ₁ H ₂	29	22	49	Limono- argilo-sableux
TeP ₁ H ₃	28.75	22	49.25	Limono-argilo-sableux
TeP ₂ H ₁	42	15.75	42.25	Argileux
TeP ₂ H ₂	32	24	44	Limono-argileux
TeP ₂ H ₃	26.75	6	67.25	Limono-argilo-sableux
TeP ₃ H ₁	19.52	14.28	66.19	Limono-sableux
TeP ₃ H ₂	35.25	27.25	37.50	Limono-argileux
TeP ₃ H ₃	29	6.5	64.5	Limono-argilo-sableux
TrP ₁ H ₁	22.85	15.23	61.91	Limono-argilo-sableux
TrP ₁ H ₂	20.95	19.04	60	Limono-argilo-sableux
TrP ₁ H ₃	23.8	10	66.19	Limono-argilo-sableux
TrP ₂ H ₁	19.52	14.28	66.19	Limono-sableux
TrP ₂ H ₂	17.14	23.80	59.05	Limono-sableux
TrP ₂ H ₃	19.52	12.85	67.65	Limono-sableux
TrP ₃ H ₁	20	14.28	65.72	Limono-argilo-sableux
TrP ₃ H ₂	18.09	23.80	58.10	Limono-sableux
TrP ₃ H ₃	21.90	16.19	61.90	Limono-argilo-sableux
TrP ₄ H ₁	27.61	15.23	57.15	Limono-argilo-sableux
TrP ₄ H ₂	25.71	10.47	63.81	Limono-argilo- sableux
TrP ₄ H ₃	27.61	44.85	27.53	Limono-argileux
TrP ₅ H ₁	21.90	23.80	54.29	Limono-argilo-sableux
TrP ₅ H ₂	16.66	14.30	69	Limono-sableux
TrP ₅ H ₃	19.04	17.61	63.34	Limono-sableux

Te : Témoin, Tr : Traité, P : Profil, H : Horizon

Tableau II : Les résultats de la matière organique mesurés dans les différents horizons

Serre 3									
		Témoïn (Hors serre)			Traité (à l'intérieur de la serre)				
		Profils			Profils				
		I	II	III	I	II	III	IV	V
Horizons	I	1.47	1.88	0.95	0.80	0.42	0.78	0.54	0.44
	II	1.16	1.36	0.92	0.50	0.31	0.42	0.51	0.46
	III	0.99	1.43	0.64	0.33	0.39	0.44	0.55	0.39

Tableau III : Les résultats de pH eau mesurés dans les différents horizons

Serre 3									
		Témoïn (hors serre)			Traité (à l'intérieur de la serre)				
		Profils			Profils				
		I	II	III	I	II	III	IV	V
Horizons	I	7.75	7.19	7.33	6.94	6.75	6.34	6.96	6.70
	II	7.84	7.03	7.22	6.86	6.64	6.66	7.14	6.68
	III	7.80	7.17	7.43	6.68	6.86	6.77	6.84	6.79

Tableau IV : Les résultats de la conductivité mesurés dans les différents horizons

Serre 3									
		Témoïn (Hors serre)			Traité (à l'intérieur de la serre)				
		Profils			Profils				
		I	II	III	I	II	III	IV	V
Horizons	I	0.11	0.22	0.06	0.06	0.04	0.25	0.26	0.05
	II	0.11	0.10	0.05	0.04	0.03	0.14	0.19	0.04
	III	0.20	0.11	0.08	0.03	0.03	0.11	0.16	0.03

Tableau V : Les résultats du calcaire total mesurés dans les différents horizons

Serre 3									
		Témoïn (Hors serre)			Traité (à l'intérieur de la serre)				
		Profils			Profils				
		I	II	III	I	II	III	IV	V
Horizons	I	1.62	0.04	0.04	0.04	0	0.04	0.04	0.04
	II	0.54	0	0.04	0.06	0.01	0.04	0.10	0.04
	III	0.27	0.04	0.04	0.04	0	0.04	0.04	0.04

Tableau VI : Les valeurs de la capacité d'échange cationique

Serre 3						
Echantillon	Témoin H1 (0-10cm)	Témoin H2 (10-20cm)	Témoin H3 (20-30cm)	Traité H1 (0-10cm)	Traité H2 (10-20cm)	Traité H3 (20-30cm)
Valeur	12	6	12	2	10	14

