



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

MASTER SCIENCES ET TECHNIQUES

GESTION ET CONSERVATION DE LA BIODIVERSITE

**Désherbage chimique contre le brome rigide (*Bromus rigidus*
Roth) et effet résiduel sur les cultures en rotation avec la
culture du blé tendre (*Triticum aestivum*)**

Présenté par :

JOINE MOHAMED

Encadré par :

DR. A. HAMAL
PR. L. EL GHADRAOUI

Soutenu Le 24 Juin 2010 devant le jury composé de :

- | | |
|---------------------------------|-------------|
| - PR. L. EL GHADRAOUI, FST-FES | PRESIDENT |
| - DR. A. HAMAL, INRA-MEKNES | ENCADRANT |
| - PR. J. ALFIGUIGUI, FST-FES | EXAMINATEUR |
| - PR. K. AMRANI JOUTEI, FST-FES | EXAMINATEUR |
| - PR. K. DERRAZ, FST-FES | EXAMINATEUR |



INTRODUCTION

Actuellement, l'agriculture mondiale fait face à de nouveaux enjeux, dont la demande en céréales est largement liée à l'accroissement des besoins de l'alimentation de l'Homme et du bétail (Trewavas, 2002) et à de nouvelles exigences de la société qui imposent une production agricole garantissant à la fois, la sécurité sanitaire, la qualité nutritionnelle et le respect de la biodiversité et de l'environnement (Trewavas, 2002), tout en évitant les pollutions liées à l'usage intensif de produits phytosanitaires et d'engrais azotés. Les activités agricoles ont depuis toujours été confrontées à des pertes de rendements et/ou de qualité du fait de la compétition des adventices ou de mauvaises herbes, d'attaques d'insectes et/ou du développement des maladies fongiques.

L'infestation d'une parcelle par les mauvaises herbes est en général, la contrainte la plus importante pour les céréales, car ces dernières concurrencent les céréales pour l'eau, la lumière et les éléments minéraux. Elles réduisent ainsi les quantités d'eau disponibles pour les plantes et en modifient l'efficacité d'utilisation, ce qui cause des pertes de rendements importants. En effet, Zimdahl et El Brahli (1992) ont rapporté que les pertes dues aux mauvaises herbes ont été évaluées à 30% pour les cultures céréalières au Maroc. Ainsi, dans la région de Saïs par exemple, le brome raide (*Bromus rigidus Roth*) constitue un problème majeur pour les cultures des céréales, en raison de la réduction du rendement qui peut atteindre 27% (Saffour, 1992) et 67% (Hamal, 2005).

Pour faire face aux problèmes des mauvaises herbes, l'utilisation chimique constitue le moyen de lutte le plus efficace, malheureusement, celle-ci présente des effets néfastes pour d'autres organismes. Ainsi, la plupart des produits chimiques employés sont hautement toxiques et difficilement biodégradables. Leur utilisation massive et répétée peut engendrer des effets très néfastes pour l'environnement, la biodiversité et la santé humaine (Bouziani, 2007).

En outre, même si la plupart des traitements sont appliqués sur les parties aériennes des plantes, une bonne part de produits atteint le sol, où vivent des bactéries, des champignons, des algues et des insectes, ce qui peut provoquer un effet nocif sur les populations bénéfiques pour la croissance de la plante. On doit donc, faire particulièrement attention aux effets nocifs des pesticides sur la microflore du sol, laquelle est essentielle au maintien de la fertilité. De très nombreux travaux ont montré que les traitements faits correctement ont un effet limité sur le métabolisme microbien du sol. Les pesticides chimiques sont largement utilisés dans de nombreux pays y compris le Maroc. Ainsi environ 105 produits herbicides sont homologués au Maroc dont une large panoplie de ces herbicides est utilisée par les agriculteurs pour désherber leurs cultures (IPM, 2009). Cependant, les analyses des résidus de pesticides pour évaluer le degré de contamination des milieux naturels (les cultures, les eaux superficielles, ...) et de produits alimentaires d'origine végétale ne sont pas faites systématiquement au Maroc. Le rapport de la première mission effectuée au Maroc par l'office alimentaire et vétérinaire de la commission européenne portant sur les résidus de pesticides dans les denrées alimentaires d'origine végétale n'a pas manqué de pointer les faiblesses du système actuel des contrôles officiels au Maroc. Depuis l'an 2000, on compte 19 notifications au titre du RASF (Système d'Alerte rapide pour les denrées alimentaires) qui avaient alerté les autorités communautaires marocaines sur la présence de résidus de pesticides dans des produits végétaux au Maroc (Ben Marzouq, 2007).



