

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

المدرسة الوطنية العليا للعلوم الفلاحية

-الحراش-

Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie

El Harrach –Alger-

Thèse

En vue de l'obtention du diplôme de Doctorat en Eau, Sol et Agroéquipements

Thème

Effets environnementaux du désherbage chimique associé au semis direct : pratiques agricoles et impacts sur les sols des hautes plaines sétifiennes

Présenté par : LABAD Ryma

Devant le jury :

Président : AMARA Mahfoud(Professeur – ENSA El Harrach)

Directeur de thèse : HARTANI Tarik (Professeur – Centre universitaire -Tipaza)

Examineurs :

DOUAOUI Abdelkader (Professeur – Centre universitaire -Tipaza)

FEDDAL Mohamed Amine (Maitre de conférences « A », ENSA El Harrach)

ROUAG Nourredine (Maitre de conférences « A » Université Ferhat Abbas –Sétif)

Invité : Mr LOUAHDI Nasr Eddine (Directeur de l'ITGC Sétif)

Année universitaire : 2017/2018

SOMMAIRE

Sommaire

Remerciement

Résumé

Abstract

Liste des abréviations

Liste des figures

Liste des tableaux

INTRODUCTION GENERALE 1

Chapitre 1 : Analyse bibliographique

INTRODUCTION 8

1-Nécessité de traitement chimique en semis direct 8

2-Généralités sur le glyphosate dans le sol 9

2-1 Evolution du glyphosate selon ses propriétés physico chimiques 9

2-2 Evolution du glyphosate selon les propriétés du sol 10

2-2-1 La rétention du glyphosate dans le sol 11

2-2-1-1 L'adsorption 11

2-2-1-2 La désorption 12

2-2-2 Dégradation du glyphosate dans le sol 12

2-2-3 Persistance du glyphosate dans le sol 13

2-2-4 Dissipation de glyphosate 14

3-Méthode d'analyse de glyphosate 15

CONCLUSION 17

Chapitre 2 : Analyse des performances de quelques exploitations céréalières en semis direct

INTRODUCTION 19

1-Présentation de la zone d'étude 20

1-1 Caractéristique agro-pédologiques de la zone d'étude 20

1-2 Caractéristiques climatiques 20

2- Méthodologie 22

3-Résultats et discussion 23

SOMMAIRE

3-1 Caractéristique de chef d'exploitation	23
3-1-1 L'âge des agriculteurs	23
3-1-2 Le niveau d'instruction des agriculteurs	24
3-1-3 Activité professionnelle	24
3-2 Caractéristiques générales des exploitations	24
3-2-1 L'introduction de semis direct	24
3-2-2 Le statut juridique des exploitations	25
3-2-3 La répartition de la surface en semis direct	26
3-3 L'évaluation technique du semis direct	26
CONCLUSION	29

Chapitre 3 : Devenir du glyphosate dans le sol après son application

INTRODUCTION	31
1-Matériel et méthode	32
1-1 Le site expérimental	32
1-2 Protocole expérimental	34
1-3 Mesure et analyses du sol	35
2- Résultats et discussion	36
2-1 Devenir du glyphosate dans le premier horizon de sol (0-20cm)	37
2-2 Devenir du glyphosate dans le deuxième horizon de sol (>20cm)	40
CONCLUSION	42

Chapitre 4 : Impact de désherbage chimique sur le sol : Approche biologique

INTRODUCTION	44
1-Matériel et méthodes	45
1-1 Déroulement de l'expérimentation	45

SOMMAIRE

1-2 Méthode d'analyses	46
2-Résultats et interprétation	48
3- Discussion- Conclusion	58
Chapitre 5 : La gestion du désherbage chimique à base du glyphosate	
INTRODUCTION	61
1-Matériel et méthode	62
1-1 Mise en place de l'essai	62
1-2 Paramètres mesurés	62
2-Résultats et discussion	63
2-1 Effet de la qualité de la bouillie sur le rendement	63
2-2 Le devenir de l'herbicide dans le sol en relation avec les stades de développement de la culture	66
CONCLUSION	69
CONCLUSION GENERALE	70
Références bibliographiques	74
Liste des annexes	
Annexe 1	86
Annexe 2	87
Annexe 3	88
Annexe 4	89
Annexe 5	90
Annexe 6	91
Annexe 7	104

REMERCIEMENTS

Je remercie Allah, le bon Dieu miséricordieux de m'avoir aidé à réaliser ce travail

Je tiens à remercier en quelques lignes tous ceux qui, de près ou de loin ont contribué à ce travail.

Mes remerciements vont tout d'abord à ma famille et tous mes proches qui m'ont toujours aidée et soutenue dans mes choix. Notamment mes parents, mon frère et mes sœurs. Je remercie ma famille de m'avoir offert la possibilité d'arriver jusqu'ici par leurs compréhension et leurs soutient moral et financier.

Un travail de recherche ne peut pas se faire sans collaboration. Tout d'abord, mes remerciements vont à mon directeur de thèse Monsieur HARTANI Tarik qui m'a appris les bases de la recherche scientifique. Je tiens à remercier Monsieur HARTANI d'avoir partagé avec moi les difficultés de la réalisation de ce travail et de m'avoir soutenu dans mes choix. Ses conseils avisés, sa disponibilité et son écoute au cours de ces 5 dernières années m'ont donné le courage de faire face aux obstacles et reprendre le chemin à chaque échec.

Mes remerciements vont également à Monsieur AMARA Mahfoud, professeur à l'ENSA, pour m'avoir fait l'honneur de présider le jury. L'enseignant qui nous a appris les bases du machinisme agricole et qui nous a encouragé et accompagner depuis le cursus d'ingénieur.

Je tiens à remercier aussi Monsieur DOUAOUI Abdelkader, professeur au centre universitaire de Tipaza, Monsieur Feddal Mohamed Amine, maître de conférence « A » à l'ENSA et Monsieur ROUAG Nouredine, maître de conférence « A » à l'université de Farhat Abbas de Sétif d'avoir accepté d'examiner ce travail et contribuer à son enrichissement.

Une thèse est aussi une aventure humaine. C'est pour cela, j'adresse mes vifs remerciements à Madame LAOUAR Nassiba, mon amie et ingénieur de laboratoire au niveau du département de Machinisme agricole pour son aide, sa contribution et ses conseils. Il ne faut jamais oublier la contribution de Monsieur LABADI Redouenne, ingénieur au département de science du sol et son aide notamment pour la réalisation des analyses de la biologie du sol. Mes vifs remerciements s'adressent aussi pour toute l'équipe de l'ITGC de Sétif : directeur, ingénieurs et techniciens, de m'avoir aidé à réaliser le protocole expérimental et de m'avoir soutenu comme ma deuxième famille au cours de ces 5 dernières années. Je tiens à remercier mon ami Gopal U. Shinde, professeur à l'université de l'Inde pour sa contribution dans notre article et Laure Mamy, chercheur à l'INRA, France d'avoir révisé le

protocole expérimental et la discussion des résultats prouvés. Je tiens à saluer aussi la contribution des membres de laboratoire de Chromatographie du CRAPC de Bousmail, Tipaza.

En fin, je remercie tous mes enseignants du département de Génie Rural et de la section Machinisme agricole précisément d'avoir participé à ma formation.

LABAD Ryma.

RESUME

Le présent travail de recherche s'est concentré sur l'impact environnemental du semis direct associé au désherbage chimique à base de glyphosate. Et cela dans le but d'une possible adoption du semis direct comme une technique alternative aux anciennes pratiques culturales, en répondant aux enjeux économiques et environnementaux.

En premier, une caractérisation des performances de quelques exploitations céréalières soumis au semis direct dans la wilaya de Sétif a été réalisée. Par la suite, les résultats extraits ont été exploités sur terrain afin d'évaluer les conséquences environnementales du semis direct. Quatre concentrations de l'herbicide ont été testées ($D_1=1080\text{g/l}$, $D_2=900\text{ g/l}$, $D_3=720\text{ g/l}$ et $D_4=540\text{ g/l}$) pour étudier son devenir dans le sol, tandis que douze préparations de bouillie ont été appliquées pour évaluer l'efficacité de traitement à base de glyphosate. L'étude expérimentale s'est déroulée en conditions de plein champ sur le site expérimental de l'Institut Technique des Grandes Cultures de Sétif.

Nos résultats montrent que les agriculteurs ont une perception positive au vu des rendements céréaliers qu'ils obtiennent avec le semis direct. Cependant, un nombre limité d'entre eux a introduit et adopté le semis direct pour diverses raisons (économiques, techniques, etc...). La rétention et le devenir du glyphosate dans le sol ont été déterminés *in situ* en utilisant la chromatographie liquide de haute performance (CLHP). Dans un sol limoneux argileux, riche en calcaire, des traces du glyphosate ($0.267\text{ }\mu\text{g.kg}^{-1}$) persistent dans la couche superficielle du sol jusqu'à 506 jours. Par conséquent, l'analyse précise du devenir de l'herbicide durant 140 jours avec des concentrations bien déterminées (4 doses) a montré que l'intensité la plus élevée des résidus dans le sol correspond à D_1 , la dose appliquée la plus importante (1080g/l). Ces concentrations ont diminué significativement dans le temps ($P<0.05$) au niveau de la couche superficielle du sol, avec une durée de demi vie qui se prolonge jusqu'à 75 jours. En parallèle, la mobilité et le transfert du glyphosate sous l'effet de la pluviométrie ($P<0.05$) ont été observés, en analysant le sol en profondeur. La dissipation de l'herbicide dans le sol a été suivie réalisée en laboratoire en analysant le dioxyde de carbone libéré par les microorganismes du sol. Les résultats montrent que la dissipation du glyphosate durant la période de 140 jours est liée à un maintien de l'activité biologique.

Les résultats de l'étude de la gestion du traitement des mauvaises herbes à base de glyphosate montre qu'avec une eau moins dure ($\text{TH}=4.97\text{ meq.l}^{-1}$), le rendement est très significatif (plus élevé) même à faible dose. Le rendement des céréales varie selon le degré de la dureté de l'eau utilisée en relation avec la concentration de la matière active, mais les résidus de l'herbicide persistent toujours dans le sol.

Mots clés : semis direct, glyphosate, dissipation, efficacité de traitement, rendement.

ABSTRACT

ABSTRACT

The present research work focused on the environmental impact of the direct seeding associated with glyphosate for chemical weed control. The principal aim was to explore a possible adoption of the direct seeding as an alternative technique to old farming practices, responding to economic and environmental issues.

In the first, the characterization of the performances of some cereal farms practice direct seeding in Setif was done. Subsequently, the knowledge obtained was used in the field to assess the environmental consequences of direct seeding. Four concentrations of the herbicide were selected ($D_1=1080\text{g/l}$, $D_2=900\text{ g/l}$, $D_3=720\text{ g/l}$ and $D_4=540\text{ g/l}$) to study its fate in the soil, while twelve spray liquids were applied to evaluate the efficacy of glyphosate treatment. The experimental study was conducted under field conditions on the experimental site of the Technical Institute of Field Crops of Sétif.

Our results shows that the farmers have a positive perception of the direct seeding regarding their production. However, only a few of them introduced and adopted direct seeding for various reasons (economic, technic). The retention and fate of glyphosate in soil was determined *in situ* using High Performance Liquid Chromatography (HPLC). In clayey limestone soils rich in limestone, traces of glyphosate ($0.267\mu\text{g.kg}^{-1}$) were found in the upper layer of the soil for 506 days. Therefore, accurate analysis of the fate of the herbicide for 140 days at well-defined concentrations (4 doses) showed that the amount of residue in the soil corresponds to the highest dose applied. These concentrations decreased significantly over time ($P < 0.05$) in the upper soil layer, with a half-life value extended to 75 days. Simultaneously, the mobility and the transfer of glyphosate under the effect of the rainfall ($P < 0.05$) were observed, by analyzing the soil in the depth. The results of the soil biological study showed a stability of microbial activity in the presence of glyphosate residues in the soil. In conclusion, glyphosate did not affect biological activity in the considered soil.

Moreover, the glyphosate weed management study shows that with less hard water ($\text{TH} = 4.97\text{ meq.l}^{-1}$) the yield is very significant (higher) even at low doses. Cereal yield varies with the degree of hardness of the water used in relation with the concentration of the active matter but the herbicide residues still persist in the soil.

Key words: direct seeding, glyphosate, dissipation, treatment efficacy, yield.

Liste des abréviations

Abréviation	Signification
AC	Agriculture de conservation
SD	Semis direct
ITGC	Institut technique des grandes cultures
AB	Activité biologique
D ₁	Dose 1
D ₂	Dose 2
D ₃	Dose 3
D ₄	Dose 4
MO	Matière organique
CEC	Capacité d'échange cationique
CLHP	Chromatographie liquide haute performance
FMOC1	9- fluorenyl-methyl chloroformate
DT50	Temps de demi-vie
LQ	Limite de quantification
H1	Horizon 1
H2	Horizon 2
W1	Eau 1
W2	Eau 2
W3	Eau 3
Rdt	Rendement
Ng/ m ²	Nombre de grains par mètre carré
PMG	Poids de mille grains

Liste des figures

Figure 1.1. Schéma conceptuel du devenir de glyphosate dans l'agroenvironnement

Figure 1.2. Structure du glyphosate et ces groupements fonctionnels

Figure 1.3. Devenir des polluants dans le sol

Figure 1.4. Hiérarchisation des demi-vies dans l'environnement du glyphosate et de l'AMPA

Figure 2.1. Situation géographique des zones enquêtées au niveau de la wilaya de Sétif

Figure 2.2. Moyenne mensuelle de précipitations de Sétif (2006-2016)

Figure 2.3. Variation des températures moyennes mensuelles de Sétif (2006-2016)

Figure 2.4. Répartition d'âge des agriculteurs

Figure 2.5. Niveau d'instruction des agriculteurs

Figure 2.6. Rythme d'adoption du semis direct dans le temps

Figure 2.7. Statut juridique des exploitations agricoles en quêtées

Figure 3.1. Vue aérienne de la parcelle d'étude

Figure 3.2. Vue de profil pédologique de la parcelle d'étude

Figure 3.3. Données météorologiques de la zone d'étude durant la période 2014-2016

Figure 3.4. Chromatographie liquide haute performance analytique avec détecteur UV visible

Figure 3.5. Cinétique de dissipation du glyphosate à partir du premier traitement en 2014

Figure 3.6. Cinétique de dissipation du glyphosate dans le premier horizon (0-20 cm)

Figure 3.7. Cinétique de dissipation du glyphosate dans le deuxième horizon (>20 cm)

Figure 4.1. Précipitation et température moyenne enregistrées durant l'année d'étude (2015/2016)

Figure 4.2. Processus d'incubation du sol au laboratoire

Figure 4.2.1. Mise en place des échantillons du sol dans des flacons en verre dans un incubateur à 28°C

Figure 4.2.2. Flacon en verre contenant le sol et le pilulier de la solution de soude

Figure 4.3. Le taux de CO₂ journalier pendant la période d'incubation au niveau du premier horizon.

Figure 4.4. Le taux de CO₂ journalier pendant la période d'incubation au niveau du deuxième horizon

Figure 4.5. Le taux de CO₂ cumulé au cours du processus d'incubation en fonction des résidus du glyphosate dans le sol (Horizon 1)

Figure 4.6. Le taux de CO₂ cumulé au cours du processus d'incubation en fonction des résidus du glyphosate dans le sol (Horizon 2)

Figure 5.1. Le rendement de l'orge en relation avec le liquide de la pulvérisation à base de glyphosate

Figure 5.2. Le développement de la culture d'orge sous différentes doses de traitement

Figure 5.3. Le devenir du glyphosate dans le premier horizon du sol en fonction des stades de développement de la culture

Figure 5.4. Le devenir du glyphosate dans le deuxième horizon du sol en fonction des stades de développement de la culture

Figure A6. 1. Triangle des textures

Figure A6. 2. Caractéristiques d'eau du sol d'étude établit par le Calculateur des Propriétés Hydrauliques (<http://http/hydrolab.arsusda.gov/soilwater/index.htm>)

Figure A6. 3. Pique de détection du glyphosate par CLHP (YL9100 Clarity system)

Liste des tableaux

Tableau 01 : Les différentes méthodes d'analyse de glyphosate dans l'environnement

Tableau 02 : Concentration du taux de glyphosate dans les parcelles enquêtées

Tableau 03 : Répartition des dates de prélèvement du sol

Tableau 04 : Répartition des prélèvements du sol dans le temps

Tableau 05 : Caractéristiques chimiques des eaux utilisées pour le traitement

Tableau A1 : Caractéristiques physico-chimiques du sol d'étude

Tableau A2 : Propriétés hydriques du sol

Tableau A3 : Temps de demi-vie du glyphosate en condition de plein champ

INTRODUCTION GENERALE

Introduction générale

Les céréales occupent une place stratégique dans le système alimentaire algérien et dans l'économie nationale du pays. Selon Djermoun (2009), les céréales et leurs dérivés constituent l'épine dorsale du système alimentaire algérien. En relation avec le marché mondial, les importations des produits céréaliers ont atteint 7,4 millions de tonnes en 2011 et 6,9 millions de tonnes en 2012 (Touchan et al., 2015). Contre l'importance des chiffres d'importation, et la valorisation des prix des céréales, le taux de production reste faible par rapport à une demande qui ne cesse que d'augmenter au fil de ces dernières années. Afin d'assurer une sécurité alimentaire par une production agricole durable, la préservation du sol et de son écosystème est une nécessité. La capacité de production des sols peut être affectée par les pratiques agricoles inadaptées, tel que l'utilisation inappropriée des pesticides, l'emploi des machines lourdes et le surpâturage (Tavares et Tessier, 1998). Ces pratiques provoquent à leurs tours des phénomènes de tassement, d'érosion, de contamination et réduction du taux de fertilité des sols. Selon Mrabet (2002), le travail du sol « classique » par l'équipement mécanique se traduit généralement par une perturbation intense à une profondeur plus importante par rapport au labour à traction animale ou à la main. Il rajoute aussi qu'il existe une relation directe entre « la technique conventionnelle » et l'érosion des sols. Au niveau mondial, et afin de faire face à la baisse de la fertilité des sols et contribuer à l'augmentation des rendements, l'Agriculture de Conservation (AC) apparaît comme une solution alternative. C'est un concept qui vise à une meilleure utilisation des ressources agricoles par la gestion intégrée des disponibilités en sol, en eau et en ressources biologiques, en réduisant des intrants externes. Elle contribue à la conservation de l'environnement et à une production agricole durable en maintenant une couverture organique, permanente ou semi-permanente du sol (FAO 2003). Selon Mrabet (2001), l'AC qui a une rentabilité plus élevée, est un concept pour la conservation des ressources et l'atténuation des effets climatiques défavorables.

Le travail minimum du sol, le semis direct (SD) et la rotation de diverses cultures sont des systèmes importants de l'AC. Selon Mrabet (2000) et Kribaa et al. (2001), « les techniques culturales simplifiées et le semis direct sous couvert végétal apparaissent comme des alternatives à même de corriger l'impact négatif des systèmes de production adoptés par les agriculteurs. La notion de SD désigne une simplification de travail du sol, qui consiste à semer une culture tout en effectuant une ouverture dans le sol pour déposer la semence à une

INTRODUCTION GENERALE

profondeur souhaitée. Cette simplification de travail se caractérise par l'absence totale de l'action d'un outil aratoire en assurant le plus possible de respect à la vie dans les sols.

Au fil du temps, le SD contribue à l'amélioration de la stabilité structurale de sol (Duiker et Lal, (1999), Saroa et Lal, (2003)), améliore sa porosité (Mulumba et Lal, (2008)) et augmente sa rétention en eau (Havlin et al., (1990), Duiker et Lal, (1999)). Il augmente aussi la fertilité du sol en améliorant le taux de la matière organique (Ladha et al., (2009), Verhulst et al., (2011), Bhattacharyya et Jha, (2012), Bhattacharyya et al., (2013), Jemai et al., (2013)), d'une manière que la structure du sol s'approche de la structure des sols forestiers. En SD, les activités biologiques et les conditions climatiques sont au cœur des processus d'évolution de la structure (Carof, 2006). En effet avec une bonne AB, il arrive à mieux contrôler l'érosion, stocker la matière organique, améliorer l'efficacité hydrique et restructurer le sol (Thomas et al., 2009).

En Algérie, l'AC a été introduit initialement en 2002 au niveau des hautes plaines sétifiennes, qui sont caractérisées par un climat semi aride et dominées par la production des céréales sous régime pluvial et l'élevage. Tandis que le concept de SD a été mis en place avec un semoir spécialisé, trois ans après. D'après Bouzerzour (2006), l'idée d'introduire des techniques de l'AC directement au niveau des exploitations agricoles, a émergé suite à la soumission d'un projet sur l'efficacité d'utilisation de l'eau dans le cadre INCO-MED, au cours de l'année 2002. Le principal objectif était de limiter l'érosion des sols et améliorer le niveau de production céréalière.

Selon Aibar (2006), le SD consiste à semer directement sur les chaumes de la culture précédente sans travail du sol préalable, en éliminant les mauvaises herbes présentes par traitement, avec un herbicide de contact, non résiduel, quelques jours avant de semer. Aux delà deux inconvénients peuvent persister : l'acquisition d'un semoir spécialisé et la destruction des mauvaises herbes qui se fait habituellement par le labour.

Le recours vers une version moderne du SD est lié à l'apparition du glyphosate, « le premier herbicide utilisé dans le monde » (Giesy 2000). Le glyphosate est un herbicide total foliaire systémique, permet une destruction efficace des mauvaises herbes. Théoriquement, cet herbicide est moins nocif pour les sols, les cours d'eau et l'air par sa biodégradation rapide dans l'environnement. En pratique, plusieurs travaux de recherche ont montré ses effets néfastes sur l'environnement y compris sur les êtres humains, ce qui a engendré sa classification comme « cancérigène probable » par le centre international de recherche sur le cancer (Guyton et al., 2015).

INTRODUCTION GENERALE

En Algérie divers travaux de recherche se sont intéressés à la problématique d'introduction du SD comme une technique alternative aux anciennes pratiques culturales. Des résultats liés au sol et aux cultures ont été présentés, notamment sur la conservation de l'humidité du sol, l'évolution de la porosité, le développement racinaire et l'évolution de l'état structural en surface en relation avec le développement des lombriciens (Ziza, 2007, Feddal, 2015).

L'enjeu de cette thèse est de produire des connaissances scientifiques sur la possibilité d'adopter le SD, qui requiert la lutte chimique contre les mauvaises herbes comme une véritable technique alternative à la pratique conventionnelle de point de vue environnemental, en maintenant un bon rendement. De ce fait, l'effet du machinisme agricole sur l'agroenvironnement, le milieu où se développent les différentes interactions entre le sol, la flore et la faune permet de mettre le point sur un autre aspect du SD en Algérie. Précisément, là où le SD est ressorti des institutions de recherche vers les agriculteurs privés.

Il s'agit alors d'identifier les principaux facteurs encourageants pour le choix du SD comme un système de production agricole. Il s'agit aussi de déterminer la manière de la pratique du SD, auprès des agriculteurs. Par la suite, les connaissances produites vont être exploitées sur terrain afin d'évaluer les conséquences environnementales du SD avant la généralisation et l'adoption d'un système de production plus complexe où l'intervention curative ne sera pas utile.

De ce fait, cette thèse est structurée en cinq chapitres, présentant d'abord une revue critique de la littérature sur le SD et le comportement du glyphosate en tant que « matière active d'étude » (Chapitre 1). Par la suite une analyse de situation auprès des agriculteurs de la région d'étude sur l'adoption du SD et l'opération de désherbage chimique a eu lieu à travers un questionnaire (Chapitre2). En exploitant les résultats de l'enquête réalisée, des essais en plein champs ont été mis en place. Quatre concentrations de l'herbicide ont été choisies pour déterminer le devenir du glyphosate et son interaction avec la biologie du sol (Chapitre 3-4). Par la suite, et pour une possible gestion de l'opération du désherbage à base du glyphosate en pré semis, les quatre concentrations de l'herbicide ont été mélangées avec trois eaux à différentes caractéristiques chimiques. L'efficacité des bouillies appliquées a été analysée à travers les rendements obtenus et les résidus d'herbicide présentés dans le sol (Chapitre 5). En conclusion, les résultats obtenus ont été synthétisés et des perspectives pour le futur ont été proposées.

Problématique de la thèse

Le semis direct apparaît avoir des effets très appréciés vu ses résultats encourageants. Il réduit les couts de production, améliore significativement la structure et l'activité biologique des sols et les protège contre l'érosion. C'est une des raisons pour laquelle il a été introduit en Algérie. Mais d'un autre coté, un de ses inconvénients est l'utilisation excessive des herbicides en particulier le glyphosate.

La littérature scientifique a démontré qu'en plus de son efficacité pour lutter contre les mauvaises herbes, cet herbicide peut atteindre le sol et persister pendant la conduite des cultures en relation avec certaines caractéristiques du milieu. Pour clarifier ce qui peut arriver lors de l'application du glyphosate, en relation avec sa forte persistance et sa capacité de s'adsorber et/ ou diffuser dans le sol, un cadre conceptuel qui permet d'expliquer les différentes relations « herbicide, sol et eau » a été élaboré (Fig. 1.1).

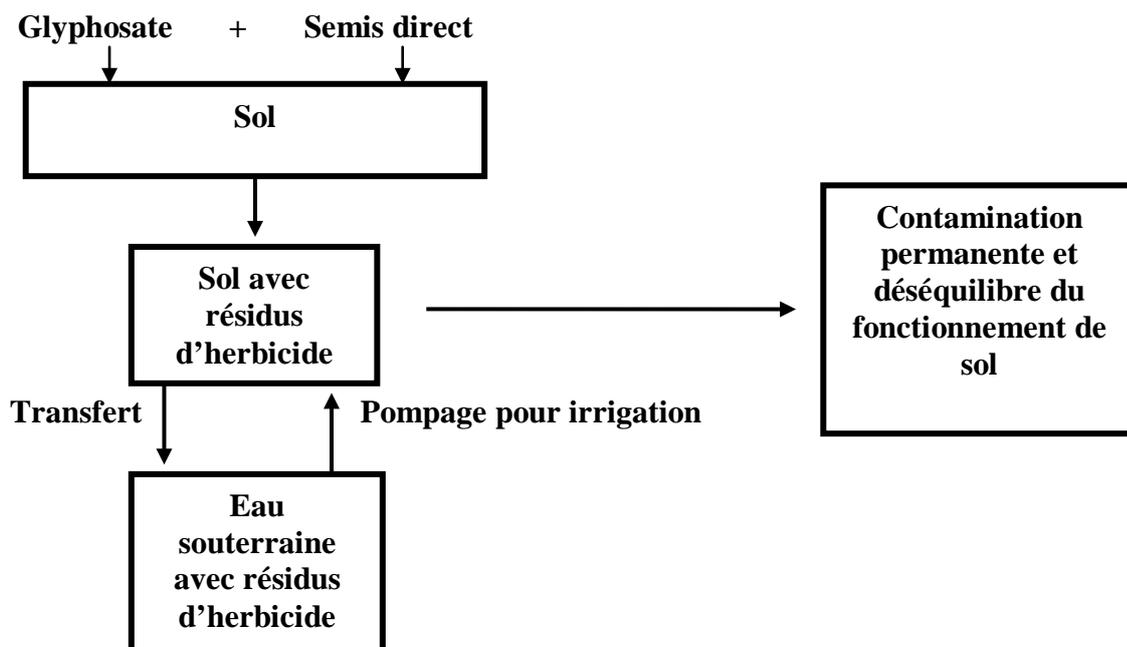


Figure 1.1. Schéma conceptuel du devenir de glyphosate dans l'agroenvironnement

Le schéma explique qu'après l'application de l'herbicide, il y a un risque de la contamination des sols et des eaux souterraines par adsorption et transfert. Par conséquent, les plantes peuvent se développer dans un milieu pollué (solution de sol) et les eaux contaminées peuvent être réutilisées pour l'irrigation et/ ou consommation humaine. Cela engendre le transfert de la substance polluante aux organismes vivants. Ce circuit fermé schématisé n'est qu'une supposition de l'effet de l'herbicide dans le sol.

Pour étudier les conséquences de l'utilisation des herbicides, nous avons focalisé notre étude sur l'aspect environnemental du semis direct qui est toujours au stade d'émergence dans notre pays. En effet, avant d'introduire une technique et la faire diffuser auprès des agriculteurs, nous devons répondre à quelques questions:

- Le semis direct vu ses avantages, est- il la solution pour faire face à nos contraintes de production agricole ?
- Est-ce que la manière d'appliquer le semis direct est correcte et est ce que nous devons l'adopter comme il a été décrit en littérature sans modification et adaptation à notre environnement agricole ?
- Est-ce que nous avons réellement les moyens pour faire réussir et adopter cette technique dans notre pays ?

L'adoption du semis direct doit être assurée par la bonne maîtrise des facteurs de production (conditions du sol, équipements, méthode de semis, fertilisation, lutte aux mauvaises herbes, rotation) et tenir compte de leurs interactions.

En revanche, ce que nous devons assurer est: « **qu'après un certain temps d'adoption du semis direct nous ne retrouvons pas face à un problème de pollution dont les dégâts se répercutent sur la qualité de la production, l'agroenvironnement et pour quoi pas la santé humaine !** »

Afin de contribuer à la connaissance des effets environnementaux du semis direct, nous allons étudier le devenir et l'effet de l'herbicide utilisé sur le sol, vu que l'environnement se définit par le sol, le climat et les organismes vivants qui le composent (Carof, 2006). Pour cela nous avons proposé quelques hypothèses que nous essayerons de les confirmer ou les infirmer à travers une étude expérimentale.

INTRODUCTION GENERALE

Le choix des hautes plaines sétifiennes comme zone d'étude s'explique par des facteurs d'ordre climatique, pédologique et technique. Les hautes plaines sétifiennes sont des zones semi-arides caractérisées par la production céréalières sous régime pluvial et par la fragilité des sols due à la surexploitation. Techniquement la zone d'étude est classée en premier en termes d'adoption du semis direct au niveau national.

Hypothèse 1

En agriculture de conservation, le semis direct nécessite un traitement de post levée des mauvaises herbes et avant le semis des cultures, afin de garder le sol couvert et sans infestation de mauvaises herbes. La gestion de traitement des mauvaises herbes par un herbicide à base du glyphosate favorise sa dégradation totale dans le sol avec des résultats de rendement appréciés.

Hypothèse 2

En semis direct, la gestion de traitement des mauvaises herbes par un herbicide à base du glyphosate limite l'infestation des mauvaises herbes et par conséquent améliore les rendements. Par contre, le risque de diffusion de la matière active dans le sol est maintenue même à faible doses vu la persistance de cette molécule dans l'environnement.

Pour tester ces hypothèses, et avant la mise en place de l'expérimentation, nous avons élaboré une enquête auprès des agriculteurs qui ont adopté le semis direct et évaluer la manière dont la quelle ils l'appliquent. A partir des résultats obtenus nous avons installé l'essai sur une parcelle qui a été cultivée pendant huit en semis direct en faisant varier les concentrations du glyphosate appliquées.

Chapitre 1

Analyse bibliographique

INTRODUCTION

Dans les systèmes de culture sans travail du sol, les graines des mauvaises herbes restent à la surface du sol au lieu d'être enfouies en profondeur. L'humidité et la température du sol sont également touchées par le système de conservation. Ce qui peut affecter les conditions de germination des mauvaises herbes et des cultures. De ce fait la lutte contre les mauvaises herbes est l'une des principales composantes du système de SD. Le glyphosate est souvent associé au SD en grande cultures. A travers ce chapitre nous synthétisons les principales caractéristiques de cette matière active en relation avec les techniques culturales. Le glyphosate est une matière active qui a été depuis long temps une problématique de recherche, dont un nombre très important de références est disponible depuis 1975 (Sprankle et al., 1975).

Vu que l'objectif envisagé à travers cette étude se base principalement sur l'étude de l'aspect environnemental du SD en relation avec cette molécule, certains facteurs ont été pris en compte.

1. Nécessité de traitement chimique en semis direct

En SD, l'utilisation des herbicides non sélectifs destinés à limiter le développement des espèces nuisibles dans les grandes cultures est une opération indispensable pendant les premières années d'adoption pour que le sol reste toujours couvert (Seguy, 2001). A travers son étude sur les énergies consommées en différents systèmes de travail du sol, Hernanz (2014) a remarqué que le taux d'utilisation des herbicides est plus important en SD avec une différence de 3% qu'en travail minimum et même en technique conventionnelle. Selon Findeling (2001), le contrôle des mauvaises herbes est crucial pour le SD car le non travail du sol favorise la levée des adventices dès les premières pluies. La version moderne du SD a été renforcée dès l'apparition du glyphosate en 1970. Cet herbicide appartient à la famille des amino phosphates, il agit de façon systémique : absorbé par les feuilles puis véhiculé par la sève dans les végétaux jusqu'aux points de croissance (apex, méristèmes). Il bloque la synthèse des acides aminés aromatiques perturbant ainsi la croissance et le développement des adventices, jusqu'à leur mort. Son principal produit de dégradation est l'AMPA (acide aminométhylphosphonique). Le glyphosate est l'herbicide le plus commercialisé à travers le monde sous différents noms (Giesy, 2000), dont la matière active est « glyphosate » ($C_3H_8NO_5P$). L'efficacité de cet herbicide en SD est très remarquable. Souvent, une seule application durant une campagne agricole est fiable (Nalewaja, 2001).

En général, les herbicides sont appliqués sur la partie aérienne des plantes mais il y a toujours une bonne partie qui atteint le sol, qui joue un rôle essentiel comme interface de l'environnement vis-à-vis des principales pollutions provoquées par l'homme (Atteia (2005). En effet, une fois un herbicide est appliqué, il subit des transformations en fonction des conditions biotiques et abiotiques des sols et de ses caractéristiques intrinsèques (Schreck, 2009).

2. Généralités sur le glyphosate dans le sol

L'évolution des herbicides dans le sol dépend de leurs propriétés physicochimiques (solubilité, Koc, DT 50...) ainsi que des caractéristiques pédoclimatiques et topographiques du milieu (structure, texture du sol, MO, biodiversité, microorganismes...) (Schreck, 2009).

2.1 Evolution de glyphosate dans le sol selon ses propriétés physico chimiques

Selon Montgomery (1993), le glyphosate est très soluble dans l'eau ($11,6 \text{ g.l}^{-1}$ à $25 \text{ }^\circ\text{c}$) par rapport aux solvants organiques. Avec sa structure chimique, il est polaire et possède un groupement aminé, un groupement acide phosphonique et un groupement acide carboxylique (Fig. 1.2). De ce fait, son efficacité dépend de ses caractéristiques physicochimiques. Lors de la préparation de la bouillie, la concentration du calcium (Ca^{2+}) et de magnésium (Mg^{2+}) de l'eau, qui exprime sa dureté doit être prise en considération. En effet, ces ions forment un complexe avec le glyphosate qui limite sa pénétration dans les plantes cibles (Nalewaja et Matysiak, 1993).

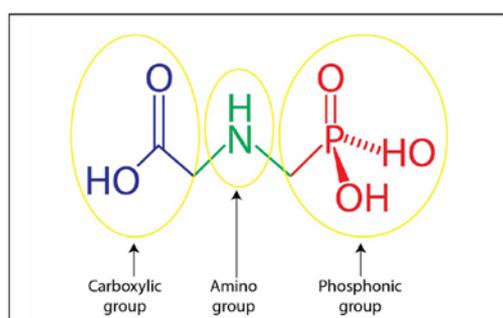


Figure 1.2. Structure du glyphosate et ces groupements fonctionnels (Jayasumana et al., 2014)

Le glyphosate est amphotère, selon la variation du pH il peut être porteur d'une charge positive, être globalement neutre ou porteur d'une ou plusieurs charges négatives. Selon Sprankle (1975), cette molécule a quatre constantes d'ionisation $\text{pK}_a = 2, 2.6, 5.8, 10.8$.

CHAPITRE1 : ANALYSE BIBLIOGRAPHIQUE

Dans le sol, le glyphosate est peu mobile selon la variation du pH, ce qui facilite son adsorption et sa dégradation par la suite (Mamy, 2008). Cette variabilité dépend plus au moins des caractéristiques pédologiques des sols.

2.2 Evolution du glyphosate selon les propriétés du sol

La durabilité de la production végétale est liée à la qualité des sols, qui est principalement fonction des matières organiques présentes. La recherche a montré que les résidus de récoltes dans un sol non labouré contribuent à la production du carbone organique et de nutriments pour les micro-organismes et / ou les plantes de sol, préservent l'humidité du sol et améliorent la production végétale (Malhi et Lemke, 2007). De ce fait le système de travail du sol peut modifier les propriétés chimiques et biologiques d'un sol. Selon Huang (2011), la technique conventionnelle peut accélérer la minéralisation des matières organiques, réduire la fertilité du sol, augmenter la consommation d'eau et détériorer les propriétés chimiques et physiques de sol. Tandis que le non travail du sol avec le SD augmente la teneur en matière organique qui favorise en retour la rétention de certains pesticides (Levanon et al., (1994), Novak et al., (1996)). Le devenir du glyphosate comme étant l'herbicide le plus utilisé en SD, dépend des caractéristiques physiques, chimiques et biologiques des sols. Comme tout polluant du sol, lors du traitement des mauvaises herbes par les herbicides, une partie atteint le sol et peut être retenue ou adsorber, persister ou dégrader et même lessiver (Fig. 1.3).

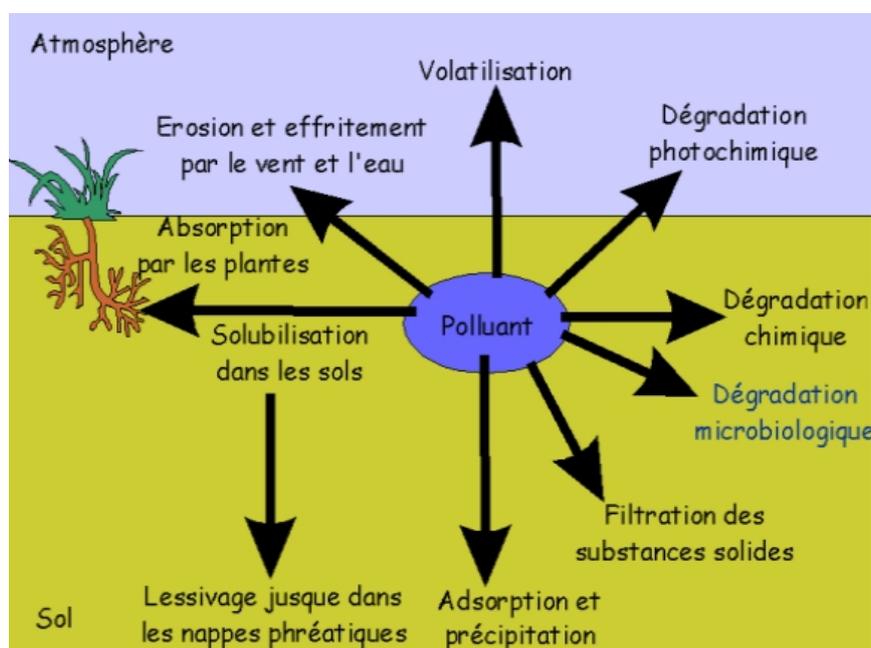


Figure 1.3. Devenir des polluants dans le sol

(http://www.ecosociosystemes.fr/pollution_diffuse_sols.html#deve)

2.2.1 La rétention du glyphosate dans le sol

La rétention est un processus complexe qui implique un ensemble d'interrelations avec les phases organiques et minérales du sol. Elle dépend des capacités des polluants à entretenir des relations fortes avec d'autres particules. La rétention des herbicides dans les sols dépend fortement de la molécule étudiée et des différents constituants du sol. Les premières études sur la rétention du glyphosate ont montré qu'elle dépend des propriétés physico-chimiques du sol telles que le pH, la capacité d'échange des cations, la surface spécifique, le taux d'humidité, la quantité d'argiles, d'oxydes et de matière organique (Sprankle, 1975). Elle correspond principalement à l'adsorption et à la désorption (Aubertot et al., 2007).

2.2.1.1. L'adsorption

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). Le glyphosate est généralement fortement et rapidement adsorbé dans les sols, donc peu mobile (Sprankle et al, 1975). Mamy (2004) a montré que le glyphosate est l'herbicide le plus fortement adsorbé sur les sols, suivi de la trifluraline, puis du métazachlore, de la métamitronne et de la sulcotrione. L'intensité de l'adsorption des pesticides dépend des caractéristiques des sols et des caractéristiques physico-chimiques de la matière active en question. Plusieurs auteurs ont montré la relation entre la variation du pH de sol et le taux d'adsorption du glyphosate. Selon Sprankle et al., (1975) et Zhao et al., (2009), l'adsorption du glyphosate dans les sols dépend fortement du pH en relation avec son aptitude à être ionisé et à former des complexes avec les cations métalliques présents dans le sol. Dans le cas général l'adsorption augmente lorsque le pH diminue.

La texture du sol et le taux de calcaire sont deux paramètres physiques qui conditionnent de leurs parts l'adsorption du glyphosate dans le sol. L'adsorption est lente en sols sableux, calcaires ou humifères et plus rapide en sols argileux, faiblement acides ou pauvres en humus. En revanche, l'adsorption n'est jamais totale (Sprankle et al, 1975). En outre, le degré d'adsorption peut être affecté par différents facteurs. L'augmentation de la quantité de matière organique en SD accroît l'adsorption de la plupart des pesticides (Carof, 2006). Des travaux de recherche ont montré que le glyphosate est fortement adsorbé sur la matière organique (parfois plus que sur les minéraux argileux), et son adsorption varie directement avec le contenu des sols en matière organique (Sprankle et al, 1975).

De ce fait, l'adsorption du glyphosate augmente quand le contenu en matière organique du sol augmente (Patakioutas et Albanis, 2002).

2.2.1.2. La désorption

La désorption est le phénomène inverse de l'adsorption à travers lequel le sol se comporte comme un réservoir qui libère le produit adsorbé dans la solution du sol lorsque sa concentration dans celle-ci diminue par prélèvement, dégradation ou transfert ou même par dégradation de l'adsorbant dans le cas de la matière organique (Kersanté, 2003). Dans le cas du glyphosate, un changement de pH du sol, peut provoquer son désorption et son libération dans la solution du sol afin de subir des dégradations et/ ou des transferts. Selon Mamy (2004), pour des pH fortement alcalins, le glyphosate est chargé négativement de même que les surfaces des minéraux argileux, des oxydes et de la matière organique, donc son adsorption diminue. Selon Sprankle et al., (1975), la désorption est plus exprimée dans les sols à forte teneur en matière organique et la quantité de produit libéré est rarement totale.

2.2.2. Dégradation du glyphosate dans le sol

La dégradation des pesticides est l'un des processus clé de leur devenir dans les sols puisqu'elle influence fortement leur dissipation et leur élimination des milieux naturels. Au cours du processus de dégradation, toute une série de molécules intermédiaires (les produits de dégradation ou métabolites) entre la molécule initiale et les molécules minérales finales peuvent être produites (Calvet et al., 2005). Elle peut être de nature biotique (dégradation par la microflore, la microfaune et les végétaux) ou abiotique (hydrolyse, photolyse). Le glyphosate est essentiellement dégradé par les microorganismes présents dans les milieux (sols et eaux). Par contre, la dégradation en milieu abiotique est très faible. De ce fait les modifications des conditions climatiques en SD, des écarts de température plus faibles et des teneurs en eau plus élevées, sont favorables à une augmentation de l'activité microbiennes dans les premiers centimètres de sol, ce qui facilite la dégradation de glyphosate (Roper et Gupta, 1995), (Kladivko, 2001). Selon Dick et Quinn (1995), Gimsing et al., (2009) et Rampoldi et al., (2014), dès que le glyphosate atteint le sol, il subit une minéralisation par l'activité microbienne. De ce fait, la mesure de la biomasse microbienne des sols apparaît comme un paramètre clé de l'écosystème (Epelde et al., 2008). Son évaluation permet de vérifier l'influence des pratiques agricoles sur les caractéristiques des sols (Schreck, 2009).

La dégradation microbiologique est une consommation par des microorganismes qui peuvent dégrader différents herbicides. Le taux de dégradation microbiologique dépend de la population microbienne dans une situation donnée (Ertli et al., 2004). Pour le glyphosate, sa dégradation microbienne dans le sol dépend fortement de son intensité d'adsorption : plus il est adsorbé, moins il est dégradé (Sprankle et al., 1975). Sa dégradation dépend aussi de pH du sol d'une manière que la minéralisation du glyphosate est maximale à pH neutre en présence d'oxygène (Forlania et al., 1999). Le glyoxylate et l'acide aminométhylphosphonic (AMPA) sont les principaux produits de dégradation du glyphosate (Dick et Quinn, 1995). Selon Mamy (2004), le stade ultime de la dégradation du glyphosate est la minéralisation en CO₂.

Plusieurs recherches se sont intéressées à la dégradation biologique du glyphosate. En outre, quelques auteurs ont démontré la relation entre le glyphosate et les microorganismes du sol. A travers leurs recherches, Carlisle et Trevors (1986), Haney et al., (2000) et Veiga et al., (2001) ont montré que l'activité microbienne (estimé en tant que capacité à dégrader l'herbicide) est stimulée en présence de grande quantité du glyphosate. En revanche, Roslycky (1982) a montré que la respiration des microorganismes a fortement diminué même à faible concentration du glyphosate dans le sol. En général, la présence du glyphosate dans le sol cause un changement dans la population microbienne et son activité dans le sol (Aparicio et al., 2013). Selon les résultats des travaux de recherche, la biodégradabilité du glyphosate est donc réelle au sens où la matière active et son produit de dégradation ne s'accumulent pas et sont décomposés en éléments simples par la vie biologique des milieux. Par conséquent la dégradation microbienne est considérée comme le processus de transformation le plus important qui détermine la persistance des herbicides dans le sol (Souza et al., 1999).

2.2.3. Persistance du glyphosate dans le sol

La persistance d'un pesticide dans le sol peut être considérée d'un point de vue analytique (durée pendant laquelle la molécule peut être dosée), agronomique (durée pendant laquelle la molécule produit l'effet souhaité, effet phytotoxique sur les mauvaises herbes par exemple) ou environnemental (durée pendant laquelle un pesticide a un effet non souhaité sur des organismes vivants) (Calvet et al., 2005). Selon Barriuso (2004), plus le glyphosate sera persistant, le risque de son accumulation augmente. Par conséquent, il aura plus d'occasions d'être soumis à des phénomènes de transfert entraînant une contamination des nappes. Généralement, le glyphosate est plus persistant en plein champs par rapport au laboratoire malgré sa dégradation en AMPA et sa minéralisation (Mamy et al., 2005).

CHAPITRE 1 : ANALYSE BIBLIOGRAPHIQUE

Dans leur étude Feng et Thompson (1990), et suite à l'application de trois formulations de sels du glyphosate sur un sol forestier, observe une persistance de 80 jours aussi dans les conditions climatiques de Finlande et dans des sols à texture argileuse et sablo limoneuse. Laitinen et al., (2006) a observé une persistance supérieure à un an et une DT_{90} de 11 mois. Certaines recherches reportées dans la littérature montrent que l'AMPA est plus persistant dans le sol que le glyphosate (Giesy et al., (2000), Grunewald et al., (2001), Laitinen et al., (2006)). À travers ses résultats, Mamy et al., (2008) a détecté l'AMPA dans le sol avant la mise en place de l'expérimentation, et à 192^{ème} jours après l'application du glyphosate. De sa part Grunewald et al., (2001) a étudié la persistance de glyphosate et son produit de dégradation AMPA dans trois sols différents et il a observé une dissipation complète qu'après 5 mois. A travers leurs études l'AESN et Aquascop (2008) présentent la persistance de glyphosate et de l'AMPA dans l'environnement. La persistance de la matière active et de son produit de dégradation sont plus importantes dans l'eau et le sol par rapport dans l'air et dans les sédiments (Fig. 1.4).