Annexe III₂ : Moyennes et écartypes des paramètres physicochimiques de la serre 3 de Jimar**Tableau I : Moyenne et écartype de la matière organique**

		Moyenne±écartype chez le témoin	Moyenne ±écartype chez le traité
Horizons	I	1.43±0.46	0.6±0.18
	II	1.15±0.22	0.44±0.08
	III	1.02±0.39	0.42±0.08

Tableau II : Moyenne et écartype du pH eau

		Moyenne±écartype chez le témoin	Moyenne ±écartype chez le traité
Horizons	I	7.42±0.29	6.73±0.25
	II	7.36±0.42	6.79±0.21
	III	7.46±0.31	6.78±0.07

Tableau III : Moyenne et écartype de la conductivité électrique

		Moyenne±écartype chez le témoin	Moyenne ±écartype chez le traité
Horizons	I	0.13±0.08	0.13±0.11
	II	0.08±0.03	0.08±0.07
	III	0.13±0.06	0.07±0.06

Tableau IV : Moyenne et écartype du calcaire total

		Moyenne±écartype chez le témoin	Moyenne ±écartype chez le traité
Horizons	I	0.56±0.91	0.03±0.01
	II	0.19±0.3	0.05±0.03
	III	0.11±0.13	0.03±0.01

Annexe III₃ : Evaluation du nombre de plantules par profil et par horizon (serre 3 de Jimar du 2^{ème} essai)

Tableau I : Le nombre de plantules, dix jours après la levée.

Serre 3									
		Témoin (Hors serre)			Traité (à l'intérieur de la serre)				
		Profils			Profils				
		I	II	III	I	II	III	IV	V
Horizons	I	20	15	19	12	14	8	21	2
	I	16	16	18	14	12	5	12	10
	III	12	18	15	12	11	8	21	19

Tableau II : Le nombre de plantules, quinze jours après la levée.

Serre 3									
		Témoin (Hors serre)			Traité (à l'intérieur de la serre)				
		Profils			Profils				
		I	II	III	I	II	III	IV	V
Horizons	I	29	16	21	10	19	25	22	6
	II	22	23	25	12	24	20	21	15
	III	20	18	19	7	12	17	11	10

Tableau III : Le nombre de plantules, vingt jours après la levée

Serre 3									
		Témoin (Hors serre)			Traité (à l'intérieur de la serre)				
		Profils			Profils				
		I	II	III	I	II	III	IV	V
Horizons	I	29	23	24	10	21	25	23	5
	II	25	23	25	12	24	21	23	19
	III	21	19	21	6	15	17	12	10

Tableau IV : Le nombre de plantules, vingt cinq jours après la levée

Serre 3									
		Témoin (Hors serre)			Traité (à l'intérieur de la serre)				
		Profils			Profils				
		I	II	III	I	II	III	IV	V
Horizons	I	28	19	22	10	21	22	24	5
	II	25	23	25	12	24	22	21	17
	III	21	19	21	7	16	12	19	11

Tableau V: Le nombre de plantules, trente jours après la levée

Serre 3									
		Témoin (Hors serre)			Traité (à l'intérieur de la serre)				
		Profils			Profils				
		I	II	III	I	II	III	IV	V
Horizons	I	27	19	21	9	21	23	20	5
	II	23	23	19	12	22	20	20	15
	III	18	18	21	7	15	12	11	10

Tableau VI: Le nombre de plantules, trente cinq jours après la levée

Serre 3									
		Témoin (Hors serre)			Traité (à l'intérieur de la serre)				
		Profils			Profils				
		I	II	III	I	II	III	IV	V
Horizons	I	27	17	21	9	20	22	20	5
	II	23	23	19	12	22	19	20	15
	III	17	17	21	6	14	12	11	10

Tableau VII: Le nombre de plantules, quarante jours après la levée

Serre 3									
		Témoin (Hors serre)			Traité (à l'intérieur de la serre)				
		Profils			Profils				
		I	II	III	I	II	III	IV	V
Horizons	I	27	17	21	9	20	22	20	5
	II	23	23	19	12	22	18	20	15
	III	17	17	20	6	14	12	11	10