Cette situation est d'autant plus préoccupante que l'usage des pesticides doit être répété périodiquement, ce qui entraîne nécessairement une accumulation de pesticides et de leurs résidus dans nos milieux naturels, mettant en danger tout organisme vivant (Bouziani, 2007). En effet, l'étude des effets des pesticides et de leurs résidus sur les différents écosystèmes naturels mérite d'être approfondie. D'où, l'objectif de notre travail est d'étudier :

- La germination et la viabilité des graines de brome rigide de différents âges.
- L'efficacité de certaines substances actives contre les mauvaises herbes en plein champ, et particulièrement contre le brome rigide, en tenant compte de certains paramètres de rendement et ses composantes.
- Les effets résiduels de cinq molécules chimiques (herbicides), utilisées à large spectre dans la région de Saïs pour lutter contre le brome rigide (*Bromus rigidus Roth*) sur la culture du blé et du brome, des légumineuses alimentaires, plantes oléagineuses et sucrières. Ceci, en tenant compte d'un certain nombre de paramètres de croissance et de développement, comme la hauteur de la plante, ainsi que d'autres critères phénologiques aussi importants telles, la floraison, la fructification et la coloration des feuilles des végétaux.
- L'extraction, l'identification et la quantification des résidus des cinq matières actives retenues dans notre étude.

I. ETUDE DE LA BIOLOGIE DE BROME RIGIDE (*BROMUS RIGIDUS* ROTH)

On distingue plusieurs espèces du brome (*Bromus spp L.*), (Hitchcock, 1971 in Aït Bouhouch, 2002), qui sont des monocotylédones de la famille des graminées (Poaceaeés). On compte 4 espèces de brome qui sont plus fréquentes dans les champs céréalières au Maroc : *Bromus rubens L.*, *B. hordeaceus L.*, *B. sterilis L.* et *B. rigidus Roth* (Taleb, 1998).

1. Caractéristiques botaniques

Le brome raide reste l'espèce la plus rencontrée dans les céréales au Maroc. Dans le Saïs, le pourcentage de sa présence est de 54% contre 26% à Abda, 18% à El kalaa et 9% à chaouia (Bouhache et al., 1992).

Généralement, les levées de *Bromus rigidus* sont plus abondantes après les premières pluies de l'automne (Aït Bouhouch, 2002). L'évolution de la biomasse dans la région de Saïs au cours du cycle de développement se fait en trois phases (Hamal, 1993), dont la première est caractérisée par une vitesse de croissance constante et située au début du cycle de blé. Une deuxième phase de croissance intense avec un maximum de biomasse qui est de l'ordre de 260 g/m² à 74^{ème} JAL (Jours Après la Levée), et finalement, une dernière phase caractérisée par une chute de croissance vers la fin du cycle.

1.1. Pouvoir germinatif

Le pouvoir germinatif de Brome varie d'une espèce à l'autre et en fonction de l'âge de la semence. Ainsi, des études ont montré que 27 jours après la récolte, 5% des graines de *Bromus diandrus* entrent en dormance, alors que



celles de *B.rigidus* présentent une dormance plus longue et une germination plus faible (Harradine, 1986). Il a été montré que la majorité des grains de *B. rigidus* germent en prochaine saison si les conditions climatiques sont favorables (Gleichsmen, 1989, in Ait Bouhouch, 2002).

Il existe plusieurs facteurs qui influencent la germination des semences des bromes dont les principaux sont : la lumière, la profondeur d'enfouissement et l'humidité de sol.

1.2. Système racinaire

Le *bromus rigidus* possède un système racinaire fasciculé et radiculaire et, est caractérisé par un bon développement latéral et en profondeur.