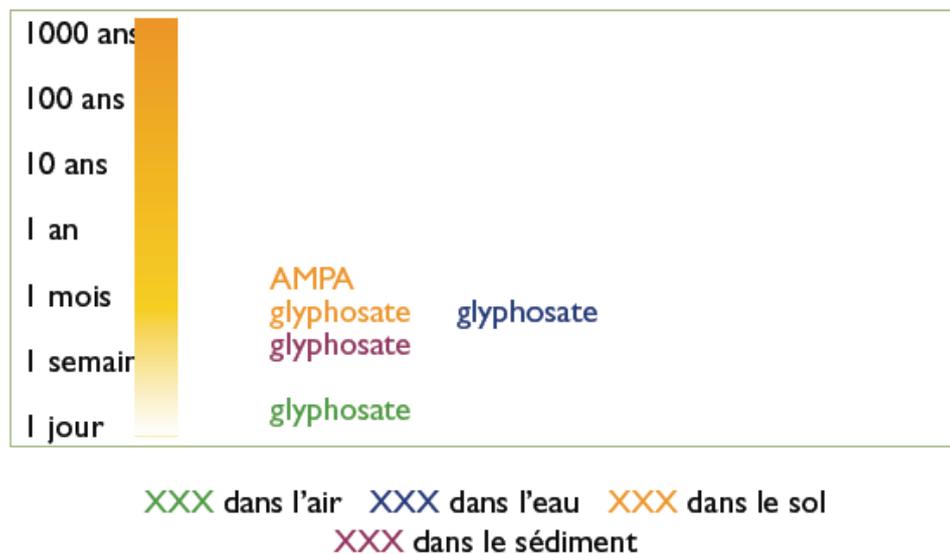


Figure 1.4. Hiérarchisation des demi-vies dans l'environnement du glyphosate et de l'AMPA (AESN et Aquascop, 2008).

2.2.4. Dissipation de glyphosate

Au moment de l'application des herbicides, une partie disparaît ou dissipe en fonction des conditions du milieu ainsi que les propriétés physico-chimiques de produit appliqué. La dégradation est au cœur du phénomène de dissipation des herbicides mais aussi la volatilisation vers l'air, le ruissèlement à travers les eaux de surfaces ou la pénétration vers les eaux souterraines sont aussi responsables sur la dissipation des herbicides dans

l'environnement. Selon Giesy et al., (2000), la dissipation du glyphosate dans les sols est due en grande partie à la dégradation biologique. Par contre, Peruzzo et al., (2008) a observé une diminution de la concentration du glyphosate dans les couches superficielles du sol après les pluies par effet de transfert en profondeur. Tandis que les résultats de Mamy et al., (2008), montrent que la mobilité verticale de l'AMPA est plus importante que celle du glyphosate et atteint une profondeur de 90 cm.

Une autre forme de dissipation du glyphosate dans le sol est la formation de résidus non extractible par la formation des liaisons stables avec les particules de sol. Selon Dakhel et al., (2001), la formation de résidus non extractible dépend des caractéristiques physico chimiques et biologiques des sols ainsi que les caractéristiques du produit appliqué. Le glyphosate dans le sol subit des phénomènes de rétention, de dégradation et de transfert. Cette aptitude rend son analyse et sa détection dans le sol ou dans un autre substrat plus au moins compliquée

3. Méthode d'analyse de glyphosate

Le développement des techniques analytiques pour la quantification du glyphosate a augmenté au cours des dernières années et plusieurs méthodes de quantification ont été proposées (Borjesson et Torstensson (2000), Nedelkoska et Low (2004), Khrolenko et Wieczorek (2005), Ibanez et al. (2005), (2006), Li et al. (2007), Peruzzo et al. (2008)). Selon Peruzzo et al., (2008), il est très difficile d'adapter une méthode pour extraire et déterminer les résidus du glyphosate vu ses propriétés physico chimiques. Le glyphosate est généralement quantifié par des méthodes chromatographiques dans les eaux, les sols, les fruits, les cultures, les légumes et d'autres échantillons (Tableau 01). L'analyse par chromatographie en phase gazeuse nécessite, par exemple, la dérivation de glyphosate afin de réduire sa polarité et d'augmenter sa volatilité. Les méthodes d'électrophorèse avec chromatographie ou capillaire nécessitent également une étape de dérivation due à l'absence de groupes chromophores ou fluorophores dans la structure de l'herbicide. Même dans le cas de la quantification de glyphosate par LC-MS, l'étape de dérivation doit être effectuée afin d'améliorer le comportement chromatographique (Ibanez et al., 2005, 2006).

CHAPITRE 1 : ANALYSE BIBLIOGRAPHIQUE

Tableau 01 : Les différentes méthodes d'analyse de glyphosate dans l'environnement (Schreck, 2009)

Méthode d'extraction	Technique analytique	Analyse en composé seul ou multi résidus	Matrice analysée	LDD	Références
Extraction sur carbone : Chelex 100 puis AG 1-18 (lavage HCL) NaOH et HCl	GC- MS	Glyphosate et son métabolite (AMPA)	Eaux	<0.1 µg. L ⁻¹	Borjesson et Torstensson, 2000
	GC- MS	Glyphosate et son métabolite (AMPA)	Sols	<0.006 µg. g ⁻¹	Borjesson et Torstensson, 2000
	HPLC	Glyphosate et son métabolite (AMPA)	Eaux et plantes	0.16 µg.L ⁻¹	Nedelkoska et Low, 2004
Membrane liquide supportée	HPLC-UV+ dérivation	Glyphosate et son métabolite (AMPA)	Jus de fruits	< 0.025 mg.L ⁻¹	Khrolenko et Wieczorek, 2005
SPE	LC-ESI-MS/MS + dérivation (HCl + FMOC)	Glyphosate et son métabolite (AMPA)	Sols Eaux	5 µg kg ⁻¹ 5 ng L ⁻¹	Ibanez et al., 2005 Ibanez et al., 2006
Extraction à l'eau puis dichlorométhane et purification sur colonne CAX	LC-MS/MS+ dérivation (FMOC-CI)	Glyphosate et son métabolite (AMPA)	fruits, légumes, viande, miel...	0,05 mg kg ⁻¹	Li et al., 2007
Eaux: membrane d'acétate de cellulose Sols: KH ₂ PO ₄ , agitation et filtration	HPLC-UV + dérivation (FMOC-CI)		Eaux Sols, sédiments	<0,1 mg L ⁻¹ <0,5 mg kg ⁻¹	Peruzzo et al., 2008

GC- MS : Chromatographie gazeuse lié au spectromètre de masse, **HPLC** : Chromatographie liquide haute performance, **LC-ESI-MS/MS** : Chromatographie en phase liquide (ESI: ionisation par électrospray) lié à la spectrométrie de masse, **LDD**: Limite de détection, **FMOC I** : Chlorure de fluorénylméthoxycarbonate.

CONCLUSION

A travers la littérature scientifique reprit, l'amélioration des caractéristiques des sols et la nécessité du désherbage chimique en SD ont été démontrés. Cependant l'étude environnementale du SD est crucial vis-à-vis le comportement des herbicides dans le sol. La présente étude se focalise sur le comportement du glyphosate dans le sol. Cette matière active qui nécessite des équipements et des produits analytiques spéciaux. De ce fait, une des craintes de cette étude est le bon déroulement du protocole expérimental en conditions de plein champ, dans une zone à caractère semi-aride. Avant toute étude de terrain, un diagnostic est nécessaire. De ce fait, une étape de diagnostic a été réalisée auprès des agriculteurs de la zone d'étude. Par la suite et à travers l'expérimentation, le comportement du glyphosate dans le sol a été étudié. En fin, Sur le plan rentabilité, et à fin d'augmenter les rendements et diminuer les effets environnementaux en SD, une étude de gestion du traitement chimique a eu lieu.

Chapitre 2

Analyse des performances de quelques exploitations céréalières en semis direct



ANALYSE DES PERFORMANCE DE QUELQUES EXPLOITATIONS CEREALIERES EN SEMIS DIRECT

Une partie des résultats présentés dans ce chapitre a été publié dans la revue « Agriculture » (<https://www.asjp.cerist.dz/en/PresentationRevue/53>).

LabadRyma, Hartani Tarik. Analyse des performances de quelques exploitations agricoles céréalières en semis direct dans la wilaya de Sétif / Revue Agriculture. Numéro spécial 1 (2016) 78 – 81.

L'article est classé en Annexe1.

INTRODUCTION

Dans les zones arides et semi-arides, notamment les hautes plaines Sétifiennes, la céréaliculture sous régime pluvial constitue la principale activité. Il est connu qu'en conditions pluviales, la production des céréales reste limitée par les facteurs du climat, les caractéristiques du sol, le matériel végétal et les pratiques culturales (Duiker et Lal, 1999). Du fait de la nature de leurs sols et du régime des précipitations, les zones semi-arides sont pour l'essentiel des milieux fragiles, rapidement dégradables si les modes de culture sont inadaptés.

L'agriculture intensive souvent en monoculture a été à l'origine de la dégradation progressive des sols. Cependant, l'intensification des cultures à travers le système conventionnel a eu des retentissements de réduction de la couverture végétale du sol et une diminution progressive de la productivité (Mrabet, 2001). C'est pour quoi l'amélioration des systèmes de production est devenue un véritable débat scientifique.

Depuis l'année 2002, l'Institut Technique des Grandes Cultures « ITGC » a introduit le système de l'AC au niveau de ces exploitations afin d'évaluer ces performances. Cette évaluation basée essentiellement sur la pratique du SD est effectuée en considérant les rendements en particulier, la conservation de l'eau dans le sol qui est un facteur limitant le développement de la production, et aussi atténuer l'érosion des sols compte tenu de l'aridité qui caractérise le milieu (Ziza, 2007).

Notre contribution s'intéresse aux performances de SD dans les hautes plaines Sétifiennes. La méthodologie est basée dans un premier temps sur un questionnaire réalisé auprès d'un échantillon d'une dizaine de céréalières précurseurs dans l'adoption du SD. L'approche se prolonge en vue d'analyser à travers des essais expérimentaux en grandeur réelle les effets de l'usage de cette technique sur les propriétés physiques et chimiques des sols.

ANALYSE DES PERFORMANCE DE QUELQUES EXPLOITATIONS CEREALIERES EN SEMIS DIRECT

1. Présentation de la zone d'étude

L'adoption du SD comme technique de production céréalière dans la wilaya de Sétif a été diffusée entre les agriculteurs voir même les exploitations privées. Pour analyser l'état de SD dans la région de Sétif, une enquête s'est déroulée au niveau de sept (07) communes agricoles de la wilaya, dont leurs caractéristiques pédoclimatiques diffèrent : la commune d'Ain Abassa, la commune de Beni Fouda, la commune d'Ain Arnat, la commune de Sétif, la commune de Mezloug, la commune d'Ain Oulmene ainsi que la commune d'Ain Azel.

1.1 Caractéristiques agro-pédologiques de la zone d'étude

L'échantillonnage a été effectué entre la zone des hautes plaines et la zone sud ou la frange semi-aride. La zone des hautes plaines occupe la partie centrale de la wilaya, son altitude varie entre 900 et 1.200 m. Dans cette région, les sols sont riches en calcaire dont la qualité est variable d'un lieu à un autre. Les uns s'amincissent et deviennent caillouteux. C'est la région de la céréaliculture semi intensive, voire extensive de l'élevage et du maraîchage de saison. La frange semi-aride située dans le sud et le sud est de la wilaya, son altitude dépasse rarement les 900m. Les sols de cette région sont salins avoisinant les chotts et les sebkhas, se qui rend la production agricole très sensible dans cette région (Chenafi, 2012).

1.2 Caractéristiques climatiques

Le climat de la wilaya de Sétif est de type continental semi-aride, caractérisé par des étés chauds et secs et des hivers pluvieux et froids. Généralement, les pluies sont insuffisantes et irrégulière à la fois dans le temps et dans l'espace. Pour notre échantillon, nous avons des exploitations agricoles de la partie Nord, situées entre les isohyètes de 500 et 400 mm, les exploitations agricoles des hautes plaines reçoivent entre 400 et 300 mm de précipitation et la partie sud regroupe des exploitations agricoles situées entre les isohyètes 300 à 200 mm et inférieur à 200 mm (Fig. 2.1).

ANALYSE DES PERFORMANCE DE QUELQUES EXPLOITATIONS CEREALIERES EN SEMIS DIRECT

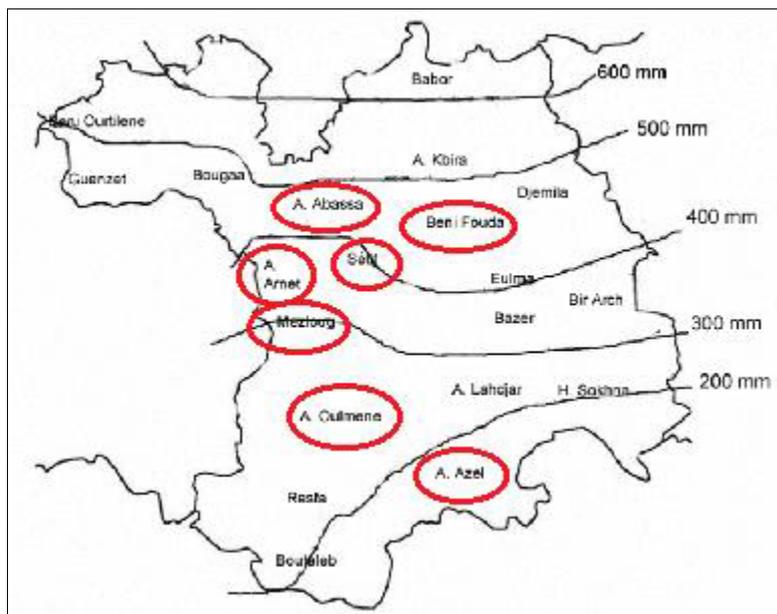


Figure 2.1. Situation géographique des zones enquêtées au niveau de la wilaya de Sétif

Durant la période 2006-2016, la pluviométrie annuelle enregistrée dans la région de Sétif varie entre 450 et 330 mm avec une moyenne annuelle de 383mm. Le taux de la pluviométrie est important à partir du mois de Janvier jusqu'au mois de Mai (Fig. 2.2). C'est la période la plus froide de la région où les gelées blanches et l'enneigement sont remarquables.

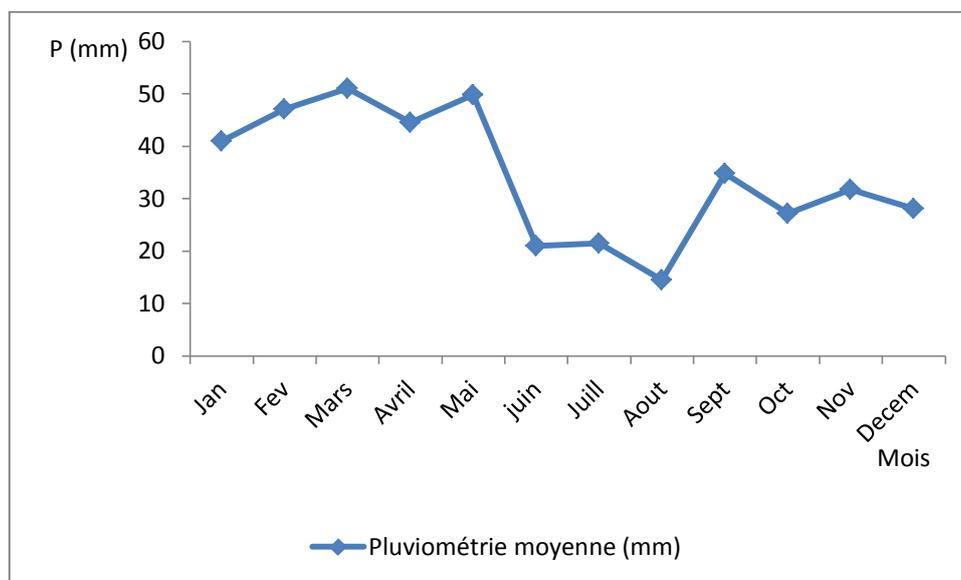


Figure 2.2. Moyenne mensuelle de précipitations de Sétif (2006-2016)

ANALYSE DES PERFORMANCE DE QUELQUES EXPLOITATIONS CEREALIERES EN SEMIS DIRECT

En revanche, les températures sont basses en hiver et élevées pendant le mois de Juillet et Aout où le siroco se manifeste. Les températures annuelles moyennes de la région enregistrées durant la période 2006-2016 varie entre 5 °C au mois de Janvier et 27°C au mois de Juillet avec une moyenne de 13.7 °C (Fig. 2.3).

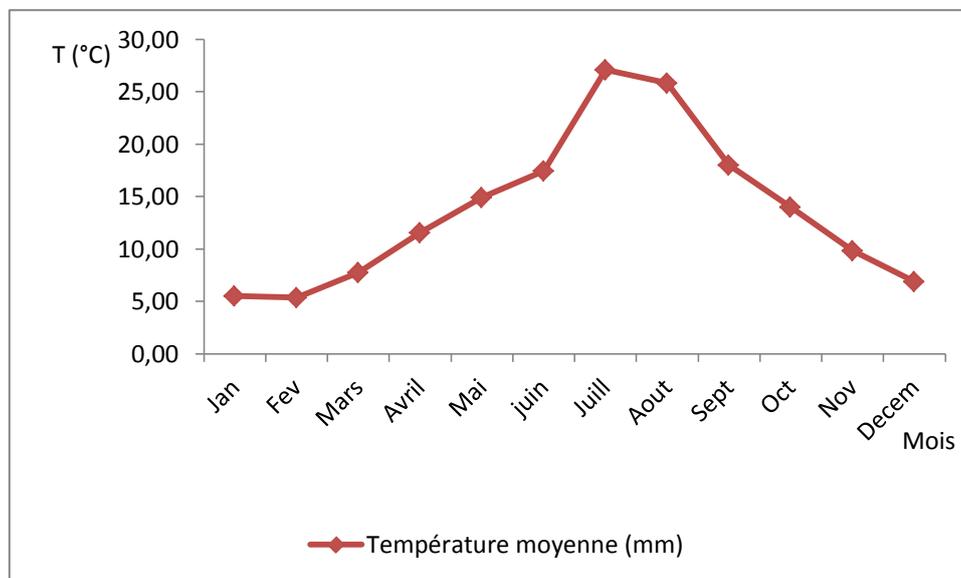


Figure 2.3. Variation des températures moyennes mensuelles de Sétif (2006-2016)

2. Méthodologie

Le diagnostic exécuté durant la saison 2014-2015, a été basé sur un questionnaire rempli auprès des agriculteurs pratiquant le SD dans la région d'étude. Le questionnaire a été reconstitué progressivement dans le temps afin de pouvoir gérer l'entretien avec les agriculteurs et tirer les bonnes conclusions. Parmi les critères de choix des exploitations : l'adoption du SD, l'emplacement géographique et les caractéristiques pédoclimatiques.

Le questionnaire a été basé essentiellement sur trois principaux axes :

- Les caractéristiques du chef d'exploitation (Age et niveau d'instruction)
- Les caractéristiques générales de l'exploitation (le foncier, les cultures cultivées, ...)
- L'évaluation technique du SD.

ANALYSE DES PERFORMANCE DE QUELQUES EXPLOITATIONS CEREALIERES EN SEMIS DIRECT

A travers l'évaluation technique du SD, nous nous sommes basés sur l'opération du désherbage de pré-semis par le glyphosate. Ce point était le but ciblé à travers notre diagnostic sur le terrain, car c'est l'agriculteur lui-même qui peut renseigner sur la quantité d'herbicide utilisée et la manière dont il a été appliqué.

Nous avons conclu notre questionnaire auprès des agriculteurs par leurs suggestions à propos du SD et l'utilisation des herbicides (Annexe 04).

3 Résultats et discussion

3.1 Caractéristique du chef d'exploitation

La caractérisation des facteurs sociaux est un paramètre très explicatif dans le cas d'étude d'une possible substitution d'une technique culturelle héritée par une nouvelle technique introduite. Nous nous sommes basés sur trois principaux critères.

3.1.1 L'âge des agriculteurs

L'intervalle d'âge des agriculteurs enquêtés varie entre 20 ans et 60 ans. La majeure partie des âges se situe entre 30 et 45 ans (60%), tandis que le pourcentage des agriculteurs jeunes (moins de 30 ans) est de 10% (Fig. 2.4). La variabilité d'âge des agriculteurs pratiquant le SD reflète son impact social. En effet, l'écho de la vulgarisation agricole semble être positif chez les agriculteurs jeunes et adultes. De ce fait, les opportunités d'amélioration des techniques de production agricole dans la région augmentent.

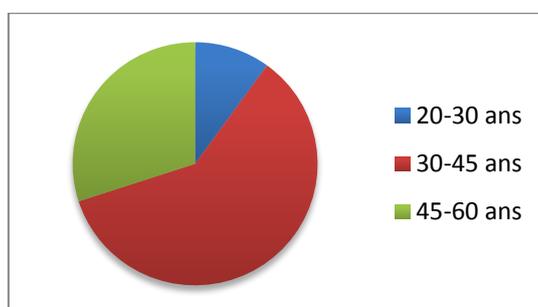


Figure 2.4. Répartition d'âge des agriculteurs

ANALYSE DES PERFORMANCE DE QUELQUES EXPLOITATIONS CEREALIERES EN SEMIS DIRECT

3.1.2 Le niveau d'instruction des agriculteurs

Un autre critère très important qui peut expliquer l'acceptation du SD dans la région enquêtée, est le niveau d'instruction des agriculteurs. Ce critère constitue une base importante pour la maîtrise des itinéraires techniques. 60% des agriculteurs enquêtés n'ont pas dépassé le niveau d'instruction secondaire tandis que 40% sont des techniciens supérieurs dans le domaine de l'agriculture (Fig.2.5). Cette catégorie des agriculteurs « cadre », présente le caractère enthousiaste qui les a poussés pour se documenter et mieux connaître le développement de cette technique dans le monde.

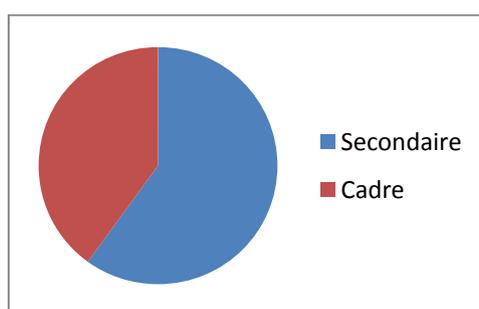


Figure 2.5.Niveau d'instruction des agriculteurs

3.1.3 Activité professionnelle

Notre diagnostic représentatif de l'état du SD dans la région de Sétif montre que tous les échantillons (100%) sont des agriculteurs de père en fils (par héritage) et pratiquent l'agriculture comme activité professionnelle principale y compris les agriculteurs « cadre ». Souvent ces agriculteurs participent et représentent leurs expériences et résultats à travers les manifestations scientifiques organisées par les institutions de recherche agronomique au niveau de la wilaya de Sétif ce qui a facilité le passage de l'information entre les agriculteurs et la progression d'introduction du SD.

3.2 Caractéristiques générales des exploitations

3.2.1 L'introduction du semis direct

L'introduction de SD dans la région de Sétif a connu un rythme plus ou moins lent mais progressif dans le temps (Fig. 2.6) :

- 10% entre la période 2000-2006
- 40% entre le période 2006-2010

ANALYSE DES PERFORMANCE DE QUELQUES EXPLOITATIONS CEREALIERES EN SEMIS DIRECT

- 50% entre le période 2010-2014.

Ce rythme d'introduction et selon les déclarations des agriculteurs, il est due à des contraintes techniques et agronomiques. L'absence et la cherté du matériel spécifique (semoir spécialisé en semis direct), le manque d'expérience et le manque du matériel végétal nécessaire pour assurer la rotation adéquate ont été les principales contraintes citées.

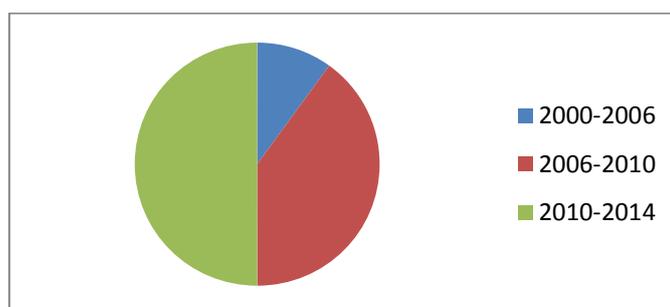


Figure 2.6.Rythme d'adoption du semis direct dans le temps

Après le lancement du projet « Adaptation de l'agriculture de conservation en vue d'une adoption rapide par les petites exploitations en Afrique du Nord » par le centre international australien pour la recherche agricole « ACIAR » et la création de l'association Trait d'union en 2005, la perception des potentialités et des perspectives du SD deviennent plus clairs.

3.2.2 *Le statut juridique des exploitations*

Les échantillons représentatifs de notre diagnostic sont des fermes pilotes, des exploitations privées et des exploitations agricoles individuelles (EAI) issues des exploitations agricoles collectives (EAC) (Fig. 2.7). Les essais du SD au niveau des fermes pilotes se sont déroulés dans le cadre de projet australien en collaboration avec l'ICARDA et l'ITGC. Par contre, au niveau des exploitations privées, le SD a été introduit par le gérant ou le propriétaire de la ferme qui est le seul décideur. Parmi les agriculteurs propriétaires des EAI et des exploitations privées, nous trouvons ceux qui ont participé à la création de l'association trait d'union, qui a permis de regrouper les agriculteurs, les chercheurs et les techniciens pour aborder la nouvelle approche de l'agriculture de conservation dans la région.

ANALYSE DES PERFORMANCE DE QUELQUES EXPLOITATIONS CEREALIERES EN SEMIS DIRECT

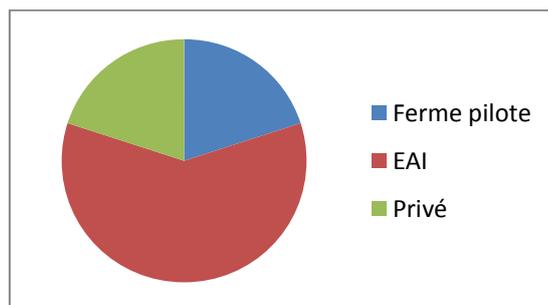


Figure 2.7. Statut juridique des exploitations agricoles en quêtées

3.2.3 La répartition de la surface du semis direct par rapport à la surface totale

Au cours de notre diagnostic, nous avons enquêté une superficie de 1011ha dont 37.68% est cultivé en SD. L'évolution de la surface réservée pour le SD était progressive dans le temps. Elle dépend des cultures cultivées au niveau des exploitations. Pour les producteurs des grandes cultures, la reconversion de la superficie totale en SD varie entre 40 et 100%. Par contre les agriculteurs qui produisent les cultures maraichères en parallèle, la surface consacré pour le SD varie entre 30% et 11%. Le point commun entre tous les agriculteurs enquêtés, est qu'ils ont commencé les essais du SD par une superficie qui ne dépasse pas les 5ha.

3.3. L'évaluation technique du semis direct

Les agriculteurs ont été interrogés par rapport aux anciennes pratiques culturales utilisées et les améliorations éventuelles obtenues après l'introduction progressive du SD, à propos de la capacité de rétention d'eau, la matière organique, l'AB et l'érosion des sols. Les réponses n'ont pas été très précises en relation avec certains facteurs techniques. Nous nous sommes intéressés aussi au désherbage de pré.- semis, qui est une opération indispensable en SD, en utilisant des herbicides totaux.

Une des plus importantes questions posées aux agriculteurs est « Comment avez-vous été convaincu des bienfaits du SD? ». Nous avons obtenu diverses réponses convergentes:

- « L'équipe de l'ITGC Sétif nous a permis de constater les bienfaits de cette technique au niveau de la station expérimentale, ce qui nous a encouragé à introduire cette technique au niveau de nos parcelles».
- « Le SD n'est pas une nouvelle technique c'est une amélioration d'une ancienne technique. Avant l'apparition des charrues nos grands parents utilisaient l'araire qui

ANALYSE DES PERFORMANCE DE QUELQUES EXPLOITATIONS CEREALIERES EN SEMIS DIRECT

tranchait la terre pour semer les graines puis ils les couvraient par le sol avec leurs pieds. Autrement dit, ils n'ont jamais travaillé le sol « profondément ».

Une autre question a été posée aux agriculteurs en rapport avec l'opération du désherbage de pré-semis et l'herbicide utilisé. La plupart des agriculteurs utilisent le Roundup, Kalach, Glyphose..., selon la disponibilité sur le marché, dont la matière active est « le glyphosate $C_3H_8NO_5P$ » avec une concentration de $360g.l^{-1}$. Les céréaliers ont apprécié cette opération de désherbage de pré semis, car elle leur permet de protéger leurs parcelles des mauvaises herbes le long du cycle de développement de la culture. En effet, un problème de non germination des graines des mauvaises herbes expliqué en absence des pluies avant le semis se pose.

Dans ce cas, les agriculteurs utilisent l'herbicide après le semis mais avant la levée de la culture. Mais cela reste une opération délicate et nécessite une technicité, notamment pour le choix de la date d'application, les conditions climatiques et surtout le réglage du pulvérisateur. Pour les doses appliquées et après l'adoption du SD, il a été constaté que certains agriculteurs ont réduit les doses de traitement de $6 l.ha^{-1}$ jusqu'à $2 l.ha^{-1}$, car ils ont remarqué une diminution du taux d'infestation des mauvaises herbes au cours des années d'application sauf pour quelques espèces exemple de *Bromus tectorum* (Brome) et *Elymus repens* (Chiendent).

A l'aide des résultats d'enquête, un cumul de la matière active appliquée sur les parcelles suivies a été estimé en fonction du nombre des années de pratique du SD et les doses qui ont été appliquées (Tableau 02).

Tableau 02 : Estimation de la concentration du glyphosate dans les parcelles enquêtées ($kg. ha^{-1}$)

Nombre d'année d'application/ parcelle (an)	Concentration de la matière active (glyphosate) en fonction de la dose appliquée (g/l)	Masse de la matière active rapportée à la superficie de SD (kg/ ha)
1	875	0.875
2	660	0.686
7	7350	7.35
8	5600	5.6
8	5600	5.6
8	5600	5.6
9	9800	9.8

Enquête : 2014/2015

ANALYSE DES PERFORMANCE DE QUELQUES EXPLOITATIONS CEREALIERES EN SEMIS DIRECT

Le taux du glyphosate utilisé a été calculé pour 70% des agriculteurs enquêtés, car nous avons 30% d'agriculteurs ont appliqué le semis direct en Novembre 2014 et n'ont pas utilisé le traitement herbicide à cause des conditions climatiques.

La concentration de la matière active en fonction de la dose appliquée est plus importante pour les premières exploitations agricoles introduisant le SD (9 ans d'application), car les doses appliquées étaient importantes (6 l.ha^{-1}). Cela peut engendrer un cumul de glyphosate au niveau des sols ($1176\text{kg}/120 \text{ ha}$).

Quelques observations ont été apportées par les agriculteurs à propos de l'évolution de quelques paramètres liés au sol. 60% des agriculteurs interrogés qui ont introduit le SD à partir de l'année 2005 ont constaté que cette technique a permis une augmentation de la teneur en matière organique dans le sol d'une manière appréciable, en accord avec plusieurs travaux scientifiques réalisés dans la région (Chenafi et Bouzerzour, 2008).

Les agriculteurs interrogés ont posé le problème de manque d'eau dans la région et les améliorations observées après l'introduction du SD. En outre, 70% des agriculteurs interrogés ont remarqué une amélioration d'humidité de sol en particulier en saisons sèches. En fait, Mrabet (2001) a indiqué que le SD permet d'améliorer le stockage d'eau des pluies de 10% à 30% par rapport à la technique classique. La capacité de rétention d'eau du sol est liée à sa texture, sa structure et son taux de matière organique. Ce point a été repris par plusieurs chercheurs et confirme l'amélioration de la capacité de rétention d'eau en SD dans la région de Sétif (Chenafi, 2012).

Pour les indicateurs de la fertilité de sol et la biologie de sol, quelques résultats sur le développement d'une AB dans la région de Sétif sont disponibles en particulier dans le cas du SD (Ziza, 2007). Cependant, les agriculteurs observent le développement régulier de certains lombriciens dans leurs sols.

Les exploitations agricoles situées dans la partie sèche de la zone d'étude entre les isohyètes 300 et 200 mm, souffrent de l'érosion des sols. Les agriculteurs ont affirmé que le SD a limité ce phénomène. De sa part, Mrabet (2002) a affirmé que «le système de SD représente une technique d'avenir pour la défense des sols contre l'érosion».

Ces résultats sont des observations réelles, mais il existe d'autres problèmes cités par les agriculteurs tels que : l'absence de couvert végétal permanent à cause de l'élevage ovin et le problème de développement de brome et de chiendent qui est devenu un véritable obstacle pour le développement des céréales dans la région.

ANALYSE DES PERFORMANCE DE QUELQUES EXPLOITATIONS CEREALIERES EN SEMIS DIRECT

Dans ce contexte, et à travers les recherches scientifiques, les agriculteurs désirent avoir un couvert végétal permanent pour le sol, non apprécié par le cheptel d'un coté et préserve la qualité du sol d'un autre coté. Pour la gestion des mauvaises herbes, les agriculteurs souhaitent réduire la dose appliquée de l'herbicide pour diminuer la sur utilisation des produits chimiques et optimiser les rendements des cultures qui ont été déjà améliorés en SD.

CONCLUSION

L'analyse des résultats issus du dépouillement des enquêtes montre une perception positive du SD auprès des agriculteurs Sétifiens. En SD, le sol est plus ou moins humide avec des rendements plus élevés et moins de charges, un freinage des dégradations des reliefs et limitation des érosions, une levée bien organisée, une diminution de développement des mauvaises herbes durant le cycle de développement des cultures, un stockage de la matière organique dans le sol et un début d'évolution de la vie dans le sol.

Ces résultats encourageants n'empêchent pas de mettre le point sur le nombre limité des agriculteurs pratiquant le SD. Cela est expliqué impérativement par des facteurs d'ordre technique.

Une grande partie de ces conclusions feront l'objet d'un protocole expérimental en vue de leur quantification, en particulier celle concernant le devenir de l'herbicide dans le sol en interaction avec les propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol, la gestion du traitement des mauvaises herbes ainsi que l'évaluation des risques de la contamination des sols en relation avec les rendements.

Chapitre 3

Devenir du glyphosate dans le sol après son application

CHAPITRE 3 : DEVENIR DU GLYPHOSATE DANS LE SOL APRES SON APPLICATION

Une partie des résultats présentés dans ce chapitre a été publiée dans la revue « journal of agronomy » (<http://docsdrive.com/pdfs/ansinet/ja/0000/88211-88211.pdf>).

Ryma Labad, Tarik Hartani and Gopal Uttamrao Shinde, 2018. Optimum herbicide dose management in direct seeding for cereals production: Case of semi-arid area of Algeria. *J. Agron.*, CC: CC-CC

L'article est classé en Annexe2.

INTRODUCTION

En SD, le traitement des mauvaises herbes avec un herbicide total implique une pénétration par les feuilles uniquement. Par la suite, l'herbicide est transporté jusqu'aux racines. En revanche, les modifications du milieu en SD à travers la présence de mulch en surface et l'augmentation de la teneur en matière organique (MO) favorisent la rétention et l'adsorption des différents produits phytosanitaires (Dao (1996), Reddy et Locke (1998)). Selon Tejada (2009), le traitement avec des herbicides foliaires n'empêche pas leurs atteintes au sol comme dans le cas du glyphosate. L'utilisation de cet herbicide est souvent associée au SD pour le traitement de pré semis. Son utilisation est souvent associée aussi avec des cultures transgéniques en Europe et aux Etats- Unis (Mamy (2004), Bonny (2011)). Le glyphosate, vu son efficacité sur les mauvaises herbes, a été classé en premier dans le monde (Giesy 2000). Ses effets environnementaux ont été étudiés depuis son apparition, malgré la difficulté d'adoption d'un protocole universel bien défini (Sprankle et al., 1975). Certains travaux de recherche ont tenté déterminer le devenir de cette matière active dans l'environnement, en relation avec diverses techniques de production et cultures (Mamy (2004), Schreck (2009)).

De ce fait, afin d'étudier l'aspect environnemental du SD en Afrique de Nord et plus précisément en Algérie après son introduction en 2005, nous nous sommes intéressés au devenir de cette molécule dans le sol. L'étude s'est déroulée au niveau de la ferme expérimentale de l'Institut Technique des Grande Culture ITGC Sétif.

CHAPITRE 3 : DEVENIR DU GLYPHOSATE DANS LE SOL APRES SON APPLICATION

1. Matériel et méthode

1.1 Le site expérimental

La parcelle d'étude se situe au lieu dit R'Mada dans la commune de Mezloug, daïra de Ain Arnat. Le site se trouve à une altitude de 1080 m, à la latitude $36^{\circ} 9' N$ et à la longitude $5^{\circ} 21' E$. La superficie de la parcelle d'étude est de 10000 m^2 , divisée en trois blocs (Fig. 3.1).



Figure 3.1. Vue aérienne de la parcelle d'étude

Le sol du site expérimental appartient à la classe des sols alluviaux. Le profil pédologique montre que le sol est légèrement profond (40-70 cm) en présence d'une dalle calcaire très proche de la surface (Fig. 3.2). Le sol est caractérisé par une légère pente (3%) et présente des cailloux en surface.

CHAPITRE 3 : DEVENIR DU GLYPHOSATE DANS LE SOL APRES SON APPLICATION



Figure 3.2. Vue de profil pédologique de la parcelle d'étude

Dans un climat semi-aride, un cumul de 300 mm de précipitation et une température moyenne qui atteint 25°C ont été enregistré durant les années d'étude (Fig. 3.3). Les températures moyennes ont été relativement élevées comparativement à celles des 10 années précédentes (Chapitre 2).

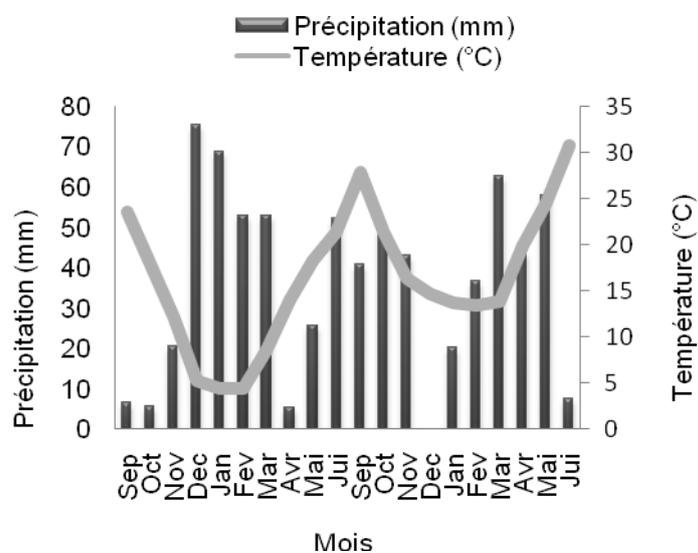


Figure 3.3. Diagramme ombrothermique pour les campagnes agricoles 2014-2016

CHAPITRE 3 : DEVENIR DU GLYPHOSATE DANS LE SOL APRES SON APPLICATION

1.2 Protocole expérimental

Durant le déroulement des enquêtes en 2014-2015 (Chapitre 1), l'étude de devenir du glyphosate dans le sol a été basée sur une seule concentration (D_1 : $1080 \text{ g}\cdot\text{ha}^{-1}$). En 2015-2016, quatre concentrations d'herbicide ont été sélectionnées à partir de dépouillement des résultats de l'enquête et appliquées avant le semis direct. Les quatre concentrations sont : D_1 ($1080 \text{ g}\cdot\text{ha}^{-1}$), D_2 ($900 \text{ g}\cdot\text{ha}^{-1}$), D_3 ($720 \text{ g}\cdot\text{ha}^{-1}$) et D_4 ($540 \text{ g}\cdot\text{ha}^{-1}$). Des échantillons du sol ont été prélevés à différentes dates et à deux profondeurs (Tableau 03). La profondeur de l'échantillonnage varie entre 0-20 cm et 20-60 cm, vu que le sol d'étude est légèrement profond.

L'échantillon de chaque traitement herbicide (pour chaque dose) est la résultante de quinze prélèvements du sol répartis aléatoirement sur la parcelle avec 5 prélèvements par bloc (Annexe 5). Tous les prélèvements du sol ont été effectués à l'aide d'une tarière, stockés dans des sachets en plastique et mis en congélateur ($-4 \text{ }^\circ\text{C}$) jusqu'au jour d'analyse. Avant la phase de laboratoire, les échantillons ont été décongelés, séchés à l'air libre et tamisés à 2 mm.

Tableau 03 : Dates de prélèvement des échantillons de sol pour les campagnes 2014-2015 et 2015-2016

Campagne 2014-2015		Campagne 2015-2016	
Traitement avec D_1	1 Décembre 2014	Traitement (D_1, D_2, D_3, D_4)	2 Décembre 2015
Semis direct	8 Décembre 2014	Semis direct	7 Décembre 2015
Premier prélèvement du sol	15 Octobre 2015	Premier prélèvement du sol	8 Décembre 2015
Deuxième prélèvement	9 Février 2016	Deuxième prélèvement	9 Février 2016
Troisième prélèvement	20 Mars 2016	Troisième prélèvement	20 Mars 2016
Quatrième prélèvement	24 Avril 2016	Quatrième prélèvement	24 Avril 2016

CHAPITRE 3 : DEVENIR DU GLYPHOSATE DANS LE SOL APRES SON APPLICATION

1.3 Mesure et analyses du sol

Après huit ans de pratique du SD au niveau de la parcelle d'étude, une caractérisation des propriétés physico chimiques du sol était nécessaire. La texture du sol et le taux de calcaire total (CaCO_3), le $\text{pH}_{(\text{eau})}$, la MO (carbone organique), l'azote organique et la capacité d'échange cationique (CEC) sont les paramètres sélectionnés. Les protocoles utilisés sont déterminés à partir de l'ouvrage de « Analyse chimique des sols méthodes choisies » (Mathieu et Pieltain, 2003) (Annexe 06).

Les analyses des résidus du glyphosate dans le sol ont été effectuées au Centre de Recherche des Analyses Physiques et Chimiques (CRAPC) de Bousmail, wilaya de Tipaza. Pour la préparation des échantillons, une phase d'extraction est indispensable. Quinze gramme du sol mélangé avec KH_2PO_4 (0.1M) ont été agités (15 min), centrifugés (3500 tr/min- 10 min) puis filtrer par un papier filtre. La phase d'extraction a été répétée deux fois pour chaque échantillon afin de récupérer un volume important d'extrait et augmenter les chances de détection du glyphosate. Les solutions récupérées ont été filtrés sous pression (pompe à vide) à l'aide d'une membrane cellulosique. Par la suite une phase de dérivation était nécessaire avant de passer à l'étape d'analyse par la chromatographie liquide haute performance (CLHP). Une préparation du borate buffer (5%) et une préparation de FMOCI (2 mM) dilué en chloroforme ont été ajoutés aux extraits issus de la phase d'extraction. Le mélange a été conservé à l'obscurité à une température de 40°C pendant 24h. Le produit dérivé a été complété par une solution de H_3PO_4 (2%) et analysé par CLHP (Peruzzo et al., 2008). Le système de CLHP utilisé est YL9100 Clarity (Fig. 3.4). Les conditions de chromatographie sont: une colonne C_{18} , un débit de 0.8 ml/min, UV 206 nm, température 25°C et une pression de 65 bars. La phase mobile a été préparée par un mélange de 65% H_3PO_4 (0.05 M, $\text{pH}= 6.1$) et 35% d'acétonitrile.

CHAPITRE 3 : DEVENIR DU GLYPHOSATE DANS LE SOL APRES SON APPLICATION



Figure 3.4. Chromatographie liquide haute performance analytique avec détecteur UV visible

Les limites de quantification et de détection chromatographique ont été déterminées par la technique « pratique » au laboratoire (Annexe 06). Les valeurs sont 0.264 et 0.018 $\mu\text{g}/\text{kg}$, respectivement.

2. Résultats et Discussion

La possible détection du glyphosate en conditions de plein champ était une des incertitudes, vu ses caractéristiques physico-chimiques qui rendent son analyse assez difficile (Peruzzo et al., 2008). Le sol d'étude est caractérisé par une texture limoneux-argileuse avec une teneur importante des argiles. Le taux de calcaire total est plus important en profondeur par rapport à la surface du sol tandis que les valeurs du pH ne révèlent pas des différences importantes. Les mesures des paramètres de fertilité de sol montrent que le sol présente une capacité d'échange cationique (CEC) élevée, un taux moyen de MO et une bonne aptitude biologique (Annexe 07). Par ailleurs, les premières études sur le devenir du glyphosate ont montré que son comportement est affecté par les propriétés physico-chimiques du sol (Sprankle et al., 1975).

CHAPITRE 3 : DEVENIR DU GLYPHOSATE DANS LE SOL APRES SON APPLICATION

2.1 Devenir du glyphosate dans le premier horizon de sol (0-20 cm)

En 2014-2015, un traitement des mauvaises herbes par une seule dose (3 l.ha^{-1}) a été effectué une semaine avant le semis de la culture de triticale (*Triticosecale wittm. Ex A. Camus*). Après 319 jours du traitement et à la fin de cycle de la culture, la première analyse du glyphosate dans le sol a été effectuée. Les résultats ont démontré la possibilité de détection de l'herbicide dans le sol grâce au protocole expérimental mis en place.

Le prélèvement de sol réalisé en Octobre 2015, correspond à 319 jours après le traitement de pré semis réalisé. Ce prélèvement indique $0.380 \mu\text{g.Kg}^{-1}$ du glyphosate présentes dans les 20 premiers centimètres du sol, issus des traitements précédents. Pour pouvoir suivre l'évolution de cette concentration en 2015/2016, une superficie de 270 m n'a pas été traitée par les quatre doses et elle a été réservée comme surface témoin. De ce fait, Les concentration de l'herbicide ont tendance à diminuer dans le temps au cours des prélèvements réalisés (Tableau 3). Les résultats du dernier prélèvement qui correspond à 506 jours après traitement, révèle une concentration de $0.267 \mu\text{g.Kg}^{-1}$ du glyphosate (Fig. 3.5).

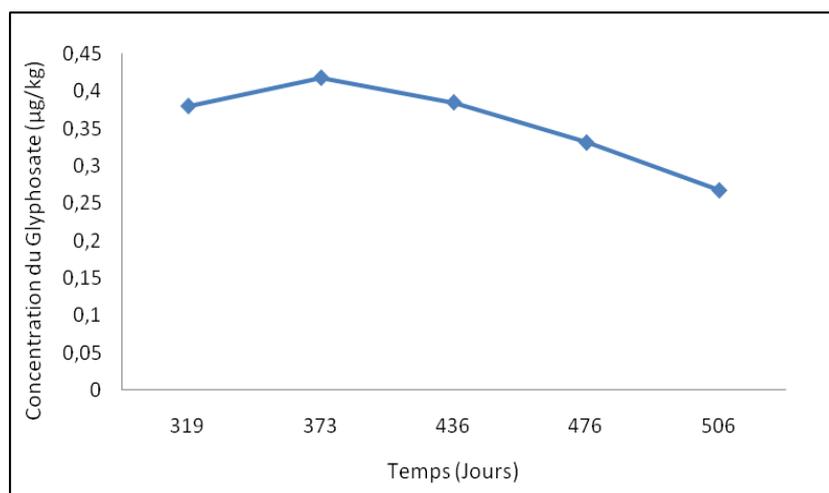


Figure 3.5. Cinétique de dissipation du glyphosate à partir du premier traitement en 2014

La répartition des prélèvements du sol dans le temps (Tableau03), permettent d'étudier les cinétiques de dissipation de la matière active. En outre, lors de l'application des quatre doses durant la campagne 2015/2016, des concentrations distinctes ont été relevées. Une semaine après le traitement des mauvaises herbes, des concentrations du glyphosate ont été

CHAPITRE 3 : DEVENIR DU GLYPHOSATE DANS LE SOL APRES SON APPLICATION

détectées dans le sol. La présence de l'herbicide dans le sol durant sa période d'action confirme qu'une partie atteint le sol lors du traitement des mauvaises herbes (Tejada, 2009). Sept jours après le traitement, les concentrations du glyphosate mesurées sont : $11.702 \mu\text{g.Kg}^{-1}$, $10.362 \mu\text{g.Kg}^{-1}$, $8.033 \mu\text{g.Kg}^{-1}$, $5.721 \mu\text{g.Kg}^{-1}$, respectivement pour D_1 , D_2 , D_3 et D_4 , avec une humidité du sol qui correspond à 32 %. Le deuxième prélèvement a été réalisé 70 jours après le traitement. Durant cette période, un cumul de 24.8 mm de précipitation a été enregistré et l'humidité du sol était de 45%. Une diminution de la concentration de l'herbicide a été observée pour les préparations appliquées avec D_2 , D_3 et D_4 . Tandis qu'une légère diminution a été observée pour D_1 ($9.563 \mu\text{g.Kg}^{-1}$). Quelques exceptions ont été observées en comparant les résidus issus des préparations à base de D_2 et D_3 durant cette période. En effet, les résidus issus de D_2 sont $4.689 \mu\text{g.Kg}^{-1}$ et de D_3 sont $4.893 \mu\text{g.Kg}^{-1}$. Cette variabilité, peut s'expliquer par la variabilité spatiale des quantités appliquées et des prélèvements.