Tableau VIII : Le nombre de plantules, quarante cinq jours après la levée

Serre 3									
		Témoin (Hors serre)			Traité (à l'intérieur de la serre)				
		Profils			Profils				
		I	II	III	I	II	III	IV	V
Horizons	I	27	17	21	9	20	21	20	5
	II	23	23	19	12	22	18	20	15
	III	17	17	19	6	14	12	11	10

Annexe IV : Les résultats détaillés de la serre 4 d'El-Kennar du 2^{ème} essai**Annexe IV₁ : Les résultats bruts des paramètres physico-chimiques de la serre d'El-Kennar****Tableau I : Les résultats de l'analyse granulométrique**

Echantillon	% argile	% limons (LF+LG)	% sable (SF+SG)	Texture
TeP ₁ H ₁	16.66	11	72.34	Limono-Sableux
TeP ₁ H ₂	27.61	15.23	57.97	Limono-argilo-sableux
TeP ₁ H ₃	16.66	15.71	67.62	Limono-sableux
TeP ₂ H ₁	26	16.75	57.25	Limono-argilo-sableux
TeP ₂ H ₂	18.57	19.04	62.39	Limono-sableux
TeP ₂ H ₃	16.19	15.70	68.10	Limono-sableux
TeP ₃ H ₁	25.71	27.14	47.14	Limono-argilo- sableux
TeP ₃ H ₂	17.61	37.14	45.24	Limoneux
TeP ₃ H ₃	28.75	19	52.25	Limono-argilo-sableux
TrP ₁ H ₁	17.61	16.19	66.2	Limono-sableux
TrP ₁ H ₂	16.66	7	76.34	Limono-sableux
TrP ₁ H ₃	19.04	19	61.95	Limono-sableux
TrP ₂ H ₁	19.52	21	59.49	Limono-sableux
TrP ₂ H ₂	11.42	36.19	52.38	Limono-sableux
TrP ₂ H ₃	18.57	22.38	59.04	Limono-sableux
TrP ₃ H ₁	16.66	23.33	60	Limono-sableux
TrP ₃ H ₂	18.09	26.66	55.24	Limono-sableux
TrP ₃ H ₃	14.28	13.80	71.92	Limono-sableux
TrP ₄ H ₁	10.47	24.28	65.24	Limono-sableux
TrP ₄ H ₂	9.04	27.14	63.81	Limono-sableux
TrP ₄ H ₃	24.76	10.95	64.28	Limono-argilo-sableux
TrP ₅ H ₁	24.76	11.90	63.34	Limono-argilo-sableux
TrP ₅ H ₂	25.23	6.66	68.11	Limono-argilo-sableux
TrP ₅ H ₃	23.80	16.66	59.54	Limono-argilo-sableux

Tableau II : Les résultats de la matière organique mesurés dans les différents horizons

Serre 4									
		Témoin (Hors serre)			Traité (à l'intérieur de la serre)				
		Profils			Profils				
		I	II	III	I	II	III	IV	V
Horizons	I	2.46	2.58	2.09	0.90	0.76	0.80	0.83	0.68
	II	1.19	0.78	1.50	0.57	0.85	0.68	1.02	0.80
	III	0.64	0.64	1.16	0.62	0.71	0.61	0.76	0.68

Tableau III : Les résultats de pH eau mesurés dans les différents horizons

Serre 4									
		Témoin (Hors serre)			Traité (à l'intérieur de la serre)				
		Profils			Profils				
		I	II	III	I	II	III	IV	V
Horizons	I	6.70	6.45	7.31	6.92	6.76	6.91	7.41	7.49
	II	6.72	6.32	7.46	6.90	6.85	6.40	7.62	7.98
	III	6.81	6.89	7.53	6.94	6.48	6.38	7.56	8.05

Tableau IV : Les résultats de la conductivité électrique mesurés dans les différents horizons

Serre 4									
		Témoin (Hors serre)			Traité (à l'intérieur de la serre)				
		Profils			Profils				
		I	II	III	I	II	III	IV	V
Horizons	I	49.4	62.9	108.9	173.4	380	161.5	232	968
	II	69.8	36.1	102.1	142	217	89.2	149	177.8
	III	42.3	32.1	86.4	176.2	176.1	91.8	96.8	169.7

Tableau V : Les résultats du calcaire total mesurés dans les différents horizons

Serre 4									
		Témoin (Hors serre)			Traité (à l'intérieur de la serre)				
		Profils			Profils				
		I	II	III	I	II	III	IV	V
Horizons	I	0.04	0	0.06	0.04	0	0.04	0.27	1.40
	II	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0	0.27	1.71
	III	0.04	0.04	0.04	0.03	0.01	0	0.13	2.03

Tableau VI : Les valeurs de la capacité d'échange cationique.