1.3. Production grainière

La production en grains de *B. rigidus* dans la région de Saïs est de l'ordre de 770 kg/ha, soit 6657 grains/m² (Hamal, 1993).

1.4. Compétition

Le *B. rigidus* occasionne des pertes de rendement très élevées de la culture de blé. Ces pertes sont dues à la compétition exercée par le brome sur la culture. On distingue deux types d'actions de brome sur le blé :

- Action directe : la compétition pour l'eau, les éléments nutritifs et pour la lumière
- Action indirecte : vecteurs de parasites, hébergement de maladie et d'insectes.

1.5. Effet du brome sur la croissance du blé

Une forte compétition au tallage par les mauvaises herbes réduit généralement le nombre d'épis par m², le nombre d'épillets fertiles et le nombre de grains par épillet du blé. Il a été souligné qu'une communauté d'adventice dominée par le brome réduit les paramètres de croissance de blé comme le montre le tableau 1.

Tableau 1 : Effet de la compétition du brome raide sur les paramètres de croissance du blé dur (Hamal, 1993).

Paramètre	Taux de réduction (%)
-----------	-----------------------



Hauteur du brin maître	6,6
Nombre de feuilles vertes	54
Indice foliaire	78,9
Nombre de talles	59,4
Matière sèche aérienne/m ²	77,9
Nombre de pieds /m ²	36
Nombre d'épis/m ²	58
Nombre de grains/épi	78

1.6 - Période critique de compétition

La période critique de compétition étant définie comme période où la présence de mauvaises herbes entraîne une perte du rendement mesurable. C'est une période qui se situe dès le stade de trois feuilles des céréales (El Atmani et Ouddou, 1989) et elle est considérée comme la bonne période pour éliminer ces adventices (Caussanel, 1989). Par une étude de compétition précoce et tardive, Saffour (1992) et Hamal (1993) ont pu caractériser la période critique entre le blé et une communauté de mauvaises herbes dominées par *B. rigidus* Roth dont les résultats sont représentés dans le tableau 2.

Tableau 2 : Période critique de compétition entre blé dur et une communauté d'adventices dominée par le brome raide

Perte de rendement (%)	Période critique (JAL*)	Référence
23,7	Levée au 74 ^{ème} JAL	Hamal (1993)
12,4	27 ^{ème} au 113 ^{ème} JAL	
7,5	17 ^{ème} au 135 ^{ème} JAL	
27	53 ^{ème} au 77 ^{ème} JAL	Saffour (1992)
16	37 ^{ème} au 107 ^{ème} JAL	
8	17 ^{ème} au 123 ^{ème} JAL	

* JAL : Jours Après la Levée

II. Lutte intégrée contre les mauvaises herbes

C'est une stratégie de lutte qui consiste à utiliser différentes méthodes de contrôle : biologique, culturale, chimique et autres, dans le but d'un contrôle stable avec moins d'effets néfastes sur l'Homme et son environnement (Thill et al., 1991, in Aït Bouhouch, 2002) et dont les principes sont :

- Observation sur le terrain
- Période de lutte chimique
- Rotation des cultures
- Cultures de couverture



-
- Lutte non chimique
 - Cultures intercalaires
 - Modèles de plantation
 - Système cultural
 - Hersage de prélevée ou hersage en plein
 - Faux semis
 - Brulage de chaumes.

III. HERBICIDE ANTI-BROME

Ce sont des substances destinées à détruire les végétaux ou à limiter leur croissance qu'ils soient ligneux ou herbacés. Ces produits sont assemblés en familles chimiques selon la fonction moléculaire qui participe à l'activité herbicide. Parmi ces familles, on note quelques groupes chimiques tels que : les composés phénoliques, les carbamates, les urées substituées, les triazines, les amides, les organophosphorés, les imidazolines et les sulfonilurées.