Entre le deuxième prélèvement et le troisième (110 jours après traitement), les concentrations du glyphosate mesurées dans le sol ont diminué significativement ($P < 0.05$) pour les 4 doses appliquées. Cette diminution correspond à un cumul de précipitation de 72,91 mm et une diminution en humidité de sol (25%).

Au fil du temps, et après 140 jours du traitement, la concentration du glyphosate mesurée dans le sol est approximativement 18% pour D_1 et D_2 et 23% pour D_3 et D_4 . Les concentrations des résidus les plus importantes correspondent à la dose appliquée la plus élevée (D_1). La décroissance des concentrations mesurées est une dissipation de l'herbicide dans le sol. Les cinétiques de dissipation du glyphosate dans le sol sont illustrées dans la Fig. 3.6.

CHAPITRE 3 : DEVENIR DU GLYPHOSATE DANS LE SOL APRES SON APPLICATION

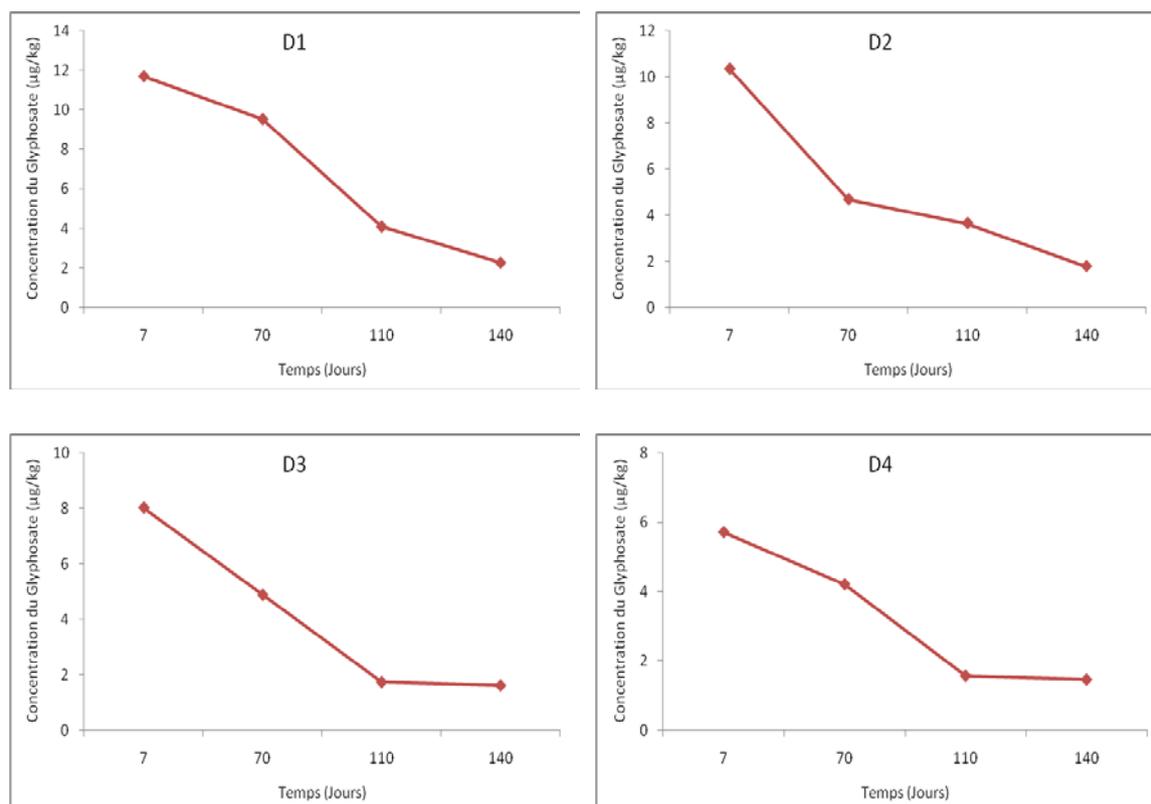


Figure 3.6. Cinétique de dissipation du glyphosate dans le premier horizon (0-20 cm)

A travers les cinétiques de dissipation observées dans le premier horizon, le DT_{50} du glyphosate dans le sol en conditions de plein champ a été calculé. Les valeurs de DT_{50} présentent des variabilités en fonction des concentrations appliquées (Annexe 07). La faible dose appliquée (540 g.ha-1) correspond à la valeur de DT_{50} la plus élevée (75 jours). Les valeurs de demi-vie de dissipation du glyphosate trouvées dans les conditions de plein champ sont très élevées par rapport aux résultats de la littérature (Grunewald et al., 2001). De ce fait la faible concentration de l'herbicide présente une forte persistance dans le sol.

La dissipation des herbicides dans l'environnement peut être due à la volatilisation vers l'air, le ruissèlement à travers les eaux de surfaces ou la pénétration vers les eaux souterraines (Mamy 2004). Dans le présent cas d'étude, les prélèvements du sol effectués dépendaient des conditions climatiques. De ce fait, entre le traitement des mauvaises herbes et le premier prélèvement du sol effectué, les précipitations étaient nulles, tandis qu'à partir du

CHAPITRE 3 : DEVENIR DU GLYPHOSATE DANS LE SOL APRES SON APPLICATION

second prélèvement où les concentrations initiales du glyphosate ont diminué, des valeurs des précipitations ont été enregistrées. La dissipation du glyphosate par pénétration dans le sol va être étudiée par l'analyse du devenir de glyphosate au niveau de second horizon (> 20 cm).

Par ailleurs, la dissipation des herbicides peut être due à la dégradation biologique qui est au cœur du phénomène de dissipation. Selon Giesy et al., (2000), la dissipation du glyphosate dans les sols est due en grande partie à la dégradation biologique (Chapitre 4).

2.2 Devenir du glyphosate dans le deuxième horizon de sol (> 20 cm)

L'analyse des résidus du glyphosate issus du traitement appliqué en 2014-2015 au niveau du deuxième horizon présente des valeurs sous la limite de quantification (L.Q = 0,264 $\mu\text{g.kg}^{-1}$). Le suivi du sol durant la campagne 2015-2016 (parcelle témoin), ne révèle aucune valeur mesurable. En revanche, l'analyse du sol après l'application des quatre concentrations en Décembre 2015, présente des résidus quantifiables.

Sept jours après le traitement des mauvaises herbes, les concentrations de l'herbicide étaient faibles par rapport aux valeurs trouvées dans le premier horizon. Ces concentrations ont augmenté par 34,5% pour D₁, D₂ et D₃ et par 18,63% pour D₄, lors des mesures effectuées après le deuxième prélèvement (70 jours après le traitement). L'augmentation des résidus de l'herbicide dans le sol confirme que le glyphosate a été transféré significativement en profondeur sous l'effet des précipitations ($P < 0.05$).

La diminution des concentrations des résidus observée en premier horizon et leur accumulation dans le deuxième horizon, confirme l'effet significatif de la pluviométrie sur la dissipation du glyphosate dans le sol (Peruzzo et al., 2008).

En revanche, à partir du troisième prélèvement (110 jours après traitement), les résidus de l'herbicide dans le sol ont diminué significativement (<0.05) jusqu'au dernier prélèvement (140 jours après traitement). Les courbes de dissipation du glyphosate dans le deuxième horizon forment des courbes sinusoïdales (Fig. 3.7).

CHAPITRE 3 : DEVENIR DU GLYPHOSATE DANS LE SOL APRES SON APPLICATION

L'analyse du deuxième horizon montre la mobilité du glyphosate dans le sol (Vereecken 2005). De ce fait, pendant la période de 7 à 70 jours, le glyphosate a été dissipé du premier horizon pour s'accumuler dans le deuxième horizon.

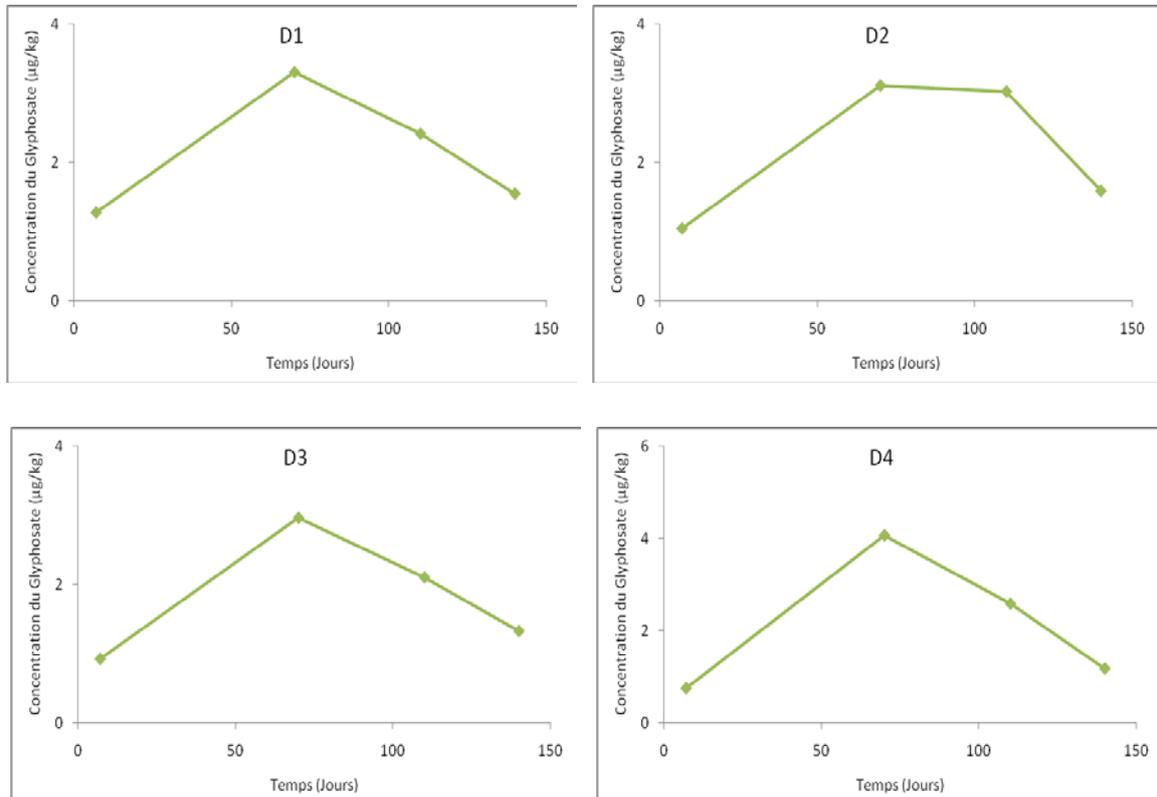


Figure 3.7. Cinétique de dissipation du glyphosate dans le deuxième horizon (>20 cm)

CHAPITRE 3 : DEVENIR DU GLYPHOSATE DANS LE SOL APRES SON APPLICATION

CONCLUSION

Dans les conditions de l'étude, le suivi de devenir du glyphosate utilisé en semis direct révèle certains résultats. En fait, sa rétention dans un sol à texture fine avec un pourcentage important d'argile, un moyen taux de matière organique et une bonne CEC reflètent l'effet de la qualité du sol qui a été améliorée en SD sur le devenir de l'herbicide.

En revanche, la dissipation du glyphosate dans le sol a été observée durant la période d'étude et les taux des résidus persistants sont proportionnels aux doses appliquées.

En relation avec sa persistance et sous l'effet de la pluviométrie enregistrée durant la période d'étude, le transfert vertical du glyphosate a été observé. Par conséquent, sa mobilité engendre le risque de dispersion dans l'environnement. Enfin, le risque de contamination du sol par accumulation et transfère en profondeur peut être important si la dégradation biologique est faible. Ces résultats sont propres à cette expérience, ce qui rend difficile de généraliser le devenir de glyphosate dans les sols.

Chapitre 4

Impact du désherbage chimique sur le sol : Approche biologique



CHAPITRE 4 : IMPACT DU DESHERBAGE CHIMIQUE SUR LE SOL : APPROCHE BIOLOGIQUE

*Une partie des résultats présentés dans ce chapitre a été soumis et accepter
dans la revue « Agriculture »*

*(<https://www.asjp.cerist.dz/en/PresentationRevue/53>). **Labad Ryma**, Hartani
Tarik, Belgat Haroun, Bendada Houcine, Lwahdi Nasr Eddine et Taibi Mourad.*

*« Evaluation de la biologie du sol sous l'effet du traitement chimique en semis
direct dans une zone semi-aride de l'Algérie ».*

L'article est classé en Annexe3.

INTRODUCTION

L'AC y compris le système des techniques culturales simplifiées et le SD conduit à une accumulation de la matière organique (MO) en surface des sols (Oorts et al., 2007, Bouzrara et al., 2011). Cette accumulation a d'énormes avantages sur les propriétés chimiques, biologiques et physiques du sol, ce qui affecte sa capacité productive (Mrabet 2002). L'enrichissement de la surface du sol par la MO en AC s'accompagne souvent par une modification de la qualité des microorganismes du sol (Oorts et al., 2007, Machado et al., 2008). En effet, les microorganismes du sol apparaissent comme un paramètre clé de l'écosystème (Epelde et al., 2008). Il est bien connu que la plupart des espèces végétales ont tendance à s'associer à des micro-organismes, en particulier du sol (Smith et Read, 2008). Cette association symbiotique peut s'exprimer par plusieurs bénéfices pour les plantes tel que l'augmentation de la tolérance en condition biotique (Harley et Smith, 1983, Ortega et al., 2004, Atala et al., 2012), l'amélioration de la teneur en éléments nutritifs (Simard et Durall, 2004) et la protection contre les bactéries et les champignons pathogènes (Newshan et al., 1995). De plus, lorsque l'AB est maintenue : l'érosion du sol est réduite, le stockage et la dynamique de la matière organique sont améliorés, la fertilité des sols et la stabilisation de la structure du sol sont maintenues, l'humidité du sol est optimisée et la dégradation des agro-chimiques et des polluants est assurée (Lupwaji et al., 2007, Thomas et al., 2009).

En revanche, l'augmentation de l'activité microbienne en AC permet une dégradation plus rapide des produits appliqués (Gaston et al., 2001) et leurs persistance dans le sol est déterminée par le processus de dégradation microbienne (Aparicio et al., 2013).

CHAPITRE 4 : IMPACT DU DESHERBAGE CHIMIQUE SUR LE SOL : APPROCHE BIOLOGIQUE

De ce fait, la mesure de la biomasse microbienne permet d'évaluer l'influence des pratiques agricoles sur les caractéristiques des sols (Schreck 2008).

Dans les zones semi-arides de l'Algérie, le comportement de la biologie du sol en présence du glyphosate est encore inconnu. L'objectif du travail présenté dans ce chapitre est d'évaluer la réaction biologique du sol en présence des résidus du glyphosate. Le processus d'évaluation repose sur la méthode respirométrique du sol.

1. Matériel et méthodes

1.1 Déroulement de l'expérimentation

La réaction biologique du sol avec l'herbicide a été étudiée du mois d'Octobre 2015 jusqu'au Mois d'Avril 2016 sur la ferme expérimentale de l'ITGC de Sétif. Les précipitations moyennes enregistrées durant la campagne d'étude 2015/2016 étaient 362.41 mm et la température moyenne était relativement élevée durant l'expérimentation (Fig. 4.1).

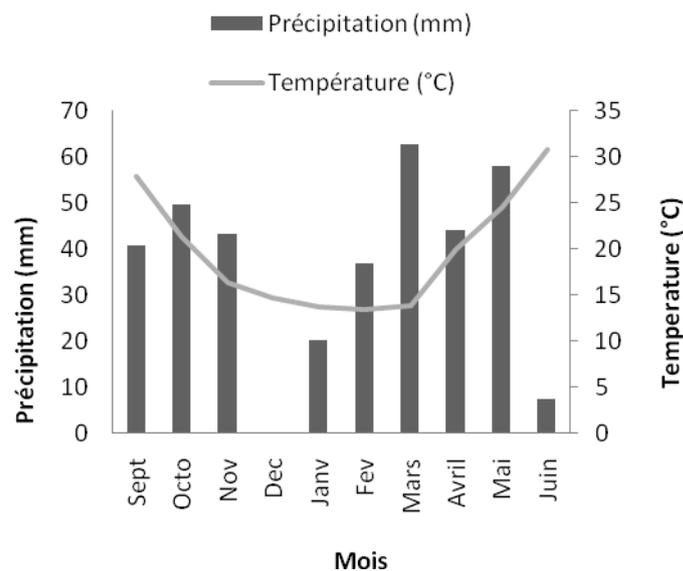


Figure 4.1. Précipitation et température moyenne enregistrées durant l'année d'étude (2015/2016)

CHAPITRE 4 : IMPACT DU DESHERBAGE CHIMIQUE SUR LE SOL : APPROCHE BIOLOGIQUE

Le site choisi a été cultivé pendant huit ans en SD avec un traitement chimique des mauvaises herbes à base du glyphosate. En 2015/2016, le Ridazate (360g/l du glyphosate) est l'herbicide utilisé en pré semis avec 4 doses : D₁ (1080 g.ha⁻¹), D₂ (900 g.ha⁻¹), D₃ (720 g.ha⁻¹) et D₄ (540 g.ha⁻¹). Les doses ont été appliquées le 02 Décembre 2015. Le tableau 04 représente la répartition des prélèvements du sol dans le temps. A chaque prélèvement, les résidus du glyphosate sont déterminés et le sol est incubé au laboratoire. Cette opération a duré pratiquement 8 mois de travail au laboratoire de biologie du sol.

Tableau 04 : Répartition des prélèvements du sol dans le temps

Prélèvements	Date
Prélèvement 1	11 Octobre 2015
Prélèvement 2	8 Décembre 2015
Prélèvement 3	9 Février 2016
Prélèvement 4	20 Mars 2016
Prélèvement 5	19 Avril 2016

1.2 Méthodes d'analyses

La caractérisation des propriétés physico-chimiques du sol d'étude a été réalisée avant d'entamer le processus d'incubation du sol et les mesures des résidus du glyphosate dans le sol. La teneur en MO du sol a été calculée à partir du dosage de carbone organique (CO) par la méthode d'ANNE, tandis que l'azote total a été déterminé par la méthode de Kjeldahl. L'évaluation de la CEC, comme un indicateur de mesure de la fertilité du sol a été déterminée par la méthode de Metson tandis que la valeur du pH_(eau) a été relevée par le pH mètre (Mathieu et Pieltain, 2003) (Annexe 06). La détermination des résidus du glyphosate dans le sol a été réalisée par la CLHP -UV après une phase d'extraction et de dérivation par FMOC-Cl (Perruzo et al., 2008).

La respiration microbienne a été suivie dans des conditions optimales de laboratoire (Fig.4.2.1.). Le protocole a été adapté à la norme française XPU 44-163 (AFNOR 2005). Cinquante grammes du sol sec ont été incubés à l'obscurité à 28 ± 1 °C dans des flacons en verre hermétiquement fermés (Fig. 4.2.2.). La teneur en eau du sol a été ajustée à 80 % de la

CHAPITRE 4 : IMPACT DU DESHERBAGE CHIMIQUE SUR LE SOL : APPROCHE BIOLOGIQUE

capacité au champ du sol. La valeur de la capacité au champ du sol a été déterminée à partir à partir du calculateur des propriétés hydrauliques (hydrolab.arsusda.gov) en introduisant les caractéristiques physiques du sol (Annexe 6-7).

Le CO₂ dégagé au cours de l'incubation a été piégé dans une solution de la soude (NaOH, 2N). Par la suite le dosage du CO₂ émis a été fait sur 1 ml de soude, 2 ml d'une solution du chlorure de baryum (BaCl₂) à 20% plus 2 gouttelettes d'un indicateur coloré (phénolphtaléine). La solution a été titrée avec l'acide sulfurique (H₂SO₄, 1M) jusqu'au virage de couleur du rose au blanc. Les dates de mesure sont : 0, 3, 7, 14, 21 et 28 jours d'incubation. Tous les prélèvements et les mesures sont compris entre deux profondeurs (0-20 cm et >20 cm).

La différence entre les taux de dioxyde de carbone (CO₂) libérés au cours du processus d'incubation en présence des résidus de l'herbicide a été étudiée par une analyse de la variance (ANOVA- one way) avec un intervalle de confiance de 95%.

CHAPITRE 4 : IMPACT DU DESHERBAGE CHIMIQUE SUR LE SOL : APPROCHE BIOLOGIQUE



Fig.4.2.1. Mise en place des échantillons du sol dans des flacons en verre dans un incubateur à 28°C



Fig. 4.2.2. Flacon en verre contenant le sol et le pilulier de la solution de soude

Figure 4.2.Processus d'incubation du sol au laboratoire

2. Résultats et interprétation

Pour expliquer l'effet du glyphosate sur l'activité microbienne, nous avons repéré quelques indices *in situ* et opté pour une incubation du sol *in vitro*, durant toute la période de l'essai. Le sol avec sa texture fine (limoneux-argileuse), est caractérisé par une CEC relativement élevée (24 mEq.100g^{-1}) et un taux moyen de MO (3.8%) qui favorise la disponibilité des éléments nutritifs pour les cultures, et en retour, la rétention du glyphosate

CHAPITRE 4 : IMPACT DU DESHERBAGE CHIMIQUE SUR LE SOL : APPROCHE BIOLOGIQUE

dans le sol (Mamy et al., 2008). En conditions de plein champ, la détection des résidus de glyphosate dans le sol en utilisant la CLHP-UV a donné des résultats intéressants : les analyses du premier prélèvement du sol indiquent la présence de quelques traces de glyphosate issues des traitements précédents. Après l'application des différentes doses d'herbicide, sa dissipation décroissante dans le temps a été observée au niveau de H₁ et sa mobilité en profondeur a été repérée en H₂ (Chapitre 3). Selon Giesy et al. (2000) et (Barriuso, 2004), la dissipation du glyphosate est due essentiellement à la dégradation microbienne qui est le principal processus de dissipation dans l'environnement.

Par conséquent, l'évaluation du potentiel biologique du sol à travers le rapport C/N (< 15) montre que le sol d'étude peut être active biologiquement dans un intervalle du pH basique à faiblement alcalin (Annexe 07).

Cependant, au laboratoire, les microorganismes du sol réagissent différemment par rapport aux conditions aérobies en plein champs. Les résultats d'incubation du sol à différentes concentrations du glyphosate révèlent certaines variabilités pour H₁ et H₂. Au niveau de H₁ et en présence de traces du glyphosate dans le sol (1^{er} prélèvement), un dégagement de CO₂ par les microorganismes a été enregistré. Dans le cas général, lors de processus d'incubation du sol prélevé de H₁ à des concentrations décroissantes du glyphosate (Chapitre 3), trois étapes de production de CO₂ ont été observées (Fig. 4.3) :

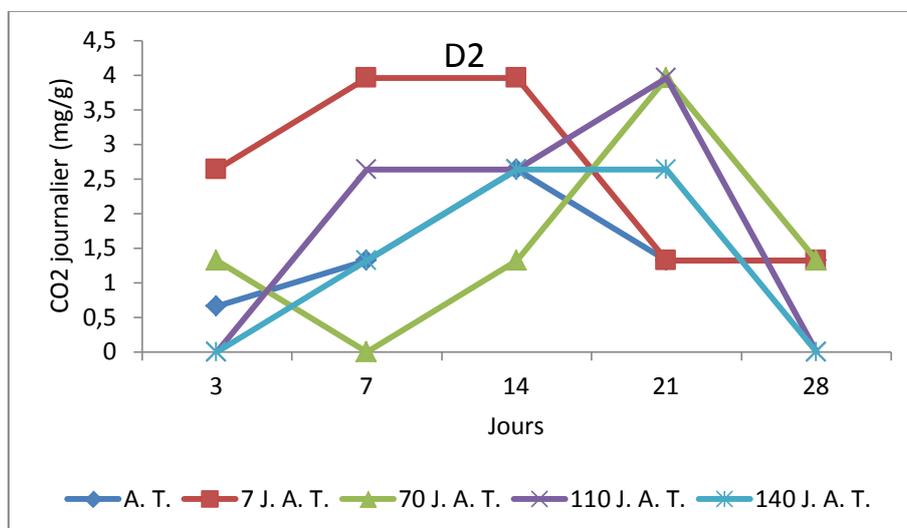
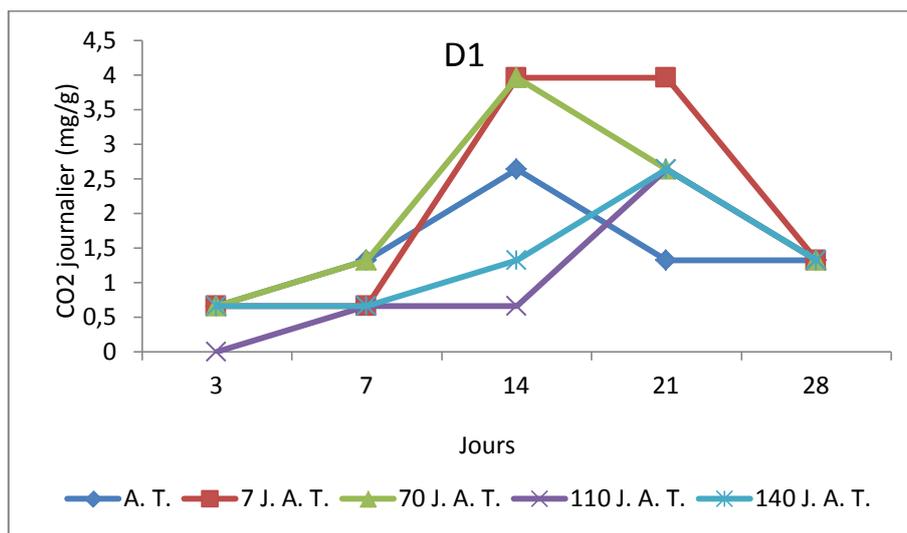
-La première étape varie entre 0 et 7^{ème} jour: représente le temps nécessaire pour que les microorganismes s'adaptent aux conditions d'incubation. Une faible production de CO₂ libéré par les microorganismes a été enregistrée, la valeur la plus élevée est liée au sol récupéré 110 jours après le traitement par la D₂ (2.5 l.ha⁻¹). La faible quantité produite s'exprime par une légère minéralisation de dioxyde de carbone par les microorganismes du sol.

-La deuxième étape s'étale entre le 7^{ème} et le 21^{ème} jour: c'est l'étape à laquelle une forte activité microbienne a été enregistrée pour les différentes concentrations de l'herbicide mesurées dans le sol. Le taux de CO₂ produit a atteint 3.96 mg/g dans le cas de la présence des différentes concentrations de résidus d'herbicide après l'application des quatre doses. Tandis qu'en présence de faible concentration d'herbicide issue des traitements précédents (prélèvement du 11 Octobre 2015), le taux de CO₂ produit a atteint 2.64mg/g. Cette différence non significative n'est qu'un indice d'une présence d'une activité microbienne avec faible et forte concentration du glyphosate dans le sol. Selon Oorts et al., (2006), une

CHAPITRE 4 : IMPACT DU DESHERBAGE CHIMIQUE SUR LE SOL : APPROCHE BIOLOGIQUE

augmentation de l'activité microbienne se traduit souvent par une respiration du sol. De ce fait l'utilisation du glyphosate n'a pas un effet inhibiteur sur les populations microbiennes du sol et leurs activités (Bordjiba et Ketif, 2009).

- Au cours de la dernière semaine d'incubation (la dernière étape qui varie entre le 21ème et le 28ème jour), la quantité de CO₂ produite enregistre un déclin et une stabilisation. Après une forte activité microbienne au cours de l'étape précédente, l'épuisement des éléments nutritifs provoque la diminution de l'activité des microorganismes. En conditions in vitro, il y a un épuisement des éléments nutritifs lié à la sécrétion des métabolites secondaires.



CHAPITRE 4 : IMPACT DU DESHERBAGE CHIMIQUE SUR LE SOL : APPROCHE BIOLOGIQUE

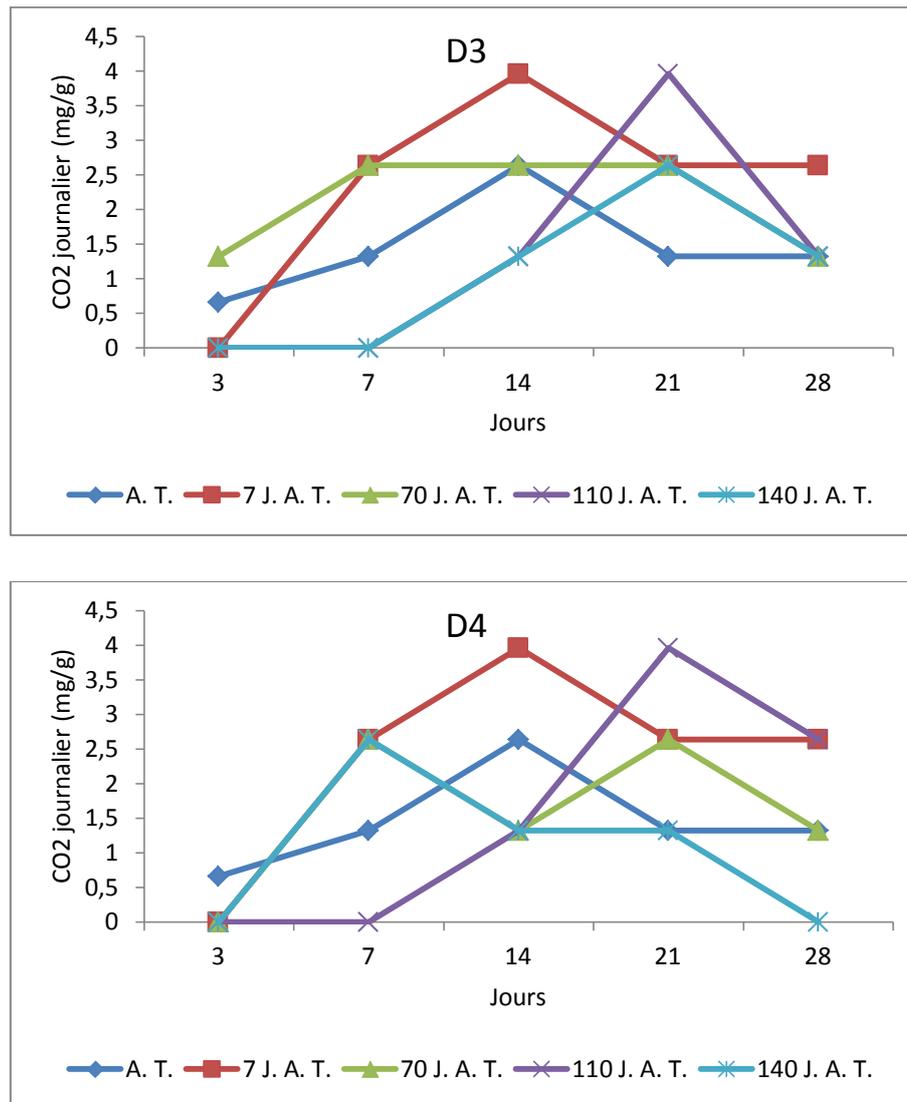
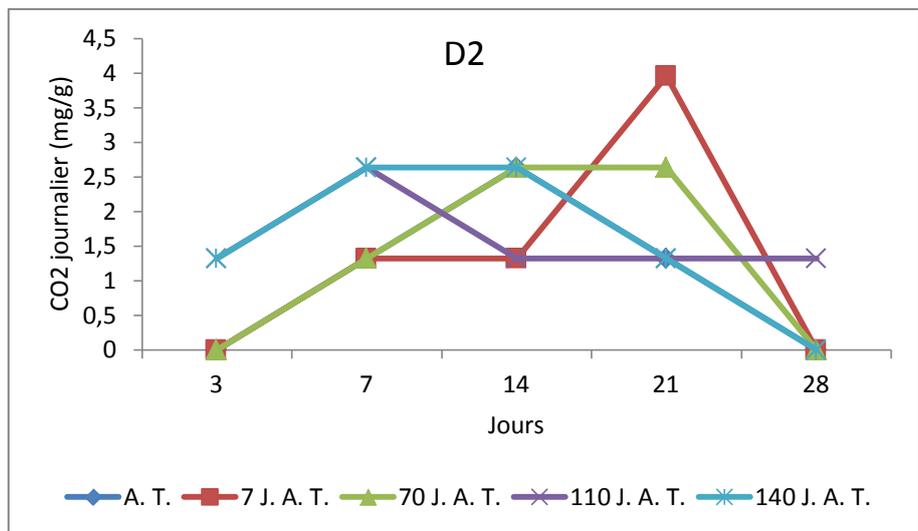
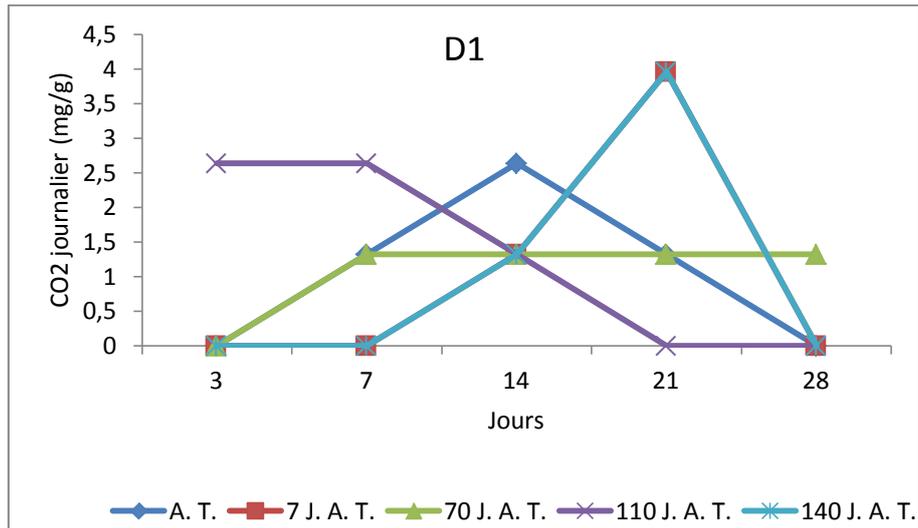


Figure 4.3. Taux de dioxyde de carbone journalier pendant la période d'incubation au niveau du premier horizon pour les quatre doses.

A.T.: avant traitement, 7 J.A.T. : 7 jours après traitement, 70 J.A.T. : 70 jours après traitement, 110 J.A.T. : 110 jours après traitement, 140 J.A.T. : 140 jours après traitement.

Au niveau de l'horizon H₂, le glyphosate a atteint le sous sol lors du traitement et sous l'effet de la pluviométrie. De ce fait les concentrations mesurées forment une allure sinusoïdale (Chapitre3). En parallèle, les mesures effectuées avant traitement (11 Octobre 2015) indiquent que la concentration du glyphosate est sous la LQ. Cette concentration non mesurable est liée à un dégagement de CO₂ par les microorganismes lors du processus d'incubation. Ce dégagement suit les trois étapes observées au niveau de H₁. En revanche, la respiration microbienne sous différentes concentrations était irrégulière durant les 28 jours d'incubation (Fig. 4.4).

CHAPITRE 4 : IMPACT DU DESHERBAGE CHIMIQUE SUR LE SOL : APPROCHE BIOLOGIQUE



CHAPITRE 4 : IMPACT DU DESHERBAGE CHIMIQUE SUR LE SOL : APPROCHE BIOLOGIQUE

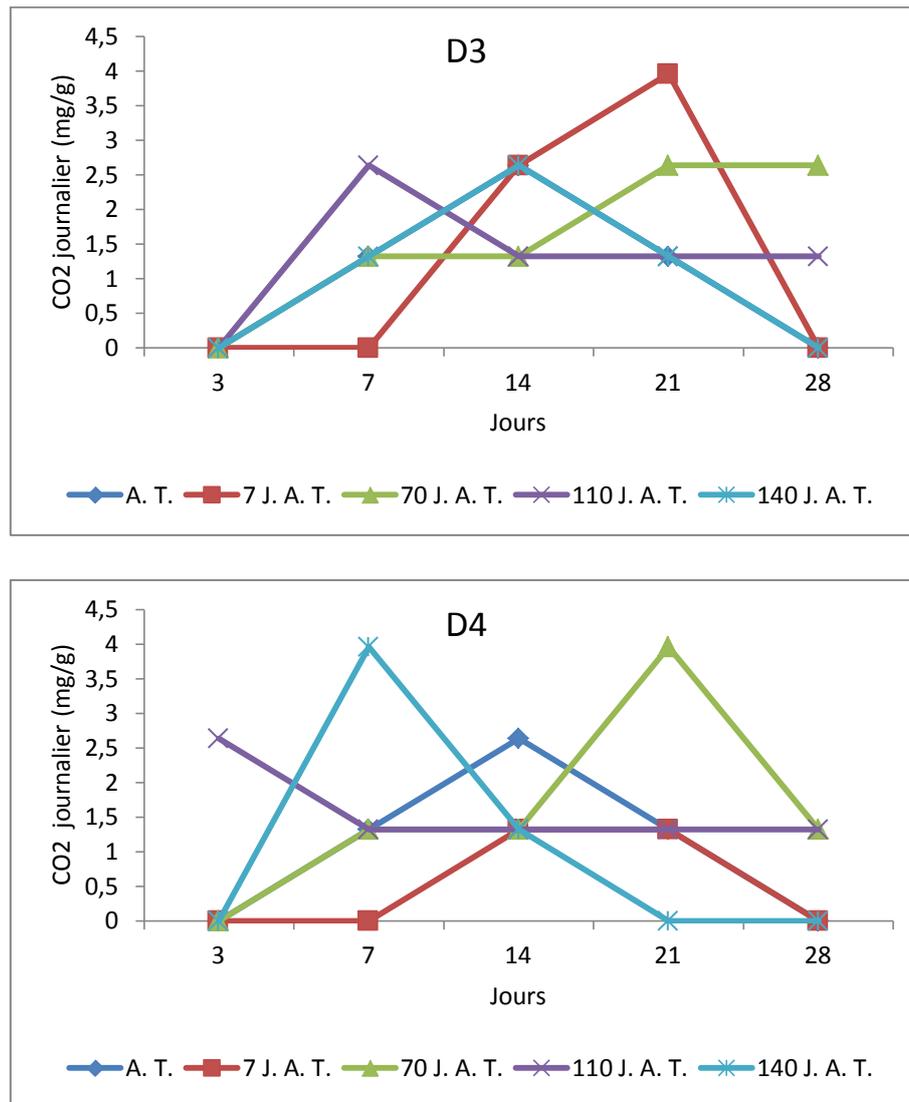


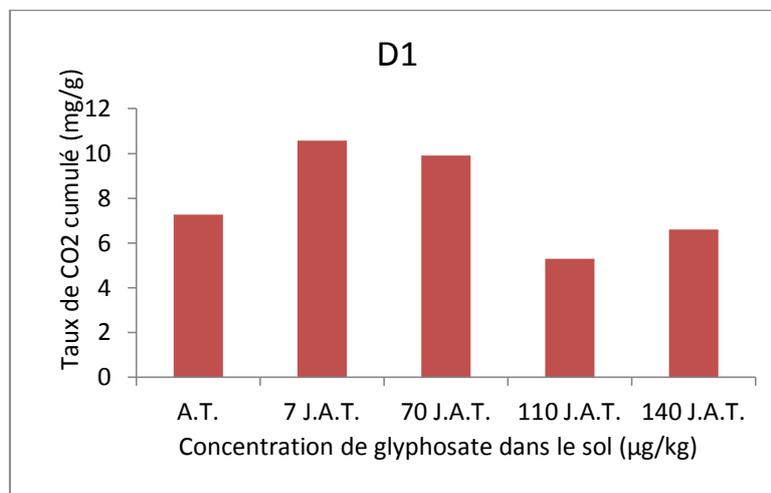
Figure 4.4. Taux de dioxyde carbone journalier pendant la période d'incubation au niveau du deuxième horizon.

A.T.: avant traitement, 7 J.A.T. : 7 jours après traitement, 70 J.A.T. : 70 jours après traitement, 110 J.A.T. : 110 jours après traitement, 140 J.A.T. : 140 jours après traitement.

En tenant compte de la complexité des phénomènes ayant abouti aux résultats observés pour le CO₂ journalier précisément au niveau de H₂, l'évaluation du CO₂ cumulé au cours du processus d'incubation en fonction de la concentration de l'herbicide dans le sol, est une complémentarité pour caractériser la réaction biologique d'un sol.

CHAPITRE 4 : IMPACT DU DESHERBAGE CHIMIQUE SUR LE SOL : APPROCHE BIOLOGIQUE

Au niveau de H₁(Fig.4.5), la minéralisation de dioxyde de carbone a été observée pour les quatre doses appliquées et à différentes concentrations mesurées dans le sol (avant traitement, 7, 70, 110 et 130 jours après traitement). Le taux de CO₂ cumulé est maximum pour tous les échantillons incubés 7 jours après le traitement des mauvaises herbes. Les prélèvements réalisés 7 jours après le traitement correspondent aux concentrations d'herbicide les plus élevées pour D₁, D₂, D₃ et D₄. De ce fait, l'activité microbienne du sol est maintenue en présence des résidus du glyphosate. Au fil de temps, la concentration de l'herbicide a diminué dans le sol (Chapitre 3) mais cela n'a pas empêché le métabolisme de la minéralisation du dioxyde de carbone. De même, le sol incubé avant l'application de l'herbicide et qui présente des traces du glyphosate (0.380µg.kg⁻¹) révèle un cumul de CO₂ minéralisé (7 mg.100g⁻¹). Les cumuls de dioxyde de carbone enregistrés pour toutes les concentrations mesurées ne présentent pas des variations significatives. En fait, suite à des applications régulières de l'herbicide, les microorganismes du sol peuvent développer la capacité de le métaboliser et l'utiliser comme source nutritive (Macleod et Semple, 2006).



CHAPITRE 4 : IMPACT DU DESHERBAGE CHIMIQUE SUR LE SOL : APPROCHE BIOLOGIQUE

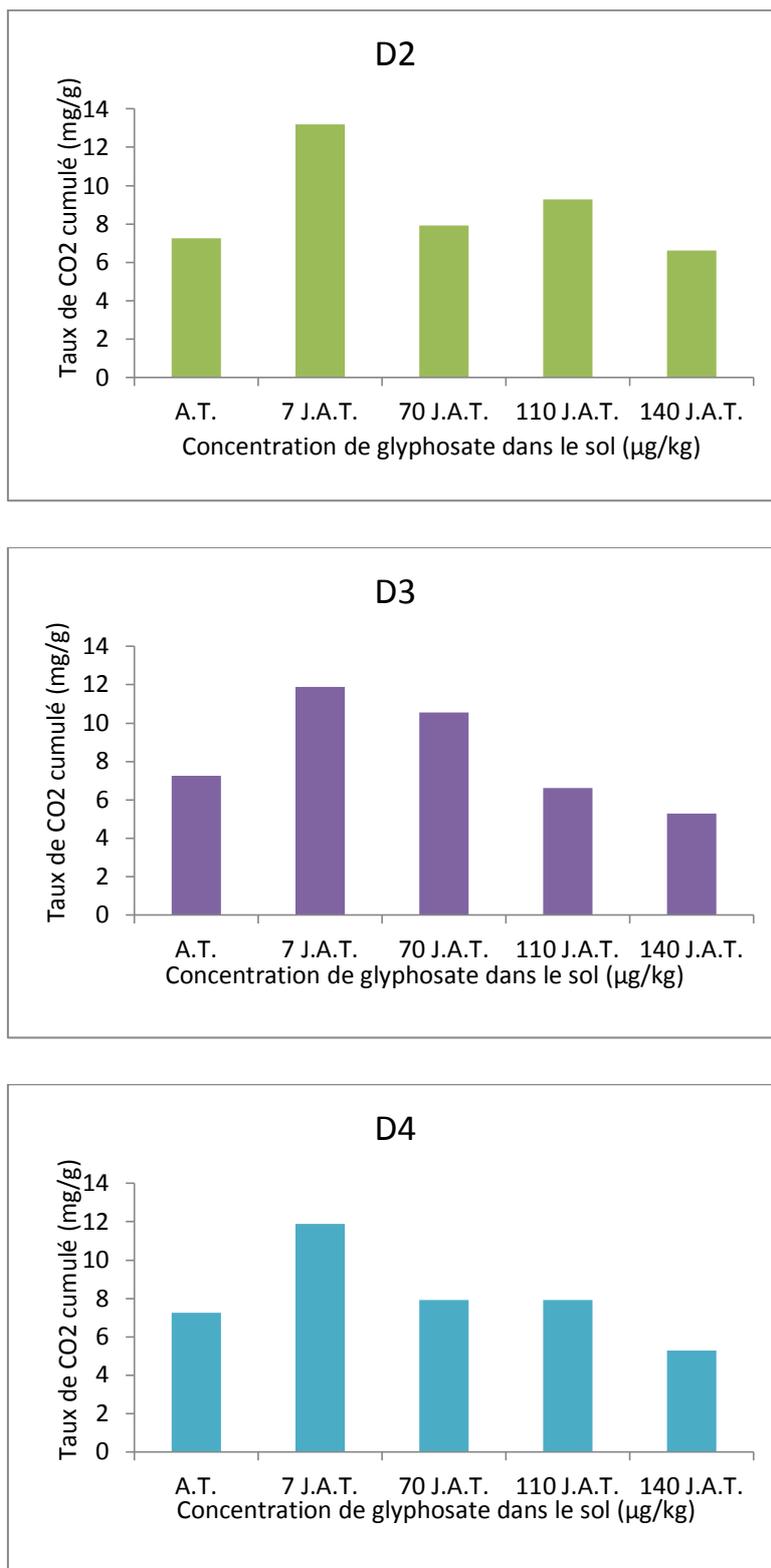


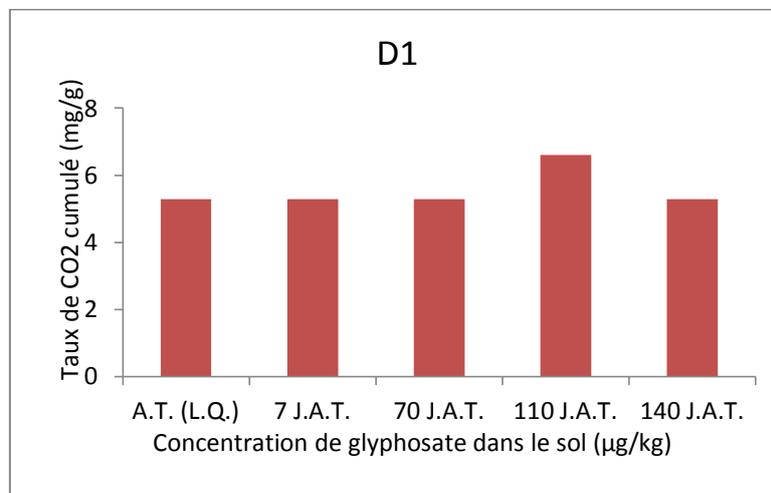
Figure 4.5. Taux de dioxyde de carbone cumulé au cours du processus d'incubation en fonction des résidus du glyphosate dans le sol pour les quatre doses (Horizon 1)

A.T.: avant traitement, 7 J.A.T. : 7 jours après traitement, 70 J.A.T. : 70 jours après traitement, 110 J.A.T. : 110 jours après traitement, 140 J.A.T. : 140 jours après traitement.

CHAPITRE 4 : IMPACT DU DESHERBAGE CHIMIQUE SUR LE SOL : APPROCHE BIOLOGIQUE

En revanche, au niveau de H₂, les concentrations du glyphosate présentes dans le sol avant le traitement des mauvaises herbes sont sous la limite de quantification (LQ= 0.264µg.kg⁻¹), mais les résultats d'incubation du sol révèle un cumul de CO₂ (5 mg.100g⁻¹).