Serre 4						
Echantillon	Témoin H1 0-10 cm	Témoin H2 10-20 cm	Témoin H3 20-30 cm	Traité H1 0-10 cm	Traité H2 10-20 cm	Traité H3 20-30 cm
Valeur	14	6	10	12	4	12

Annexe IV₂ : Moyenne et écartype des paramètres physicochimiques de la serre d'El-Kennar**Tableau I** : Moyenne et écartype de la matière organique

		Moyenne±écartype chez le témoin	Moyenne ±écartype chez le traité
Horizons	I	2.38±0.25	0.79±0.08
	II	1.16±0.36	0.78±0.17
	III	0.81±0.29	0.68±0.06

Tableau II : Moyenne et écartype du pH eau

		Moyenne±écartype chez le témoin	Moyenne ±écartype chez le traité
Horizons	I	6.82±0.44	7.09±0.32
	II	6.83±0.57	7.15±0.63
	III	7.07±0.39	7.08±0.71

Tableau III : Moyenne et écartype de la conductivité électrique

		Moyenne±écartype chez le témoin	Moyenne ±écartype chez le traité
Horizons	I	0.06±0.03	0.38±0.33
	II	0.06±0.03	0.14±0.04
	III	0.05±0.02	0.13±0.04

Tableau IV : Moyenne et écartype du calcaire total

		Moyenne±écartype chez le témoin	Moyenne ±écartype chez le traité
Horizons	I	0.03±0.03	0.35±0.59
	II	0.04±0	0.41±0.73
	III	0.04±0	0.44±0.88

Annexe IV₃ : Evaluation du nombre de plantules par profil et par horizon de la serre 4 d'El-Kennar:

Tableau I : Le nombre de plantules, dix jours après la levée

Serre 4									
		Témoin (Hors serre)			Traité (à l'intérieur de la serre)				
		Profils			Profils				
		I	II	III	I	II	III	IV	V
Horizons	I	21	19	17	5	13	23	9	3
	II	19	10	21	4	13	14	14	13
	III	13	20	18	4	9	13	7	7

Tableau II : Le nombre de plantules, quinze jours après la levée

Serre 4									
		Témoin (Hors serre)			Traité (à l'intérieur de la serre)				
		Profils			Profils				
		I	II	III	I	II	III	IV	V
Horizons	I	23	24	28	13	21	16	22	11
	II	24	19	24	15	19	11	19	17
	III	13	19	26	13	16	13	28	21

Tableau III : Le nombre de plantules, vingt jours après la levée

Serre 4									
		Témoin (Hors serre)			Traité (à l'intérieur de la serre)				
		Profils			Profils				
		I	II	III	I	II	III	IV	V
Horizons	I	23	25	31	13	23	16	27	25
	II	25	21	24	17	20	11	19	18
	III	14	20	28	13	19	14	29	23

Tableau IV : Le nombre de plantules, vingt cinq jours après la levée

Serre 4									
		Témoin (Hors serre)			Traité (à l'intérieur de la serre)				
		Profils			Profils				
		I	II	III	I	II	III	IV	V
Horizons	I	23	25	30	13	23	16	27	21
	II	26	21	24	15	20	10	19	19
	III	14	20	29	13	20	14	29	22

Tableau V : Le nombre de plantules, trente jours après la levée

Serre 4									
		Témoin (Hors serre)			Traité (à l'intérieur de la serre)				
		Profils			Profils				
		I	II	III	I	II	III	IV	V
Horizons	I	23	22	26	13	22	14	22	14
	II	25	20	23	15	18	8	18	16
	III	13	19	26	13	17	14	26	22

Tableau VI : Le nombre de plantules, trente cinq jours après la levée

Serre 4									
		Témoin (Hors serre)			Traité (à l'intérieur de la serre)				
		Profils			Profils				
		I	II	III	I	II	III	IV	V
Horizons	I	22	22	26	12	22	11	22	14
	II	23	20	23	15	18	8	17	16
	III	13	19	20	12	17	13	26	22