Un désherbant n'agit en général que sur une partie de la flore adventice très diversifiée des cultures (Gago, 2008, in René Scalla, *et al.* 1991). Pour la maîtriser, plusieurs herbicides peuvent être utilisés; ces derniers diffèrent par leur mode d'action ou par la nature de leur cible, on en distingue :

- Herbicides de contact ou défanants qui agissent par contact direct avec la plante. Ils ne migrent pas dans le végétal et n'atteignent donc, pas les racines.
- Herbicides systémiques qui, véhiculés par la sève, migrent dans la plante. Ils peuvent être persistants et entraîner des risques de phytotoxicité pour la culture.

L'application répétée de la même matière active peut aussi entraîner des phénomènes de résistance (Dastgheib et Frampton, 2000 ; Gago *et al.*, 2007). Pour prévenir ce type de phénomène, il est utile d'alterner sur plusieurs années les substances actives utilisées.

Plusieurs stratégies « herbicides » sont utilisées :

- stratégie herbicide de pré-levée appliquée avant l'émergence des adventices, juste après les premières pluies d'hiver, cette stratégie à une action sur les plantes annuelles ou bisannuelles, par inhibition de la levée de la plantule ou destruction des jeunes racines.
- stratégie herbicide de post-levée pour contrôler le développement des plantes vivaces ou pluriannuelles.
- stratégie mixte combinant l'application d'un herbicide de post-levée dans un premier temps pour détruire à la sortie de l'hiver le couvert végétal en place, puis l'application d'un herbicide de pré-levée empêchant ainsi, la germination des mauvaises herbes qui n'avaient pas encore germé lors du passage du traitement de post-levée.

1. Les sulfonilurées

Sont des substances récentes, commercialisés depuis les années 1980. Cette famille, est représentée au Maroc par le Sulfosulfuron, le Mésosulfuron-méthyl-sodium et le Propoxycarbazone sodium. Ces produits se montrent actifs en particulier contre les dicotylédones. Ces herbicides sont utilisés pour désherber les céréales, et il a été montré que le blé



manifeste à leur égard une remarquable capacité de détoxification (Scalla *et al.*, 1991). Ces substances sont tellement actives qu'elles sont appliquées à des doses plus faibles que celles d'autres herbicides (Chevre N., 2006).

1.1. Mode d'action

Le site d'action des sulfonylurées est situé dans la voie de la biosynthèse des acides aminés: valine, leucine et isoleucine, par blocage de l'activité enzymatique de l'ALS (acetolactate synthase); ces sulfonylurées sont donc des inhibiteurs de l'acetolactate synthase (Ray, 1984, in Scalla, 1991). Ces derniers entrent en compétition avec la deuxième molécule de pyruvate, ce qui entraîne une inhibition très efficace de l'activité de l'enzyme. En présence du substrat, l'inhibition s'accroît progressivement en fonction du temps, le complexe passe ainsi, d'un état initial où l'enzyme et l'inhibiteur sont faiblement liés à un complexe dont la liaison est plus forte, donc plus difficilement dissociable (Scalla, *et al.*, 1991).