Après le traitement chimique par le glyphosate, H₂ a eu des transferts d'herbicide sous l'effet significatif des pluies. Par conséquent, les cumuls de CO₂ ne présentent pas des variations significatives pour les quatre doses appliquées. Les prélèvements réalisés 70 jours après traitement correspondent aux concentrations d'herbicide les plus élevées, mais cela n'a pas influencé sur le taux de CO₂ cumulé. En fait, le taux de carbone minéralisé est important à 110 jours après traitement pour D₁, D₂ et D₃ et à 130 jours après traitement pour D₄ (Fig. 4.6.). Mais, le taux de CO₂ cumulé au niveau de H₁ est plus important par rapport à H₂. Cette observation reflète l'effet positif du SD sur l'AB dans les premiers centimètres du sol (Oorts et al., 2006).



CHAPITRE 4 : IMPACT DU DESHERBAGE CHIMIQUE SUR LE SOL : APPROCHE BIOLOGIQUE

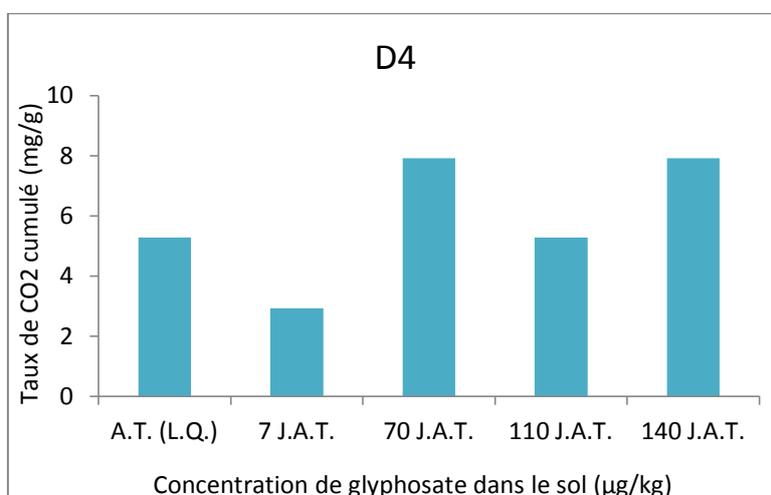
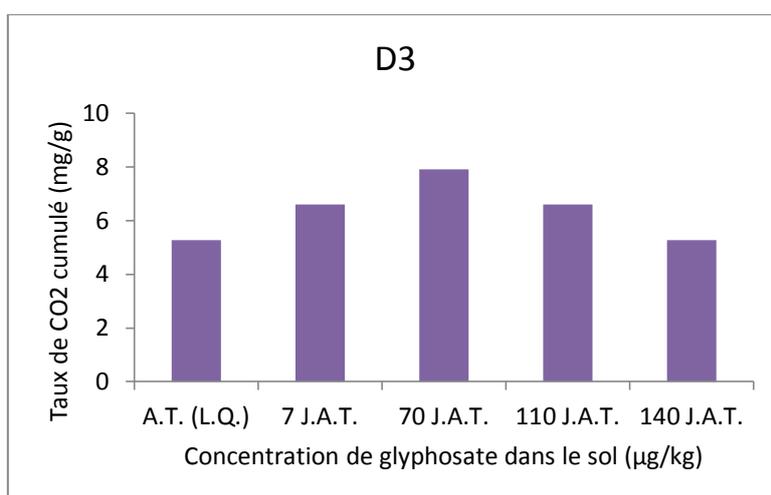
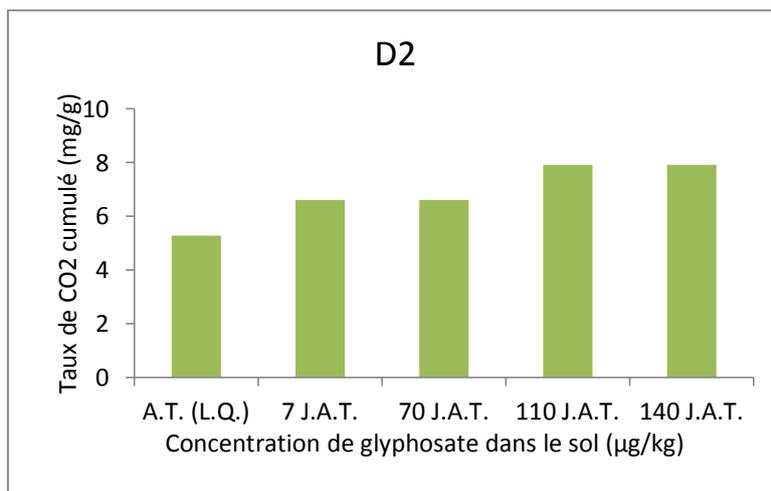


Figure 4.6. Taux de dioxyde de carbone cumulé au cours du processus d'incubation en fonction des résidus du glyphosate dans le sol pour les quatre doses (Horizon 2)

A.T.: avant traitement, 7 J.A.T. : 7 jours après traitement, 70 J.A.T. : 70 jours après traitement, 110 J.A.T. : 110 jours après traitement, 140 J.A.T. : 140 jours après traitement.

CHAPITRE 4 : IMPACT DU DESHERBAGE CHIMIQUE SUR LE SOL : APPROCHE BIOLOGIQUE

3. Discussion- Conclusion

A travers cette étude, nous nous sommes intéressés à la biologie du sol en SD. Il a été démontré précédemment que le sol d'étude est un sol chargé par des résidus du glyphosate.

L'analyse de la situation *in vitro* a permis de constater que la présence du glyphosate dans le sol n'empêche pas l'activité microbienne. De ce fait, cette molécule n'est pas un inhibiteur de l'AB du sol. Bien au contraire, le cumul le plus important est lié à la concentration du glyphosate la plus importante. Cette observation explique la faible valeur de DT_{50} calculée pour la dose appliquée la plus élevée (Annexe 07). Ce résultat est en accord avec plusieurs travaux de recherche qui suggèrent que l'AB est stimulée en présence du glyphosate dans le sol (Haney et al. 2000, Viega et al., 2001). Selon Jacob et al., (1988) et Zobiolo et al., (2011), la communauté microbienne peut utiliser le glyphosate comme un substrat de carbone et source de phosphore

En revanche, en conditions de plein champs et dans un sol qui répond à certaines caractéristiques physiques, chimiques et biologiques (Annexe 07) qui permettent de le classer dans la catégorie des sols « biologiquement actifs », la dissipation du glyphosate par dégradation biologique est assurée (Sprankle et al., 1975, Bento et al., 2016). En fait, le désherbage chimique à base de glyphosate n'affecte pas la biologie du sol, bien au contraire, elle est le facteur clé de la dissipation de la molécule dans l'environnement (Lupwaji et al., 2007). Cette conclusion permet d'orienter cette étude vers d'autres axes dans le domaine de la biologie, ce qui nécessite des analyses plus avancées. Par exemple, L'utilisation du glyphosate marqué par le C^{14} , la détermination et la caractérisation des microorganismes présentes dans le sol, des études sur l'ADN et l'ARM des microorganismes. En fait, une continuité de ce travail sera intéressante si certains facteurs d'ordre techniques seront assurés.

Chapitre 5

La gestion du désherbage chimique à base du glyphosate

LA GESTION DU DESHERBAGE CHIMIQUE A BASE DU GLYPHOSATE

INTRODUCTION

Le développement des mauvaises herbes dans les parcelles agricoles est souvent une menace pour les rendements des cultures. Selon Caussanel (1989), les effets des mauvaises herbes sur les cultures peuvent s'exprimer par une perte des rendements en termes de qualité et quantité. En général, les mauvaises herbes rentrent en compétition avec les cultures cultivées sur l'eau, la lumière, l'azote et même les éléments minéraux. De ce fait, des méthodes de lutte contre l'infestation des mauvaises herbes ont été largement étudiées. Selon Munier et al. (2005), les faux semis, les labours et le décalage des dates de semis sont les principales techniques qui permettent de perturber la levée des mauvaises herbes.

En SD, un des aspects de l'AC, la maîtrise des mauvaises herbes est un des plus importants problèmes qui persistent durant les premières années d'adoption (Mrabet 2001). En général, pour diminuer le développement des mauvaises herbes en SD et même en technique simplifiée, un traitement chimique doit s'associer au système de rotation culturale. Vu que le système de rotation permet de réduire le stock semencier pour une espèce donnée par le fait de diversification des cultures (Munier et al., 2005). De même, le recours vers l'application des herbicides totaux est crucial. La notion de SD s'est associée souvent à l'utilisation du glyphosate dans le monde. En Algérie, la question d'utilisation de glyphosate en SD n'a pas dépassé le souci que c'est une opération de désherbage, au moment où plusieurs travaux de recherche démontraient ses effets environnementaux au niveau mondial (Mamy 2004). Après avoir présenté une large bibliographie sur cette molécule au niveau mondial et démontrer son devenir dans les conditions de plein champ de l'Algérie, dans ce chapitre, nous discutons la possible gestion de traitement chimique des mauvaises herbes dans un contexte environnemental. Cependant la qualité de la bouillie à base de glyphosate est la variable d'étude.

LA GESTION DU DESHERBAGE CHIMIQUE A BASE DU GLYPHOSATE

1. Matériel et méthode

1.1 Mise en place de l'essai

La description géographique, climatique et pédologique du site d'essai ont été présentées précédemment « Chapitre (3), (4) ».

La surface d'essai a été divisée en trois blocs. Pour chaque bloc douze (12) traitements à base de glyphosate, plus un traitement témoin ont été réalisés. Quatre doses ont été sélectionnées (D_1 : 3 $l.ha^{-1}$, D_2 : 2.5 $l.ha^{-1}$, D_3 : 2 $l.ha^{-1}$ et D_4 : 1.5 $l.ha^{-1}$) et mélangées avec trois eaux recueilli de différentes sources (W_1 , W_2 , et W_3). Les bouillies ont été préparées soigneusement et appliquées une semaine avant le semis de la culture d'orge (*Hordeum vulgare*), variété « Fouara ». Le semis a été mis en place le 2 Décembre 2015 et la récolte a eu lieu le 15 juin 2016.

1.2 Paramètres mesurés

Entre le traitement herbicide et la récolte de la culture, une série de mesure a été effectuée :

- La détermination des caractéristiques des eaux utilisées pour la préparation de la bouillie,
- La mesure des résidus du glyphosate dans le sol à différents stades de développement de la culture,

Et enfin

- L'estimation de rendement de la culture.

Pour les caractéristiques des eaux utilisées, nous avons déterminé la conductivité électrique par le conductimètre, le pH par pH mètre et la concentration des cations Ca^{+2} , Mg^{+2} et Na^{+} par le spectrophotomètre d'adsorption atomique (Annexe06). Par la suite, le Sodium Adsorption Ratio (SAR) et la dureté de l'eau TH ont été calculés par les formules suivantes :

LA GESTION DU DESHERBAGE CHIMIQUE A BASE DU GLYPHOSATE

$$SAR = \frac{[Na^+]}{\sqrt{\frac{[Ca^{+2}] + [Mg^{+2}]}{2}}} \quad (1)$$

$$TH^{\circ} = [Ca^{+2}] + [Mg^{+2}] \text{ (meq.l}^{-1}\text{)} \quad (2)$$

Les concentrations du glyphosate dans le sol ont été mesurées par la CLHP en passant par une phase de dérivation avec FMOC-Cl (Perruzo et al., 2008). Le rendement de la culture d'orge a été estimé par la formule suivante :

$$Rdt = Ng / m^2 * PMG \text{ (t. ha}^{-1}\text{)} \quad (3)$$

Le traitement statistique des résultats a été fait par une analyse de la variance (one way) afin de déterminer l'effet des différentes bouillies du glyphosate sur le rendement de la culture.

2. Résultats et discussion

2.1 Effet de la qualité de la bouillie sur le rendement

« Parmi les conditions de succès de traitement d'herbicide est la préparation soigneuse de la bouillie qui est un élément important pour la pulvérisation en utilisant une eau de bonne qualité » (Le Bourgeois et al., 2002). Partant de ce principe et pour pouvoir répondre à la question d'une possible gestion et optimisation du traitement chimique à base du glyphosate trois eaux de la région d'étude ont été collectées. Les eaux utilisées pour la préparation du liquide de pulvérisation sont caractérisées par une basse valeur de SAR (<10) et faibles salinité sauf W₃ qui est légèrement alcaline. Les valeurs de la dureté calculées indiquent que les trois eaux utilisées sont dures avec des concentrations variables de Ca⁺² et Mg⁺². La dureté des eaux calculée est liée à des variations de pH mesurées (Tableau 05).

LA GESTION DU DESHERBAGE CHIMIQUE A BASE DU GLYPHOSATE

Tableau 05: Caractéristiques chimiques des eaux utilisées pour le traitement

Eau	pH	CE (dS.m ⁻¹)	Ca ⁺² (meq.l ⁻¹)	Mg ⁺² (meq.l ⁻¹)	Na ⁺ (meq.l ⁻¹)	TH (meq/l)	SAR
W ₁	7.94	0.144	2.360	2.610	3.76	4,97	2.724
W ₂	7.7	0.194	3.750	2.790	3.60	6,54	2.702
W ₃	8.1	0.270	4.150	3.130	2.90	7,28	2.208

W₁: premier échantillon d'eau, W₂: deuxième échantillon d'eau, W₃: troisième échantillon d'eau

TH: Degré hydrotimétrique (dureté de l'eau)

SAR: Sodium Adsorption Ratio

Le pH le plus élevé est causé par la dureté de l'eau où la concentration des cations Ca⁺², Mg⁺², Na⁺ est importante (Chahal et Johnson, 2012). Dans leur étude Stahlman et Phillips, (1979) ont conclu que les cations Ca⁺² et Mg⁺² présentent dans l'eau du traitement peuvent réduire l'efficacité du glyphosate. En comparant ces conclusions par les résultats observés à travers notre expérimentation où l'efficacité du glyphosate a été évaluée à partir du rendement d'orge obtenu, on observe que le rendement est significatif dans le cas du traitement avec W₁ par rapport à W₂ et W₃ pour la même dose appliquée (Fig. 5.1). W₁ est une eau dure mais caractérisée par des concentrations de Ca⁺² et Mg⁺² faibles par rapport à W₂ et W₃. Cette variation a pu affecter l'efficacité du glyphosate sachant que cet herbicide et tous ses principaux métabolites peuvent former un complexe avec Ca⁺² et Mg⁺². Ce complexe engendre une diminution d'absorption et de translocation dans les plantes (Glass 1984, Nalewaja et Matysiak, 1991, 1993). Ceci est confirmé récemment par Chahal et Johnson (2012) qui a montré qu'en pH supérieur à 7, l'herbicide prend la charge négative et s'associe aux cations présentés dans l'eau dure, ce qui rend l'herbicide inefficace, comme dans le cas de W₂ et W₃ en comparant avec W₁.

Par conséquent, un des facteurs d'efficacité du traitement chimique à base de glyphosate est le choix de la qualité de l'eau pour une bonne préparation de la bouillie. D'après nos résultats, la variabilité de la qualité des eaux utilisées n'est pas un facteur limitant.

Le taux de la matière active appliquée ou la dose choisie est un autre paramètre qui gère l'efficacité du traitement. Les résultats des rendements d'orge estimés semblent plus sensibles

LA GESTION DU DESHERBAGE CHIMIQUE A BASE DU GLYPHOSATE

au taux de la matière active appliquée. Un rendement important a été enregistré avec la dose la plus élevée (Fig. 5.1). En comparant le rendement moyen obtenu par D₁ et D₄ (la ½ D₁), on enregistre une perte de 8 qt.ha⁻¹ causée par le développement des mauvaises herbes (Fig. 5.2). La variation des rendements obtenus sous l'effet de D₁ et D₄ est hautement significative (P<0.0001). Ces résultats sont similaires à ceux de Rouane (2009) qui a enregistré une baisse de rendement significative en appliquant la moitié de la dose homologuée avec un développement de mauvaises herbes. En revanche, les rendements moyens obtenus sous l'effet de D₂ et D₃ sont très rapprochés (Fig.5.1.). La variation de 180 g.ha⁻¹ de matière active entre les deux doses appliquées se traduit par une différence non significative (P<0.369) des rendements.

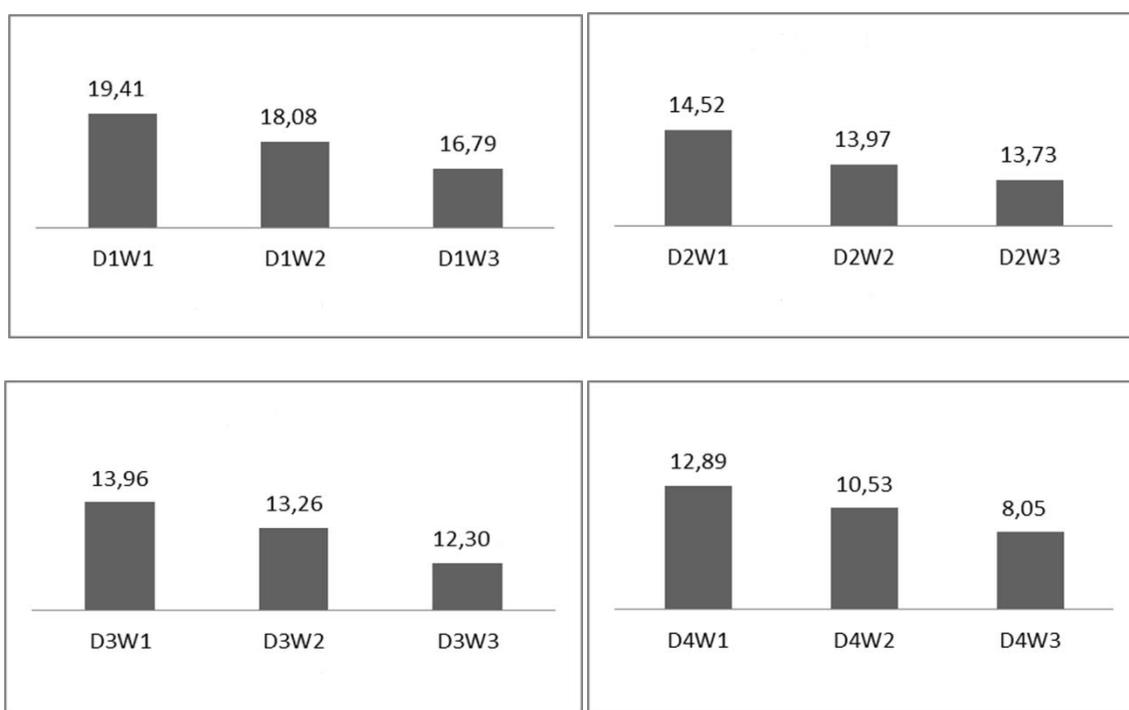


Figure 5.1. Rendement de l'orge en relation avec le liquide de la pulvérisation à base de glyphosate

LA GESTION DU DESHERBAGE CHIMIQUE A BASE DU GLYPHOSATE

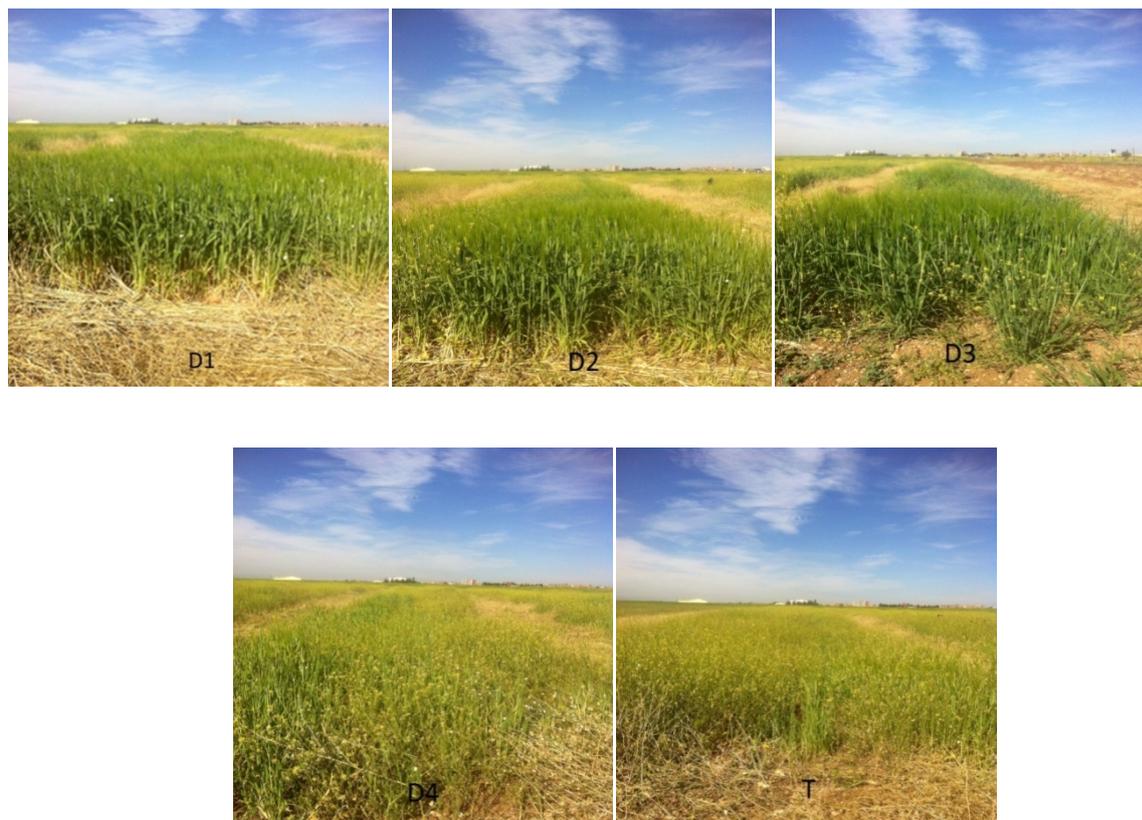


Figure 5.2.Développement de la culture d'orge sous différentes doses de traitement

2.2 Le devenir de l'herbicide dans le sol en relation avec les stades de développement de la culture

La gestion du traitement des mauvaises herbes en utilisant des herbicides à base du glyphosate en semis direct est une des étapes clé qui assure la rentabilité des cultures. Sa solubilité très élevée dans le sol et sa polarité sont parmi les caractéristiques qui empêchent la détection du glyphosate (Mamy et al., 2005). En passant par une phase de dérivation, nous avons pu détecter des concentrations du glyphosate présentes dans le sol. Les concentrations du glyphosate mesurées au niveau des deux horizons du sol se différencient et dépendent de la concentration du taux de la matière active appliquée.

Pour le premier horizon et en début de cycle végétatif de la culture (stade 1), la concentration moyenne du glyphosate varie entre 10.5 $\mu\text{g}/\text{kg}$ et 6.41 $\mu\text{g}/\text{kg}$ de D₁ à D₄ pour les différentes préparations (W₁, W₂, W₃). A la fin de la levée- début tallage (stade 2) jusqu'à la fin montaison - début épiaison de l'orge (stade 4), un déclin de concentration de glyphosate a été enregistré dans le premier horizon (Fig. 5.3).

LA GESTION DU DESHERBAGE CHIMIQUE A BASE DU GLYPHOSATE

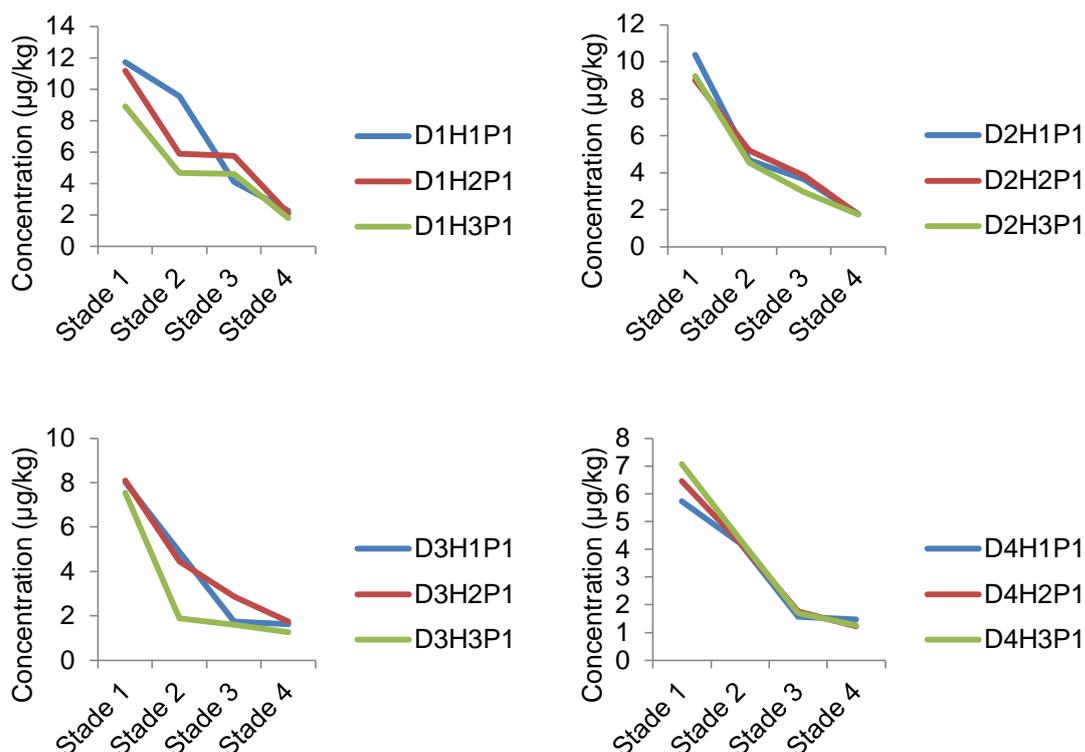


Figure 5.3. Devenir du glyphosate dans le premier horizon du sol en fonction des stades de développement de la culture

Tandis que l'analyse du deuxième horizon montre clairement qu'une partie du glyphosate a été transférée à partir du premier horizon (Fig. 5.4). Au début de cycle végétatif de l'orge, la concentration enregistrée était très faible pour les douze préparations tandis qu'en fin de levé et début tallage, la concentration a augmenté dans le sol pour s'abaisser de nouveau à partir de fin tallage jusqu'au début épiaison (stade 3 et 4).

LA GESTION DU DESHERBAGE CHIMIQUE A BASE DU GLYPHOSATE

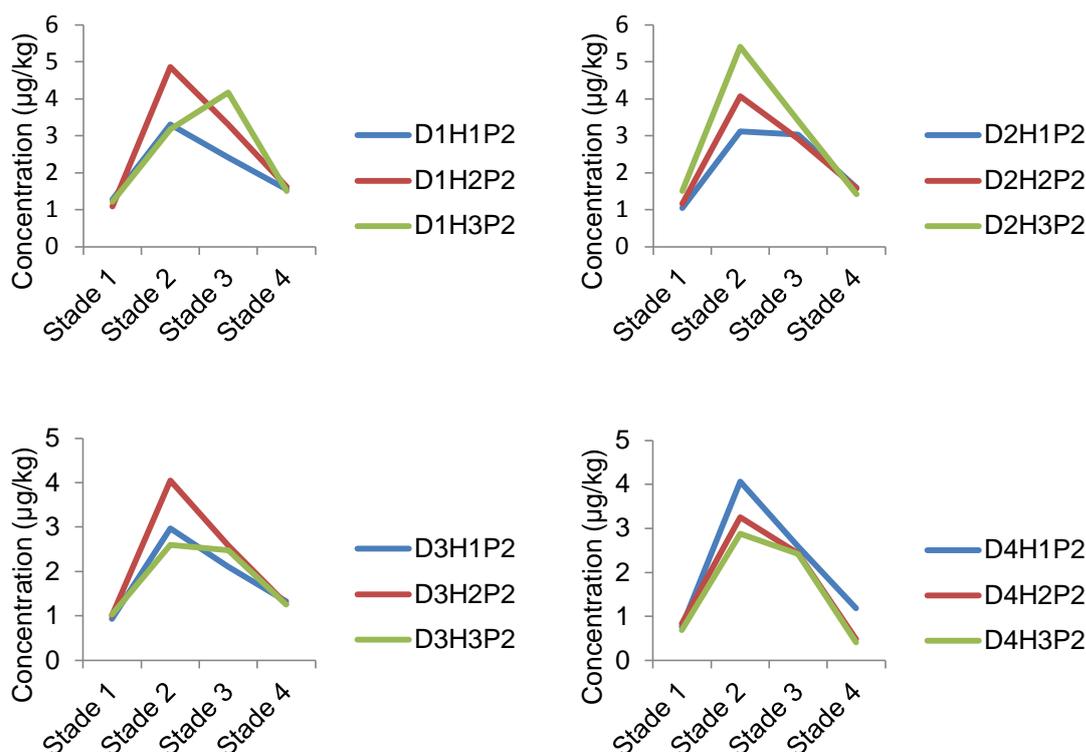


Figure 5.4. Devenir du glyphosate dans le deuxième horizon du sol en fonction des stades de développement de la culture

Les résultats obtenus montrent clairement que le glyphosate atteint le sol lors de traitement des mauvaises herbes (Tejada 2009). Ainsi qu'il s'adsorbe aux particules du sol (Mamy 2004). Mais sa dissipation par dégradation et/ou transfert en profondeur a été observé (Chapitre 3 et 4).

Au cours de développement de la culture, la concentration du glyphosate a diminué et les résidus dans le sol sont proportionnels à la dose appliquée. Par conséquent et dans un but environnemental, une gestion du traitement chimique par le choix d'une eau de bonne qualité afin de réduire la dose appliquée est marquée comme une nécessité.

LA GESTION DU DESHERBAGE CHIMIQUE A BASE DU GLYPHOSATE

CONCLUSION

La gestion de traitement des mauvaises herbes par la préparation soigneuse de la bouillie nécessite une combinaison entre la qualité de l'eau utilisée et la concentration de la matière active appliquée. De sorte que la dureté de l'eau exprimée par la concentration des cations Ca^{+2} et Mg^{+2} influe sur le traitement herbicide et le rendement de la culture, même à faibles concentrations de la matière active. Sur le plan rentabilité et revenu pour l'agriculteur, la perte des rendements n'est pas un facteur encourageant pour la réduction de la dose appliquée tandis que sur le plan environnemental, le traitement avec des doses importantes est une menace pour le sol : le substrat de développement des cultures et la source des éléments nutritifs pour le développement. L'étude de l'efficacité du désherbage chimique à base du glyphosate s'est basée sur les rendements de culture. De ce fait, une limite du protocole appliqué persiste. Avant le désherbage total, des échantillons du sol ont été prélevés afin de déterminer le stock semencier présente dans le sol après huit ans de SD, mais cela n'a pas été réalisé du à des facteurs d'ordre technique. Sachant que la détermination de ce paramètre semble très intéressante en AC. Selon Debaeke et Orlando(1994), la localisation des semences des mauvaises herbes deviennent de plus en plus superficielle, dans le cas des techniques culturelles simplifiées. Par conséquent, leur germination avec la culture provoque une perte des rendements due au phénomène de compétition (Caussanel, 1989). Le protocole établi dans la présente étude peut être amélioré dans le future afin de caractériser les mauvaises herbes développées en relation avec les différentes préparations de bouillie appliquées.

CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale

Partant de concept du « respect de l'environnement en agriculture », nous définissons l'environnement en agriculture en tant que l'ensemble des facteurs assurant une production saine pour les nations. La protection des sols, des eaux et de l'ensemble flore et faune est la base d'une agriculture respectueuse de l'environnement. Le semis direct, un des systèmes de conservation des sols, dont la vertu environnementale a été bien démontrée à travers le monde s'associe souvent aux grandes cultures. En revanche, la sur utilisation des intrants chimiques est une nécessité. La technique de semis direct est liée à l'utilisation du glyphosate, la matière active dont de nombreux effets environnementaux ont été démontrés.

Afin de développer des approches qui favorisent l'adoption de nouvelles techniques en Algérie en répondant aux enjeux économiques et environnementaux en même temps, cette thèse s'est intéressée à l'impact environnemental du semis direct lié au désherbage chimique à base de glyphosate. Notre travail s'est déroulé en deux parties : caractérisation des performances de quelques exploitations céréalières pratiquant le semis direct dans la wilaya de Sétif à travers une enquête, puis une analyse expérimentale qui repose sur le comportement d'un sol céréalier sous l'effet du désherbage chimique.

Les conclusions tirées de l'enquête révèlent l'écho positif de semis direct auprès des agriculteurs, vu qu'ils sont satisfaits des résultats obtenus. Mais cela n'empêche pas de souligner le nombre limité des agriculteurs pratiquant le semis direct dans la région pour des raisons d'ordre technique. En outre, des travaux de recherche plus approfondis s'intéressaient aux limites de l'adoption de l'agriculture de conservation dans le monde. Selon Villemaine et al., (2012), la faible adoption de l'agriculture de conservation par les agriculteurs Brésiliens est due à des facteurs politiques et techniques. Par exemple : le manque de subvention de l'Etat aux nouvelles techniques d'innovation, le faible intérêt économique à court terme, le manque des connaissances techniques, de main d'œuvre et des équipements. Tandis que les limites d'évolution de l'agriculture de conservation dans la frange méditerranéenne sont : "manque permanent des connaissances sur la gestion des cultures, des résidus, des sols et de l'eau et en absence de machines adaptées aux conditions pédologiques et topographiques" (Lahmar 2006).

CONCLUSION GENERALE

En revanche, l'étude du comportement du sol sous l'effet du désherbage chimique a été réalisée par un protocole expérimental en conditions de plein champ sur le site expérimental de l'Institut Technique des Grandes Cultures de Sétif.

Le protocole se base sur l'étude de devenir de l'herbicide dans le sol en interaction avec les propriétés physiques, chimiques et biologiques, la gestion du traitement des mauvaises herbes ainsi que l'évaluation des risques de la contamination du sol en relation avec les rendements. En conditions de plein champ, la rétention et le devenir du glyphosate dans le sol ont été déterminés en utilisant la chromatographie liquide de haute performance. L'analyse a été suivie par une phase de dérivation afin d'augmenter les chances de détection, vu l'instabilité de la molécule dans l'environnement.

Les résultats issus de l'expérimentation permettent de valider l'hypothèse 2. En semis direct, la gestion de traitement des mauvaises herbes par un herbicide à base du glyphosate limite l'infestation des mauvaises herbes et par conséquent améliore les rendements. Par contre, le risque de diffusion de la matière active dans le sol est maintenue même à faible doses vu la persistance de cette molécule dans l'environnement.

Des résidus d'herbicide issus des traitements précédents sont présents dans le sol. De même, la maîtrise de traitement chimique avec des concentrations bien déterminées (D_1 , D_2 , D_3 et D_4), associées à des eaux à caractéristiques chimiques bien précises a montré que l'intensité des résidus dans le sol est liée à la dose la plus importante. Par conséquent, les rendements agronomiques sont sensibles à la dureté de l'eau d'irrigation en fonction de la concentration de la matière active. Dans ce contexte, une limite peut être mise en évidence : Bien que les valeurs des rendements obtenus montrent les effets significatifs des traitements appliqués, une analyse des cuticules des mauvaises herbes est une complémentarité. Au laboratoire, une analyse cellulaire des feuilles vertes des mauvaises herbes peut se faire pour déterminer le degré de pénétration du glyphosate à travers les parois. Cependant, les travaux de Nalewaja et Matysiak (1991, 1993) montrent clairement l'absorption et la translocation de l'herbicide en fonction des concentrations des cations de Ca^{+2} et Mg^{+2} présentes dans l'eau de traitement et la possibilité de formation des complexes avec les métabolites de l'herbicide.

CONCLUSION GENERALE

Le suivi des résidus de l'herbicide révèle des durées de demi-vie très importantes (DT_{50}) dans les couches superficielles du sol. En parallèle, la mobilité et le transfert du glyphosate ont été observés, en analysant le sol en profondeur. Cependant, la dissipation du glyphosate dans le sol est due à la dégradation biologique. Dans notre cas d'étude, le sol se caractérise par des propriétés physiques, chimiques et biologiques permettent de le classer dans la catégorie des sols « biologiquement actif », ce qui favorise la dissipation de l'herbicide par dégradation biologique. En parallèle, une étude du comportement biologique du sol en présence de résidus de l'herbicide a été réalisée au laboratoire par le processus d'incubation. Lors de processus d'incubation du sol au laboratoire, la respiration du sol a été maintenue, malgré la persistance de l'herbicide dans le sol (DT_{50}). De ce fait, le glyphosate n'est pas un inhibiteur de l'activité des microorganismes dans le sol. A ce niveau, une autre limite de cette étude persiste. Généralement, l'étude de devenir du glyphosate dans l'environnement est associée à son produit de dégradation « AMPA ». L'AMPA semble plus persistant dans l'environnement que le produit principal (Mamy 2004). Toutefois, ce facteur n'est pas mis en évidence dans cette thèse et reste une perspective à explorer.

Les conclusions tirées de nos recherches sont spécifiques à des conditions pédoclimatiques bien déterminées. En fait, l'objectif de cette thèse était d'étudier l'aspect environnemental de semis direct lié au désherbage chimique à base de glyphosate. L'étude et la valorisation de l'aspect environnemental du semis direct, reste un défi et une des plus importantes contraintes pour assurer une production durable. De ce fait, vu les limites de notre protocole, des investigations postérieures seront nécessaires en particulier pour une évaluation des pratiques à long terme et permettant d'étudier le devenir de la molécule dans différentes conditions pédoclimatiques. L'automatisation du protocole établi sur terrain pour diminuer les probabilités de l'erreur et enfin, l'orientation de l'étude vers un aspect végétal vu que les produits de récolte sont destinés pour l'alimentation humaine et/ ou animale.

CONCLUSION GENERALE

Les résultats présentés dans ce travail nous amènent à plusieurs interrogations :

Faut-il sensibiliser le pouvoir public et les agriculteurs de l'utilisation du glyphosate en Algérie ?

Ya-t-il des résultats similaires à ceux-ci au niveau des instituts de recherche chargés de l'homologation des produits phytosanitaires ?

Et enfin, quelles sont réellement les critères d'homologation des produits phytosanitaires en Algérie ?

Références bibliographiques

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Références bibliographiques

AESN et Aquascop, 2008. Guide pratique des Substances Toxiques dans les Eaux Douces et Littorales du Bassin Seine Normandie. Édition AESN (ISBN : 978-2-9523536-2-5), 271 p.

Affholder Marie Cécile, Pascale Prudent, Véronique Masotti, Bruno Coulomb. 2013. Transfer of metals and metalloids from soil to shoots in wild rosemary (*Rosmarius officinalis* L.) growing on a former lead smelter site : Human exposure risk. *Science of The Total Environment*, 454, 219-229.

Aibar J. 2006. La lutte contre les mauvaises herbes pour les céréales en semis direct : Principaux problèmes. In : Arrue Ugarte J.L. (ed.), Cantero-Martínez C. (ed.). *Troisièmes rencontres méditerranéennes du semis direct*. Zaragoza : CIHEAM, 19-26 (Options Méditerranéennes : Série A. Séminaires Méditerranéens ; n. 69).

Aparicio V.C., Eduardo D. G., Damián M., Jezabel P., Carriquiriborde P., Costa J. L. 2013. Environmental fate of glyphosate and aminomethylphosphonic acid in surface waters and soil of agricultural basins. *Chemosphere*, 93. 1866–1873.

Atala C., Muñoz-Capóni E., Pereira G., Navarrete E., Osés R., Molina-Montenegro M.A. 2012. Impact of mycorrhizae and irrigation in the survival of seedlings of *Pinus radiata* D. Don subject to drought. *Gayana Bot.*, 69. 296-304.

Atteia O. 2005. Chimie et pollutions des eaux souterraines. Editions TEC & doc, Lavoisier. Chapitre 2. p 18-19.

Aubertot J. N., Barbier J.M., Carpentier A., Gril J.J., Guichard L., Lucas P., Savary S., Voltz M. 2007. Pesticides, agriculture et environnement. Réduire l'utilisation des pesticides et en limiter les impacts environnementaux. Quae, Versailles.

Barriuso E. 2004 a. Estimation des risques environnementaux des pesticides. INRA éditions, 204 p.