Tableau VII : Le nombre de plantules, quarante jours après la levée

Serre 4									
		Témoin (Hors serre)			Traité (à l'intérieur de la serre)				
		Profils			Profils				
		I	II	III	I	II	III	IV	V
Horizons	I	21	22	26	12	19	11	22	14
	II	23	20	21	15	18	8	17	16
	III	13	19	20	12	16	13	26	20

Tableau VIII : Le nombre de plantules, quarante cinq jours après la levée

Serre 4									
		Témoin (Hors serre)			Traité (à l'intérieur de la serre)				
		Profils			Profils				
		I	II	III	I	II	III	IV	V
Horizons	I	21	22	26	12	19	11	22	13
	II	23	20	21	15	18	8	17	16
	III	13	19	20	12	15	13	26	19

Annexe V : Les normes d'interprétation des analyses physiques du sol :**Tableau I :** Normes d'interprétation de la matière organique (Schafer, 1975)

Taux de la matière organique (%)	Type du sol
< 1	Très pauvre
1 à 2	Pauvre
2 à 4	Moyenne
> 4	Riche

Tableau II : les normes d'interprétation du pH du sol (Clech, 2000)

Classe de réaction du sol	pH eau
Extrêmement acide	< 4,5
Très fortement acide	4,5 – 5,0
Fortement acide	5,1 – 5,5
Moyennement acide	5,6 – 6,0
Faiblement acide	6,1 – 6,5
Neutre	6,6 – 7,3
Faiblement alcalin	7,4 – 7,8
Moyennement alcalin	7,9 – 8,4
Fortement alcalin	8,5 – 9,0
Très fortement alcalin	> 9,0

Tableau III : Classe de la salinité en fonction de la CE (Gros, 1979)

CE ($\mu\text{s.cm}^{-2}$)	60	100	200	400	
CE (ds.m^{-1})	0,6	1	2	4	
CE	Non salé	Légèrement salé	Salé	Très salé	Extrêmement salé

Tableau IV : Normes d'interprétation du taux du calcaire total du sol (Baize, 1988).

Taux du calcaire	< 1 %	1 à 5 %	5 à 25 %	25 à 50 %	50 à 80 %	> 80 %
appréciation	Non calcaire	Peu calcaire	Modérément calcaire	Fortement calcaire	Très fortement calcaire	Excessivement calcaire

Tableau V : Normes d'interprétation pour la C.E.C (Calvet et Villemin, 1986)

CEC (meq / 100g du sol)	Très Faible	Faible	Moyenne	Elevée	<i>Très élevée</i>
		< 5	5 - 10	10 - 15	15 - 20

Annexe VI : Les résultats de l'étude statistique :**Tableau I** : matrice de corrélation de la serre 3 de **Jimar** :

	Nombre de plantules	pH	MO	CE	CT	Argile
Nombre de plantules	1.0000					
pH	-0.1250	1.0000				
MO	0.1164	-0.0213	1.0000			
CE	<u>0.5485</u>	0.227	<u>0.5290</u>	1.0000		
CT	-0.0240	0.4154	0.2836	0.4113	1.0000	
Argile	-0.1778	<u>0.5575</u>	0.3006	<u>0.5415</u>	0.4532	1.0000

Tableau II : La matrice de corrélation de la serre 4 d'**El-Kennar**:

	Nombre de plantules	pH	MO	CE	CT	Argile
Nombre de plantules	1.0000					
pH	<u>0.5599</u>	1.0000				
MO	0.1627	0.3141	1.0000			
CE	0.3891	0.1851	-0.0857	1.0000		
CT	0.3185	<u>0.7889</u>	-0.0602	0.3674	1.0000	
Argile	0.2139	0.3660	-0.4161	0.3146	<u>0.5884</u>	1.0000

RÉSUMÉ

Résumé

Le présent travail est une contribution à l'évaluation de la rémanence de l'herbicide Glyphosate dans les cultures maraîchères en fonction des caractéristiques physico-chimiques du sol.

Des échantillons de sols ayant porté des cultures à l'intérieur des serres et de sols non traités de l'extérieur des serres sont prélevées dans deux endroits de la wilaya de Jijel. La rémanence de cet herbicide est évaluée par l'utilisation d'un test biologique appliqué sur le radis (Raphanus sativus L.) qui est choisi comme plante-test.