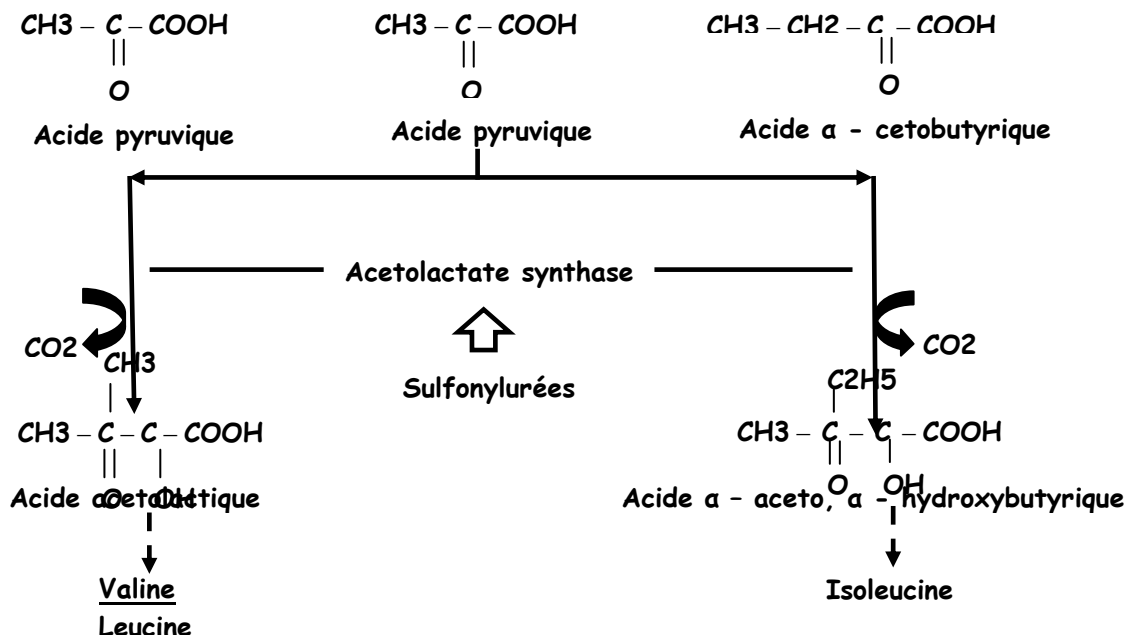


Figure 1 : Schéma montrant le site d'action des sulfonylurées

L'inhibition de l'enzyme ALS entraîne très rapidement, après application, un blocage de la croissance des plantes sensibles et supprime donc, toute compétition vis-à-vis de la culture.

Il a été montré que la transpiration et le métabolisme, chez les adventices, devenaient quasi nuls quelques heures après l'application d'un herbicide (Chafik, 2002). En effet, dans les jours qui suivent il y a apparition des symptômes de jaunissement (chlorose) ou de rougissement (anthocyanose); ces symptômes précèdent la disparition des adventices.

L'ALS est présente uniquement chez les végétaux, ce qui explique, la forte phytotoxicité du produit et sa faible toxicité pour le règne animal en général, et l'homme en particulier.



1.2. Principale matière active

1.2.1 Sulfosulfuron

1.2.1.1. Description

Le sulfosulfuron est un herbicide de la classe des sulfonyleurées, commercialisé sous le nom d'*Apyros*, utilisée en pré et post-émergence.

Son mode d'action : pénétration racinaire et foliaire, migration importante (systémique).

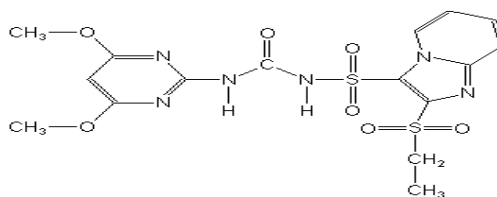


Figure 2 : Structure chimique de Sulfosulfuron (C₁₆H₁₈N₆O₇S₂)

L'absorption du sulfosulfuron se fait soit par les feuilles ou par les racines. Après son application, les adventices prennent une coloration vert foncée et se rabougrissent à cause de l'inhibition de la prolifération des cellules méristématiques des jeunes plantes. Après une durée, qui dépend de l'activité métabolique de la plante au moment du traitement, les feuilles montrent des signes de chlorose et la base de la tige se rougit (Aït Bouhouch, 2002). Il a été montré qu'une dose de 20 g m.a/ha de Sulfosulfuron, est d'une bonne efficacité contre plusieurs espèces de mauvaises herbes dont la folle avoine, le Phalaris, le mouron rouge, l'amex (Abdennader *et al.*, 2000). En outre, Tanji (1999) avait rapporté que la dose de 20 g m.a /ha de Sulfosulfuron additionnée d'un volume de 400 cc d'un surfactant non ionique (comme Mirowet) serait suffisante pour contrôler les bromes. De même, Hamal et al. (2000) ont montré, qu'une application de 20 g de sulfosulfuron entraîne une réduction des panicules et des grains du brome rigide avec un taux respectivement, de 89,9% et 92,3% chez le blé dur et 96,9% et 85,3% chez le blé tendre.

Des études canadiennes ont montré, dans un essai qu'à une dose supérieure à la dose recommandée, le sulfosulfuron constitue 61% et 37% du résidu respectivement dans les feuilles et la paille du blé. Or seulement 0,01 ppm de cette matière active a été trouvée dans les graines de blé, incorporée dans l'amidon (Anonyme, 1998).