Bento C.P.M., Yang X., Gort G., Xue S., Dam R. V. 2016. Persistence of glyphosate and aminomethylphosphonic acid in loess soil under different combinations of temperature, soil moisture and light/darkness. *Sci. Total Environ.*, 572, 301-311.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Bhattacharyya P.N., Jha D.K. 2012. Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR): emergence in agriculture. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 28(4), 1327.
- Bhattacharyya S.B., Roychowdhury G., Zaman S., Raha A.K., Chakraborty S., Bhattacharjee A.K., Mirta A. 2013. Bioaccumulation of heavy metals in Indian white shrimp (*Fenneropenaeus indicus*): A time series analysis.
- Bonny S. 2011. L'agriculture écologiquement intensive: Nature et défis. *Cahiers Agricultures*, 20, 451-462.
- Bordjiba O., Ketif A. 2009. "Effect of three Pesticides (Hexaconazole, Bromuconazole and Fluazifopbutyl) on some Biochemical Metabolites of the Hard Wheat: *Triticum durum*" Faculty of Sciences, Department of Biology, University of Badji Mokhtar Annaba, *European journal of Scientific Research*, 260-268.
- Borjesson E., Torstensson L. 2000. New methods for determination of glyphosate and aminomethylphosphonic acid in water and soil. *Journal of Chromatography A*, 886 (1-2), 207-2016.
- Bouzerzour H., Mahnane S. 2006. Une association pour une agriculture de conservation sur les hautes plaines orientales semi-arides d'Algérie. In : Arrue Ugarte J.L. (ed.), Cantero Martínez C. (ed.). Troisièmes rencontres méditerranéennes du semis direct. Zaragoza : CIHEAM, p. 107-111 (Options Méditerranéennes : Série A. Séminaires Méditerranéens; n. 69)
- Bouzzara S., Ou Id Ferroukh M.E.H., Bouguendouz A. 2011. Influence du semis direct et des techniques culturales simplifiées sur les propriétés d'un sol de la ferme pilote Sersour (Sétif). In : Bouzerzour H. (ed.), Irekti H. (ed.), Vadon B. (ed.). 4. *Rencontres Méditerranéennes du Semis Direct*. Zaragoza : CIHEAM / ATU-PAM / INRAA / ITGC / FERT, p. 123-129 (Options Méditerranéennes : Série A. Séminaires Méditerranéens ; n. 96)
- Calvet R., Barriuso E., Benoit P., Bedos C., Charnay M.P., Coquet Y., 2005. Les pesticides dans le sol. Conséquences agronomiques et environnementales. Editions France Agricoles, Paris, 637 p.
- Carlisle S. M., Trevors J. T. 1986. Effect of the herbicide glyphosate on nitrification, denitrification and acetylene reduction in soil. *Water Air Soil Pollut.* 29, 189-203.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Carof M. 2006. Fonctionnement de peuplements en semis direct associant du blé tendre d'hiver (*Triticum aestivum* L.) à différentes plantes de couverture en climat tempéré. pp 132.
- Caussanel J. P. 1989. Nuisibilité et seuils de nuisibilité des mauvaises herbes dans une culture annuelle : situation de concurrence bispécifique. *Agronomie*, EDP Sciences. 9 (3), 219-240.
- Chahal G. S., Johnson W.G. 2012. Influence of glyphosate or glufosinate combination with growth regulator herbicides and other agrochemicals in controlling glyphosate resistant weeds. *Weed Technology* 26 (4), 638-643.
- Chenafi H. 2012. Amélioration de la production du blé en environnement déficitaire en eau. *Revue d'Agriculture*, 3, 24-29.
- Chennafi H., Bouzerzour H. 2008b. Amélioration de l'agriculture pluviale en environnement semi-aride. In: *Proceedings du séminaire national sur les contraintes à la production du blé dur en Algérie*. Université Chlef, 62-68.
- Dakhel N. 2001. Effet des paramètres pédo-climatiques sur les mécanismes responsables de la dissipation de l'atrotrole dans les sols : adsorption, dégradation et stabilisation des résidus. Thèse de l'INA Paris. Grignon. 305.
- Dao T. H. 1996. Tillage and crop residue effects on Carbon dioxide evolution and Carbon storage in a Paleustoll. *Soil Science Society American Journal*. 62, 250-256.
- Debaeke P., Orlando D. 1994. Simplification du travail du sol et évolution de la flore adventice.
- Devault D. A., Merlina G., Lim P., J.L., Pinelli E. 2007. Multi-residues analysis of pre-emergence herbicides in fluvial sediments: application to the mid-Garonne River. *Journal of Environmental Monitoring*, 9, 1009-1017.
- Dick, R.E., Quinn, J.P. 1995. Glyphosate degrading isolates from environmental samples : occurrence and pathways of degradation. *Appl. Microbial. Biotechnol.*, 43, 545-550.
- Djermoun A. 2009. La production céréalière en Algérie : Les principales caractéristiques, *Revue Nature et Technologie*, 1, 45-53.
- Duchaufour P. 1995. *Pédologie : sol, végétation, environnement*. Masson Editeur, Paris, 324p.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Duiker S. W., Lal R. 1999. Crop residue and tillage effects on carbon sequestration in a luvisol in Central Ohio. *Soil and tillage research*, 52, 73-81.
- Epelde L., Mijangos I., Becerril J.M., Garbisu C. 2008. Soil microbial community as bioindicator of the recovery of soil functioning derived from metal phytoextraction with sorghum. *Soil Biology and Biochemistry*, *In Press*.
- Ertli T., Marton A., Földényi R. 2004. Effect of pH and the role of organic matter in the adsorption of isoproturon on soils. *Chemosphere*, 57, 771-779.
- FAO 2003. Conservation Agriculture, Matching Production with Sustainability. What is the Goal of Conservation Agriculture, FAO Homepage www.fao.org/ag/agl/agll/prtcons.stm
- Feddal M. A. 2015. Problématique de l'introduction des techniques culturales simplifiées pour la mise en place des grandes cultures en Algérie. Thèse de doctorat. Ecole Nationale Supérieure Agronomique. Alger.
- Feng J.C., Thompson D.G. 1990. Fate of glyphosate in a Canadian forest watershed. Persistence in foliage and soils. *J. Agric. Food Chem.*, 38, 1118-1125.
- Findeling A. 2001. Etude et modélisation de certains effets du semis direct avec paillis de résidus sur les bilans hydrique, thermique et azoté d'une culture de maïs pluviale au Mexique, *Earth Sciences*. ENGREF (AgroParisTech). <tel-00005695>.
- Forlania G., Mangiagallia A., Nielsen E., Suardib C. M. 1999. Degradation of the phosphonate herbicide glyphosate in soil: Evidence for a possible involvement of unculturable microorganisms. *Soil Biology and Biochemistry*, 31 (7), 991-997.
- Gaston L. A., Locke M.A., Zablotowicz R.M., Reddy K.N. 1999. Spatial variability of soil properties and weed populations in the Mississippi Delta. *Soil science society of America journal*, 65 (2), 449-459.
- Giesy J.P., Dobson S., Solomon K.R. 2000. Ecotoxicological assessment for Roundup herbicide. *Rev Environ Contam Toxicol*, 167, 35-120.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Gimsing, A.L., Borggaard, O.K., Jacobsen, O.S., Aamand, J., Sorensen, J. 2009. Chemical and microbiological soil characteristics controlling glyphosate mineralization in Danish surface soils. *Appl. Soil Ecol.*, 27, 233-242.
- Glass R., 1984. Adsorption of glyphosate by soils and clay minerals__J. *Agric. Food Chem.*, 35 (4), 497–500. doi: 10.1021/jf00076a013
- Grunewald K., Schmidt W., Unger C., Hanschmann G.2001. Behaviour of glyphosate and aminomethylphosphonic acid (AMPA) in soils and water of reservoir Radeburg II catchment (Saxony/Germany). *J Plant Nutr Soil Sci.*, 164:65–70.
- Guyton K. Z., Loomis D., Grosse Y., El Ghissassi F., Benbrahim-Tallaa L., Guha N., Straif K. 2015. Carcinogenicity of tetrachlorvinphos, parathion, malathion, diazinon and glyphosate. *Lancet Oncology*, 16 (5), 490.
- Haney R.L., Senseman S.A. 2000. Effect of glyphosate on soil microbial activity and biomass. *Weed Sci.*, 4, 89-93.
- Harley J.L., Smith S.E. 1983. *Mycorrhizal Symbiosis*. Academic Press, London, 483.
- Havlin J. L., Kissel D.E., Maddux, L.D., Claassen M.M., Long J.H. 1990. Crop rotation and tillage effects on soil organic carbon and Nitrogen. *Soil Science Society of America Journal*, 54 (4), 448-452.
- Hernanz J.L., Sanchez- Giron V., Navarrete L., Sanchez M.J. 2014. Long term (1983-2012) assessment of three tillage systems on the energy use efficiency, crop production and seeding emergence in a rain fed cereal monoculture in semiarid conditions in Central Spain.*Field crops Research*, 166, 26-37.
- Huang R., Xia M., Austin C. P. 2011. Chemical genomics profiling of environmental chemical modulation of human nuclear receptors. *Environ. Health Perspect*, 119 (8), 1142-1148.
- Ibanez M., Pozo O. J., Sancho J. V., Lopez F.J., Hernandez F. 2005. Residue determination of glyphosate, glufosinate and aminomethylphosphonic acid in water and soil samples by liquid chromatography coupled to electrospray tandem mass spectrometry. *Journal of Chromatography A.*, 1081 (2), 145-155.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Ibanez M., Pozo O. J., Sancho J. V., Lopez F.J., Hernandez F. 2006. Re-evaluation of glyphosate determination in water by liquid chromatography coupled to electrospray tandem mass spectrometry. *Journal of Chromatography A.*, 1134 (1-2), 51-55.
- Jacob G.S., Garbow J.R., Hallas L.E., Kimack N.M., Kishore G.M., Schaefer J.1988. Metabolism of glyphosate in *Pseudomonas* sp. strain LBr. *Applied Environ. Microbiol.*, 54, 2953-2958.
- Jayasumana C., Gunatilake S., Senanayake P. 2014. Glyphosate, Hard Water and Nephrotoxic Metals: Are They the Culprits Behind the Epidemic of Chronic Kidney Disease of Unknown Etiology in Sri Lanka?. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 11(2), 2125-2147. doi:[10.3390/ijerph110202125](https://doi.org/10.3390/ijerph110202125)
- Jemai I., Ben Aissa N., Ben Guirat S., Ben Hammouda M., Gallali T. 2013. Impact of three and seven years of no tillage on the soil water storage, in the plant root zone, under a dry subhumid Tunisian climate. *Soil and tillage research*, 126, 26-33.
- 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. Université de Rennes, 201.
- Khrolenko M. V., Piotr P.Wieczorek P.P. 2005. Determination of glyphosate and its metabolite aminomethylphosphonic acid in fruit juices using supported-liquid membrane preconcentration method with high-performance liquid chromatography and UV detection after derivatization with *p*-toluenesulphonyl chloride. *Journal of Chromatography A.*, 1093 (1-2) 111-117.
- Kladivko J. E. 2001. Tillage systems and soil ecology. *Soil and tillage research*, 61 (1-2), 61-76.
- Kribaa M., Hallaire V., Curmi P., Lahmar R. 2001. Effects of various cultivation methods on the structure and hydraulic properties of soil in semi-arid climate. *Soil Tillage Research*, 60, 43-53.
- Ladha J.K., Kumar V., Alam M.M. 2009. Integrated Crop and Resource Management in the Rice-wheat System of South Asia. *Int. Rice Res. Inst.*, 2009 ,395.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Lahmar R. 2006. Opportunités et limites de l'agriculture de conservation en Méditerranée. Les enseignements du projet KASSA Options Méditerranéennes, Série A, Numéro 69
- Laitinen P., Siimes K., Eronen L., Rämö S., Welling L., Oinonen S. 2006. Fate of the herbicides glyphosate, glufosinate ammonium, phenmedipham, ethofumesate and metamitron in two Finnish arable soils. *Pest Manag Sci*, 62, 473–491.
- Le Bourgeois T., Marnotte P. 2002. Edit the technical itineraries: Weed. In : *Mémento de l'agronome*. Montpellier, France, CIRAD, 663-684.
- Levanon D., Meisinger, J.J., Codling, E.G., Starr, J.L. 1994. Impact of tillage on microbial activity and the fate of pesticides in the upper soil. *Water Air Soil Pollut.*, 72, 179-189.
- Li B., Deng X., Guo D., Jin S. 2007. Determination of glyphosate and aminomethylphosphonic acid residues in foods using high performance liquid chromatography-mass spectrometry/mass spectrometry. *Chinese Journal of Chromatography*, 25 (4), 486-490.
- Lupwaji N.Z., Hanson K.G., Harker K.N., Clayton G.W., Blackshaw R.E., O'Donovan J.T., Johnson E.N., Gan Y., Ervine R.B., Monreal M.A. 2007, *Soil Biology and Biochemistry*, 39, 1418-1427.
- Machado S., Terie S., Rhinhart K., Ramig R.E. 2008. Tillage effects on water use and grain yield of winter wheat and green pea in rotation. *Agron.J.*, 100, 154-162.
- Macleod C. J. A., Semple K.T. 2006. The influence of single and multiple applications of pyrene on the evolution of pyrene catabolism in soil. *Environmental Pollution*, 139, 455-460.
- Malhi S.S., Lemke R., 2007. Tillage, crop residue and N fertilizer effects on crop yield, nutrient uptake, soil quality and nitrous oxide gas emissions in a second 4-yr rotation cycle. *Soil and Tillage Research*, 96, 269–283.
- 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. INAPG (Agro Paris Tech).
- Mamy L., Barriuso E., Gabrielle B. 2005. Environmental fate of herbicides trifluralin, metazachlor, metamitron and sulcotrione compared with that of glyphosate, a substitute broad spectrum herbicide for different glyphosate-resistant crops. *Pest Manag Sci*, 61, 905–916.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Mamy L., Gabrielle B., Barriuso E. 2008. Measurement and modelling of glyphosate fate compared with that of herbicides replaced as a result of the introduction of glyphosate-resistant oilseed rape. *Pest Management Science*, 64, 262–275.
- Mathieu Clément, Pieltain Françoise. 2003. Analyse chimique des sols « Méthodes choisies », 386p.
- Montgomery J.H. 1993. *Agrochemical desk reference: environmental data*. Lewis, Chelsea, MI, p 625.
- Mrabet R. 2000. Differential response of wheat to tillage management systems in a semi-arid area of Morocco. *Field Crop Research*, 66, 165-174.
- Mrabet R. 2001. Le semis direct: Potentiel et limites pour une agriculture durable en Afrique du Nord. CEA/TNG/CDSR/AGR, Centre de Developpement Pour l'Afrique du Nord (CDSR-AN), Tangier, Morocco.
- Mrabet R. 2002. Stratification of soil aggregation and organic matter under conservation tillage systems in Africa. *Soil and Tillage Research*, 66 (2), 119-128.
- Mulumba L.N., Lal R. 2008. Mulching effects on selected soil physical properties. *Soil and Tillage Research*, 98 (1), 106-111.
- Munier-Jolain N.M., Chauvel B., Gasquez J. 2005. Stratégies de Protection Intégrée contre les adventices des cultures : le retour de l'agronomie. In : Regnault-Roger C. (Ed.), *Enjeux phytosanitaires pour l'agriculture et l'environnement*, Lavoisier, Paris, p. 411-430.
- Nalewaja J. D., Matysiak R. 1991. Salt antagonism of glyphosate. *Weed Sci.*, 39, 622_628.
- Nalewaja J. D., Matysiak R. 1993a. Influence of diammonium sulfate and other salts on glyphosate phytotoxicity. *Pestic. Sci.*, 38, 77-84.
- Nalewaja J.D. 2001. Weeds and Conservation Agriculture. Dans : *IWorld Congress on Conservation Agriculture*, Madrid (Espagne), Ed. CAEF FAO, Madrid, pp. 191-200.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Nedelkoska T.V., Low G.K. 2004. High-performance liquid chromatographic determination of glyphosate in water and plant material after pre-column derivatisation with 9-fluorenylmethyl chloroformate. *Analytica Chimica Acta*, 511 (1), 145-153.
- Newsham K.K., Fitter A.H., Watkinson, A.R. 1995. Multi-functionality and biodiversity in arbuscular mycorrhizas. *Trends Ecol.*,10, 407-411.
- Nriagu J.O., Pacyna J.M. 1988. Quantitative assessment of worldwide contamination of air, water and soils by trace metals, *Nature*, 333, 134-139.
- Novak J. M., Watts D.W., Hunt P.G.1996. Long term tillage effects on atrazine and fluometuron sorption in coastal plain soils. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 60, 165-173.
- Oorts K., Ghesquiere U., Swinnen K., Smolders E. 2006. Soil properties affecting the toxicity of CuCl₂ and NiCl₂ for soil microbial processes in freshly spiked soils. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 25 (3),836-844.
- Oorts K., Merckx R., Gréhan E., Labreuche J., Nicolardot B. 2007. Determinants of annual fluxes of CO₂ and N₂O in long-term no-tillage and conventional tillage systems in northern France. *Soil and Tillage Research*, 96 (1-2), 133-148.
- Ortega U., Du~nabeitia M., Men_endez S., Gonz_alez-Murúa C., Majada J. 2004. Effectiveness of mycorrhizal inoculation in the nursery on growth and water relations of *Pinus radiata* in different water regimes. *Tree Physiol.*, 24, 65-73.
- Patakioutas G., Albanis T.A. 2002. Adsorption-desorption studies of alachlor, metolachlor, EPTC, chlorothalonil and pirimiphos-methyl in contrasting soils. *Pest. Management Science*, 58 (4), 352-362.
- Peruzzo P.J., Porta A.A., Ronco A.E. 2008. Levels of glyphosate in surface waters, sediments and soils associated with direct sowing soybean cultivation in North Pampasic region of Argentina. *Environ. Pollut.*, 156, 61-66.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Pettenati M. 2007. Géochimie capillaire et couplage rétention-percolation en zone non saturée des sols. Géochimie. Université Paris Sud - Paris XI. [tel-00153278](tel:00153278)
- Rampoldi E. A., Hang S., Barriuso E. 2014. Carbon 14 glyphosate behaviour in relationship to pedoclimatic conditions and crop sequence. J. Environ. Qual, 43, 558-567.
- Reddy K.N., Locke M. A. 1998. Sulfentrazone Sorption, Desorption, and Mineralization in Soils from Two Tillage Systems. Weed Science, 46 (4), 494-500.
- Roper M. M., Gupta V. V. S. R. 1995. Management practices and soil biota. Australian Journal of Soil Reseach, 33, 321-339.
- Roslycky E.B.1982. Glyphosate and the response of the soil microbiota. Soil Biology and Biochemistry, 14 (2). 87-92.
- Rouane S. 2009. Doses minimales biologiquement efficaces pour le désherbage dans la rotation de maïs-soya tolérants au glyphosate et au glufosinate. Mémoire de maîtrise. Université Laval.
- Saroa G.S. Lal R. 2003. Soil restorative effects of mulching on aggregation and carbon sequestration in a Miamian soil in central Ohio. Land Degradation and Development, 14 (5), 481-493.
- Schreck E. 2008. Influence of maintenance of soil in wine environment for the transfer of herbicides to water infiltration- Impact on Earthworms, University of Paul Sabatier- Toulouse III.
- Séguy L., Bouzinac S., Maeda E., Maeda N. 1998. Brésil : semis direct du cotonnier en grande culture motorisée. Agriculture et Développement, 17, 3-23.
- Simard S.W., Durall D.M. 2004. Ectomycorrhizal networks: a review of their extent, function and importance. Can. J. Bot., 82, 1140-1165.
- Smith S.E., Read D.J. 2008. Mycorrhizal Symbiosis, third ed. Academic, San Diego, USA.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Souza A. P., Ferreira F.A., Silva A. A., Cardoso A.A., Ruiz H. A. 1999. Respiração microbiana do solo sob doses de glyphosate e de imazapyr. *Planta Daninha*, 17, 387-398.
- Sprankle P., Meggitt W.F., Penner D. 1975. Adsorption, mobility and microbial degradation of glyphosate in the soil. *Weed Sci.*, 23, 229-234.
- Stahlman P. W., Phillips W. M. 1979. Effects of water quality and spray volume on glyphosate phytotoxicity. *Weed Sci.*, 27, 38-41.
- Tavares F.J., Tessier D. 1998. Influence des pratiques culturales sur le comportement et les propriétés de sols du parana (Bresil). *Etude et gestion des sols*. 1-5.
- Tejada M. 2009. Evolution of soil biological properties after addition of glyphosate, diflufenican and glyphosate+diflufenican herbicides. *Chemosphere*, 76, 365-373.
- Thomas F., Archambeaud M., Billerot S., Carville C. 2009. Conservation techniques of soils, Madison, France, p. 106.
- Touchan R., Kherchouche D., Oudjehih B., Touchan H., Slimani S., Meko D.M. 2016. Dendroclimatology and wheat production in Algeria. *Journal of Arid Environments*, 124, 102-110.
- Veiga F., Zapata J.M., Marcos M.L.F., Alvarez E. 2001. Dynamics of glyphosate and aminomethylphosphonic acid in a forest soil in Galicia, North-West Spain. *Sci. Total Environ.*, 271, 135-144.
- Vereecken H. 2005. Mobility and leaching of glyphosate: A review. *Pest Manage. Sci.*, 61, 1139-1151.
- Verhulst N., Nelissen V., Niels J., Heleen H., Ken D. S., Dirk R. Jozef D., Govaerts B. 2011. Soil water content, maize yield and its stability as affected by tillage and crop residue management in rainfed semi-arid highlands. *Plant and Soil*, 344 (1-2), 73-85.
- Villemaine R., Sabourin É., Goulet F. 2012. Limites à l'adoption du semis direct sous couverture végétale par les agriculteurs familiaux en Amazonie brésilienne. *Cah. Agric.*, 21, 242-247.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Zhao B., Zhang J., Gong J., Zhang C. 2009. Glyphosate mobility in soils by phosphate application: laboratory column experiments. *Geoderma*, 149 (3-4), 290-297.

Ziza, F. Z. 2007. L'expérience de l'agriculture de conservation en Algérie. p 8-17-31. http://www.minagri.dz/pdf/Divers/2013/Avril/communication_algero-francais_le_09/04/2013/L'Experience_de_l'Agriculture_de_Conservation_en_Algerie.pdf.

Zobiolo L. H. S., Kremer R. J., Oliveira Jr. Constantin J. 2011. Glyphosate affects micro-organisms in rhizospheres of glyphosate-resistant soybeans. *Journal of Applied Microbiology*, 110 (1), 118-127.

Annexes

ANNEXE 01 : Article 1

Analyse des performances de quelques exploitations agricoles céréalières en semis direct dans la wilaya de Sétif

Labad Ryma ⁽¹⁾, Hartani Tarik ^(1,2)

⁽¹⁾ Ecole Nationale Supérieure Agronomique, laboratoire maîtrise de l'eau en agriculture

⁽²⁾ Centre Universitaire Tipaza



Revue semestrielle – Université Ferhat Abbas Sétif 1

REVUE AGRICULTURE



Analyse des performances de quelques exploitations agricoles céréalières en semis direct dans la wilaya de Sétif

Labad Ryma ⁽¹⁾, Hartani Tarik ^(1, 2)

(1) Ecole Nationale Supérieure Agronomique, laboratoire maîtrise de l'eau en agriculture

Rik_hartani@yahoo.fr

(2) Centre Universitaire Tipaza

E-Mail : ryma_loulou308@hotmail.fr

ARTICLE INFO

RÉSUMÉ

Mots clés :

Agriculture de conservation, Semis direct, Sétif, Rendement, glyphosate.

L'agriculture de conservation est un concept permettant de définir et de maîtriser différents systèmes de production. Sa mise en œuvre dépend des propriétés du sol, du climat et des considérations socio-économiques. Le semis direct a commencé à prendre sa place au niveau des hautes plaines Sétifiennes grâce à l'intervention de l'Etat par l'intermédiaire de l'Institut Technique des Grandes Cultures dont le mandat est entre autres d'introduire les nouvelles techniques pour les agriculteurs et de les appuyer techniquement et de les accompagner. Des enquêtes ont été menées auprès d'une dizaine d'agriculteurs céréaliers représentatifs des exploitations agricoles de la wilaya de Sétif durant la campagne 2014/2015 pour identifier les pratiques agricoles en relation avec le semis direct puis caractériser leur conséquence sur les rendements en blé dur et sur l'environnement. Nos premiers résultats montrent que le rendement agronomique a été amélioré par rapport à la technique de semis traditionnelle en plus de quelques améliorations du taux de matière organique, rétention d'eau, activité biologique et surtout la limitation de l'érosion. En revanche, nous avons observé que l'association d'un herbicide chimique (glyphosate) au semis direct peut causer des nuisances aux sols, aux cultures et pourquoi pas l'être humain.

Introduction

En Algérie, les produits céréaliers occupent une place stratégique dans le système alimentaire et dans l'économie nationale (Djermoun, 2009), c'est pour quoi l'amélioration du taux de production est un véritable débat scientifique. Les hautes plaines Sétifiennes ont été considérées depuis longtemps comme « des zones céréalières » et depuis 2002, l'Institut Technique des Grandes Cultures « ITGC » a introduit le semis direct sur des superficies importantes afin d'évaluer les performances de semis direct. Cette évaluation est effectuée en considérant les rendements en particulier, mais aussi la conservation de l'eau dans le sol qui est un facteur limitant le développement de la production. Cette technique pourrait en outre atténuer l'érosion des sols compte tenu de l'aridité qui caractérise le milieu (ZIZA, 2003). Notre contribution s'intéresse aux performances du semis direct dans les hautes plaines Sétifiennes. La méthodologie est basée dans un premier temps sur un questionnaire réalisé aux prés d'un échantillon d'une dizaine de céréaliers précurseurs dans l'adoption du semis direct. L'approche se prolonge en vue d'analyser les effets de l'usage de cette technique sur les propriétés physiques et chimiques des sols.

Matériels et méthodes

La wilaya de Sétif se situe à l'Est de l'Algérie, elle est caractérisée par un climat continental, appartenant à l'étage bioclimatique semi aride. Notre enquête a été déroulée au niveau de sept (07) communes agricoles de la wilaya de Sétif, dont leurs caractéristiques pédoclimatiques se différencient. Nous avons des fermes de la partie Nord, situées entre les isohyètes de 500 et 400 mm, les fermes des hautes plaines reçoivent un cumul de précipitation variable entre 400 et 300 mm et la partie sud regroupe des fermes situées entre les isohyètes 300 à 200 mm et celle inférieure à 200 mm.



Figure 01 : Situation géographique des zones enquêtées au niveau de la wilaya de Sétif

Nous avons enquêté une superficie de 1011 ha dont 381 ha est cultivée en semis direct. Les agriculteurs ont été interrogés par rapport aux anciennes pratiques culturales utilisées et les améliorations obtenues après l'introduction progressive du semis direct depuis l'année 2005 à propos de la capacité de rétention d'eau, la matière organique, l'activité biologique et l'érosion du sol. Nous avons aussi interrogé sur le désherbage du post semis, qui est une opération indispensable en semis direct, on utilisant des herbicides totaux.

Résultats et discussion

A travers les enquêtes, 60% (6 agriculteurs) des agriculteurs interrogés ont un niveau d'instruction secondaire et se sont des agriculteurs par héritage (agriculteur de père en fils), tandis que 40% (4 agriculteurs) d'entre eux ont un niveau supérieur. Ce paramètre a probablement influencé l'adoption de la technique de semis direct au niveau des parcelles enquêtées. En effet le développement de cette technique a connu un rythme progressif dont 10% des céréaliers ont introduit le SD entre l'année 2000 et 2006, 40% durant la période 2006 et 2010 et 50% entre 2010 et 2014.

Une des plus importantes questions posées aux agriculteurs est « Comment avez-vous été convaincu des bien faits du Semis Direct? », nous avons obtenu divers réponses convergentes:

- « L'équipe technique de l'ITGC Sétif nous a permis de persuader les bien faits du semis direct au niveau de leurs parcelles, ce qui nous a encouragé d'adapter cette technique au niveau de nos parcelles»
- « Le semis direct n'est pas une nouvelle technique c'est une amélioration d'une ancienne technique. Avant l'apparition des charrues nos grands parents utilisaient l'araire qui tranchait la terre pour semer les graines puis ils les couvraient par le sol avec leurs pieds. Autrement dit, ils n'ont jamais travaillé le sol « profondément ». »

Une autre question a été posée aussi aux agriculteurs est à propos de l'opération de désherbage de post semis et l'herbicide utilisé. La plupart des agriculteurs utilisent le Roundep et/ ou Glyphose selon la disponibilité sur le marché, dont la matière active est « le glyphosate C₃H₈N₅O₅P » avec une concentration de 360g/l. Les céréaliers ont apprécié cette méthode car elle leur permet de protéger leurs parcelles des mauvaises herbes le long du cycle de développement de la culture de blé. Cependant le problème du non germination des grains des mauvaises herbes se pose en absence des pluies avant le semis. Dans ce cas, les agriculteurs utilisent

l'herbicide après le semis mais avant la levée du blé, mais cela reste une opération délicate et nécessite une technicité, notamment pour le choix de la date d'application, les conditions climatiques et surtout le réglage du pulvérisateur. Pour les doses appliquées et après l'adoption du semis direct en 2005, il a été constaté que certains agriculteurs ont réduit les doses de traitement du 6 l/ha jusqu'à 2 l/ (ha), car ils ont remarqué une diminution de taux d'infestation des mauvaises herbes au cours des années d'application.

A l'aide des résultats de l'enquête, un cumul de la matière active appliquée sur les parcelles suivies a été calculé en fonction de nombre d'années d'application.

Tableau 01 : Concentration du taux de glyphosate dans les parcelles enquêtées (kg/ (ha))

Nombre d'année d'application/ parcelle (an)	Concentration de la matière active (glyphosate) en fonction de la dose appliquée (g/l)	Masse de la matière active en fonction de la superficie de SD (kg/ ha)
1	875	10.5 /12 ha
2	660	17.15/ 25 ha
7	7350	73.5 /10 ha
8	5600	728/130 ha
8	5600	369.6 /66 ha
8	5600	16.8 / 3 ha
9	9800	1176/ 120 ha

Enquête : 2014/2015

Nous avons interrogé 10 agriculteurs adaptateurs du semis direct dans la région de Sétif, mais nous avons pu calculer le taux de glyphosate utilisé seulement pour sept (07) échantillons, car nous avons trois agriculteurs qui ont appliqué le semis direct en Novembre 2014 et n'ont pas utilisé le traitement herbicide à cause des conditions climatiques.

A partir du tableau précédent, nous remarquons que la concentration de la matière active en fonction de la dose appliquée est plus importante pour les anciennes fermes adaptatrices du SD (9 ans d'application), car les doses appliquées étaient importantes (6 l/ ha), ce qui engendre un cumul du glyphosate au niveau des superficies cultivées sous SD (1176kg/120 ha) dont cette quantité peut causer des problèmes environnementaux très accentués s'il y a pas une dissipation du produit dans le temps, ce qui confirme que l'utilisation des herbicides a été toujours considérée comme un des inconvénients de la technique de semis direct ((Vadon) et al, 2006). D'autres observations ont été apportées par les agriculteurs à propos de quelques paramètres physiques et biologiques du sol.

60% des agriculteurs interrogés qui ont introduit le semis direct en 2005 ont constaté que le semis direct permet une augmentation de la teneur en matière organique dans le sol d'une manière appréciable, en accord avec la conclusion de Belagrouz (2013). Boudiar (2013) a calculé la quantité totale de carbone dans des conditions similaires d'utilisation de semis direct et a constaté un montant de 39,60%. Zetal (2011) a évalué les effets cumulatifs de la matière organique sous un climat sub humide en semis direct et il a obtenu un cumul de 1.99% à 1,60% respectivement à partir de l'horizon de surface à l'horizon le plus profond.

Les agriculteurs interrogés ont trop parlé sur le problème de manque d'eau dans la région et les améliorations observées après l'introduction de semis direct. En outre, 70% des agriculteurs interrogés ont remarqué une amélioration d'humidité de sol en particulier en saisons sèches. En fait, Mrabet (2001) a indiqué que le semis direct permet d'améliorer le stockage d'eau des pluies de 10% à 30% par rapport à la technique classique. La capacité de rétention d'eau du sol est liée à sa structure et son taux de matière organique. Ce point a été étudié dans de nombreuses recherches et confirme l'amélioration de la capacité de rétention d'eau avec le semis direct dans la région de Sétif.

En 2011, Zetal (2011) a évalué la capacité de rétention d'eau avec une étude comparative entre le semis direct et technique classique, les résultats sont que «Le semis direct préserve l'eau dans le sol par rapport à la technique classique avec un écart de 3%, au cours du cycle de développement du blé » et « la capacité de réserve en eau est très significative en semis direct et varie respectivement en profondeur de 9.8%, 20.7% et 8.6% de l'horizon de surface jusqu'à l'horizon le plus profond.

Un des indicateurs de la fertilité du sol est l'activité biologique. Quelques résultats sur le développement d'une activité biologique dans la région de Sétif sont disponibles en particulier dans le cas du semis direct (Ziza, 2007). Cependant, les agriculteurs affirment le développement régulier de certains lombriciens dans leurs sols.

Premier Séminaire International sur: Systèmes de Production en Zones Semi-arides. Diversité Agronomique et

Systèmes de Cultures. M'sila, 04 et 05 Novembre 2015

Les fermes situées dans la partie sèche de la zone d'étude entre les isohyètes 300 et 200 mm, souffrent de l'érosion des sols. Les agriculteurs ont affirmé que le semis direct a limité ce phénomène, ce qui confirme que le semis direct a été introduit principalement à Sétif en 2002 pour limiter l'érosion. Belagrouz (2011) a affirmé que «le système de semis direct représente une technique d'avenir pour la défense des sols contre l'érosion». Ces résultats sont des observations réelles, mais il existe d'autres problèmes cités par les agriculteurs tels que : l'absence du couvert végétal permanent à cause de l'élevage ovin et le problème de brome qui est devenu un véritable obstacle pour le développement des céréales.

Conclusion

L'analyse quantitative de nos résultats de terrain nous permet de conclure qu'en semis direct le rendement est plus élevé et moins de charges, un freinage des dégradations des reliefs et limitation des érosions, une levée bien organisée, une diminution de développement des mauvaises herbes durant le cycle de développement des cultures, une réservation de la matière organique dans le sol, un début d'évolution de l'activité biologique et en conditions humides l'accès aux parcelles est plus facile. Une grande partie de ces conclusions feront l'objet d'un protocole expérimental en vue de leur quantification, en particulier celle concernant l'activité biologique, le taux de la matière organique liée à l'utilisation de glyphosate.

Références bibliographiques

- Belagrouz A. (2013). Analyse du comportement du blé tendre variété « El Wifak » conduite en labour conventionnel, Travail minimum et semis direct sur les hautes plaines sétifiennes. Thèse de Magister en production végétal et agriculture de conservation, Université de Sétif, Sétif, 107 p.
- Bertrand Hervieu, Roberto Capone, Sébastien Abis (2006), L'enjeu céréalier en Méditerranée, Les notes d'analyse du CIHEAM, N° 09, Mai 2006.
- Boudiar R. (2013). Etude comparative de l'effet de la technique conventionnelle et le semis direct sur l'évolution du sol dans une région semi aride. Thèse de Magister en production végétal et agriculture de conservation, Université de Sétif, Sétif, 104 p.
- Chennafi H., Hannachi A., Touahria O., Fellahi ZEA, Makhlof M., Bouzerzour H. (2011) a. Tillage and residue management effect on durum wheat (*triticumturgidum* (L) Thell.ssp. *turgidumconv.* Durum (Desf) Mackey) growth and yield under semi arid climate. *Advances in Environmental Biology*5: 3231- 3240
- Djermoun A.(2009). La production des céréales en Algérie: Les principales caractéristiques. *Nature and Technology*, N° 01, Juin 2009, p 45-53.
- Karkour L. (2012). La dynamique des mauvaises herbes sous l'effet des pratiques culturales dans la zone des plaines intérieures. Thèse de Magister en production végétal et agriculture de conservation, Université de Sétif, Sétif, 159 p.
- Mekhlouf A., Makhlof M., Achiri A., Ait Ouali A., Kourougli S. (2011).Etude Comparative de l'effet des systèmes de travail du sol et le comportement de blé tendre (*TRITICUM AESTIVUM L.*) en conditions semi arides. *Agriculture*, N° 2, 2011, p 52-65.
- Mrabet R. (2001). The Direct Seeding, advanced technology for sustainable agriculture in Morocco. MADREF/DERD/PNTTA. Transfer of technology in Agriculture, N°76.January 2001, p 1-4.
http://www.agrimaroc.net/76.pdf_on_30/06/2014.
- VADON B., LAMOUCHE L., ELMAY S., MAGHFOUR A., MAHNANE S., BENAOUA H., EL GHARRAS O. Organisations paysannes : Un levier pour développer l'Agriculture de Conservation au Maghreb, 2006
- Zetal A., Teskrat H., Belhadj A., Zaghouane O. Etude comparative de l'effet du travail conventionnel, semis direct et le travail minimum sur le comportement d'une culture de blé dur dans la zone subhumide. In : Bouzerzour r H. (ed.), Irekti H. (ed.), Vadon B. (ed.). 4 th Mediterranean meetings of direct seeding. Zaragoza : CIHEAM / ATU-PAM / INRAA /ITGC / FERT, 2011. p. 7 1 -87 (Mediterraneennes options : Serie A. Mediterraniens seminars 96)
- Ziza, F. Z. (2007).L'expérience de l'agriculture de conservation en Algérie. p 8-17-31.
http://www.minagri.dz/pdf/Divers/2013/Avril/communicatioatelier_algero-francais_le_09/04/2013/L'Experience_de_l'Agriculture_de_Conservation_en_Algerie.pdf. Consulté le 09/05/2014.

ANNEXE 02 : Article 2

Optimum Herbicide Dose Management in Direct Seeding for Cereals

Production: Case of Semi-Arid Area of Algeria

Ryma Labad¹, Tarik Hartani^{1,2}, GopalUttamrao Shinde³

¹National School of Agronomy, Department of Rural Engineering, Agricultural water management laboratory, Algiers, Algeria

²Tipaza University Center, Algeria

³ Vasantrao Naik Marathwada Agricultural University, Department of Farm Machinery and Power, Parbhani, India

Disponible sur : <http://docsdrive.com/pdfs/ansinet/ja/0000/88211-88211.pdf>

ISSN : 1812-5379 (Print)
ISSN : 1812-5417 (Online)
<http://ansijournals.com/ja>

JOURNAL OF AGRONOMY



ANSI*net*

Asian Network for Scientific Information
308 Lasani Town, Sargodha Road, Faisalabad - Pakistan



Research Article

Optimum Herbicide Dose Management in Direct Seeding for Cereals Production: Case of Semi-arid Area of Algeria

¹Ryma Labad, ^{1,2}Tarik Hartani and ³Gopal Uttamrao Shinde

¹National School of Agronomy, Agricultural Water Management Laboratory, Department of Rural Engineering,, Algiers, Algeria

²Tipaza University Center, Tipaza, Algeria

³Department of Farm Machinery and Power, Vasant Rao Naik Marathwada Agricultural University, Parbhani, India

Abstract

Background and Objective: The herbicide application for weed control and yield response achievement in direct seeding is a challenging task in cereal productions. Mostly the direct seeding is linked to the use of glyphosate, the herbicide with many environmental effects have been showed. The present research study experimented during two subsequent years 2014/2015 and 2015/2016 in a semi-arid area of Algeria on cereal plots aimed to study a possible management of weed in direct seeding for a sustainable production.

Materials and Methods: Considering some characteristics of the studied soil (texture, calcium carbonate, cation exchange capacity, organic matter, C/N ratio and soil moisture), four doses of glyphosate were tested: 1080, 900, 720 and 540 g ha⁻¹ with residual concentrations in the soil. The fate of glyphosate in the soil was followed over a period of 140 days and the concentrations were measured by HPLC-UV following derivatization step. The yield was determined depending on doses applied and glyphosate dissipation. For the statistical analysis of the data, one-way ANOVA (p<0.05) was performed. **Results:** Seven days after treatment, the concentrations of glyphosate in the soil were important in the first horizon (0- 0.20 m). The measurements showed that the herbicide fractions have dissipated in the deep layers of the soil (0.20 m). The amount of glyphosate remaining in the soil 140 days after application depended on the doses applied. The high herbicide residues and the maximum yield (1.9 t ha⁻¹) were obtained in response to the highest dose of herbicide (1080 g ha⁻¹) applied. **Conclusion:** If the high dose is reduced to 65% of its content, the yield decreases to 1.4 t ha⁻¹, which is reasonable during a transition period from conventional tillage to conservation tillage for soil and environment safety.

Key words: Cereal productions, glyphosate, direct seeding, dissipation, soil and environment safety

Citation: Ryma Labad, Tarik Hartani and Gopal Uttamrao Shinde, 2018. Optimum herbicide dose management in direct seeding for cereals production: Case of semi-arid area of Algeria. *J. Agron.*, 17: 99-105.

Corresponding Author: Ryma Labad, National School of Agronomy, Agricultural Water Management Laboratory, Department of Rural Engineering, Algiers, Algeria Tel: (+213) 775 187 662

Copyright: © 2018 Ryma Labad *et al.* This is an open access article distributed under the terms of the creative commons attribution License, which permits unrestricted use, distribution and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

Competing Interest: The authors have declared that no competing interest exists.

Data Availability: All relevant data are within the paper and its supporting information files.

INTRODUCTION

Intensive farming system requires the use of herbicide to get maximum yield from the available land. This applies equally to tillage based conventional farming as to no till farming¹. The 1970s marked the introduction of glyphosate, this herbicide transformed grain production in Western Canada as it facilitated the widespread adoption of minimum-till and zero-till farming systems². The falling price of the predominant herbicide, glyphosate, had a significantly positive effect on the adoption of no-till, with 78% of farmers practicing no-till in 2008³. No-till or direct seeding as a conservation technology of soils is a sustainable fight against poverty in Europe, even in Asia and Africa⁴. However, the high use of herbicides in direct seeding as “glyphosate” is the active matter and the results of many research suggest toxic effect of glyphosate⁵⁻⁶, environmental and agricultural sciences focus their attention on the study of this herbicide. Knowing the use of herbicides, is toxic for the environment and for non-target organisms including pollinators and wildlife, contaminates the soil, water and air thereby, affecting ecosystem functioning, favours the selection of resistant pests and causes acute and chronic toxicity to humans⁷. In this context, many firms demonstrated the benefits of the direct seeding through two main axes: A first one is “environmental” which aims to underline the ecological virtue of this technique, while the second one is to contribute to the food challenge by maintaining a high productivity level⁸. Although there is not a specific method to analyze glyphosate in the environment⁹, many results worldwide showed the effect and the fate of glyphosate on the agricultural environment (soil, water, sediment) under controlled and field conditions¹⁰⁻¹¹. In North Africa, the convergence to direct seeding as a conservation agriculture using glyphosate for chemical weed control aims to improve the food production and to conserve soil quality, especially that a severe weed control is important during the first years of adaptation of direct seeding¹². The present research interests to a possible management of chemical weed control in direct seeding for a sustainable production. Researchers hypothesis is that the direct seeding machinery combined to a suitable dose of glyphosate can enhance cereal production and preserve soil quality with safety measures in the same time. The HPLC-UV detection method was used with previous derivatization step by 9-Fluorenylmethylchloroformate (FMOC-Cl) to analyze the amount of glyphosate in the soil. Moreover, the time dependent residual amount of the glyphosate in the soil was assessed for four doses of herbicide to analyze the cereal production afterwards.

MATERIALS AND METHODS

Field experiments: Field experiments were conducted in the high plains of Setif Eastern Algeria over an area of 1080 m² for S₁ (2014/2015) and S₂ (2015/2016) season. The direct seeding was the main technique used in the last 8 years. The experimental site divided into five plots for the different glyphosate treatments of weed (four treatments and one control plot) with three repetitions. In S₁, weed treated by one dose of glyphosate (1080 g ha⁻¹). The climate is semi-arid with a cold rainy winter and a hot dry summer. The amount of rainfall and temperature during the S₁ and S₂ agricultural seasons were presented in the Fig. 1. Temperatures were relatively high during the two seasons compared to 17.96°C average temperature of the last 10 years¹³. The soil is moderately deep (40-70 cm) with a slight slope (0-3%) and solid calcareous crust at a depth of 60 cm. The soil characteristics which are presented in the Table 1, were determined using the method of Mathieu and Pieltain¹⁴: Organic matter (OM) content was calculated from the measurement of organic carbon (OC) using the ANNE method, the total nitrogen (Na⁺) by Kjeldahl method, the pH of the soil (pH_{water}) measured with a pH meter, cations exchange capacity (CEC) using the Metson method and total calcium carbonate (CaCO₃) measured with a calcimeter. In this study, two soil horizons considered (Horizon1 H₁: 0-0.2 m and Horizon 2 H₂:0.2-0.6 m).

Glyphosate management and soils sampling: The glyphosate formulation known as ‘Ridazate’ (Aoko BV manufacturer, 360 g L⁻¹) was used. In S₁, the dose of 1080 g ha⁻¹ was applied while in S₂, four doses selected based on surveys of farmer’s conducted in S₁: D₁ (1080 g ha⁻¹), D₂ (900 g ha⁻¹), D₃ (720 g ha⁻¹) and D₄ (540 g ha⁻¹). The control plot (T) which not receives treatment was reserved. The barley (*Horidium vulgare*) was the cereal sown in S₂. Soil

Table 1: General characteristics of the soil

Parameters	First horizon 0-20 cm (H ₁)	Second horizon >20 cm (H ₂)
Particle size distribution		
<0.002 mm (clay) (%)	35.720	35.720
0.002-0.05 mm (silt) (%)	37.820	37.820
>0.05 mm (sand) (%)	26.450	26.450
Organic matter (OM) (%)	3.950	3.800
Organic carbon (OC) (%)	2.296	2.209
Nitrogen (N) (%)	0.220	0.198
C/N ratio	10.436	11.156
pH water	7.440	7.450
CEC (mEq/100 g)	24.583	24.418
CaCO ₃ (%)	21.560	26.990

samples were collected at dates that depended on the barley growing stages to determine the variation of glyphosate concentrations in the soil (Table 2). The soil moisture was measured for all sampling dates and for both horizons. For each dose, 30 soil samples were collected. Cereal yields were estimated after harvesting.

Glyphosate laboratory analysis: Derivatization was carried out as follows: 0.25 mL of borate buffer 5% and 0.30 mL of FMOC-Cl 2 mM in CHCl₃ were added to 1 mL of sample. Glyphosate concentrations were determined by HPLC-UV. The methodology closely followed that described by Peruzzo *et al.*¹⁵. The concentration of herbicide was measured after extracting 15 g of soil sample with KH₂PO₄ 0.1 M, agitated for 15 min, centrifuged for 10 min at 3500 rpm and filtered through Whatman filter paper (No. 1). The extraction was repeated on solid residue to obtain a 25 mL extract from each sample. Extracts were then filtered through 0.45 mm cellulose acetate membrane. The reaction was stopped after 24 h at 40°C in the dark (water bath). The reaction was stopped, 0.30 mL of H₃PO₄ (2%) were added and the sample was stored at 4°C until analysis. The derived product (Gly- FMOC) was analysed using HPLC (YL9100 HPLC System,

YL Clarity software). The chromatographic conditions were a 50 mm C₁₈ column, mobile phase: 65% H₃PO₄ 0.05 M pH = 6.1, 35% acetonitrile at 0.8 mL min⁻¹, UV detection took place at 206 nm at a temperature of 25°C and a pressure of 65 bars.

Statistical analysis: Analysis of variance (one-way ANOVA) was performed of variations in the concentrations of glyphosate over time and the effect of the doses on yield using the Statgraphics v. 5.0 software package. The ANOVA was based on the HSD criterion (honestly significant difference) with a significance level of p<0.05 throughout the study.

RESULTS AND DISCUSSION

The present research work result to obtain an optimum glyphosate dose management in semi-arid environment for cereals production. The experimental observations and results obtained during research activities such as dissipation and yield responses of glyphosate were discussed as follows.

Follow up of glyphosate in the soil: The detection of glyphosate in the soil under field conditions using the HPLC method in the present research work shows positive results where the molecule was detected in the soil during S₁ and S₂. The concentration of herbicide applied in December, 2014 (1080 g ha⁻¹) was not totally dissipated over a period of 319 days. In fact, 0.380 µg kg⁻¹ measured in the first 20 cm of soil (H₁). The follow-up of control soil during S₂ indicated some fractions remaining in the first horizon of the soil from the previous application (1080 g ha⁻¹) at different times sampling (Fig. 2).

In the deeper soil layers (>20 cm), the glyphosate concentration was under the limit of quantification (LQ = 0.264 µg kg⁻¹) between 319 and 506 days after a first application. The small concentrations detected in the first horizon were not transferred to the deep under rainfall event occurred during S₂. In S₂ and to follow the fate of

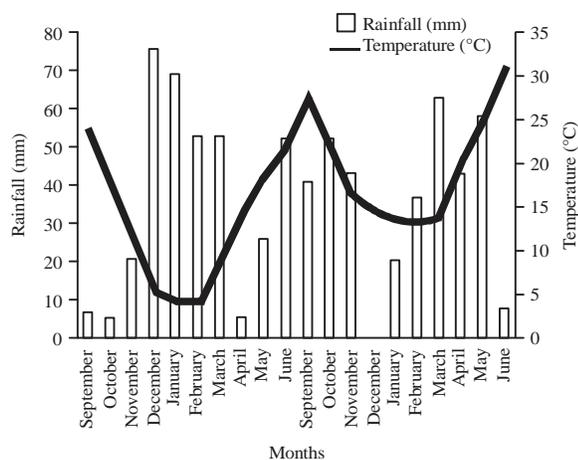


Fig. 1: Cumulative precipitations and average temperatures of studied region (Setif), during 2014/2015-2015/2016 seasons

Table 2: Glyphosate treatment and soil sampling schedule

S ₁ (2014/2015)		S ₂ (2015/2016)	
Treatment (D ₁)	December 1st, 2014	Treatment (D ₁ , D ₂ , D ₃ , D ₄)	December 2th, 2015
Seeding	December 8th, 2014	Seeding	December 7th, 2015
First sampling	October 15th, 2015	First sampling	December 8th, 2015
Second sampling	February 9th, 2016	Second sampling	February 9th, 2016
Third sampling	March 20th, 2016	Third sampling	March 20th, 2016
Fourth sampling	April 24th, 2016	Fourth sampling	April 24th, 2016
		Harvesting	June, 2016

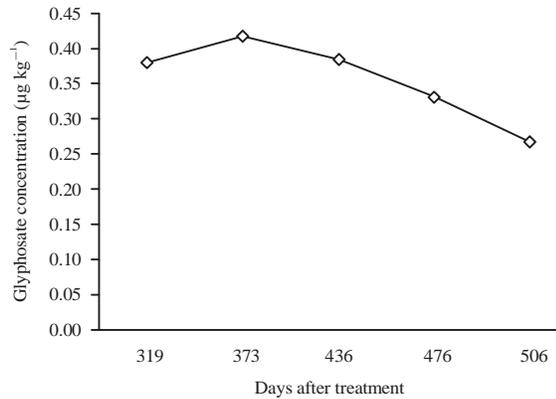


Fig. 2: Glyphosate distribution from the first application (from 2014 to 2016)

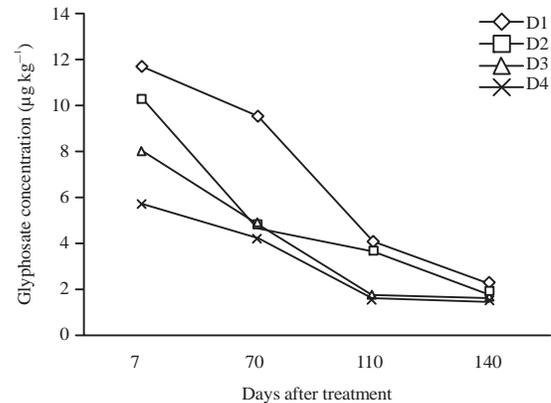


Fig. 4: Glyphosate distribution in the time for second horizon (2015/2016 season), varied between 20-60 cm

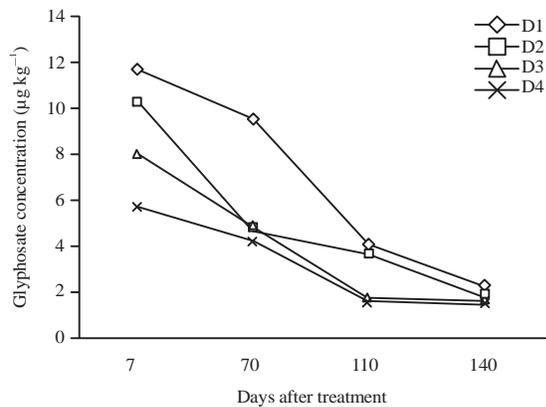


Fig. 3: Glyphosate distribution in the time for first horizon (2015/2016 season), varied between 0-20 cm

different glyphosate concentrations in the soil, the analysis period was determined by 140 days. After application of the four doses, the concentrations of glyphosate in the soil were 11.702 µg kg⁻¹ with D₁, 10.36 µg kg⁻¹ with D₂, 8.033 µg kg⁻¹ with D₃ and 5.72 µg kg⁻¹ with D₄ at 7 days after treatment, in the first horizon. These results confirmed that some fractions of glyphosate have reached the soil at the time of weeds treatment¹⁶. The dissipation of glyphosate on first 20 cm of soil was lent during the analysis period. The fractions remaining in the soil, 140 days after second treatment, were approximately 18% with D₁ and D₂ and 23% with D₃ and D₄ (Fig. 3).

The glyphosate dissipation that described by SFO kinetics, gives variable half-life values depending on the doses applied (Table 3). The applied low dose concentration (540 g ha⁻¹) corresponds to the high value of DT₅₀. The dissipation half-live values of glyphosate found under field conditions were high compared to the results of literature¹⁷. Giesy *et al.*¹⁸ found that

the dissipation of glyphosate is essentially due to the microbial degradation but it is limited by its adsorption¹⁹. The evaluation of the biological potentiality of the soil through the C/N ratio shows that the studied soil could be very active biologically where the temperature and soil moisture "the most important factors regulating microbial activity"²⁰, were high thus affecting glyphosate dissipation^{21,22} (Table 3).

The high half-life value found under low glyphosate concentration (D₄) could be explained by the fact that high concentration of glyphosate in the soil stimulates microbial activity^{23,24} and may use it for phosphorus source²⁵, so degradation phenomena should be accelerate. It is known that the high half-live value of herbicides in the field could cause its transfer in the soil. This finding was observed in the second horizon, where no clear trend of glyphosate concentrations was found for all the doses (Fig. 4). The glyphosate dissipation under field conditions was due to dispersion or transfer phenomena related to rainfall event. Seven days after application, the values measured were: 1.281, 1.048, 0.929 and 0.758 µg kg⁻¹, respectively from the first dose (1080 g ha⁻¹) to the last one (540 g ha⁻¹). Seventy days later, the amount of glyphosate increased at a rate of 34.5% with D₁, D₂ and D₃ and 18.63% with D₄. These observations suggested that glyphosate has been dispersed significantly in the deep soil layer after 24.8 mm of rainfall recorded in the second sampling (p<0.05). These results confirmed the significant effect of rainfall on glyphosate dissipation in the soil¹⁵.

From the third sampling date one, the glyphosate content in the soil decreased significantly (p<0.05) until the last sample (140 days after application). The analyses of the second horizon showed the mobility of glyphosate in the soil²⁶.



Fig. 5: Observed cereal production under different doses in field conditions

Table 3: Half-life values of glyphosate under field conditions

Samples	Soil moisture (%)	Samples	Average temperature (°C)	DT ₅₀	Days
1	32	1	7.66	D ₁	59
2	45	2	7.35	D ₂	55
3	37	3	7.35	D ₃	61
4	25	4	15.16	D ₄	75

Table 4: Cereal yields in response to herbicide doses and residues in the soil

Treatments	Yield (t ha ⁻¹)	Herbicide residues in H ₁ (µg kg ⁻¹)	Herbicide residues in H ₂ (µg kg ⁻¹)
D ₁	19.419	2.227	1.554
D ₂	14.518	1.780	1.592
D ₃	13.960	1.625	1.330
D ₄	12.893	1.466	1.185
T	5.019	0.267	L.Q.