Les résultats obtenus en pots ont montré un retard à la levée des plantules pour les sols prélevés à l'intérieur des serres, de même une diminution du nombre de plantules pour les mêmes sols, et cela en fonction de la date de l'épandage du produit, la nature du sol et l'horizon de sol considéré.

Dans le premier essai pour les sol de Jimar, si le semis est pratiqué au niveau des sols prélevés de l'intérieur des serres après une courte durée de la date de l'épandage de l'herbicide (15 jours), on enregistre un retard de levée et une diminution du nombre de plantules levées au niveau du premier horizon 0-10 cm pour la première serre et au niveau des trois horizons pour la deuxième serre. Si le semis est pratiqué après un temps plus long (1 mois), on observe un retard de levée et un nombre de plantules réduit au niveau des horizons profonds 20-30 cm pour les sols de Jimar qui sont des sols majoritairement limono-argilo-sableux ou limono-sableux pour certains. Tandis qu'après trois mois, on observe les mêmes résultats au niveau de l'horizon 10-20 cm dans les sols d'El-Kennar qui sont des sols limono- sableux dans leur majorité et limono-argilo-sableux pour le reste.

Ces résultats se dégagent sous l'effet de l'herbicide qui n'est pas retenu par les sols non argileux et pauvres en matière organique, deux constituants qui devraient adsorber le glyphosate et le rendre peu mobile et inactif.

Il faut bien indiquer que Le test biologique n'est pas suffisant à lui seul. Il doit être secondé par des analyses chimiques afin de confirmer la rémanence de cet herbicide.

Mots clés : herbicide, glyphosate, rémanence, plante-teste, Raphanus sativus L.

Abstract :

This work is a contribution to the evaluation of the persistence of the herbicide glyphosate in vegetable crops based on physico-chemical characteristics of the soil.

Soil samples with increased crops inside greenhouses and untreated soil outside of greenhouses are taken in two places of Jijel. The persistence of the herbicide was evaluated by the use of a biological test applied to radish (Raphanus sativus L.) which is selected as a test plant.

The results obtained in pots showed a delay in seedling emergence in soil collected inside greenhouses, and a decrease in the number of seedlings for the same soil, and this according to the date of application of product, the soil and the soil horizon considered.

In the first test for soil of Jimar, if sowing is practiced in soils taken from inside greenhouses after a short period of time of herbicide application (15 days) , a delay is recorded and lower the number of seedlings raised at the first horizon 0-10 cm for the first greenhouse in the three horizons for the second emissions. If seeding is performed after a longer time (1 month), delayed emergence and reduced number of seedlings in deep horizons 20-30 cm for soils of Jimar which are mostly silty clay soil was observed - sandy or sandy loam to some. While after three months, the same results were observed at the horizon 10-20 cm in soils of El-Kennar which are sandy loam soils in the majority and silty clay and sand for the rest.

These results emerge as a result of the herbicide that is not retained by the non-clay soils low in organic matter, two components that should adsorb glyphosate and make it little bit mobile and inactif.

We must indicate that the biological test is not sufficient on its own. It must be supported by chemical analysis to confirm the persistence of this herbicide.

Key words: herbicide, glyphosate , persistence , plant testing , Raphanus sativus L.

ملخص

زرادش بلخ ر ظحي داسر شرا فكيخ ان ج ذاكيش ج : غنوبد فآي حبص م ل ش ثذال نخ و طخبى صافى بنية وانك تىخ
ن مز شى رى خ غك بدي وشخ نأح حبص مي داخ مانج بانال سر كخ وشخ غش كيبين دخي حبس جانج بانال سر كخي مي طو ري
خ تم قبسوق تى داسر شرا فكيخ خزان ج ذاكيش ج سرخ داز بلجس ث بان خك ه جان فدم (Raphanus sativus L) انزرى
اخبس كج بولجس.

أطش دان بى ح انزرى ان حص لگه برأخش فآظ سان جربد فلن ز شخ انزرى خ كج بي داخ مانج بانال سر كخ انخب د،
واخبض فگذدان جربدن وشخ سها، و هلاچ نذح س شان ج د، ارج وشخ و طخب بلن ز شخ.