1.2.1.2. Propriété physico-chimique de sulfosulfuron

- Solubilité – dans l'eau à 20°C (mg/l) :	1627
- Solubilité – dans les solvants organiques à 20°C (mg/l)	
* Méthanol	330
* Acétone	710
- Point de fusion (°C)	201,5
- Pression de vapeur à 25 °C (mPa)	3,05. 10 ⁻⁰⁵
- Koc (ml/g)	33
- Coefficient de partage Octanol/eau à pH 7, 20°C	1.70. 10 ⁻⁰⁵
- Constante de dissociation (pKa) à 25°C	3.51



1.2.2. Méso-sulfuron-méthyle-sodium

1.2.2.1. Description

Le Méso-sulfuron est un herbicide de méthyle (famille sulfonyles) utilisé pour le contrôle en post-émergence d'une vaste gamme de graminées et de certaines mauvaises herbes à feuilles larges sur le blé, le triticale et le seigle. Cette matière active est principalement absorbée par voie foliaire et entraîne un arrêt de la croissance des mauvaises herbes dès les premiers jours qui suivent le traitement.

Son mode d'action est de type systémique, absorbé par les feuilles et les racines.

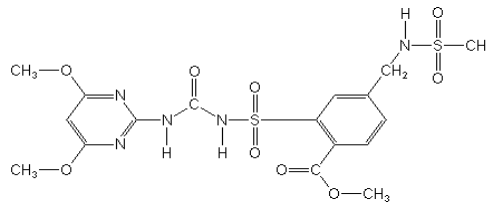


Figure 3 : Structure chimique de Méso-sulfuron-méthyle-sodium (C₁₇H₂₁N₅O₉S₂)

1.2.2.2 Propriété physico-chimique

- Solubilité dans l'eau : à 20°C (PH=7)	483 mg/l	
- Solubilité dans acétone à 20°C (mg l ⁻¹)	13.66	
- Poids Moléculaire :	503.51	
- Pression de vapeur à 25°C (mPa)		1.1. 10 ⁻¹¹
- Constante de Henry à 20°C (Pa m ³ mol ⁻¹)		3.65 X 10 ⁻¹²
- Coefficient de Partage Octanol/eau (log P _{ow}) à pH 7, 25°C		- 0.48
- Constante de dissociation pKa à 20°C		4.35
- Demi- vie (DT ₅₀) à 25°C (PH=7)		253 jours

1.2.3. Propoxycarbazone-sodium

1.2.3.1 Description

Le propoxycarbazone-sodium est un herbicide (famille Triazolones) appliqué en post-levée par voie aérienne ou par le biais du sol. Il contrôle certaines graminées et les dicotylédones chez les céréales.

Pour la lutte contre le brome, Hamal *et al.*, (2008) ont rapporté que la molécule de Propoxycarbazone-sodium associée à NH₄SO₄ s'est révélée très efficace et que cette molécule soit appliquée à la dose de 28 + 28 g m.a/ha au stade début tallage, 10 jours après la première application, en combinaison avec le sulfate d'ammoniaque à la dose de 150+150 g/ha. Suite à ce traitement les niveaux de rendement obtenus ont été très satisfaisants.

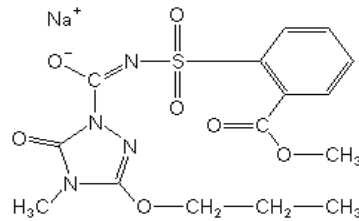


Figure 4 : Structure chimique de Propoxycarbazone-sodium (C₁₅H₁₇N₄NaO₇S)

1.2.3.2 Propriétés physico-chimique

- Solubilité dans l'eau à 20°C (mg /l)	4200
- Solubilité dans les solvants organiques à 20°C (mg /l)	
- Acétone	500
- Xylène	100
- Coefficient de partage Octanol-eau à PH 7,20 °C	2,82 x 10 ⁻²
- Constante de dissociation (pKa) à 25°C	2,1
- Pression de vapeur à 25°C (mPa)	0,00001
- Constante de sorption sur carbone organique Koc (ml /g)	28,8

1.2.4 Pyroxsulam

1.2.4.1 Description

Le pyroxsulam est un herbicide (Triazolopyrimidine sulfonamide) de post-levée, il contrôle les principales graminées dans le blé, y compris Avena, Alopecurus, Apera, Bromus, Lolium et certaines espèces de Phalaris et plusieurs mauvaises herbes à feuilles large.