L.Q: Limit of quantification = 0.264 (µg kg⁻¹)

Assessing yields responses to glyphosate doses: In direct seeding, the use of herbicides involves weed control, especially before crops seeding and at the beginning of its cycle²⁷.

The yield was found to vary depending on the dose of glyphosate applied (D₁, D₂, D₃, D₄), which confirm that the use of herbicides increase grain yield and reduce competition with weed^{28,29}. The highest yield obtained (1.9 t ha⁻¹) was found in response to the highest dose of glyphosate applied (1080 g ha⁻¹). A reduction of applied dose was related to the yield loss due to the weed development, while low yield was obtained in the control soil plot (Fig. 5). Brabham *et al.*³⁰ and Ama-Abina *et al.*³¹ found that a better yield was obtained with treated soil compared to control soil, where the pressure of the weed was, therefore, higher in the control soil plot and displayed rapid and early season growth. Based on these

results, the yield variation was significant using D₁ and D₄ (p<0.05), in the contrary, the variation of yield using D₂ and D₃ is not significant. These results were similar with that observed by Rouane³² when a significant difference of yield using a half-dose certified of herbicide linked to weed development was found.

However, the increase in yield corresponds to the highest dose linked to the low value of DT₅₀ and high residues compared to the other doses (Table 4). Herbicides are likely useful tool for weeds management particularly in the first years after shifting from conventional tillage to conservation tillage¹. To equilibrate the balance between environment and production, the substituting of D₁ by D₃ implying 65% fewer herbicide and 30% loss of grain yield is proposed. This alternative should be a reasonable option during transition period from conventional tillage to conservation tillage where

the amount of plant infestation and the emergence of annual grasses tend to increase¹². In fact, "less pesticides and reduced yields" should be acceptable in terms of decreased soil contamination and also better human health, derived from the use of smaller amounts of pesticides, leading, thus to an increased sustainability of various ecosystems³³.

CONCLUSION

In semi-arid area where the cereal production depends on rainfall conditions, the shift to no-till farming should be necessarily. The present research reflects a real effect of the direct seeding in semi-arid area where the old technique has reached their limits. It provides environmental indicators to manage cereal production systems in the least harmful way possible. The use of a total herbicide is an indispensable tool to preserve production level but a safe threshold concentration including a lowering of the doses must exist. Consequently, the suitable doses should be applied in relation with the soil characteristics. Based on study results, it was observed that use of glyphosate to manage weed control in direct seeding could be an indispensable tool for cereal production under field conditions, without irrigation. Some fractions of glyphosate achieved the soil at the time of weed treatment and, the dissipation of glyphosate in the soil under field conditions depends on the dose applied, the soil characteristics and climatic conditions.

SIGNIFICANCE STATEMENT

This field study explores the ways to strength the cereal production after the introduction of the direct seeding practice. It particularly highlights about the impacts of a diversity of glyphosate herbicide doses and occurrences applications on both the grain yield and the soil quality and discusses the possibility to obtain a reasonable production with a minimum adverse effects on the soils. This study will help the researchers to uncover the critical area of the large crop production facing new environmental challenges. Thus, a new approach of the conservation agriculture that ensures an efficient weed treatment and sustainable production may be arrived at.

REFERENCES

1. Friedrich, T., 2005. Does no-till farming require more herbicides? *Outlooks Pest Manage.*, 16: 188-191.

2. Holm, F. and E. Johnson, 2010. A brief history of herbicide use in Western Canada. *Proceedings of the 17th Australian Weeds Conference*, September 26-30, 2010, Christchurch, New Zealand, pp: 77-79.
3. Llewellyn, R.S., F.H. D'Emden, M.J. Owen and S.B. Powles, 2009. Herbicide resistance in rigid ryegrass (*Lolium rigidum*) has not led to higher weed densities in Western Australian cropping fields. *Weed Sci.*, 57: 61-65.
4. Derpsch, R., 1999. Historical review of no tillage cultivation of crops. *Proceeding of the 1st JIRCAS Seminar on Soybean Research*, March 5-6, 1998, Foz do Iguacu, Brazil.
5. Le Couteur, D.G., A.J. McLean, M.C. Taylor, B.L. Woodham and P.G. Boar, 1999. Pesticides and Parkinson's disease. *Biomed. Pharmacother.*, 53: 122-130.
6. Gasnier, C., C. Dumont, N. Benachour, E. Clair, M.C. Chagnon and G.E. Seralini, 2009. Glyphosate-based herbicides are toxic and endocrine disruptors in human cell lines. *Toxicology*, 262: 184-191.
7. Pimentel, D., H. Acquay, M. Biltonen, P. Rice and M. Silva *et al.*, 1992. Environmental and economic costs of pesticide use. *BioScience*, 42: 750-760.
8. Foulleux, E. and F. Goulet, 2012. [Firms and sustainable development: The new face of productivism]. *Etudes Rurales*, 190: 131-146, (In French).
9. Stalikas, C.D. and C.N. Konidari, 2001. Analytical methods to determine phosphonic and amino acid group-containing pesticides. *J. Chromatogr. A*, 907: 1-19.
10. Sprankle, P., W.F. Meggitt and D. Penner, 1975. Adsorption, mobility and microbial degradation of glyphosate in the soil. *Weed Sci.*, 23: 229-234.
11. Okada, E., J.L. Costa and F. Bedmar, 2016. Adsorption and mobility of glyphosate in different soils under no-till and conventional tillage. *Geoderma*, 263: 78-85.
12. Mrabet, R., 2001. Le semis direct: Potentiel et limites pour une agriculture durable en Afrique du Nord. CEA/TNG/CDSR/AGR, Centre de Developpement Pour l'Afrique du Nord (CDSR-AN), Tangier, Morocco, December 2001.
13. Barkat, H., 2014. Analysis of the aggregations herpetologic in the high plains Setifiennes (state area of the Beni Aziz). Ph.D. Thesis, Departement de Biologie et Physiologie Animale, Universite Farhet Abbes, Setif, Algeria.
14. Mathieu, C. and F. Pieltain, 2003. *Analyse Chimique des Sols: Methodes Choisies*. Tec and Doc Lavoisier, Paris, ISBN-13: 9782743006204, Pages: 387.
15. Peruzzo, P.J., A.A. Porta and A.E. Ronco, 2008. Levels of glyphosate in surface waters, sediments and soils associated with direct sowing soybean cultivation in North Pampasic region of Argentina. *Environ. Pollut.*, 156: 61-66.
16. Tejada, M., 2009. Evolution of soil biological properties after addition of glyphosate, diflufenican and glyphosate+diflufenican herbicides. *Chemosphere*, 76: 365-373.

17. Grunewald, K., W. Schmidt, C. Unger and G. Hanschmann, 2001. Behavior of glyphosate and Aminomethylphosphonic Acid (AMPA) in soils and water of reservoir Radeburg II catchment (Saxony/Germany). *J. Plant Nutr. Soil Sci.*, 164: 65-70.
18. Giesy, J.P., S. Dobson and K.R. Solomon, 2000. Ecotoxicological Risk Assessment for Roundup® Herbicide. In: *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology: Continuation of Residue Reviews*, Ware, G.W. (Ed.). Springer, New York, USA., ISBN: 978-1-4612-1156-3, pp: 35-120.
19. Mamy, L., B. Gabrielle and E. Barriuso, 2008. Measurement and modelling of glyphosate fate compared with that of herbicides replaced as a result of the introduction of glyphosate-resistant oilseed rape. *Pest Manage. Sci.*, 64: 262-275.
20. Bento, C.P.M., X. Yang, G. Gort, S. Xue and R. van Dam *et al.*, 2016. Persistence of glyphosate and aminomethylphosphonic acid in loess soil under different combinations of temperature, soil moisture and light/darkness. *Sci. Total Environ.*, 572: 301-311.
21. Strange-Hansen, R., P.E. Holm, O.S. Jacobsen and C.S. Jacobsen, 2004. Sorption, mineralization and mobility of *N*-(phosphonomethyl) glycine (glyphosate) in five different types of gravel. *Pest Manage. Sci.*, 60: 570-578.
22. Schroll, R., H.H. Becher, U. Dorfler, S. Gayler, S. Grundmann, H.P. Hartmann and J. Ruoss, 2006. Quantifying the effect of soil moisture on the aerobic microbial mineralization of selected pesticides in different soils. *Environ. Sci. Technol.*, 40: 3305-3312.
23. Haney, R.L. and S.A. Senseman, 2000. Effect of glyphosate on soil microbial activity and biomass. *Weed Sci.*, 48: 89-93.
24. Veiga, F., J.M. Zapata, M.L.F. Marcos and E. Alvarez, 2001. Dynamics of glyphosate and aminomethylphosphonic acid in a forest soil in Galicia, North-West Spain. *Sci. Total Environ.*, 271: 135-144.
25. Jacob, G.S., J.R. Garbow, L.E. Hallas, N.M. Kimack, G.M. Kishore and J. Schaefer, 1988. Metabolism of glyphosate in *Pseudomonas* sp. strain LBr. *Applied Environ. Microbiol.*, 54: 2953-2958.
26. Vereecken, H., 2005. Mobility and leaching of glyphosate: A review. *Pest Manage. Sci.*, 61: 1139-1151.
27. Raunet, M., L. Seguy and C.F. Rabots, 1998. Semis direct sur couverture vegetale permanente du sol: De la technique au concept. Actes de l'Atelier International Gestion Agrobiologique des Sols et des Systemes de Culture, Mars 23-28, 1998, Antsirabe, Madagascar.
28. Schmid, W., M. Dossekou, W.A. Koch and H. Walter, 1983. Aspect of modification and harmfulness of the adventitious flora in the systems in Togo. Actes de la 2ieme Conference Bis. SOAM, Abidjan, Cote d'Ivoire, pp: 19-33, (In French).
29. Peeters, A. and J.F. Salembier, 1995. [Weed Control, Physiological and Agronomic Basis of Crop Production]. In: *Agronomie, Ameziane, T. and E. Persoons (Eds.)*. Chapter 18, Hatier-AUPELF-UREF, Paris, France, pp: 427-464, (In French).
30. Brabham, C.B., C.K. Gerber and W.G. Johnson, 2011. Fate of glyphosate-resistant giant ragweed (*Ambrosia trifida*) in the presence and absence of glyphosate. *Weed Sci.*, 59: 506-511.
31. Ama-Abina, T.J., G.F. Beugre, M.F.D.P. N'Gbesso, N.D. Brou and G.R. Yoro, 2012. [Effect of herbicide and inoculation on the yield factors of soybeans grown on a gravelly plateau soil]. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 6: 1970-1978, (In French).
32. Rouane, S., 2009. Doses minimales biologiquement efficaces pour le desherbage dans la rotation de maïs-soya tolerants au glyphosate et au glufosinate. M.Sc. Thesis, Departement de Phytologie, Faculte des Sciences de l'Agriculture et de l'Alimentation, Universite Laval, Quebec, Canada.
33. Gosme, M., F. Suffert and M.H. Jeuffroy, 2010. Intensive versus low-input cropping systems: What is the optimal partitioning of agricultural area in order to reduce pesticide use while maintaining productivity? *Agric. Syst.*, 103: 110-116.

ANNEXE 03 : Article 3

Evaluation de la biologie du sol sous l'effet du traitement chimique en semis direct dans une zone semi-aride de l'Algérie

Evaluation of the soil biology under the effect of chemical treatment in direct seeding in the semi-arid area of Algeria

Labad Ryma^{1*}, Hartani Tarik¹⁻², Belguet Haroun³, Bendada Hocine³, Louahdi Nasredinne³ et Taibi Mourad³

¹Département de Génie Rural, Ecole Nationale Supérieure Agronomique (ENSA Ex INA), El Harrach, 16000, Algérie.

²Centre universitaire de Tipaza, 42000, Algérie.

³Institut Technique des Grandes Cultures (ITGC). Sétif, 19000, Algérie.

Evaluation de la biologie du sol sous l'effet du traitement chimique en semis direct dans une zone semi-aride de l'Algérie

Evaluation of the soil biology under the effect of chemical treatment in direct seeding in the semi-arid area of Algeria

Labad Ryma^{1*}, Hartani Tarik¹⁻², Belguet Haroun³, Bendada Hocine³, Louahdi Nasredinne³ et Taibi Mourad³

¹Département de Génie Rural, Ecole Nationale Supérieure Agronomique (ENSA Ex INA), El Harrach, 16000, Algérie.

²Centre universitaire de Tipaza, 42000, Algérie.

³Institut Technique des Grandes Cultures (ITGC). Sétif, 19000, Algérie.

* ryma_loulou308@hotmail.fr / r.labad@st.ensa.dz

Résumé:

En tenant compte du rôle des microorganismes dans la préservation de l'écosystème agricole, un essai expérimental a été suivi pour évaluer l'effet du semis direct sur l'activité des microorganismes dans un sol céréalier sous traitement du glyphosate. L'expérimentation a été conduite durant la campagne agricole 2015/2016 au niveau des plaines semi-arides de Sétif où le semis direct connaît une extension progressive dans le temps. La concentration du glyphosate dans le sol a été déterminée par la méthode HPLC-UV tandis que l'évaluation de l'activité biologique a été suivie au laboratoire par la méthode de respirométrie. Des paramètres physico-chimiques du sol ont été déterminés : texture, calcaire total (CaCO_3), capacité d'échange cationique (CEC), matière organique (MO), azote organique(N) et le $\text{pH}_{(\text{eau})}$. Les résultats montrent que le glyphosate atteint le sol lors du traitement des mauvaises herbes. Sa dégradation dans le sol est liée à une activité microbienne exprimée par le taux de CO_2 libéré qui n'indique pas des différences statistiques significatives sous différentes concentrations. Une bonne activité biologique a été enregistrée en présence d'une forte concentration du glyphosate dans le sol. De ce fait, le glyphosate n'a pas d'effets indésirables sur les processus du fonctionnement des micro-organismes du sol dans nos conditions expérimentales.

Mots clés : *semis direct, glyphosate, activité biologique, dégradation.*

Abstract:

Considering the important role of microorganisms in preserving the agricultural ecosystem, an experimental trial was conducted to evaluate the effect of direct seeding on the activity of microorganisms in cereal soil treated by glyphosate. The experiment was conducted during the 2015/2016 agricultural season in the semi-arid plains of Setif, where direct seeding is gradually expanding over the time. The amount of glyphosate in the soil was determined by the HPLC-UV method while the evaluation of biological activity was followed in the laboratory by the respirometry method. The physico-chemical parameters of the soil have been determined: texture, total limestone (CaCO_3), cation exchange capacity (CEC), organic matter (MO), organic nitrogen (N) and $\text{pH}_{(\text{water})}$. The results show that the glyphosate reaches the soil during weed treatment and its degradation in the soil is related to a microbial activity expressed by the released CO_2 . The released CO_2 does not indicate significant statistical differences at different concentrations. Good biological activity was recorded in the presence of a high concentration of glyphosate in the soil. As a result, glyphosate has no adverse effects on the processes of soil micro-organism functioning under our experimental conditions.

Key words: *Direct seeding, glyphosate, biological activity, degradation.*

Introduction:

Les microorganismes du sol jouent un rôle important dans le recyclage des nutriments, le maintien de la structure du sol, la dégradation des agro-chimiques et des polluants ainsi que le contrôle biologique (Lupwaji et al., 2007). Selon Smith et Read (2008), la plupart des espèces végétales ont tendance à s'associer à des micro-organismes, en particulier du sol. Cette association symbiotique peut s'exprimer par plusieurs bénéfices pour les plantes tel que l'augmentation de la tolérance en condition biotique (Harley et Smith, 1983 ; Ortega et al., 2004 ; Atala et al., 2012), l'amélioration de la teneur en éléments nutritifs (Simard et Durall, 2004) et la protection contre les bactéries et les champignons pathogènes (Newshan et al., 1995). De plus, lorsque l'activité biologique est maintenue, l'érosion du sol est réduite, le stockage de la matière organique est amélioré et l'humidité du sol est optimisée (Thomas et al., 2009). Par conséquent, la biomasse microbienne totale apparaît comme un paramètre clé de l'écosystème (Epelde and al., 2008). Le semis direct, un des composants de l'agriculture de conservation, contribue à préserver, augmenter et gérer les ressources naturelles dans le sol en interaction avec l'activité biologique (Machado et al., 2008). De ce fait, la mesure de la biomasse microbienne permet d'évaluer l'influence des pratiques agricoles sur les caractéristiques des sols (Schreck, 2008). Le semis direct est basé sur l'utilisation des herbicides, et la plupart des herbicides appliqués atteignent le sol, le milieu

vital de la microfaune (Bordjiba et Ketif, 2009). En revanche, la dégradation microbienne est le principal processus qui détermine la persistance des herbicides dans le sol (Virginia et al., 2013). Dans les zones semi-arides de l'Algérie où le semis direct connaît une extension progressive, l'interaction entre le glyphosate utilisé en semis direct et l'activité biologique du sol est encore indéfinie. Le but de ce travail est d'évaluer l'activité des microorganismes dans un sol céréalier sous traitement du glyphosate. Notre hypothèse est que l'association « glyphosate- semis direct » dans les zones semi-arides maintient l'activité biologique et assure la dégradation de l'herbicide dans le sol.

Matériel et méthodes

Site expérimental

La réaction biologique du sol avec l'herbicide a été étudiée du mois d'Octobre 2015 jusqu'au Mois d'Avril 2016 sur le site expérimental de l'Institut Technique des Grandes Cultures « ITGC » Sétif, qui se caractérise par un climat semi-aride avec des hivers froids et pluvieux et des étés chauds et secs. Les précipitations moyennes enregistrées durant la campagne d'étude étaient 362.41 mm et la température moyenne était relativement élevée (19.63°C) durant l'expérimentation (Figure 1).

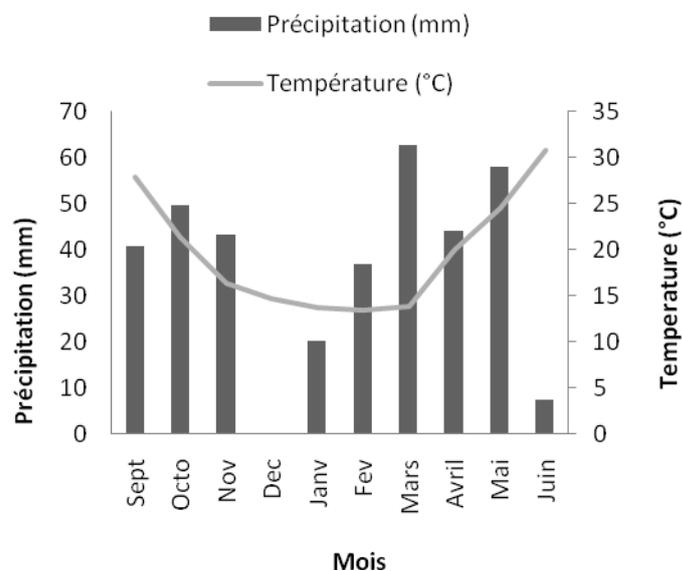


Figure 1 : Diagramme ombrothermique de bagnouls et gausse pour la campagne 2015/2016

Le site se trouve à une altitude de 1080 m, à la latitude 36° 9' N et à la longitude 5° 21' E. Ce site a été initialement choisi parce qu'il a été cultivé pendant huit ans en semis direct avec un traitement chimique des mauvaises herbes à base du glyphosate. La surface d'essai est de 270 m² divisée en trois micro-parcelles. Le matériel végétal utilisé est « *Hordeum vulgare* » avec la variété « Fouara » et le Ridazate (360g/ l du glyphosate) est l'herbicide de prés-semis choisi. Le traitement des mauvaises herbes a été réalisé le 02 Décembre 2015, en respectant la dose de 1080 g/ ha. Les prélèvements du sol ont été répartis dans le temps : Le premier prélèvement a été effectué le 11 Octobre 2015, le deuxième prélèvement a été réalisé le 08 Décembre 2015 et le troisième en 19 Avril 2016.

Méthodes d'analyses

Les propriétés physico-chimiques du sol ont été déterminées au laboratoire après le premier prélèvement réalisé en Octobre 2015, vue que les caractéristiques initiales peuvent influencer la biologie du sol (Chaussod, 1996). A partir du même prélèvement, l'activité biologique du sol a été évaluée en relation avec les résidus du glyphosate dans le sol.

Les méthodes de détermination des propriétés physico-chimiques du sol ont été adaptées aux protocoles décrits dans l'ouvrage des analyses physiques et chimiques par Mathieu et Pieltain (2003).

La teneur en matière organique (MO) du sol a été calculée à partir du dosage de carbone organique (CO) du sol par la méthode d'ANNE, tandis que l'azote total a été déterminé par la méthode de Kjeldahl. Les proportions des particules minérales du sol ont été déterminées par la méthode de « Robinson », le dosage du calcaire total (CaCO₃) a été effectué par le calcimètre de Bernard. L'évaluation de la capacité d'échange cationique (CEC), comme un indicateur de mesure de la fertilité du sol a été déterminée par la méthode de Metson tandis que la valeur du pH_(eau) du sol a été relevée par le pH mètre.

La concentration du glyphosate du sol, la respiration microbienne et l'humidité du sol sont les caractéristiques mesurées à chaque prélèvement. La mesure de l'humidité du sol a été calculée à partir de la formule (1) en déterminant le poids humide et sec du sol.

$$H (\%) = (Ph - Ps) / Ps * 100 \quad (1)$$

La détermination des résidus du glyphosate dans le sol a été réalisée par la méthode HPLC-UV après une phase d'extraction et de dérivation par FMOC-Cl « 9- fluorenyl-methyl chloroformate » (Peruzzo et al., 2008). Tandis que la respiration microbienne a été suivie dans des conditions optimales de laboratoire. Le protocole a été adapté à la norme française XPU 44-163 (AFNOR, 2005). Cinquante grammes du sol ont été incubés à l'obscurité à 28 ± 1 °C dans des flacons en verre hermétiquement fermés (Figure 2). La teneur en eau du sol a été ajustée à 80 % de la capacité au champ du sol. La capacité au champ du sol a été déterminée à partir du calculateur des propriétés hydrauliques (hydrolab.arsusda.gov) en introduisant les caractéristiques physiques du sol (Tableau 1).

Tableau 1: Propriétés hydriques du sol

Propriétés hydriques	
Capacité au champ du sol (%)	38.5
Point de flétrissement (%)	21.5
Humidité du sol en 11 Octobre 2015 (%)	30.23
Humidité du sol en 08 Décembre 2015 (%)	32
Humidité du sol en 19 Avril 2016 (%)	25

Le CO₂ dégagé au cours de l'incubation est piégé dans une solution de la soude (NaOH, 2N). (Réaction chimique 1).



Par la suite le dosage du CO₂ émis a été fait sur 1 ml de soude, 2 ml d'une solution du chlorure de baryum (BaCl₂) à 20% plus 2 gouttelettes d'un indicateur coloré (phénolphthaléine). La solution a été titrée avec l'acide sulfurique (H₂SO₄, 1M) jusqu'au virage de couleur du rose au blanc (Réaction chimique 2).



Les dates de mesure sont : 0, 3, 7, 14, 21 et 28 jours d'incubation pour les trois prélèvements réalisés.

La différence entre les taux de dioxyde de carbone (CO_2) libérés au cours du processus d'incubation en présence des trois concentrations de l'herbicide a été étudiée par une analyse de la variance (ANOVA- one way) avec un intervalle de confiance de 95%.



Figure 2 : Processus d'incubation du sol au laboratoire.

Résultats et discussion

Pour expliquer l'effet du glyphosate sur l'activité microbienne par l'estimation du CO_2 libéré lors du processus d'incubation du sol, il est nécessaire de caractériser le sol d'étude et déterminer la variabilité des résidus de l'herbicide dans le temps.

Les analyses physico-chimiques montrent que la texture du sol est limoneux-argileuse avec une fraction importante d'argile et un taux de calcaire très élevé. Du point de vue fertilité, la CEC du sol est relativement élevée avec un moyen taux de matière organique (Tableau 2). Les caractéristiques du sol d'étude favorisent la rétention du glyphosate dans le sol (Sprankle et al., 1975). De ce fait, en condition de plein champ, la détection des résidus de l'herbicide dans le sol en utilisant l'HPLC-UV a donné des résultats positifs.

Tableau 2 : Caractéristiques générales du sol

Paramètres	
Répartition de la taille des particules du sol	
<i><0.002 mm (Argile) (%)</i>	35.72
<i>0.002-0.05 mm (Limon) (%)</i>	37.82
<i>> 0.05 mm (Sable) (%)</i>	26.45
Matière Organique (MO) (%)	3.95
Carbone Organique (CO) (%)	2.296
L'Azote (N) (%)	0.22
Rapport C/N	10.436
pH _(eau)	7.44
CEC (meq. 100g ⁻¹)	24.583
CaCO ₃ (%)	21.56

Les résultats du premier prélèvement du sol réalisé en Octobre 2015, indiquent la présence de traces du glyphosate (0,380 $\mu\text{g.kg}^{-1}$) issues des traitements précédents. Après le traitement des mauvaises herbes en 2 Décembre 2015 avec la dose de 1080 $\mu\text{g.kg}^{-1}$, la concentration de l'herbicide a augmenté dans le sol. Une concentration de 11.702 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ a été enregistrée à partir du deuxième prélèvement (8 Décembre 2015). Après 140 jours du traitement, la concentration de l'herbicide a diminué jusqu'à 2.277 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ (Figure 3). Par conséquent, la dissipation du glyphosate dans le sol a été observée (Barriuso, 2004).

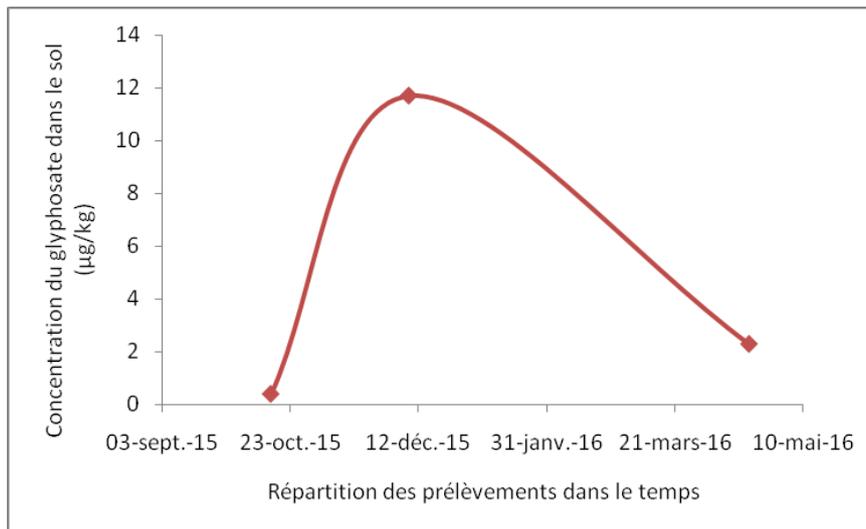


Figure 3 : Cinétique de dissipation du glyphosate dans le temps

Selon Giesy et al. (2000), la dissipation du glyphosate dans le sol est due essentiellement à la dégradation microbienne. En parallèle, l'évaluation du potentiel biologique du sol à travers le rapport C/N montre que le sol d'étude peut être active biologiquement dans un intervalle de pH basique à faiblement alcalin (Tableau 2). En outre les variabilités de l'humidité du sol à chaque prélèvement sont proches à la capacité au champ du sol (Tableau 1), ce qui régularise l'activité biologique dans un sol (Bento et al., 2016)

L'analyse du comportement biologique du sol en conditions contrôlées de laboratoire durant une période d'incubation de 28 jours et en présence des trois concentrations du glyphosate permet de déterminer l'effet de l'herbicide sur la population microbienne. Pour le CO₂ journalier, trois étapes ont été observées (Figure 4) :

- La première étape varie entre 0 et 7ème jour: représente le temps nécessaire pour que les microorganismes s'adaptent aux conditions d'incubation. Une faible production de CO₂ libéré par les microorganismes dans les 3 sols a été enregistrée. La valeur la plus élevée est lié au sol récupéré avant le traitement, en présence de quelques traces de glyphosate (0,38 µg.kg⁻¹). La faible quantité produite s'exprime par une faible activité biologique en début d'incubation.

- La deuxième étape s'étale entre le 7ème et le 21ème jour: c'est l'étape à laquelle une forte activité microbienne a été enregistrée. Le taux de CO₂ produit a atteint 3.96 mg/g dans le cas de la présence de 11.702 µg.kg⁻¹ du glyphosate dans le sol (sol issu du prélèvement de 8 Décembre 2015), ce qui démontre que la présence du glyphosate a un effet significatif sur

les populations microbiennes du sol et leurs activités (Bordjiba et Ketif, 2009).

- Au cours de la dernière semaine d'incubation (la dernière étape qui varie entre le 21ème et le 28ème jour), la quantité de CO₂ produite par les microorganismes du sol enregistre un déclin et une stabilisation pour les trois échantillons du sol. La diminution de l'activité des microorganismes s'explique par l'épuisement des éléments nutritifs au cours de l'étape précédente où la production de CO₂ était maximale.

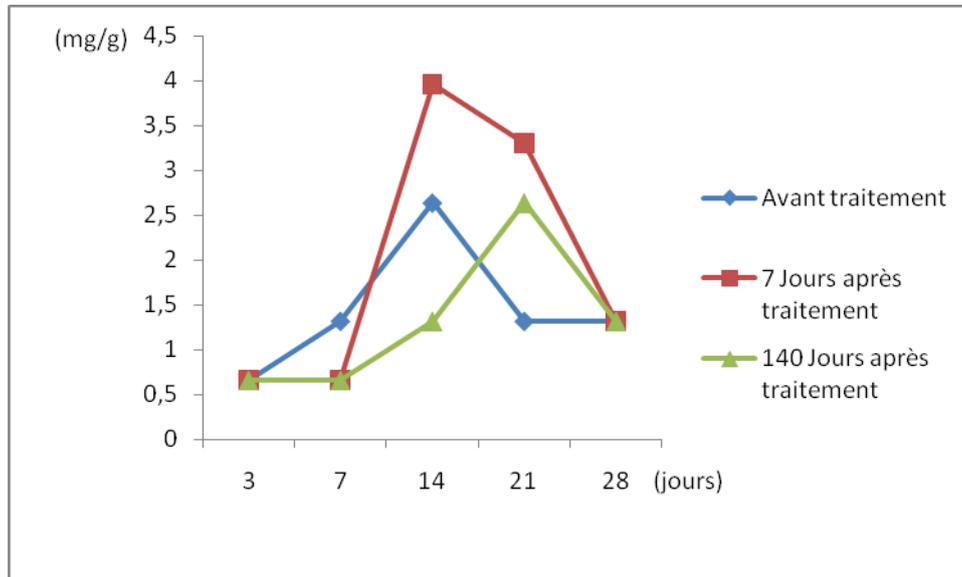


Figure 4 : Le taux de dioxyde de carbone (CO₂) journalier pendant la période d'incubation

En tenant compte de taux du CO₂ cumulé au cours de processus d'incubation (Figure 5), une bonne activité biologique a été enregistrée en présence de 11.702 µg.kg⁻¹ de glyphosate dans le sol par rapport au cas où la concentration est faible (0.380 et 2.277 µg.kg⁻¹). Ce résultat est en accord avec plusieurs travaux de recherche qui suggèrent que l'activité biologique est stimulée en présence du glyphosate dans le sol (Haney et al. 2000 ; Viega et al., 2001).

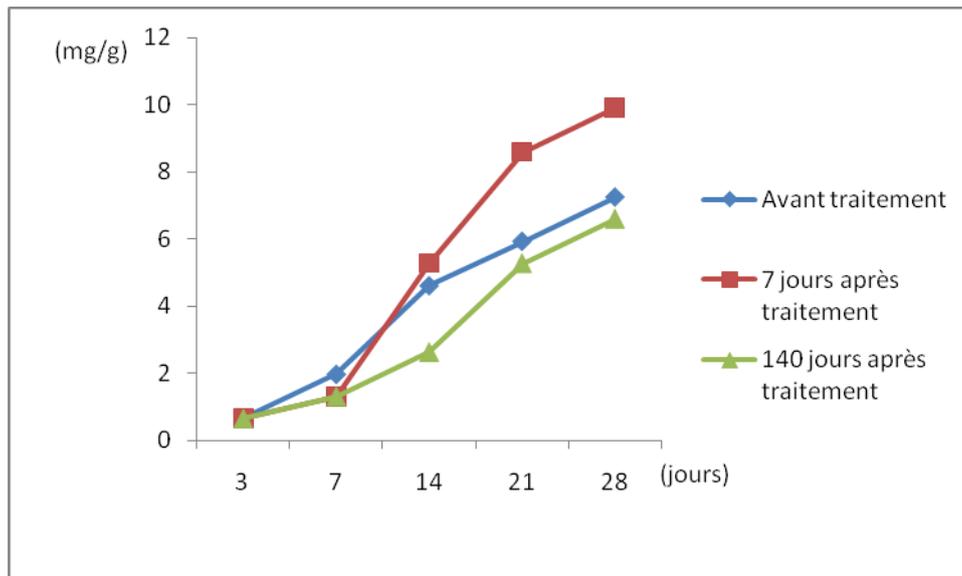


Figure 5: Le taux de dioxyde de carbone (CO₂) cumulé pendant la période d'incubation

Dans le présent cas d'étude, la dissipation du glyphosate dans le sol a été observée en relation avec une production de dioxyde de carbone qui se traduit par une activité biologique du sol. Le taux de CO₂ libéré lors du processus d'incubation sous différentes concentrations de l'herbicide n'indique pas des différences statistiques significatives. De ce fait, le glyphosate a été dégradé et n'a pas affecté le processus d'activité microbienne (Sprankle et al., 1975). Par conséquent, le glyphosate peut se dégrader dans un sol qui répond à certaines caractéristiques du sol (humidité, pH, disponibilité de matière organique facilement dégradable et une bonne CEC).

Conclusion

Les résultats de ce travail montre que lors du traitement des mauvaises herbes par le glyphosate, quelques fractions atteignent le sol et peuvent persister jusqu'à 140 jours. Les caractéristiques physiques, chimiques et biologiques d'un sol cultivé pendant huit ans en semis direct ont engendré la dissipation de l'herbicide dans le sol. De ce fait, le glyphosate n'est pas un inhibiteur de l'activité microbienne qui favorise sa dissipation dans le temps. En fin, l'association « glyphosate- semis direct » dans les zones semi-arides maintient l'activité biologique et assure la dégradation de l'herbicide dans le sol malgré sa persistance.

La pertinence de ces résultats se focalise sur la connaissance du devenir de l'herbicide dans le sol en semis direct et ses effets sur la biologie du sol dans une des zones semi-arides de l'Algérie.

RÉFÉRENCES

AFNOR, Standard on the incubation method under controlled conditions. French standardization XPU 44-163, 2005.

Atala, C., Muñoz-Caponi, E., Pereira, G., Navarrete, E., Oses, R., Molina-Montenegro, M.A. 2012. "Impact of mycorrhizae and irrigation in the survival of seedlings of *Pinus radiata* D. Don subject to drought". *Gayana Bot.*, vol. 69, p296-304.

Barriuso, E. 2004. Assessment of the environmental risks of pesticides. INRA Edition, p 123.

Bento, Celia P.M., Xiaomei, Yang, Gemit Gort, Sha Xue, Rudd van Dam, Paul Zomer, Hans, G.J. Mol, Coen J. Ritsema, Violette, Geissen. 2016. "Persistence of glyphosate and aminomethylphosphonic acid in loess soil under different combinations of temperature, soil moisture and light/ darkness". *Science of the total environment*, vol. 572, p301-311.

Bordjiba O. et Ketif A. 2009. " Effect of three Pesticides (Hexaconazole, Bromuconazole and Fluazifopppbutyl) on some Biochemical Metabolites of the Hard Wheat: *Triticum durum*" Faculty of Sciences, Departement of Biology, University of Badji Mokhtar Annaba, *European journal of Scientific Research*, p. 260-268.

Chaussod R. 1996. Biological quality of soils. Evaluation and application. Study and soil management, pp 3-4.

Epelde L, Mijangos I, Becerril JM, Garbisu C. 2008. « Soil microbial community as bioindicator of the recovery of soil functioning derived from metal phytoextraction with sorghum ». *Soil Biology and Biochemistry*.

Giesy, J. P., Dobson, S., Solomon, K. R. 2000. Ecotoxicological risk assessment for Roundup herbicide. Reviews of environmental contamination and toxicology. *Springer*, 35–120.

Haney, R., Senseman, S., Hons, F., Zuberer, D. 2000. Effect of glyphosate on soil microbial activity and biomass. *Weed Science* **48** (1), 89–93.

Harley, J.L., Smith, S.E. 1983. *Mycorrhizal Symbiosis*. Academic Press, London, pp 483.

Lupwayi, N.Z., K.G. Hanson, K.N. Harker, G.W. Clayton, R.E. Blackshaw, J.T. O'Donovan, E.N. Johnson, Y.Gan, R.B. Irvine, M.A. Monreal. 2007. "Soil microbial biomass, functional diversity and enzyme activity in glyphosate-resistant wheat – canola rotation under low- disturbance direct seeding and conventional tillage". *Soil Biology and Biochemistry*, vol.39, pp. 1418–1427.

Machado S., Terie S., Rhinhart K., Ramig R.E. 2008. "Tillage effects on water use and grain yield of winter wheat and green pea in rotation". *Agron.J.*, vol. 100, pp. 154-162.

Mathieu Clément, Pieltain Françoise. 2003. *Analyse chimique des sols « Méthodes choisies »*, 386p.

Newsham, K.K., Fitter, A.H., Watkinson, A.R. 1995. "Multi-functionality and biodiversity in arbuscular mycorrhizas". *Trends Ecol.*, vol. 10, pp. 407-411.

Ortega, U., Duñabeitia, M., Menéndez, S., González-Murúa, C., Majada, J. 2004. "Effectiveness of mycorrhizal inoculation in the nursery on growth and water relations of *Pinus radiata* in different water regimes". *Tree Physiol.* Vol. 24, pp.65-73.

Peruzzo, Pablo J., Atilio A. Porta, Alicia E. Ronco. 2008. « Levels of glyphosate in Surface waters, sediments and soils associated with direct sowing soybean cultivation in north pampasic region of Argentina". *Environmental Pollution*, vol. 156, pp. 61-66.

Schreck Eva. 2008. Influence of maintenance of soil in wine environment for the transfer of herbicides to water infiltration- Impact on Earthworms, University of Paul Sabatier- Toulouse III.

Simard, S.W., Durall, D.M. 2004. "Ectomycorrhizal networks: a review of their extent, function and importance". *Can. J. Bot.*, vol. 82, p 1140-1165.

Smith, S.E., Read, D.J. 2008. *Mycorrhizal Symbiosis*, third ed. Academic, San Diego, USA.

Sprankle, P., Meggit, W.F. and Penner, D. 1975. "Adsorption, mobility, and microbial degradation of glyphosate in the soil". *Weed Sci.* 23, p 229-234.

Tejada, M. 2009. Evolution of soil biological properties after addition of glyphosate, diflufenican and glyphosate + diflufenican herbicides. *Chemosphere* **76** (3), 365–373.

Thomas F., Archambeaud M., Billerot S., Carville C. 2009. Conservation technics of soils, Madison, France, p. 106.

Viega, F., Zapata, J., Marcos, M. F., Alvarez, E. 2001. Dynamics of glyphosate and aminomethylphosphonic acid in a forest soil in Galicia, north-west Spain. *Science of the total environment* **271** (1), 135–144.

Virginia C. Aparicio, Eduardo De Gerónimo , Damián Marino , Jezabel Primost , Pedro Carriquiriborde , José L. Costa. 2013. « Environmental fate of glyphosate and aminomethyl- phosphonic acid in surface waters and soil of agricultural basins ». *Chemosphere*, vol. 93, pp. 1866–1873.

ANNEXE 04 : Questionnaire de l'enquête

Informations sur le chef d'exploitation :

1/Nom et Prénom :

2/Commune :

3/Age :

4/Activité professionnelle : Agriculteur Autre

5/Le statut de l'exploitation : Privé EAC EAI Institutionnel

I/Avant l'introduction du semis direct :

Caractéristiques pédoclimatiques des exploitations agricoles :

6/Les caractéristiques des sols :

7/ Conditions climatiques :

Information sur les spéculations cultivées:

8/La surface agricole totale :

9/La culture principale pratiquée :

Surface consacrée

10/Les cultures secondaires ou les pratiques culturales secondaires

Surface consacré

11/ La rotation culturale pratiquée

12/Quel sont les problèmes ou les facteurs limitant de la céréaliculture dans votre région

II/Après l'introduction de semis direct :

13/Depuis quand vous pratiquez le semis direct ?

14/Quel sont les points encourageantes pour pratiquer le semis direct ?

15/La rotation culturale que vous pratiquez

16/Surface du blé en semis direct ?

17/Surface du blé en technique conventionnelle ?

18/Surface d'orge en semis direct ?

19/Surface d'orge en technique conventionnelle ?

20/Surface consacrée pour autres cultures ?

21/Comment vous pratiquez le semis direct (itinéraire) ?

22/Avez-vous des problèmes d'érosion au niveau des terrains agricoles ?

Oui Non

23/En pratiquant le semis direct l'érosion a diminué ?

Oui Non

24/Les rendements obtenus par le semis direct (en comparant par la technique conventionnelle) ?

25/Est-ce que vous pensez que le semis direct est la meilleure solution pour vos problèmes de la céréaliculture ? OUI NON

26/Quel sont les remarques que vous apportez sur le semis direct ?

27/Quel sont les herbicides que vous utilisés en semis direct ?

28/Avez-vous travaillé par le glyphosate ? Par quelle formule commerciale ?

29/La période d'application des herbicides ?

30/Quelles sont les conditions climatiques d'application du glyphosate ?

31/Quelles sont les doses appliquées ?

32/Sur quelle base vous avez fait le choix de l'herbicide ?

33/Le type des mauvaises herbes traités/ ou la famille des mauvaises herbes présentent dans vos sols

34/Avez-vous pensé aux inconvénients du semis direct

Oui Non

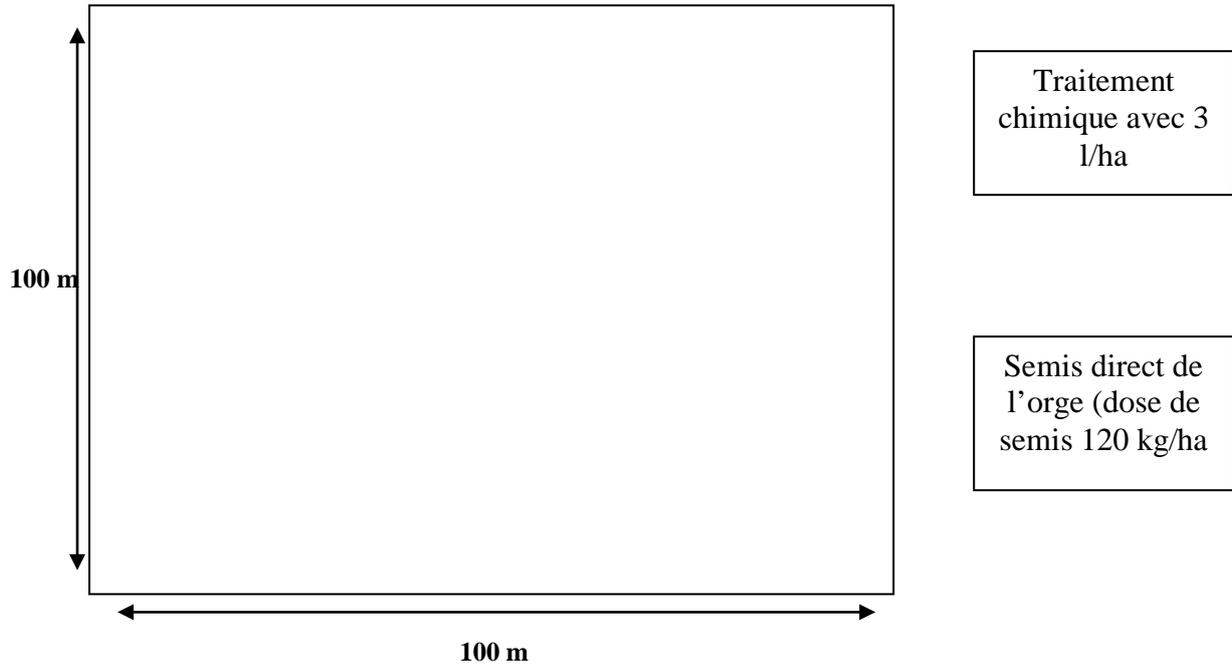
35/A votre avis quelles seront ses inconvénients ?

36/Vis-à-vis le glyphosate avez-vous des remarques à apporter ou quelques soucis concernant son action sur le sol à long terme ?

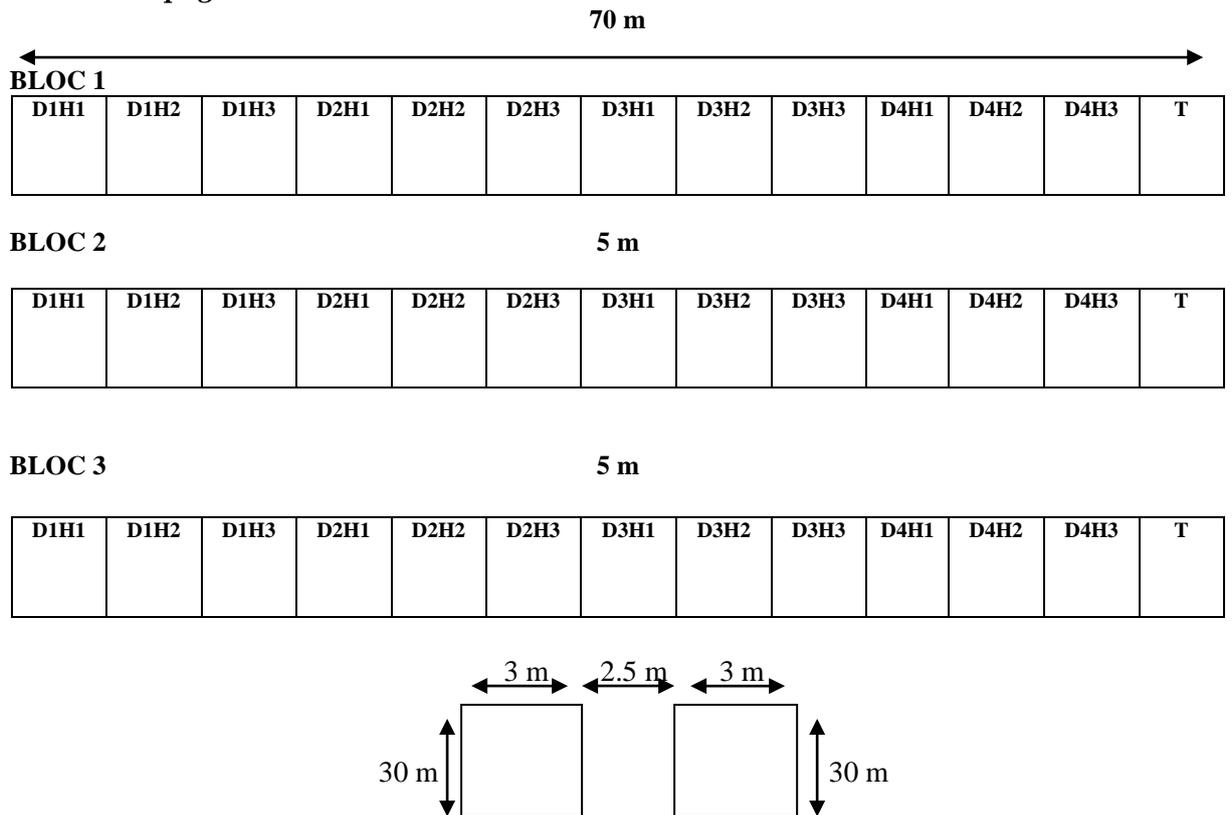
37/ Qu'est ce que vous pouvez proposer comme substitution de glyphosate ?

ANNEXE 05 : Dispositif expérimental

- *Compagne 2014-2015*



- *Compagne 2015-2016*



ANNXE 06 : Protocoles des analyses réalisées

1/ Détermination de la texture du sol

Réactifs :

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

Mode opératoire :

Destruction de la matière organique

Faire 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 bécher pour descendre la mousse en y ajoutant au besoin quelques gouttes d'alcool éthylique pour faciliter la destruction et laisser reposer une nuit pour l'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% (0.5 ml) jusqu'à ce que le chauffage ne produisait plus de réaction, accélérer éventuellement l'attaque à chaud par 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 claire) et l'absence de dégagement de mousse qui indiquent la fin de l'opération (attaque à chaud). Le traitement peut demander plusieurs heures et nécessite de nouvelles additions d'eau oxygénée si la terre est très humifère et l'échantillon doit rester toujours mouillé.