بئس سرخ ز شخ ان أرحي خ ش ف رالجبس الأول، كني روضل س ع فلن ز شخ ان زخه ج ذي داخ مانخب و في ذح لارز جاوز
51 ي بي س شان ج ذاكيش ج، سدب برأخش فآظ سان جربد وهب فگذذبگ و س زان طوخ الأولى (0-50ى) ف رانوخ
الأولى. وف س انزرى ح سدنگ و س زان بلن ث بنية و زافا كم غ بلن ز شخ ث بار ارضل س ع في ذح صري خ أ غل) 5ش س،
لاحظوا خش فان ظ س و اخبض فگذدان جربد فان طوخ اكب خ (00*00ى) ن ز شخ ج س انزرى فكيظ ب شى س و خ- غ خ-
سيه نة أو سلو س يه خ فسكي ط الأجب ث ث كيد الشخ اش س سدب فس ان بى حك و س ز رالجبس (50-00ى) فوشخ و لبس انزرى
ر شى س و س يه خ فآع جها و سلو خ- غ س يه خ قلن ج ب ق.

زان بى لخب ذر زخ رلش ان ج ذاكيش ج ان زى زى الاخبظ فلن ز شخ غش ان طنية واقشحي ان اذ ان كخ، زب
لن ربلن زب ك رنل ج زان غه فس بد وردكه قه انز حشك وشى كبل.

آدت اشش ان رالجبس انج نخ غشك ب فآن حذ، آدت أ طق انجب اتانز حه مانك بى زه أكذي يذ اسر شرا
فكيخ خزان ج ذاكيش ج.

للالمات فمباح: يذ الكشبة لن غف بس بد قشء افكيخ خ، انجب دان ز شى، Raphanus sativus L.

Naili Fatima	Soutenu le
Magistère en Biologie appliquée	
Thème :	
Evaluation de la rémanence de l'herbicide Glyphosate dans les cultures maraîchères de la wilaya de Jijel	
Résumé :	
<p>Le présent travail est une contribution à l'évaluation de la rémanence de l'herbicide Glyphosate dans les cultures maraîchères en fonction des caractéristiques physico-chimiques du sol.</p> <p>Des échantillons de sols ayant porté des cultures à l'intérieur des serres et de sol non traités de l'extérieur des serres sont prélevées dans deux endroits de la wilaya de Jijel. La rémanence de cet herbicide est évaluée par l'utilisation d'un test biologique appliqué sur le radis (<u>Raphanus sativus</u> L.) qui est choisi comme plante-test.</p> <p>Les résultats obtenus en pots ont montré un retard à la levée des plantules pour les sols prélevés à l'intérieur des serres, de même une diminution du nombre de plantules pour les mêmes sols, et cela en fonction de la date de l'épandage du produit, la nature du sol et l'horizon de sol considéré.</p> <p>Dans le premier essai pour les sol de Jimar, si le semis est pratiqué au niveau des sols prélevés de l'intérieur des serres après une courte durée de la date de l'épandage de l'herbicide (15 jours), on enregistre un retard de levée et une diminution du nombre de plantules levées au niveau du premier horizon (0-10 cm) pour la première serre et au niveau des trois horizons pour la deuxième serre. Si le semis est pratiqué après un temps plus long (1 mois), on observe un retard de levée et un nombre de plantules réduit au niveau des horizons profonds (20-30cm) pour les sols de Jimar qui sont des sols majoritairement limono-argilo-sableux ou limono-sableux pour certains. Tandis qu'après trois mois, on observe les mêmes résultats au niveau de l'horizon (10-20cm) dans les sols d'El-kennar qui sont des sols limono- sableux dans leur majorité et limono-argilo-sableux pour le reste.</p> <p>Ces résultats se dégagent sous l'effet de l'herbicide qui n'est pas retenu par les sols non argileux et pauvres en matière organique, deux constituants qui devraient adsorber le glyphosate et le rendre peu mobile et inactif.</p> <p>Il faut bien indiquer que Le test biologique n'est pas suffisant à lui seul. Il doit être secondé par des analyses chimiques afin de confirmer la rémanence de cet herbicide.</p>	
Mots clés : herbicide, glyphosate, rémanence, plante-teste, <u>Raphanus sativus</u> L.	
Devant le jury	
Président : M. Merghem R.	Pr. Université Constantine 1
Rapporteur : M. Benlaribi M.	Pr. Université Constantine 1
Examineur : M. Lahouel M.	Pr. Université de Jijel
Examineur : M. Kara Y.	Pr. Université Constantine 1
Année universitaire 2013-2014	