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, agité en milieu alcalin (50 ml d' hexamétaphosphate de sodium) pendant 2h à l'agitateur mécanique, transvaser dans une allonge de sédimentation de 1000 ml et bien rincer le flacon d'agitation pour entraîner la totalité des particules dans l'allonge et couvrir l'allonge avec un filme alimentaire.

Prélèvement par sédimentation : Utilisation de la pipette Robinson :

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 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)

1/ Argile+ Limon

Au bout d'une température, on prélève à une profondeur une partie aliquote (10-20 ml) de la fraction Argile +Limon. 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, 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.

2/ Argile

Après une nouvelle agitation vigoureuse, opérer exactement de la même façon. 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.

3/ 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

Calcul :

Pour chaque échantillon, Nous avons 3 récipients avec les tares suivantes : P₁, P₂, 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 1er prélèvement: $(M_1 - P_1 - X)$ 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.

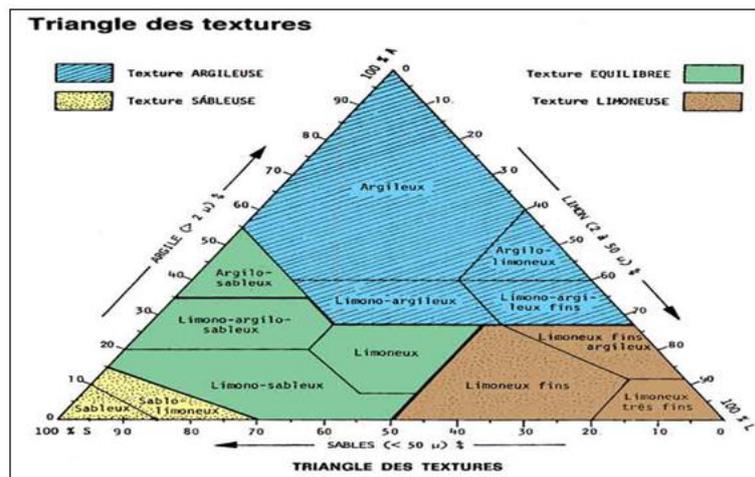
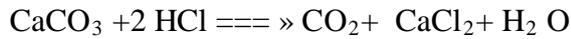


Fig. A6. 1. Triangle des textures

2/ Détermination du taux de calcaire totale dans le sol

Par le Calcimètre de BERNARD

L'acide chlorhydrique est ajouté à un échantillon de sol, pour décomposer les carbonates de calcium présents.



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 analyse 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.

Réactifs et appareillage :

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

Mode opératoire :

Étalonnage 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'Arlène, il va servir à étalonner l'appareil.
- Remplir le petit tube à essai d'HCL (6N) que l'on place délicatement dans l'Arlène au moyen de pinces en ayant soin, qu'aucune goutte ne tombe sur le CaCO₃.
- Boucher soigneusement l'Arlène.
- Faire la lecture du niveau de burette : soit V₀ le volume lu.
- Renverser l'acide sur le CaCO₃ 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), soit VR le volume dégagé par l'échantillon de sol. Déterminer V1, V0 et VR pour le sol.

Calcul et expression des résultats :

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

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

VR=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.

3/ Détermination de la capacité d'Echange Cationique CEC

Méthode de Metson (procédé par percolation)

Le matériel nécessaire : Allonge droite à percolation (1 par échantillon, diamètre intérieure 42 mm), support pour tube de percolation, sable stérile, pré filtre de verre ou laine de quartz, bécher de 250 ml (1 par échantillon).

Réactif : Solution d'ammoniaque (NH_3) 1 mol.L^{-1} , solution d'acide acétique (CH_3COOH) 1 mol.L^{-1} , solution d'acétate d'ammonium ($\text{CH}_3\text{COONH}_4$) 1 mol.L^{-1} , éthanol à 95° , solution de chlorure de potassium (KCl) 10%, solution d'hydroxyde de sodium (NaOH) 45%, réactif de Nessler, indicateur mixte, solution d'acide sulfurique (H_2SO_4) $0,005 \text{ mol.L}^{-1}$, solution d'acide borique (H_3BO_3) 2%.

Mode opératoire

Bien homogénéiser 20 g du sol séché à l'air libre avec 20 g de sable stérile, verser le mélange dans l'allonge à percolation, contenant déjà un préfiltre avec la laine de quartz et 10 g de sable, recouvrir le mélange sol-sable de 10g de sable. Verser à plusieurs reprises 25 ml de solution d'acétate d'ammonium, recueillir à plusieurs reprises le percolât dans une fiole jaugée de 250 ml, faire percoler jusqu'à 220 ml, ajuster au volume avec la solution d'acétate d'ammonium, homogénéiser et conserver cette solution pour le dosage des cations échangeables. Sous les allonges à percolation, des béchers de 250 ml sont mises en place. Faire placer 25 ml d'éthanol, répéter 4 à 5 fois cette opération, prélever quelques gouttes du percolât dans un tube à essai et ajouter 3 gouttes du réactif de Nessler, faire percoler la solution du chlorure de potassium. Recueillir le percolât dans une fiole jaugée de 250 ml, ajuster au volume avec la solution de chlorure de potassium et homogénéiser.

Un échantillon témoin est nécessaire.

Distillation

Après la mise en marche de l'appareil Parnas- Wagner, prélever 20 ml de l'extrait au chlorure de potassium et introduire dans l'appareil, placer l'erlenmeyer de 200ml contenant 25 ml de solution d'acide borique et 6 gouttes d'indicateur mixte en dessous, ajouter très lentement dans l'appareil Parnas- Wagner, 15 ml d'hydroxyde de sodium, distiller jusqu'à environ 120 ml de distillat dans l'erlenmeyer, distiller le témoin en suivant les mêmes étapes, doser avec la solution d'acide sulfurique.

Calcul

La capacité d'échange cationique est égale à :

$$(V_2 - V_1) 2N \cdot V / A \cdot 100 / G \text{ (meq.} 100 \text{ g}^{-1})$$

V_1 : volume d'acide sulfurique utilisé pour l'essai à blanc (mL)

V_2 : volume d'acide sulfurique utilisé pour doser l'échantillon (mL)

A : volume de l'aliquote à distiller (20 mL)

V : volume initial (250 mL)

G : poids de la prise de sol (20g)

N : concentration de la solution d'acide sulfurique, exprimé en mol.L⁻¹.

4/ Détermination de la matière organique dans le sol

Méthode de « ANNE »

La teneur en matière organique totale du sol s'obtient généralement en dosant la teneur en Carbone organique dans le sol.

Principe de la méthode :

La matière organique est oxydée par un mélange de Bichromate de Potassium et l'acide sulfurique. L'excès de Bichromate est titré par le sel de Mohr.

Réactifs :

Acide Sulfurique pur, Bichromate de Potassium, Sel de Mohr, Diphénylamine

Mode opératoire :

Utilisation d'un sol séché et tamisé à 0.2 mm, pesage de 0.25 g du sol, introduire la prise d'essai dans un ballon pyrex on ajoutant 10 ml de Bichromate et 15 ml de l'acide sulfurique. Porter 5 min à l'ébullition douce, compter les 5 min dès le début de l'ébullition, laisser refroidir. Par la suite, transvaser dans une fiole jaugée de 200 ml, lavé trois fois avec l'eau distillée jusqu'à concurrence de 150 ml, amener au volume. Prélevé une partie aliquote, 20 à 40 ml, verser dans un bécher de 250 ml, diluer à 200 ml environ, ajouter 0.5 g de Fluorure de Sodium NaF en poudre et 3 gouttes de diphénylamine ou plus. La titration de la solution se fait par le sel de Mohr jusqu'au virage du couleur : la couleur passe du bleu foncé au bleu vert

Le Calcul :

1 équivalent gramme M/6 de bichromate attaque ¼ d'atome de C, soit 3 gammes.

1 ml de sel de bichromate 0.2 N oxyde 0.6 mg de Carbone corrigé par 100/97.6 correspondant à 0.615 mg de C (coefficient de correction de « ANNE »)

On effectue un témoin avec n la quantité versé de sel de Mohr pour le témoin et n' pour la quantité de sel de Mohr pour l'échantillon.

$$C\% = (n - n') * 0.615 * p$$

Pour obtenir le taux de la matière organique :

$$MO\% = CO\% * 1.724$$

5/ Détermination de l'azote dans le sol

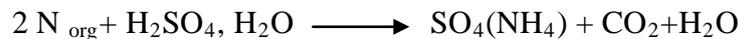
Méthode de Kjeldhal

La détermination de la matière organique azotée du sol repose sur trois étapes :

1^{ère} étape : minéralisation

Le sol est détruit par oxydation lors d'une ébullition avec de l'acide sulfurique (H₂SO₄) concentré, en présence de catalyseur : le carbone s'élimine sous forme de dioxyde de carbone (CO₂), l'hydrogène sous forme d'eau et l'azote reste en solution sous forme d'ion ammonium (NH⁴⁺).

Équation de minéralisation :



Le pH acide permet au sel d'ammonium d'apparaître sous sa forme acide de l'ammonium NH⁴⁺. La dégradation de la matière organique azotée se fait à l'aide d'un catalyseur et de l'acide sulfurique à haute température.

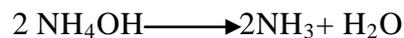
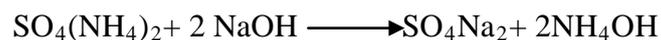
Les conditions de la minéralisation sont :

- Température de minéralisation : 410 °C minimum
- Durée de minéralisation : 1h minimum

2^e étape : distillation

La deuxième étape est la distillation à froid de l'ammonium par l'ajout d'un excès de soude : le but est de transformer l'ammonium sous sa forme volatile, l'ammoniac.

Équation de distillation :



La soude est ajoutée en excès afin de changer le pH acide en un pH basique, ce qui a pour effet d'obtenir de l'ammoniac. L'ammoniac NH₃ est entraîné par la vapeur d'eau pendant la distillation. Les vapeurs d'ammoniac sont ensuite condensées au contact d'un réfrigérant.

L'eau piégée ainsi l'ammoniac sous forme d'hydroxyde d'ammonium.

Équation de rétention de l'acide :



3e étape : le titrage

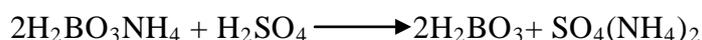
La troisième étape est le titrage colorimétrique direct de l'ammoniac complexé avec de l'acide borique par une solution titrante d'acide sulfurique. Les vapeurs d'hydroxyde d'ammonium sont recueillies dans une solution contenant un indicateur coloré et de l'acide borique. L'acide borique est un acide faible qui se complexe avec l'hydroxyde d'ammonium.

Équation de complexation :



Le complexe réagit chimiquement de la même manière que l'ammoniac NH_3 . La solution est titrée par de l'acide sulfurique peu concentré.

Équation de titrage :



L'équivalence est visible par le virage de l'indicateur coloré du vert au rose. L'acide borique est un acide faible, il ne libère pas d'ions H^+ et n'interfère donc pas avec le pH.

Le calcul

$$N \text{ g/100 g (100\%)} = (V_2 - V_1) * C * 0.140 * V/A * 100/g$$

V_2 : H_2SO_4 consommé pendant la titration de l'échantillon en ml.

V_1 : H_2SO_4 consommé pendant la titration du blanco en ml.

A : aliquote à distiller en ml.

V : volume initial.

g : poids de la prise de terre en g.

C : concentration de la solution d' H_2SO_4

6/ Détermination du pH de sol

Matériel et réactifs

PH-mètre, balance de précision, agitateur magnétique, petites bouteilles, pipette à 10 ml. Eau distillée, solution tampon à pH 7,00 et solution tampon à pH 4,00

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 20 g de sol (broyé et tamisé à 2 mm) dans une petite bouteille et ajouter 50 ml d'eau distillée.
- Agiter pendant 2 heures avec un agitateur magnétique
- Laisser reposer pendant 30 minutes.
- Plonger l'électrode dans la solution et prendre la lecture après stabilisation du pH-mètre.

7/ Détermination de l'humidité du sol

L'humidité du sol a été déterminée pour chaque prélèvement. Le sol prélevé par la tarière à deux profondeurs (0-20 cm, > 20 cm) est pesé à l'état frais et après le séchage dans l'étuve pendant 24h. L'humidité du sol a été calculée à partir de la formule suivante :

$$H (\%) = (Ph - Ps / Ps) * 100$$

Avec :

Ph : poids du sol humide

Ps : poids du sol sec

8 / Détermination de la capacité au champ du sol

L'humidité de la capacité au champ correspond à l'eau retenue par un sol après une période de pluie et un ressuyage de deux ou trois jours. A ce niveau, l'eau est non mobilisable par la force de la gravité. Elle correspond à la quantité maximale d'eau que le sol peut contenir dans les conditions où son drainage se trouve assuré librement (Duchaufour, 1995), l'eau est alors retenue par la matrice du sol sous l'effet des forces de capillarité (Pettenati, 2007).

La quantité d'eau restant dans le sol à la saturation et à la capacité au champ varie avec la texture de sol, le contenu de matière organique et la structure. L'argile et le contenu de matière organique d'un horizon de sol définissent principalement la teneur en eau du sol au point de flétrissement permanent.

L'humidité de la capacité au champ a été déterminée par le calculateur développé par USDA Agricultural Research Service en collaboration avec Washington State University disponible sur :

<http://http/hydrolab.arsusda.gov/soilwater/index.htm>

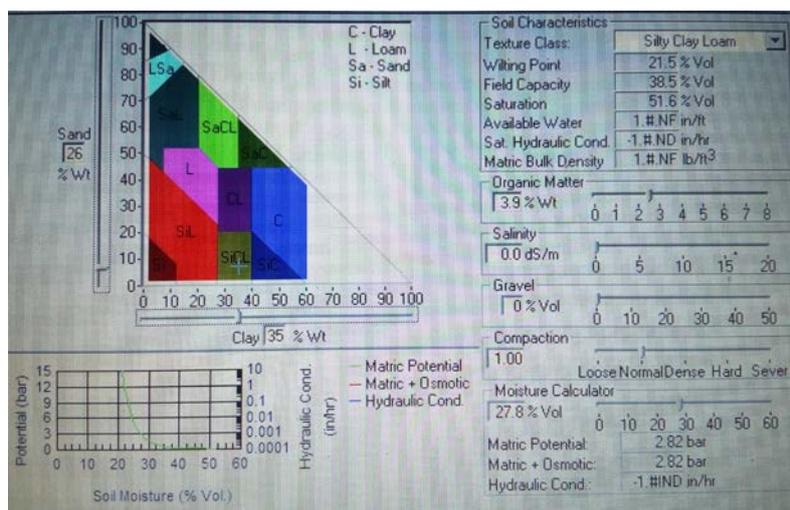


Fig. A6. 2. Caractéristiques d'eau du sol d'étude établi par le Calculateur des Propriétés Hydrauliques (<http://http/hydrolab.arsusda.gov/soilwater/index.htm>)

9/ Détermination de l'activité biologique du sol

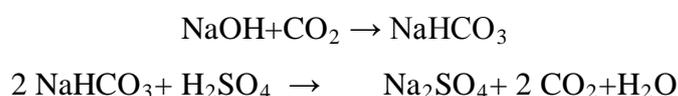
La respiration microbienne a été suivie dans des conditions optimales de laboratoire.

Cinquante grammes de chaque sol sec ont été incubés à l'obscurité à 28 ± 1 °C dans des flacons en verre de 1000 ml de volume, hermétiquement fermés. La teneur en eau du sol a été ajustée à 80 % la capacité au champ.

Le CO₂ dégagé au cours de l'incubation est piégé dans 15 ml de soude (NaOH, 1N) contenu dans des piluliers en plastique mis avec le sol dans les bocaux.

Pour chaque traitement, 3 répétitions sont réalisées, les dates de mesure sont : 0, 3, 7, 14, 21 et 28 jours d'incubation. À chaque date, les piluliers de soude sont sacrifiés pour la mesure de la quantité de CO₂ dégagé à l'intérieur des bocaux. Pour évaluer la carbonatation initiale de la soude et celle du CO₂ de l'air ambiant, 3 piluliers de soude sont placés dans 3 bocaux vides mis en incubation. Le dosage du CO₂ émis se fait sur 1 ml de soude prélevé après homogénéisation dans le pilulier. La soude ayant réagi avec le CO₂ précipite en présence de 2 ml d'une solution de chlorure de baryum (BaCl₂ à 20 %). La soude restante est titrée avec de l'acide sulfurique (H₂SO₄, 1M) jusqu'au virage de l'indicateur coloré (phénolphtaléine) du rose au blanc.

Réactions :



Calcul:

$$\text{CO}_2 \text{ (mg/ g de terre)} = (V_1 - V_2) * V' / 1.386 * g$$

V_1 : volume de H₂SO₄ pour témoin (ml)

V_2 : volume de H₂SO₄ pour échantillon (ml)

V' : volume NaOH (ml)

g: poids de la prise d'essai (g)

10/ Détermination du glyphosate dans le sol

Extraction et préparation de l'échantillon

Après séchage et tamisage du sol, mélanger 15 g du sol avec KH₂PO₄ 0,1 M, agité pendant 15 minutes, centrifuger à 3500 tr/min pendant 10 minutes. Filtrer la solution recueillie par papier Whatman n°1, faire l'extraction deux fois pour obtenir 25 ml de chaque échantillon. Filtrer la solution extraire par membrane cellulosique 0.45 mm.

La dérivation de l'échantillon

Ajouter 0.25 ml de Borate Buffer 5% à 1 ml de la solution filtrée et 0.30 ml de FMOC-Cl 2Mm préparé en CHCl₃.

Mettre la solution à 40°C dans l'obscurité pendant 24 h, ajouté 0.30 ml de H₃PO₄ 2%. Le produit dérivé Gly-FMOC est analysé par CLHP.

La manipulation par CLHP

Avant toute manipulation, un lavage de la colonne par le méthanol a été effectué. La colonne utilisée pour la quantification du glyphosate est C₁₈. La phase mobile utilisée pendant toute la période de détection est isocratique (65% H₃PO₄ (0.05 M, pH= 6.1), 35% d'acétonitrile).

Après la préparation de la phase mobile, une courbe d'étalonnage de l'appareil a été réalisée. Les étalons sont préparés par le produit pur (l'herbicide) à différentes concentrations.

Par la suite, un volume de 10 µl d'échantillon est injecté dans la colonne. Selon les résultats d'étalonnage, la détection du glyphosate est à 5.80 min. De ce fait, la concentration de l'herbicide dans le sol est exprimée par la surface du pic délivrée par le système de la CLHP. Par la suite, à l'aide de la courbe d'étalonnage la surface du pic est exprimée en concentration.

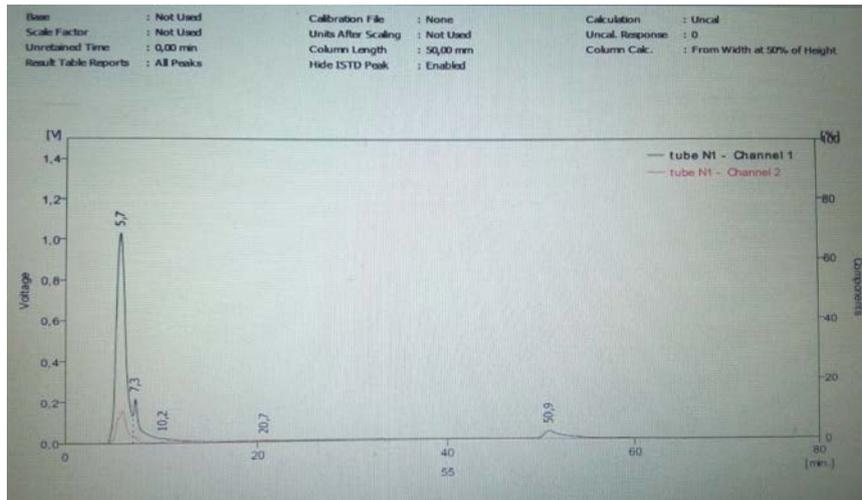


Fig. A6. 3. Pique de détection du glyphosate par CLHP (YL9100 Clarity system)

La détermination des limites de quantification et de détection

Il n'existe pas de protocole universel pour déterminer les limites de détection et de quantification en CLHP. Plusieurs approches sont possibles. Parmi celles-ci la technique « pratique » relative à la mesure du rapport signal sur bruit de fond.

En injectant dans le système chromatographique des solutions à blanc, un pic caractérisé par une hauteur h et largeur w se délivre par le système. La surface du pic exprime une faible concentration dite « bruit de fond ».

$$LD=3*BDF$$

$$LQ=10*BDF$$

11/ Détermination de temps de demi-vie du glyphosate (DT50)

Le DT50 représente le temps pris pour la dégradation (mesurée au laboratoire) ou de la dissipation (au champ) de 50% de la quantité appliquée au départ d'un herbicide (Mamy, 2004).

Le DT50 est calculé par la formule suivante :

$$DT50= \ln (2)/ K$$

Avec :

K : constante de vitesse de dissipation du premier ordre.

$$K= \ln (N_0/N_t)/T$$

Avec :

N_0 : concentration initiale de l'herbicide

N_t : concentration des résidus dans le sol après un temps T

T : temps ou période d'analyse

12/ Détermination du pH de l'eau

La détermination du pH de l'eau a été réalisée par le pH-mètre. Avant la lecture, un étalonnage de l'appareil est nécessaire.

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.

Mode opératoire :

Plonger l'électrode dans l'eau (50 ml) et prendre la lecture après stabilisation du pH-mètre.

13/ Détermination de la conductivité Electrique (CE)

La mesure de la conductivité permet d'obtenir une estimation de la teneur globale en sels telle que des chlorures, sulfates et carbonates. Les mesures ont été effectuées à l'aide d'un conductimètre. Un volume de 20 ml a été pris pour chaque échantillon d'eau. L'électrode a été plongée dans le bécher et la lecture a été optée après stabilisation du conductimètre.

14/ Détermination du Calcium Ca^{+2} , de Magnésium Mg^{+2} et de Sodium Na^{+2} dans l'eau

La méthode de Spectrophotométrie de flamme

Une aliquote de 50 ml pour chaque échantillon d'eau a été mise dans des fioles en polyéthylène et conservée au réfrigérateur jusqu'au jour d'analyse.

En utilisant le spectrophotomètre à flamme, une gamme d'étalonnage pour chaque cation doit être préparée pour pouvoir comparer les résultats des échantillons d'eau. Par la suite, les échantillons d'eau sont pulvérisés par la flamme ce qui provoque leurs évaporation. Les sels et leurs produits de décomposition sont dissociés à l'état d'atomes ou de radicaux. Ceux-ci sont excités par l'énergie thermique de la flamme. Leur retour à l'état fondamental s'accompagne de l'émission d'une radiation de fréquence caractéristique de l'élément mis en solution et l'intensité est fonction de sa concentration (Nriagu et Pacyna, 1988).

ANNEXE 07: Résultats numériques

Tableau A1 : Caractéristiques physico-chimiques du sol d'étude

Paramètres	Horizon 1 (H ₁)	Horizon 2 (H ₂)
Répartition de la taille des particules du sol		
<0.002 mm (Argile %)	35.72	
0.002-0.05 mm (Limon %)	37.82	
> 0.05 mm (Sable %)	26.45	
CaCO ₃ (%)	21.56	26.99
pH _(eau)	7.44	7.45
Capacité d'échange cationique	24.58	24.41
CEC (mEq.100g ⁻¹)		
Matière organique MO (%)	3.95	3.80
Carbone organique CO (%)	2.296	2.209
Azote organique N (%)	0.22	0.198
Rapport C/N	10.436	11.156

Tableau A2 : Propriétés hydriques du sol

Propriétés hydriques du sol	
Humidité du sol (%) Octobre 2015	30.23
Humidité du sol (%) Décembre 2015	32
Humidité du sol (%) Février 2016	45
Humidité du sol (%) Mars 2016	37
Humidité du sol (%) Avril 2016	25
Capacité au champ	38.5
Point de flétrissement	21.5

Tableau A3 : Temps de demi-vie du glyphosate en condition de plein champ

Dose (g.ha ⁻¹)	D ₁ (1080 g.ha ⁻¹)	D ₂ (900 g.ha ⁻¹)	D ₃ (720 g.ha ⁻¹)	D ₄ (540 g.ha ⁻¹)
DT ₅₀ (jours)	59	55	61	75

ISSN : 1812-5379 (Print)
ISSN : 1812-5417 (Online)
<http://ansijournals.com/ja>

JOURNAL OF AGRONOMY



ANSI*net*

Asian Network for Scientific Information
308 Lasani Town, Sargodha Road, Faisalabad - Pakistan



Research Article

Optimum Herbicide Dose Management in Direct Seeding for Cereals Production: Case of Semi-arid Area of Algeria

¹Ryma Labad, ^{1,2}Tarik Hartani and ³Gopal Uttamrao Shinde

¹National School of Agronomy, Agricultural Water Management Laboratory, Department of Rural Engineering,, Algiers, Algeria

²Tipaza University Center, Tipaza, Algeria

³Department of Farm Machinery and Power, Vasant Rao Naik Marathwada Agricultural University, Parbhani, India

Abstract

Background and Objective: The herbicide application for weed control and yield response achievement in direct seeding is a challenging task in cereal productions. Mostly the direct seeding is linked to the use of glyphosate, the herbicide with many environmental effects have been showed. The present research study experimented during two subsequent years 2014/2015 and 2015/2016 in a semi-arid area of Algeria on cereal plots aimed to study a possible management of weed in direct seeding for a sustainable production.

Materials and Methods: Considering some characteristics of the studied soil (texture, calcium carbonate, cation exchange capacity, organic matter, C/N ratio and soil moisture), four doses of glyphosate were tested: 1080, 900, 720 and 540 g ha⁻¹ with residual concentrations in the soil. The fate of glyphosate in the soil was followed over a period of 140 days and the concentrations were measured by HPLC-UV following derivatization step. The yield was determined depending on doses applied and glyphosate dissipation. For the statistical analysis of the data, one-way ANOVA (p<0.05) was performed. **Results:** Seven days after treatment, the concentrations of glyphosate in the soil were important in the first horizon (0- 0.20 m). The measurements showed that the herbicide fractions have dissipated in the deep layers of the soil (0.20 m). The amount of glyphosate remaining in the soil 140 days after application depended on the doses applied. The high herbicide residues and the maximum yield (1.9 t ha⁻¹) were obtained in response to the highest dose of herbicide (1080 g ha⁻¹) applied. **Conclusion:** If the high dose is reduced to 65% of its content, the yield decreases to 1.4 t ha⁻¹, which is reasonable during a transition period from conventional tillage to conservation tillage for soil and environment safety.

Key words: Cereal productions, glyphosate, direct seeding, dissipation, soil and environment safety

Citation: Ryma Labad, Tarik Hartani and Gopal Uttamrao Shinde, 2018. Optimum herbicide dose management in direct seeding for cereals production: Case of semi-arid area of Algeria. *J. Agron.*, 17: 99-105.

Corresponding Author: Ryma Labad, National School of Agronomy, Agricultural Water Management Laboratory, Department of Rural Engineering, Algiers, Algeria Tel: (+213) 775 187 662

Copyright: © 2018 Ryma Labad *et al.* This is an open access article distributed under the terms of the creative commons attribution License, which permits unrestricted use, distribution and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

Competing Interest: The authors have declared that no competing interest exists.

Data Availability: All relevant data are within the paper and its supporting information files.

INTRODUCTION

Intensive farming system requires the use of herbicide to get maximum yield from the available land. This applies equally to tillage based conventional farming as to no till farming¹. The 1970s marked the introduction of glyphosate, this herbicide transformed grain production in Western Canada as it facilitated the widespread adoption of minimum-till and zero-till farming systems². The falling price of the predominant herbicide, glyphosate, had a significantly positive effect on the adoption of no-till, with 78% of farmers practicing no-till in 2008³. No-till or direct seeding as a conservation technology of soils is a sustainable fight against poverty in Europe, even in Asia and Africa⁴. However, the high use of herbicides in direct seeding as “glyphosate” is the active matter and the results of many research suggest toxic effect of glyphosate⁵⁻⁶, environmental and agricultural sciences focus their attention on the study of this herbicide. Knowing the use of herbicides, is toxic for the environment and for non-target organisms including pollinators and wildlife, contaminates the soil, water and air thereby, affecting ecosystem functioning, favours the selection of resistant pests and causes acute and chronic toxicity to humans⁷. In this context, many firms demonstrated the benefits of the direct seeding through two main axes: A first one is “environmental” which aims to underline the ecological virtue of this technique, while the second one is to contribute to the food challenge by maintaining a high productivity level⁸. Although there is not a specific method to analyze glyphosate in the environment⁹, many results worldwide showed the effect and the fate of glyphosate on the agricultural environment (soil, water, sediment) under controlled and field conditions¹⁰⁻¹¹. In North Africa, the convergence to direct seeding as a conservation agriculture using glyphosate for chemical weed control aims to improve the food production and to conserve soil quality, especially that a severe weed control is important during the first years of adaptation of direct seeding¹². The present research interests to a possible management of chemical weed control in direct seeding for a sustainable production. Researchers hypothesis is that the direct seeding machinery combined to a suitable dose of glyphosate can enhance cereal production and preserve soil quality with safety measures in the same time. The HPLC-UV detection method was used with previous derivatization step by 9-Fluorenylmethylchloroformate (FMOC-Cl) to analyze the amount of glyphosate in the soil. Moreover, the time dependent residual amount of the glyphosate in the soil was assessed for four doses of herbicide to analyze the cereal production afterwards.

MATERIALS AND METHODS

Field experiments: Field experiments were conducted in the high plains of Setif Eastern Algeria over an area of 1080 m² for S₁ (2014/2015) and S₂ (2015/2016) season. The direct seeding was the main technique used in the last 8 years. The experimental site divided into five plots for the different glyphosate treatments of weed (four treatments and one control plot) with three repetitions. In S₁, weed treated by one dose of glyphosate (1080 g ha⁻¹). The climate is semi-arid with a cold rainy winter and a hot dry summer. The amount of rainfall and temperature during the S₁ and S₂ agricultural seasons were presented in the Fig. 1. Temperatures were relatively high during the two seasons compared to 17.96°C average temperature of the last 10 years¹³. The soil is moderately deep (40-70 cm) with a slight slope (0-3%) and solid calcareous crust at a depth of 60 cm. The soil characteristics which are presented in the Table 1, were determined using the method of Mathieu and Pieltain¹⁴: Organic matter (OM) content was calculated from the measurement of organic carbon (OC) using the ANNE method, the total nitrogen (Na⁺) by Kjeldahl method, the pH of the soil (pH_{water}) measured with a pH meter, cations exchange capacity (CEC) using the Metson method and total calcium carbonate (CaCO₃) measured with a calcimeter. In this study, two soil horizons considered (Horizon1 H₁: 0-0.2 m and Horizon 2 H₂:0.2-0.6 m).

Glyphosate management and soils sampling: The glyphosate formulation known as ‘Ridazate’ (Aoko BV manufacturer, 360 g L⁻¹) was used. In S₁, the dose of 1080 g ha⁻¹ was applied while in S₂, four doses selected based on surveys of farmer’s conducted in S₁: D₁ (1080 g ha⁻¹), D₂ (900 g ha⁻¹), D₃ (720 g ha⁻¹) and D₄ (540 g ha⁻¹). The control plot (T) which not receives treatment was reserved. The barley (*Horidium vulgare*) was the cereal sown in S₂. Soil

Table 1: General characteristics of the soil

Parameters	First horizon 0-20 cm (H ₁)	Second horizon >20 cm (H ₂)
Particle size distribution		
<0.002 mm (clay) (%)	35.720	35.720
0.002-0.05 mm (silt) (%)	37.820	37.820
>0.05 mm (sand) (%)	26.450	26.450
Organic matter (OM) (%)	3.950	3.800
Organic carbon (OC) (%)	2.296	2.209
Nitrogen (N) (%)	0.220	0.198
C/N ratio	10.436	11.156
pH water	7.440	7.450
CEC (mEq/100 g)	24.583	24.418
CaCO ₃ (%)	21.560	26.990

samples were collected at dates that depended on the barley growing stages to determine the variation of glyphosate concentrations in the soil (Table 2). The soil moisture was measured for all sampling dates and for both horizons. For each dose, 30 soil samples were collected. Cereal yields were estimated after harvesting.

Glyphosate laboratory analysis: Derivatization was carried out as follows: 0.25 mL of borate buffer 5% and 0.30 mL of FMOC-Cl 2 mM in CHCl₃ were added to 1 mL of sample. Glyphosate concentrations were determined by HPLC-UV. The methodology closely followed that described by Peruzzo *et al.*¹⁵. The concentration of herbicide was measured after extracting 15 g of soil sample with KH₂PO₄ 0.1 M, agitated for 15 min, centrifuged for 10 min at 3500 rpm and filtered through Whatman filter paper (No. 1). The extraction was repeated on solid residue to obtain a 25 mL extract from each sample. Extracts were then filtered through 0.45 mm cellulose acetate membrane. The reaction was stopped after 24 h at 40°C in the dark (water bath). The reaction was stopped, 0.30 mL of H₃PO₄ (2%) were added and the sample was stored at 4°C until analysis. The derived product (Gly- FMOC) was analysed using HPLC (YL9100 HPLC System,

YL Clarity software). The chromatographic conditions were a 50 mm C₁₈ column, mobile phase: 65% H₃PO₄ 0.05 M pH = 6.1, 35% acetonitrile at 0.8 mL min⁻¹, UV detection took place at 206 nm at a temperature of 25°C and a pressure of 65 bars.

Statistical analysis: Analysis of variance (one-way ANOVA) was performed of variations in the concentrations of glyphosate over time and the effect of the doses on yield using the Statgraphics v. 5.0 software package. The ANOVA was based on the HSD criterion (honestly significant difference) with a significance level of p<0.05 throughout the study.

RESULTS AND DISCUSSION

The present research work result to obtain an optimum glyphosate dose management in semi-arid environment for cereals production. The experimental observations and results obtained during research activities such as dissipation and yield responses of glyphosate were discussed as follows.

Follow up of glyphosate in the soil: The detection of glyphosate in the soil under field conditions using the HPLC method in the present research work shows positive results where the molecule was detected in the soil during S₁ and S₂. The concentration of herbicide applied in December, 2014 (1080 g ha⁻¹) was not totally dissipated over a period of 319 days. In fact, 0.380 µg kg⁻¹ measured in the first 20 cm of soil (H₁). The follow-up of control soil during S₂ indicated some fractions remaining in the first horizon of the soil from the previous application (1080 g ha⁻¹) at different times sampling (Fig. 2).

In the deeper soil layers (>20 cm), the glyphosate concentration was under the limit of quantification (LQ = 0.264 µg kg⁻¹) between 319 and 506 days after a first application. The small concentrations detected in the first horizon were not transferred to the deep under rainfall event occurred during S₂. In S₂ and to follow the fate of

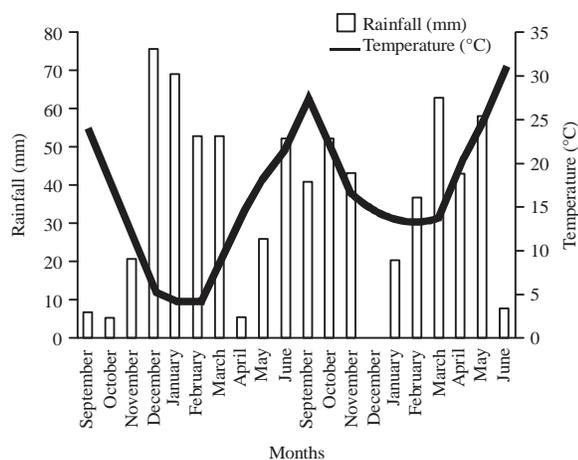


Fig. 1: Cumulative precipitations and average temperatures of studied region (Setif), during 2014/2015-2015/2016 seasons

Table 2: Glyphosate treatment and soil sampling schedule

S ₁ (2014/2015)		S ₂ (2015/2016)	
Treatment (D ₁)	December 1st, 2014	Treatment (D ₁ , D ₂ , D ₃ , D ₄)	December 2th, 2015
Seeding	December 8th, 2014	Seeding	December 7th, 2015
First sampling	October 15th, 2015	First sampling	December 8th, 2015
Second sampling	February 9th, 2016	Second sampling	February 9th, 2016
Third sampling	March 20th, 2016	Third sampling	March 20th, 2016
Fourth sampling	April 24th, 2016	Fourth sampling	April 24th, 2016
		Harvesting	June, 2016

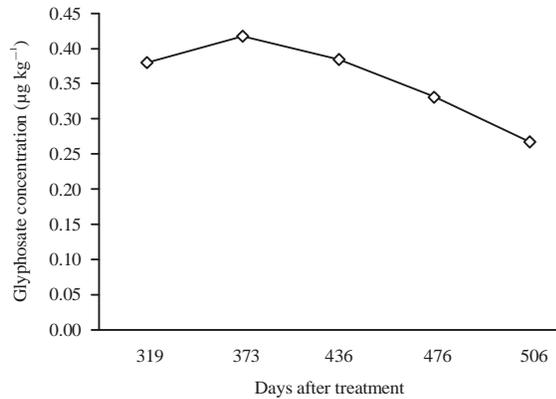


Fig. 2: Glyphosate distribution from the first application (from 2014 to 2016)

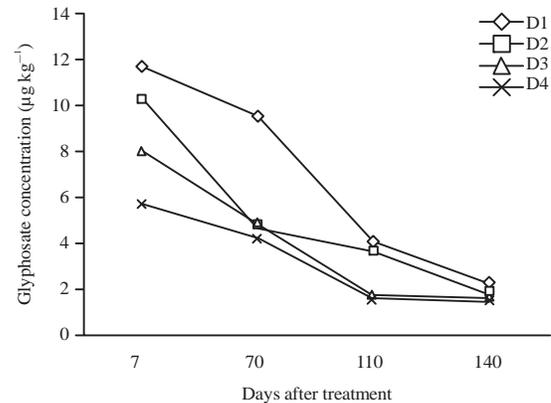


Fig. 4: Glyphosate distribution in the time for second horizon (2015/2016 season), varied between 20-60 cm

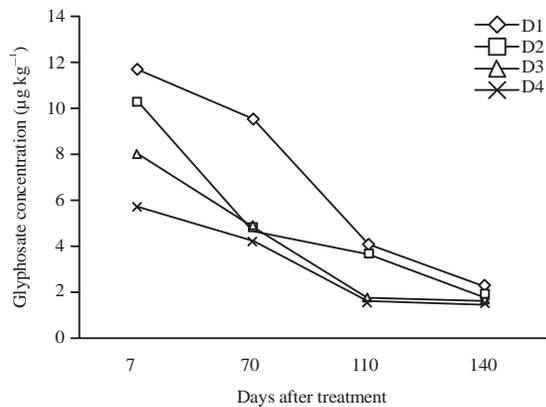


Fig. 3: Glyphosate distribution in the time for first horizon (2015/2016 season), varied between 0-20 cm

different glyphosate concentrations in the soil, the analysis period was determined by 140 days. After application of the four doses, the concentrations of glyphosate in the soil were 11.702 µg kg⁻¹ with D₁, 10.36 µg kg⁻¹ with D₂, 8.033 µg kg⁻¹ with D₃ and 5.72 µg kg⁻¹ with D₄ at 7 days after treatment, in the first horizon. These results confirmed that some fractions of glyphosate have reached the soil at the time of weeds treatment¹⁶. The dissipation of glyphosate on first 20 cm of soil was lent during the analysis period. The fractions remaining in the soil, 140 days after second treatment, were approximately 18% with D₁ and D₂ and 23% with D₃ and D₄ (Fig. 3).

The glyphosate dissipation that described by SFO kinetics, gives variable half-life values depending on the doses applied (Table 3). The applied low dose concentration (540 g ha⁻¹) corresponds to the high value of DT₅₀. The dissipation half-live values of glyphosate found under field conditions were high compared to the results of literature¹⁷. Giesy *et al.*¹⁸ found that

the dissipation of glyphosate is essentially due to the microbial degradation but it is limited by its adsorption¹⁹. The evaluation of the biological potentiality of the soil through the C/N ratio shows that the studied soil could be very active biologically where the temperature and soil moisture "the most important factors regulating microbial activity"²⁰, were high thus affecting glyphosate dissipation^{21,22} (Table 3).

The high half-life value found under low glyphosate concentration (D₄) could be explained by the fact that high concentration of glyphosate in the soil stimulates microbial activity^{23,24} and may use it for phosphorus source²⁵, so degradation phenomena should be accelerate. It is known that the high half-live value of herbicides in the field could cause its transfer in the soil. This finding was observed in the second horizon, where no clear trend of glyphosate concentrations was found for all the doses (Fig. 4). The glyphosate dissipation under field conditions was due to dispersion or transfer phenomena related to rainfall event. Seven days after application, the values measured were: 1.281, 1.048, 0.929 and 0.758 µg kg⁻¹, respectively from the first dose (1080 g ha⁻¹) to the last one (540 g ha⁻¹). Seventy days later, the amount of glyphosate increased at a rate of 34.5% with D₁, D₂ and D₃ and 18.63% with D₄. These observations suggested that glyphosate has been dispersed significantly in the deep soil layer after 24.8 mm of rainfall recorded in the second sampling (p<0.05). These results confirmed the significant effect of rainfall on glyphosate dissipation in the soil¹⁵.

From the third sampling date one, the glyphosate content in the soil decreased significantly (p<0.05) until the last sample (140 days after application). The analyses of the second horizon showed the mobility of glyphosate in the soil²⁶.



Fig. 5: Observed cereal production under different doses in field conditions

Table 3: Half-life values of glyphosate under field conditions

Samples	Soil moisture (%)	Samples	Average temperature (°C)	DT ₅₀	Days
1	32	1	7.66	D ₁	59
2	45	2	7.35	D ₂	55
3	37	3	7.35	D ₃	61
4	25	4	15.16	D ₄	75

Table 4: Cereal yields in response to herbicide doses and residues in the soil

Treatments	Yield (t ha ⁻¹)	Herbicide residues in H ₁ (µg kg ⁻¹)	Herbicide residues in H ₂ (µg kg ⁻¹)
D ₁	19.419	2.227	1.554
D ₂	14.518	1.780	1.592
D ₃	13.960	1.625	1.330
D ₄	12.893	1.466	1.185
T	5.019	0.267	L.Q.

L.Q: Limit of quantification = 0.264 (µg kg⁻¹)

Assessing yields responses to glyphosate doses: In direct seeding, the use of herbicides involves weed control, especially before crops seeding and at the beginning of its cycle²⁷.

The yield was found to vary depending on the dose of glyphosate applied (D₁, D₂, D₃, D₄), which confirm that the use of herbicides increase grain yield and reduce competition with weed^{28,29}. The highest yield obtained (1.9 t ha⁻¹) was found in response to the highest dose of glyphosate applied (1080 g ha⁻¹). A reduction of applied dose was related to the yield loss due to the weed development, while low yield was obtained in the control soil plot (Fig. 5). Brabham *et al.*³⁰ and Ama-Abina *et al.*³¹ found that a better yield was obtained with treated soil compared to control soil, where the pressure of the weed was, therefore, higher in the control soil plot and displayed rapid and early season growth. Based on these

results, the yield variation was significant using D₁ and D₄ (p<0.05), in the contrary, the variation of yield using D₂ and D₃ is not significant. These results were similar with that observed by Rouane³² when a significant difference of yield using a half-dose certified of herbicide linked to weed development was found.

However, the increase in yield corresponds to the highest dose linked to the low value of DT₅₀ and high residues compared to the other doses (Table 4). Herbicides are likely useful tool for weeds management particularly in the first years after shifting from conventional tillage to conservation tillage¹. To equilibrate the balance between environment and production, the substituting of D₁ by D₃ implying 65% fewer herbicide and 30% loss of grain yield is proposed. This alternative should be a reasonable option during transition period from conventional tillage to conservation tillage where

the amount of plant infestation and the emergence of annual grasses tend to increase¹². In fact, "less pesticides and reduced yields" should be acceptable in terms of decreased soil contamination and also better human health, derived from the use of smaller amounts of pesticides, leading, thus to an increased sustainability of various ecosystems³³.

CONCLUSION

In semi-arid area where the cereal production depends on rainfall conditions, the shift to no-till farming should be necessarily. The present research reflects a real effect of the direct seeding in semi-arid area where the old technique has reached their limits. It provides environmental indicators to manage cereal production systems in the least harmful way possible. The use of a total herbicide is an indispensable tool to preserve production level but a safe threshold concentration including a lowering of the doses must exist. Consequently, the suitable doses should be applied in relation with the soil characteristics. Based on study results, it was observed that use of glyphosate to manage weed control in direct seeding could be an indispensable tool for cereal production under field conditions, without irrigation. Some fractions of glyphosate achieved the soil at the time of weed treatment and, the dissipation of glyphosate in the soil under field conditions depends on the dose applied, the soil characteristics and climatic conditions.

SIGNIFICANCE STATEMENT

This field study explores the ways to strength the cereal production after the introduction of the direct seeding practice. It particularly highlights about the impacts of a diversity of glyphosate herbicide doses and occurrences applications on both the grain yield and the soil quality and discusses the possibility to obtain a reasonable production with a minimum adverse effects on the soils. This study will help the researchers to uncover the critical area of the large crop production facing new environmental challenges. Thus, a new approach of the conservation agriculture that ensures an efficient weed treatment and sustainable production may be arrived at.

REFERENCES

1. Friedrich, T., 2005. Does no-till farming require more herbicides? *Outlooks Pest Manage.*, 16: 188-191.

2. Holm, F. and E. Johnson, 2010. A brief history of herbicide use in Western Canada. *Proceedings of the 17th Australian Weeds Conference*, September 26-30, 2010, Christchurch, New Zealand, pp: 77-79.
3. Llewellyn, R.S., F.H. D'Emden, M.J. Owen and S.B. Powles, 2009. Herbicide resistance in rigid ryegrass (*Lolium rigidum*) has not led to higher weed densities in Western Australian cropping fields. *Weed Sci.*, 57: 61-65.
4. Derpsch, R., 1999. Historical review of no tillage cultivation of crops. *Proceeding of the 1st JIRCAS Seminar on Soybean Research*, March 5-6, 1998, Foz do Iguacu, Brazil.
5. Le Couteur, D.G., A.J. McLean, M.C. Taylor, B.L. Woodham and P.G. Boar, 1999. Pesticides and Parkinson's disease. *Biomed. Pharmacother.*, 53: 122-130.
6. Gasnier, C., C. Dumont, N. Benachour, E. Clair, M.C. Chagnon and G.E. Seralini, 2009. Glyphosate-based herbicides are toxic and endocrine disruptors in human cell lines. *Toxicology*, 262: 184-191.
7. Pimentel, D., H. Acquay, M. Biltonen, P. Rice and M. Silva *et al.*, 1992. Environmental and economic costs of pesticide use. *BioScience*, 42: 750-760.
8. Fouilleux, E. and F. Goulet, 2012. [Firms and sustainable development: The new face of productivism]. *Etudes Rurales*, 190: 131-146, (In French).
9. Stalikas, C.D. and C.N. Konidari, 2001. Analytical methods to determine phosphonic and amino acid group-containing pesticides. *J. Chromatogr. A*, 907: 1-19.
10. Sprankle, P., W.F. Meggitt and D. Penner, 1975. Adsorption, mobility and microbial degradation of glyphosate in the soil. *Weed Sci.*, 23: 229-234.
11. Okada, E., J.L. Costa and F. Bedmar, 2016. Adsorption and mobility of glyphosate in different soils under no-till and conventional tillage. *Geoderma*, 263: 78-85.
12. Mrabet, R., 2001. Le semis direct: Potentiel et limites pour une agriculture durable en Afrique du Nord. CEA/TNG/CDSR/AGR, Centre de Developpement Pour l'Afrique du Nord (CDSR-AN), Tangier, Morocco, December 2001.
13. Barkat, H., 2014. Analysis of the aggregations herpetologic in the high plains Setifiennes (state area of the Beni Aziz). Ph.D. Thesis, Departement de Biologie et Physiologie Animale, Universite Farhet Abbes, Setif, Algeria.
14. Mathieu, C. and F. Pieltain, 2003. *Analyse Chimique des Sols: Methodes Choisies*. Tec and Doc Lavoisier, Paris, ISBN-13: 9782743006204, Pages: 387.
15. Peruzzo, P.J., A.A. Porta and A.E. Ronco, 2008. Levels of glyphosate in surface waters, sediments and soils associated with direct sowing soybean cultivation in North Pampasic region of Argentina. *Environ. Pollut.*, 156: 61-66.
16. Tejada, M., 2009. Evolution of soil biological properties after addition of glyphosate, diflufenican and glyphosate+diflufenican herbicides. *Chemosphere*, 76: 365-373.

17. Grunewald, K., W. Schmidt, C. Unger and G. Hanschmann, 2001. Behavior of glyphosate and Aminomethylphosphonic Acid (AMPA) in soils and water of reservoir Radeburg II catchment (Saxony/Germany). *J. Plant Nutr. Soil Sci.*, 164: 65-70.
18. Giesy, J.P., S. Dobson and K.R. Solomon, 2000. Ecotoxicological Risk Assessment for Roundup® Herbicide. In: *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology: Continuation of Residue Reviews*, Ware, G.W. (Ed.). Springer, New York, USA., ISBN: 978-1-4612-1156-3, pp: 35-120.
19. Mamy, L., B. Gabrielle and E. Barriuso, 2008. Measurement and modelling of glyphosate fate compared with that of herbicides replaced as a result of the introduction of glyphosate-resistant oilseed rape. *Pest Manage. Sci.*, 64: 262-275.
20. Bento, C.P.M., X. Yang, G. Gort, S. Xue and R. van Dam *et al.*, 2016. Persistence of glyphosate and aminomethylphosphonic acid in loess soil under different combinations of temperature, soil moisture and light/darkness. *Sci. Total Environ.*, 572: 301-311.
21. Strange-Hansen, R., P.E. Holm, O.S. Jacobsen and C.S. Jacobsen, 2004. Sorption, mineralization and mobility of *N*-(phosphonomethyl) glycine (glyphosate) in five different types of gravel. *Pest Manage. Sci.*, 60: 570-578.
22. Schroll, R., H.H. Becher, U. Dorfler, S. Gayler, S. Grundmann, H.P. Hartmann and J. Ruoss, 2006. Quantifying the effect of soil moisture on the aerobic microbial mineralization of selected pesticides in different soils. *Environ. Sci. Technol.*, 40: 3305-3312.
23. Haney, R.L. and S.A. Senseman, 2000. Effect of glyphosate on soil microbial activity and biomass. *Weed Sci.*, 48: 89-93.
24. Veiga, F., J.M. Zapata, M.L.F. Marcos and E. Alvarez, 2001. Dynamics of glyphosate and aminomethylphosphonic acid in a forest soil in Galicia, North-West Spain. *Sci. Total Environ.*, 271: 135-144.
25. Jacob, G.S., J.R. Garbow, L.E. Hallas, N.M. Kimack, G.M. Kishore and J. Schaefer, 1988. Metabolism of glyphosate in *Pseudomonas* sp. strain LBr. *Applied Environ. Microbiol.*, 54: 2953-2958.
26. Vereecken, H., 2005. Mobility and leaching of glyphosate: A review. *Pest Manage. Sci.*, 61: 1139-1151.
27. Raunet, M., L. Seguy and C.F. Rabots, 1998. Semis direct sur couverture vegetale permanente du sol: De la technique au concept. Actes de l'Atelier International Gestion Agrobiologique des Sols et des Systemes de Culture, Mars 23-28, 1998, Antsirabe, Madagascar.
28. Schmid, W., M. Dossekou, W.A. Koch and H. Walter, 1983. Aspect of modification and harmfulness of the adventitious flora in the systems in Togo. Actes de la 2ieme Conference Bis. SOAM, Abidjan, Cote d'Ivoire, pp: 19-33, (In French).
29. Peeters, A. and J.F. Salembier, 1995. [Weed Control, Physiological and Agronomic Basis of Crop Production]. In: *Agronomie, Ameziane, T. and E. Persoons (Eds.)*. Chapter 18, Hatier-AUPELF-UREF, Paris, France, pp: 427-464, (In French).
30. Brabham, C.B., C.K. Gerber and W.G. Johnson, 2011. Fate of glyphosate-resistant giant ragweed (*Ambrosia trifida*) in the presence and absence of glyphosate. *Weed Sci.*, 59: 506-511.
31. Ama-Abina, T.J., G.F. Beugre, M.F.D.P. N'Gbesso, N.D. Brou and G.R. Yoro, 2012. [Effect of herbicide and inoculation on the yield factors of soybeans grown on a gravelly plateau soil]. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 6: 1970-1978, (In French).
32. Rouane, S., 2009. Doses minimales biologiquement efficaces pour le desherbage dans la rotation de maïs-soya tolerants au glyphosate et au glufosinate. M.Sc. Thesis, Departement de Phytologie, Faculte des Sciences de l'Agriculture et de l'Alimentation, Universite Laval, Quebec, Canada.
33. Gosme, M., F. Suffert and M.H. Jeuffroy, 2010. Intensive versus low-input cropping systems: What is the optimal partitioning of agricultural area in order to reduce pesticide use while maintaining productivity? *Agric. Syst.*, 103: 110-116.

Evaluation de la biologie du sol sous l'effet du traitement chimique en semis direct dans une zone semi-aride de l'Algérie

Evaluation of the soil biology under the effect of chemical treatment in direct seeding in the semi-arid area of Algeria

Labad Ryma^{1*}, Hartani Tarik¹⁻², Belguet Haroun³, Bendada Hocine³, Louahdi Nasredinne³ et Taibi Mourad³

¹Département de Génie Rural, Ecole Nationale Supérieure Agronomique (ENSA Ex INA), El Harrach, 16000, Algérie.

²Centre universitaire de Tipaza, 42000, Algérie.

³Institut Technique des Grandes Cultures (ITGC). Sétif, 19000, Algérie.

* ryma_loulou308@hotmail.fr / r.labad@st.ensa.dz

Résumé:

En tenant compte du rôle des microorganismes dans la préservation de l'écosystème agricole, un essai expérimental a été suivi pour évaluer l'effet du semis direct sur l'activité des microorganismes dans un sol céréalier sous traitement du glyphosate. L'expérimentation a été conduite durant la campagne agricole 2015/2016 au niveau des plaines semi-arides de Sétif où le semis direct connaît une extension progressive dans le temps. La concentration du glyphosate dans le sol a été déterminée par la méthode HPLC-UV tandis que l'évaluation de l'activité biologique a été suivie au laboratoire par la méthode de respirométrie. Des paramètres physico-chimiques du sol ont été déterminés : texture, calcaire total (CaCO_3), capacité d'échange cationique (CEC), matière organique (MO), azote organique(N) et le $\text{pH}_{(\text{eau})}$. Les résultats montrent que le glyphosate atteint le sol lors du traitement des mauvaises herbes. Sa dégradation dans le sol est liée à une activité microbienne exprimée par le taux de CO_2 libéré qui n'indique pas des différences statistiques significatives sous différentes concentrations. Une bonne activité biologique a été enregistrée en présence d'une forte concentration du glyphosate dans le sol. De ce fait, le glyphosate n'a pas d'effets indésirables sur les processus du fonctionnement des micro-organismes du sol dans nos conditions expérimentales.

Mots clés : *semis direct, glyphosate, activité biologique, dégradation.*

Abstract:

Considering the important role of microorganisms in preserving the agricultural ecosystem, an experimental trial was conducted to evaluate the effect of direct seeding on the activity of microorganisms in cereal soil treated by glyphosate. The experiment was conducted during the 2015/2016 agricultural season in the semi-arid plains of Setif, where direct seeding is gradually expanding over the time. The amount of glyphosate in the soil was determined by the HPLC-UV method while the evaluation of biological activity was followed in the laboratory by the respirometry method. The physico-chemical parameters of the soil have been determined: texture, total limestone (CaCO_3), cation exchange capacity (CEC), organic matter (MO), organic nitrogen (N) and $\text{pH}_{(\text{water})}$. The results show that the glyphosate reaches the soil during weed treatment and its degradation in the soil is related to a microbial activity expressed by the released CO_2 . The released CO_2 does not indicate significant statistical differences at different concentrations. Good biological activity was recorded in the presence of a high concentration of glyphosate in the soil. As a result, glyphosate has no adverse effects on the processes of soil micro-organism functioning under our experimental conditions.

Key words: *Direct seeding, glyphosate, biological activity, degradation.*

Introduction:

Les microorganismes du sol jouent un rôle important dans le recyclage des nutriments, le maintien de la structure du sol, la dégradation des agro-chimiques et des polluants ainsi que le contrôle biologique (Lupwaji et al., 2007). Selon Smith et Read (2008), la plupart des espèces végétales ont tendance à s'associer à des micro-organismes, en particulier du sol. Cette association symbiotique peut s'exprimer par plusieurs bénéfices pour les plantes tel que l'augmentation de la tolérance en condition biotique (Harley et Smith, 1983 ; Ortega et al., 2004 ; Atala et al., 2012), l'amélioration de la teneur en éléments nutritifs (Simard et Durall, 2004) et la protection contre les bactéries et les champignons pathogènes (Newshan et al., 1995). De plus, lorsque l'activité biologique est maintenue, l'érosion du sol est réduite, le stockage de la matière organique est amélioré et l'humidité du sol est optimisée (Thomas et al., 2009). Par conséquent, la biomasse microbienne totale apparaît comme un paramètre clé de l'écosystème (Epelde and al., 2008). Le semis direct, un des composants de l'agriculture de conservation, contribue à préserver, augmenter et gérer les ressources naturelles dans le sol en interaction avec l'activité biologique (Machado et al., 2008). De ce fait, la mesure de la biomasse microbienne permet d'évaluer l'influence des pratiques agricoles sur les caractéristiques des sols (Schreck, 2008). Le semis direct est basé sur l'utilisation des herbicides, et la plupart des herbicides appliqués atteignent le sol, le milieu

vital de la microfaune (Bordjiba et Ketif, 2009). En revanche, la dégradation microbienne est le principal processus qui détermine la persistance des herbicides dans le sol (Virginia et al., 2013). Dans les zones semi-arides de l'Algérie où le semis direct connaît une extension progressive, l'interaction entre le glyphosate utilisé en semis direct et l'activité biologique du sol est encore indéfinie. Le but de ce travail est d'évaluer l'activité des microorganismes dans un sol céréalier sous traitement du glyphosate. Notre hypothèse est que l'association « glyphosate- semis direct » dans les zones semi-arides maintient l'activité biologique et assure la dégradation de l'herbicide dans le sol.

Matériel et méthodes

Site expérimental

La réaction biologique du sol avec l'herbicide a été étudiée du mois d'Octobre 2015 jusqu'au Mois d'Avril 2016 sur le site expérimental de l'Institut Technique des Grandes Cultures « ITGC » Sétif, qui se caractérise par un climat semi-aride avec des hivers froids et pluvieux et des étés chauds et secs. Les précipitations moyennes enregistrées durant la campagne d'étude étaient 362.41 mm et la température moyenne était relativement élevée (19.63°C) durant l'expérimentation (Figure 1).

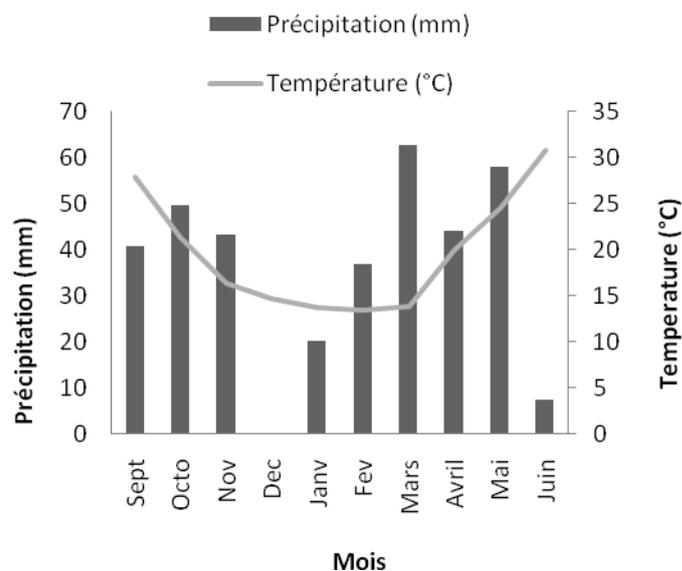


Figure 1 : Diagramme ombrothermique de bagnouls et gausse pour la campagne 2015/2016

Le site se trouve à une altitude de 1080 m, à la latitude 36° 9' N et à la longitude 5° 21' E. Ce site a été initialement choisi parce qu'il a été cultivé pendant huit ans en semis direct avec un traitement chimique des mauvaises herbes à base du glyphosate. La surface d'essai est de 270 m² divisée en trois micro-parcelles. Le matériel végétal utilisé est « *Hordeum vulgare* » avec la variété « Fouara » et le Ridazate (360g/ l du glyphosate) est l'herbicide de prés-semis choisi. Le traitement des mauvaises herbes a été réalisé le 02 Décembre 2015, en respectant la dose de 1080 g/ ha. Les prélèvements du sol ont été répartis dans le temps : Le premier prélèvement a été effectué le 11 Octobre 2015, le deuxième prélèvement a été réalisé le 08 Décembre 2015 et le troisième en 19 Avril 2016.

Méthodes d'analyses

Les propriétés physico-chimiques du sol ont été déterminées au laboratoire après le premier prélèvement réalisé en Octobre 2015, vue que les caractéristiques initiales peuvent influencer la biologie du sol (Chaussod, 1996). A partir du même prélèvement, l'activité biologique du sol a été évaluée en relation avec les résidus du glyphosate dans le sol.

Les méthodes de détermination des propriétés physico-chimiques du sol ont été adaptées aux protocoles décrits dans l'ouvrage des analyses physiques et chimiques par Mathieu et Pieltain (2003).

La teneur en matière organique (MO) du sol a été calculée à partir du dosage de carbone organique (CO) du sol par la méthode d'ANNE, tandis que l'azote total a été déterminé par la méthode de Kjeldahl. Les proportions des particules minérales du sol ont été déterminées par la méthode de « Robinson », le dosage du calcaire total (CaCO₃) a été effectué par le calcimètre de Bernard. L'évaluation de la capacité d'échange cationique (CEC), comme un indicateur de mesure de la fertilité du sol a été déterminée par la méthode de Metson tandis que la valeur du pH_(eau) du sol a été relevée par le pH mètre.

La concentration du glyphosate du sol, la respiration microbienne et l'humidité du sol sont les caractéristiques mesurées à chaque prélèvement. La mesure de l'humidité du sol a été calculée à partir de la formule (1) en déterminant le poids humide et sec du sol.

$$H (\%) = (Ph - Ps) / Ps * 100 \quad (1)$$

La détermination des résidus du glyphosate dans le sol a été réalisée par la méthode HPLC-UV après une phase d'extraction et de dérivation par FMOC-Cl « 9- fluorenyl-methyl chloroformate » (Peruzzo et al., 2008). Tandis que la respiration microbienne a été suivie dans des conditions optimales de laboratoire. Le protocole a été adapté à la norme française XPU 44-163 (AFNOR, 2005). Cinquante grammes du sol ont été incubés à l'obscurité à 28 ± 1 °C dans des flacons en verre hermétiquement fermés (Figure 2). La teneur en eau du sol a été ajustée à 80 % de la capacité au champ du sol. La capacité au champ du sol a été déterminée à partir du calculateur des propriétés hydrauliques (hydrolab.arsusda.gov) en introduisant les caractéristiques physiques du sol (Tableau 1).

Tableau 1: Propriétés hydriques du sol

Propriétés hydriques	
Capacité au champ du sol (%)	38.5
Point de flétrissement (%)	21.5
Humidité du sol en 11 Octobre 2015 (%)	30.23
Humidité du sol en 08 Décembre 2015 (%)	32
Humidité du sol en 19 Avril 2016 (%)	25

Le CO₂ dégagé au cours de l'incubation est piégé dans une solution de la soude (NaOH, 2N). (Réaction chimique 1).



Par la suite le dosage du CO₂ émis a été fait sur 1 ml de soude, 2 ml d'une solution du chlorure de baryum (BaCl₂) à 20% plus 2 gouttelettes d'un indicateur coloré (phénolphthaléine). La solution a été titrée avec l'acide sulfurique (H₂SO₄, 1M) jusqu'au virage de couleur du rose au blanc (Réaction chimique 2).



Les dates de mesure sont : 0, 3, 7, 14, 21 et 28 jours d'incubation pour les trois prélèvements réalisés.

La différence entre les taux de dioxyde de carbone (CO₂) libérés au cours du processus d'incubation en présence des trois concentrations de l'herbicide a été étudiée par une analyse de la variance (ANOVA- one way) avec un intervalle de confiance de 95%.



Figure 2 : Processus d'incubation du sol au laboratoire.

Résultats et discussion

Pour expliquer l'effet du glyphosate sur l'activité microbienne par l'estimation du CO₂ libéré lors du processus d'incubation du sol, il est nécessaire de caractériser le sol d'étude et déterminer la variabilité des résidus de l'herbicide dans le temps.

Les analyses physico-chimiques montrent que la texture du sol est limoneux-argileuse avec une fraction importante d'argile et un taux de calcaire très élevé. Du point de vue fertilité, la CEC du sol est relativement élevée avec un moyen taux de matière organique (Tableau 2). Les caractéristiques du sol d'étude favorisent la rétention du glyphosate dans le sol (Sprankle et al., 1975). De ce fait, en condition de plein champ, la détection des résidus de l'herbicide dans le sol en utilisant l'HPLC-UV a donné des résultats positifs.

Tableau 2 : Caractéristiques générales du sol

Paramètres	
Répartition de la taille des particules du sol	
$< 0.002 \text{ mm}$ (Argile) (%)	35.72
$0.002-0.05 \text{ mm}$ (Limon) (%)	37.82
$> 0.05 \text{ mm}$ (Sable) (%)	26.45
Matière Organique (MO) (%)	3.95
Carbone Organique (CO) (%)	2.296
L'Azote (N) (%)	0.22
Rapport C/N	10.436
pH _(eau)	7.44
CEC (meq. 100g^{-1})	24.583
CaCO ₃ (%)	21.56

Les résultats du premier prélèvement du sol réalisé en Octobre 2015, indiquent la présence de traces du glyphosate ($0,380 \mu\text{g.kg}^{-1}$) issues des traitements précédents. Après le traitement des mauvaises herbes en 2 Décembre 2015 avec la dose de $1080 \mu\text{g.kg}^{-1}$, la concentration de l'herbicide a augmenté dans le sol. Une concentration de $11.702 \mu\text{g.kg}^{-1}$ a été enregistrée à partir du deuxième prélèvement (8 Décembre 2015). Après 140 jours du traitement, la concentration de l'herbicide a diminué jusqu'à $2.277 \mu\text{g.kg}^{-1}$ (Figure 3). Par conséquent, la dissipation du glyphosate dans le sol a été observée (Barriuso, 2004).

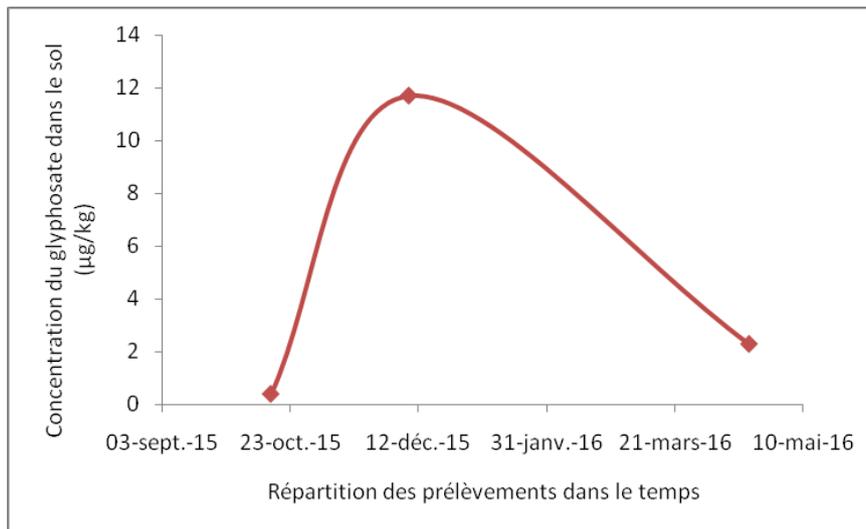


Figure 3 : Cinétique de dissipation du glyphosate dans le temps

Selon Giesy et al. (2000), la dissipation du glyphosate dans le sol est due essentiellement à la dégradation microbienne. En parallèle, l'évaluation du potentiel biologique du sol à travers le rapport C/N montre que le sol d'étude peut être active biologiquement dans un intervalle de pH basique à faiblement alcalin (Tableau 2). En outre les variabilités de l'humidité du sol à chaque prélèvement sont proches à la capacité au champ du sol (Tableau 1), ce qui régularise l'activité biologique dans un sol (Bento et al., 2016)

L'analyse du comportement biologique du sol en conditions contrôlées de laboratoire durant une période d'incubation de 28 jours et en présence des trois concentrations du glyphosate permet de déterminer l'effet de l'herbicide sur la population microbienne. Pour le CO₂ journalier, trois étapes ont été observées (Figure 4) :

-La première étape varie entre 0 et 7ème jour: représente le temps nécessaire pour que les microorganismes s'adaptent aux conditions d'incubation. Une faible production de CO₂ libéré par les microorganismes dans les 3 sols a été enregistrée. La valeur la plus élevée est lié au sol récupéré avant le traitement, en présence de quelques traces de glyphosate (0,38 µg.kg⁻¹). La faible quantité produite s'exprime par une faible activité biologique en début d'incubation.

-La deuxième étape s'étale entre le 7ème et le 21ème jour: c'est l'étape à laquelle une forte activité microbienne a été enregistrée. Le taux de CO₂ produit a atteint 3.96 mg/g dans le cas de la présence de 11.702 µg.kg⁻¹ du glyphosate dans le sol (sol issu du prélèvement de 8 Décembre 2015), ce qui démontre que la présence du glyphosate a un effet significatif sur

les populations microbiennes du sol et leurs activités (Bordjiba et Ketif, 2009).

- Au cours de la dernière semaine d'incubation (la dernière étape qui varie entre le 21ème et le 28ème jour), la quantité de CO₂ produite par les microorganismes du sol enregistre un déclin et une stabilisation pour les trois échantillons du sol. La diminution de l'activité des microorganismes s'explique par l'épuisement des éléments nutritifs au cours de l'étape précédente où la production de CO₂ était maximale.

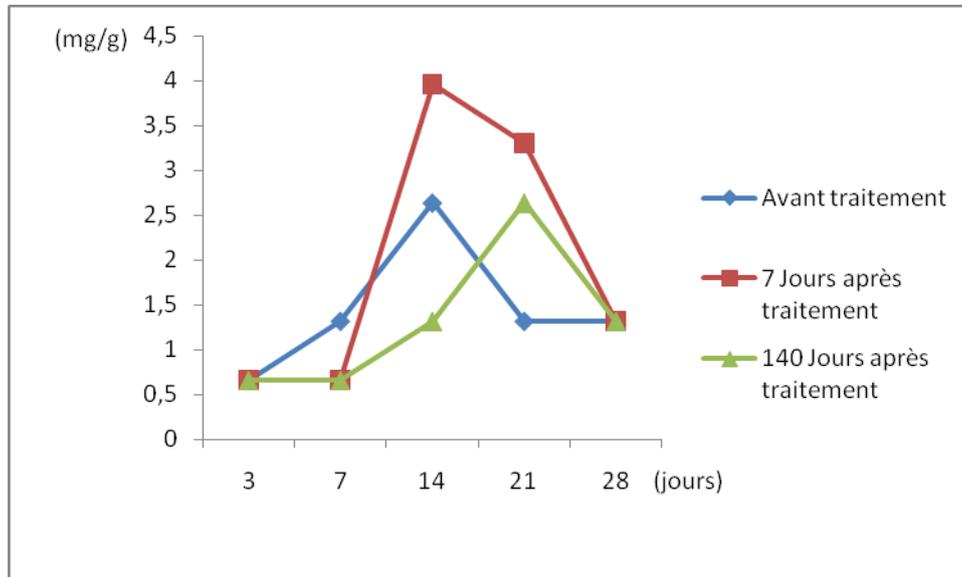


Figure 4 : Le taux de dioxyde de carbone (CO₂) journalier pendant la période d'incubation

En tenant compte de taux du CO₂ cumulé au cours de processus d'incubation (Figure 5), une bonne activité biologique a été enregistrée en présence de 11.702 µg.kg⁻¹ de glyphosate dans le sol par rapport au cas où la concentration est faible (0.380 et 2.277 µg.kg⁻¹). Ce résultat est en accord avec plusieurs travaux de recherche qui suggèrent que l'activité biologique est stimulée en présence du glyphosate dans le sol (Haney et al. 2000 ; Viega et al., 2001).

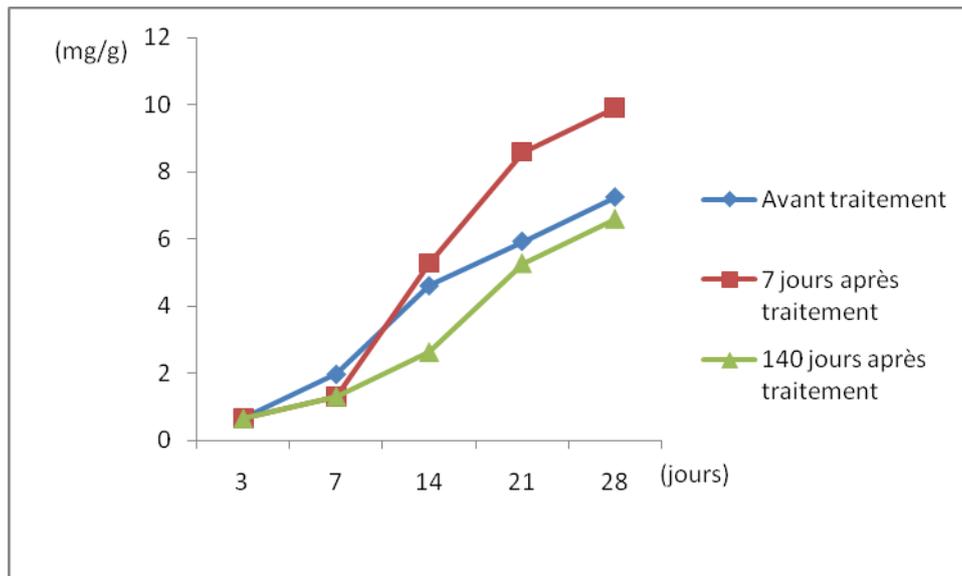


Figure 5: Le taux de dioxyde de carbone (CO₂) cumulé pendant la période d'incubation

Dans le présent cas d'étude, la dissipation du glyphosate dans le sol a été observée en relation avec une production de dioxyde de carbone qui se traduit par une activité biologique du sol. Le taux de CO₂ libéré lors du processus d'incubation sous différentes concentrations de l'herbicide n'indique pas des différences statistiques significatives. De ce fait, le glyphosate a été dégradé et n'a pas affecté le processus d'activité microbienne (Sprankle et al., 1975). Par conséquent, le glyphosate peut se dégrader dans un sol qui répond à certaines caractéristiques du sol (humidité, pH, disponibilité de matière organique facilement dégradable et une bonne CEC).

Conclusion

Les résultats de ce travail montre que lors du traitement des mauvaises herbes par le glyphosate, quelques fractions atteignent le sol et peuvent persister jusqu'à 140 jours. Les caractéristiques physiques, chimiques et biologiques d'un sol cultivé pendant huit ans en semis direct ont engendré la dissipation de l'herbicide dans le sol. De ce fait, le glyphosate n'est pas un inhibiteur de l'activité microbienne qui favorise sa dissipation dans le temps. En fin, l'association « glyphosate- semis direct » dans les zones semi-arides maintient l'activité biologique et assure la dégradation de l'herbicide dans le sol malgré sa persistance.

La pertinence de ces résultats se focalise sur la connaissance du devenir de l'herbicide dans le sol en semis direct et ses effets sur la biologie du sol dans une des zones semi-arides de l'Algérie.

RÉFÉRENCES

AFNOR, Standard on the incubation method under controlled conditions. French standardization XPU 44-163, 2005.

Atala, C., Muñoz-Caponi, E., Pereira, G., Navarrete, E., Oses, R., Molina-Montenegro, M.A. 2012. "Impact of mycorrhizae and irrigation in the survival of seedlings of *Pinus radiata* D. Don subject to drought". *Gayana Bot.*, vol. 69, p296-304.

Barriuso, E. 2004. Assessment of the environmental risks of pesticides. INRA Edition, p 123.

Bento, Celia P.M., Xiaomei, Yang, Gemit Gort, Sha Xue, Rudd van Dam, Paul Zomer, Hans, G.J. Mol, Coen J. Ritsema, Violette, Geissen. 2016. "Persistence of glyphosate and aminomethylphosphonic acid in loess soil under different combinations of temperature, soil moisture and light/ darkness". *Science of the total environment*, vol. 572, p301-311.

Bordjiba O. et Ketif A. 2009. " Effect of three Pesticides (Hexaconazole, Bromuconazole and Fluazifopppbutyl) on some Biochemical Metabolites of the Hard Wheat: *Triticum durum*" Faculty of Sciences, Departement of Biology, University of Badji Mokhtar Annaba, *European journal of Scientific Research*, p. 260-268.

Chaussod R. 1996. Biological quality of soils. Evaluation and application. Study and soil management, pp 3-4.

Epelde L, Mijangos I, Becerril JM, Garbisu C. 2008. « Soil microbial community as bioindicator of the recovery of soil functioning derived from metal phytoextraction with sorghum ». *Soil Biology and Biochemistry*.

Giesy, J. P., Dobson, S., Solomon, K. R. 2000. Ecotoxicological risk assessment for Roundup herbicide. Reviews of environmental contamination and toxicology. *Springer*, 35–120.

Haney, R., Senseman, S., Hons, F., Zuberer, D. 2000. Effect of glyphosate on soil microbial activity and biomass. *Weed Science* **48** (1), 89–93.

Harley, J.L., Smith, S.E. 1983. *Mycorrhizal Symbiosis*. Academic Press, London, pp 483.

Lupwayi, N.Z., K.G. Hanson, K.N. Harker, G.W. Clayton, R.E. Blackshaw, J.T. O'Donovan, E.N. Johnson, Y.Gan, R.B. Irvine, M.A. Monreal. 2007. "Soil microbial biomass, functional diversity and enzyme activity in glyphosate-resistant wheat – canola rotation under low- disturbance direct seeding and conventional tillage". *Soil Biology and Biochemistry*, vol.39, pp. 1418–1427.

Machado S., Terie S., Rhinhart K., Ramig R.E. 2008. "Tillage effects on water use and grain yield of winter wheat and green pea in rotation". *Agron.J.*, vol. 100, pp. 154-162.

Mathieu Clément, Pieltain Françoise. 2003. *Analyse chimique des sols « Méthodes choisies »*, 386p.

Newsham, K.K., Fitter, A.H., Watkinson, A.R. 1995. "Multi-functionality and biodiversity in arbuscular mycorrhizas". *Trends Ecol.*, vol. 10, pp. 407-411.

Ortega, U., Duñabeitia, M., Menéndez, S., González-Murúa, C., Majada, J. 2004. "Effectiveness of mycorrhizal inoculation in the nursery on growth and water relations of *Pinus radiata* in different water regimes". *Tree Physiol.* Vol. 24, pp.65-73.

Peruzzo, Pablo J., Atilio A. Porta, Alicia E. Ronco. 2008. « Levels of glyphosate in Surface waters, sediments and soils associated with direct sowing soybean cultivation in north pampasic region of Argentina". *Environmental Pollution*, vol. 156, pp. 61-66.

Schreck Eva. 2008. Influence of maintenance of soil in wine environment for the transfer of herbicides to water infiltration- Impact on Earthworms, University of Paul Sabatier- Toulouse III.

Simard, S.W., Durall, D.M. 2004. "Ectomycorrhizal networks: a review of their extent, function and importance". *Can. J. Bot.*, vol. 82, p 1140-1165.

Smith, S.E., Read, D.J. 2008. *Mycorrhizal Symbiosis*, third ed. Academic, San Diego, USA.

Sprankle, P., Meggit, W.F. and Penner, D. 1975. "Adsorption, mobility, and microbial degradation of glyphosate in the soil". *Weed Sci.* 23, p 229-234.

Tejada, M. 2009. Evolution of soil biological properties after addition of glyphosate, diflufenican and glyphosate + diflufenican herbicides. *Chemosphere* **76** (3), 365–373.

Thomas F., Archambeaud M., Billerot S., Carville C. 2009. Conservation technics of soils, Madison, France, p. 106.

Viega, F., Zapata, J., Marcos, M. F., Alvarez, E. 2001. Dynamics of glyphosate and aminomethylphosphonic acid in a forest soil in Galicia, north-west Spain. *Science of the total environment* **271** (1), 135–144.

Virginia C. Aparicio, Eduardo De Gerónimo , Damián Marino , Jezabel Primost , Pedro Carriquiriborde , José L. Costa. 2013. « Environmental fate of glyphosate and aminomethyl- phosphonic acid in surface waters and soil of agricultural basins ». *Chemosphere*, vol. 93, pp. 1866–1873.



Revue semestrielle – Université Ferhat Abbas Sétif 1

REVUE AGRICULTURE



Analyse des performances de quelques exploitations agricoles céréalières en semis direct dans la wilaya de Sétif

Labad Ryma ⁽¹⁾, Hartani Tarik ^(1, 2)

(1) Ecole Nationale Supérieure Agronomique, laboratoire maîtrise de l'eau en agriculture

Rik_hartani@yahoo.fr

(2) Centre Universitaire Tipaza

E-Mail : ryma_loulou308@hotmail.fr

ARTICLE INFO

RÉSUMÉ

Mots clés :

Agriculture de conservation, Semis direct, Sétif, Rendement, glyphosate.

L'agriculture de conservation est un concept permettant de définir et de maîtriser différents systèmes de production. Sa mise en œuvre dépend des propriétés du sol, du climat et des considérations socio-économiques. Le semis direct a commencé à prendre sa place au niveau des hautes plaines Sétifiennes grâce à l'intervention de l'Etat par l'intermédiaire de l'Institut Technique des Grandes Cultures dont le mandat est entre autres d'introduire les nouvelles techniques pour les agriculteurs et de les appuyer techniquement et de les accompagner. Des enquêtes ont été menées auprès d'une dizaine d'agriculteurs céréaliers représentatifs des exploitations agricoles de la wilaya de Sétif durant la campagne 2014/2015 pour identifier les pratiques agricoles en relation avec le semis direct puis caractériser leur conséquence sur les rendements en blé dur et sur l'environnement. Nos premiers résultats montrent que le rendement agronomique a été amélioré par rapport à la technique de semis traditionnelle en plus de quelques améliorations du taux de matière organique, rétention d'eau, activité biologique et surtout la limitation de l'érosion. En revanche, nous avons observé que l'association d'un herbicide chimique (glyphosate) au semis direct peut causer des nuisances aux sols, aux cultures et pourquoi pas l'être humain.

Introduction

En Algérie, les produits céréaliers occupent une place stratégique dans le système alimentaire et dans l'économie nationale (Djermoun, 2009), c'est pour quoi l'amélioration du taux de production est un véritable débat scientifique. Les hautes plaines Sétifiennes ont été considérées depuis longtemps comme « des zones céréalières » et depuis 2002, l'Institut Technique des Grandes Cultures « ITGC » a introduit le semis direct sur des superficies importantes afin d'évaluer les performances de semis direct. Cette évaluation est effectuée en considérant les rendements en particulier, mais aussi la conservation de l'eau dans le sol qui est un facteur limitant le développement de la production. Cette technique pourrait en outre atténuer l'érosion des sols compte tenu de l'aridité qui caractérise le milieu (ZIZA, 2003). Notre contribution s'intéresse aux performances du semis direct dans les hautes plaines Sétifiennes. La méthodologie est basée dans un premier temps sur un questionnaire réalisé aux prés d'un échantillon d'une dizaine d'agriculteurs précurseurs dans l'adoption du semis direct. L'approche se prolonge en vue d'analyser les effets de l'usage de cette technique sur les propriétés physiques et chimiques des sols.

Matériels et méthodes

La wilaya de Sétif se situe à l'Est de l'Algérie, elle est caractérisée par un climat continental, appartenant à l'étage bioclimatique semi aride. Notre enquête a été déroulée au niveau de sept (07) communes agricoles de la wilaya de Sétif, dont leurs caractéristiques pédoclimatiques se différencient. Nous avons des fermes de la partie Nord, situées entre les isohyètes de 500 et 400 mm, les fermes des hautes plaines reçoivent un cumul de précipitation variable entre 400 et 300 mm et la partie sud regroupe des fermes situées entre les isohyètes 300 à 200 mm et celle inférieure à 200 mm.



Figure 01 : Situation géographique des zones enquêtées au niveau de la wilaya de Sétif

Nous avons enquêté une superficie de 1011 ha dont 381 ha est cultivée en semis direct. Les agriculteurs ont été interrogés par rapport aux anciennes pratiques culturales utilisées et les améliorations obtenues après l'introduction progressive du semis direct depuis l'année 2005 à propos de la capacité de rétention d'eau, la matière organique, l'activité biologique et l'érosion du sol. Nous avons aussi interrogé sur le désherbage du post semis, qui est une opération indispensable en semis direct, on utilisant des herbicides totaux.

Résultats et discussion

A travers les enquêtes, 60% (6 agriculteurs) des agriculteurs interrogés ont un niveau d'instruction secondaire et se sont des agriculteurs par héritage (agriculteur de père en fils), tandis que 40% (4 agriculteurs) d'entre eux ont un niveau supérieur. Ce paramètre a probablement influencé l'adoption de la technique de semis direct au niveau des parcelles enquêtées. En effet le développement de cette technique a connu un rythme progressif dont 10% des céréaliers ont introduit le SD entre l'année 2000 et 2006, 40% durant la période 2006 et 2010 et 50% entre 2010 et 2014.

Une des plus importantes questions posées aux agriculteurs est « Comment avez-vous été convaincu des bien faits du Semis Direct? », nous avons obtenu divers réponses convergentes:

- « L'équipe technique de l'ITGC Sétif nous a permis de persuader les bien faits du semis direct au niveau de leurs parcelles, ce qui nous a encouragé d'adapter cette technique au niveau de nos parcelles»
- « Le semis direct n'est pas une nouvelle technique c'est une amélioration d'une ancienne technique. Avant l'apparition des charrues nos grands parents utilisaient l'araire qui tranchait la terre pour semer les graines puis ils les couvraient par le sol avec leurs pieds. Autrement dit, ils n'ont jamais travaillé le sol « profondément ». »

Une autre question a été posée aussi aux agriculteurs est à propos de l'opération de désherbage de post semis et l'herbicide utilisé. La plupart des agriculteurs utilisent le Roundep et/ ou Glyphose selon la disponibilité sur le marché, dont la matière active est « le glyphosate C₃H₈N₅O₅P » avec une concentration de 360g/l. Les céréaliers ont apprécié cette méthode car elle leur permet de protéger leurs parcelles des mauvaises herbes le long du cycle de développement de la culture de blé. Cependant le problème du non germination des grains des mauvaises herbes se pose en absence des pluies avant le semis. Dans ce cas, les agriculteurs utilisent

l'herbicide après le semis mais avant la levée du blé, mais cela reste une opération délicate et nécessite une technicité, notamment pour le choix de la date d'application, les conditions climatiques et surtout le réglage du pulvérisateur. Pour les doses appliquées et après l'adoption du semis direct en 2005, il a été constaté que certains agriculteurs ont réduit les doses de traitement du 6 l/ha jusqu'à 2 l/ (ha), car ils ont remarqué une diminution de taux d'infestation des mauvaises herbes au cours des années d'application.

A l'aide des résultats de l'enquête, un cumul de la matière active appliquée sur les parcelles suivies a été calculé en fonction de nombre d'années d'application.

Tableau 01 : Concentration du taux de glyphosate dans les parcelles enquêtées (kg/ (ha))

Nombre d'année d'application/ parcelle (an)	Concentration de la matière active (glyphosate) en fonction de la dose appliquée (g/l)	Masse de la matière active en fonction de la superficie de SD (kg/ ha)
1	875	10.5 /12 ha
2	660	17.15/ 25 ha
7	7350	73.5 /10 ha
8	5600	728/130 ha
8	5600	369.6 /66 ha
8	5600	16.8 / 3 ha
9	9800	1176/ 120 ha

Enquête : 2014/2015

Nous avons interrogé 10 agriculteurs adaptateurs du semis direct dans la région de Sétif, mais nous avons pu calculer le taux de glyphosate utilisé seulement pour sept (07) échantillons, car nous avons trois agriculteurs qui ont appliqué le semis direct en Novembre 2014 et n'ont pas utilisé le traitement herbicide à cause des conditions climatiques.

A partir du tableau précédent, nous remarquons que la concentration de la matière active en fonction de la dose appliquée est plus importante pour les anciennes fermes adaptatrices du SD (9 ans d'application), car les doses appliquées étaient importantes (6 l/ ha), ce qui engendre un cumul du glyphosate au niveau des superficies cultivées sous SD (1176kg/120 ha) dont cette quantité peut causer des problèmes environnementaux très accentués s'il y a pas une dissipation du produit dans le temps, ce qui confirme que l'utilisation des herbicides a été toujours considérée comme un des inconvénients de la technique de semis direct ((Vadon) et al, 2006). D'autres observations ont été apportées par les agriculteurs à propos de quelques paramètres physiques et biologiques du sol.

60% des agriculteurs interrogés qui ont introduit le semis direct en 2005 ont constaté que le semis direct permet une augmentation de la teneur en matière organique dans le sol d'une manière appréciable, en accord avec la conclusion de Belagrouz (2013). Boudiar (2013) a calculé la quantité totale de carbone dans des conditions similaires d'utilisation de semis direct et a constaté un montant de 39,60%. Zetal (2011) a évalué les effets cumulatifs de la matière organique sous un climat sub humide en semis direct et il a obtenu un cumul de 1.99% à 1,60% respectivement à partir de l'horizon de surface à l'horizon le plus profond.

Les agriculteurs interrogés ont trop parlé sur le problème de manque d'eau dans la région et les améliorations observées après l'introduction de semis direct. En outre, 70% des agriculteurs interrogés ont remarqué une amélioration d'humidité de sol en particulier en saisons sèches. En fait, Mrabet (2001) a indiqué que le semis direct permet d'améliorer le stockage d'eau des pluies de 10% à 30% par rapport à la technique classique. La capacité de rétention d'eau du sol est liée à sa structure et son taux de matière organique. Ce point a été étudié dans de nombreuses recherches et confirme l'amélioration de la capacité de rétention d'eau avec le semis direct dans la région de Sétif.

En 2011, Zetal (2011) a évalué la capacité de rétention d'eau avec une étude comparative entre le semis direct et technique classique, les résultats sont que «Le semis direct préserve l'eau dans le sol par rapport à la technique classique avec un écart de 3%, au cours du cycle de développement du blé » et « la capacité de réserve en eau est très significative en semis direct et varie respectivement en profondeur de 9.8%, 20.7% et 8.6% de l'horizon de surface jusqu'à l'horizon le plus profond.

Un des indicateurs de la fertilité du sol est l'activité biologique. Quelques résultats sur le développement d'une activité biologique dans la région de Sétif sont disponibles en particulier dans le cas du semis direct (Ziza, 2007). Cependant, les agriculteurs affirment le développement régulier de certains lombriciens dans leurs sols.

Premier Séminaire International sur: Systèmes de Production en Zones Semi-arides. Diversité Agronomique et

Systèmes de Cultures. M'sila, 04 et 05 Novembre 2015

Les fermes situées dans la partie sèche de la zone d'étude entre les isohyètes 300 et 200 mm, souffrent de l'érosion des sols. Les agriculteurs ont affirmé que le semis direct a limité ce phénomène, ce qui confirme que le semis direct a été introduit principalement à Sétif en 2002 pour limiter l'érosion. Belagrouz (2011) a affirmé que «le système de semis direct représente une technique d'avenir pour la défense des sols contre l'érosion». Ces résultats sont des observations réelles, mais il existe d'autres problèmes cités par les agriculteurs tels que : l'absence du couvert végétal permanent à cause de l'élevage ovin et le problème de brome qui est devenu un véritable obstacle pour le développement des céréales.

Conclusion

L'analyse quantitative de nos résultats de terrain nous permet de conclure qu'en semis direct le rendement est plus élevé et moins de charges, un freinage des dégradations des reliefs et limitation des érosions, une levée bien organisée, une diminution de développement des mauvaises herbes durant le cycle de développement des cultures, une réservation de la matière organique dans le sol, un début d'évolution de l'activité biologique et en conditions humides l'accès aux parcelles est plus facile. Une grande partie de ces conclusions feront l'objet d'un protocole expérimental en vue de leur quantification, en particulier celle concernant l'activité biologique, le taux de la matière organique liée à l'utilisation de glyphosate.

Références bibliographiques

- Belagrouz A. (2013). Analyse du comportement du blé tendre variété « El Wifak » conduite en labour conventionnel, Travail minimum et semis direct sur les hautes plaines sétifiennes. Thèse de Magister en production végétal et agriculture de conservation, Université de Sétif, Sétif, 107 p.
- Bertrand Hervieu, Roberto Capone, Sébastien Abis (2006), L'enjeu céréalier en Méditerranée, Les notes d'analyse du CIHEAM, N° 09, Mai 2006.
- Boudiar R. (2013). Etude comparative de l'effet de la technique conventionnelle et le semis direct sur l'évolution du sol dans une région semi aride. Thèse de Magister en production végétal et agriculture de conservation, Université de Sétif, Sétif, 104 p.
- Chennafi H., Hannachi A., Touahria O., Fellahi ZEA, Makhlof M., Bouzerzour H. (2011) a. Tillage and residue management effect on durum wheat (*triticumturgidum* (L) Thell.ssp. *turgidumconv.* Durum (Desf) Mackey) growth and yield under semi arid climate. *Advances in Environmental Biology*5: 3231- 3240
- Djermoun A.(2009). La production des céréales en Algérie: Les principales caractéristiques. *Nature and Technology*, N° 01, Juin 2009, p 45-53.
- Karkour L. (2012). La dynamique des mauvaises herbes sous l'effet des pratiques culturales dans la zone des plaines intérieures. Thèse de Magister en production végétal et agriculture de conservation, Université de Sétif, Sétif, 159 p.
- Mekhlouf A., Makhlof M., Achiri A., Ait Ouali A., Kourougli S. (2011).Etude Comparative de l'effet des systèmes de travail du sol et le comportement de blé tendre (*TRITICUM AESTIVUM L.*) en conditions semi arides. *Agriculture*, N° 2, 2011, p 52-65.
- Mrabet R. (2001). The Direct Seeding, advanced technology for sustainable agriculture in Morocco. MADREF/DERD/PNTTA. Transfer of technology in Agriculture, N°76.January 2001, p 1-4.
http://www.agrimaroc.net/76.pdf_on_30/06/2014.
- VADON B., LAMOUCHE L., ELMAY S., MAGHFOUR A., MAHNANE S., BENAOUA H., EL GHARRAS O. Organisations paysannes : Un levier pour développer l'Agriculture de Conservation au Maghreb, 2006
- Zetal A., Teskrat H., Belhadj A., Zaghouane O. Etude comparative de l'effet du travail conventionnel, semis direct et le travail minimum sur le comportement d'une culture de blé dur dans la zone subhumide. In : Bouzerzour r H. (ed.), Irekti H. (ed.), Vadon B. (ed.). 4 th Mediterranean meetings of direct seeding. Zaragoza : CIHEAM / ATU-PAM / INRAA /ITGC / FERT, 2011. p. 7 1 -87 (Mediterraneennes options : Serie A. Mediterraniens seminars 96)
- Ziza, F. Z. (2007).L'expérience de l'agriculture de conservation en Algérie. p 8-17-31.
http://www.minagri.dz/pdf/Divers/2013/Avril/communicatioatelier_algero-francais_le_09/04/2013/L'Experience_de_l'Agriculture_de_Conservation_en_Algerie.pdf. Consulté le 09/05/2014.