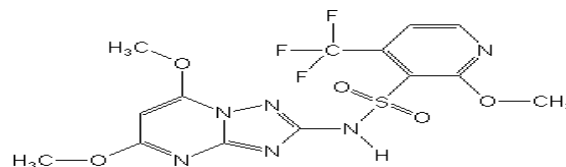


Figure 5 : Structure chimique de Pyroxsulam (C₁₄H₁₃F₃N₆O₅S)

1.2.4.2 Propriété physico-chimique

- Point de fusion	208,3 °C
- Constante de dissociation (pKa)	4.67 ± 0.01
- Pression de vapeur à 20°C	<1 x 10 ⁻⁷
- Coefficient de partition Octanol/eau à 20 ° C et à PH 4	12,1
- Solubilité dans l'eau à 20°C (mg /l)	3200
- Solubilité dans acétone à 20°C (mg l ⁻¹)	2790

2. Herbicides inhibiteurs de la photosynthèse



1.2. Prometryne

1.2.1 Description

- Famille chimique : Triazines
- Mode d'action : systémique, absorbé par les feuilles et les racines. Il agit en inhibant la photosynthèse.

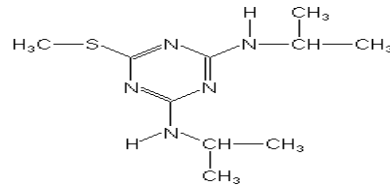
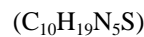


Figure 6 : Structure chimique de prometryne



Après l'absorption de la matière active, soit par les feuilles soit par les racines, il agit en bloquant le transfert d'électrons entre le premier accepteur dans le photosystème II, quinone (Q) et P700 par la construction d'une liaison avec la protéine D et donc, le transfert de l'énergie solaire en énergie chimique par la chlorophylle (Gauvrit, 1996). L'effet des herbicides (Triazine et phénolique) sur le transfert des électrons dans PS II dépend de la température et /ou de pH sur la face externe de la membrane thylacoïdale (Lambrev, 2001, in El Ghasi, 2003).

Les herbicides inhibiteurs de la photosynthèse sont : linuron, prometryne et terbutryne, ils ont été testés sur le tournesol (*Helianthus annuus L.*) et sur des biotypes sensibles et résistants d'*Amaranthus hybridus L.* en conditions de laboratoire. La croissance du tournesol n'est affectée par aucun des 3 chloroacétamides appliqués en prélevée (1,5 - 5,0 kg m.a. ha⁻¹). Le linuron, la terbutryne et la prometryne (0,5 - 1,0 kg m.a. ha⁻¹) occasionnent des réductions de croissance et des chloroses sur le tournesol mais les plantes survivaient. Ces trois herbicides inhibent le transport d'électrons photosynthétique estimé par des mesures de fluorescence et, in vitro par la réaction de Hill (Deprador, 1993).

1.2.5.2 Propriété physico-chimique

- Solubilité dans l'eau à 20°C (mg/l)	33
- Solubilité dans les solvants organiques à 20°C (mg/l)	
* Méthanol	160000
* Hexane	5500
- Point de fusion (°C)	119
- Coefficient de partage Octanol/eau à pH 7, 20°C	2,19 10 ⁰³
- Pression de vapeur à 25°C (mPa)	0,13
- Constante de dissociation (pKa) à 25°C	9,95
- Densité (g/ml)	1,15

IV. DEVENIR DES HERBICIDES DANS L'ENVIRONNEMENT

Dans le milieu naturel, toute substance chimique se partage entre 3 compartiments: le sol, l'eau et l'air, auxquels on peut ajouter un 4^{ème} milieu biologique (faune et flore) (Prasad, 1992).



L'évolution des pesticides dans l'environnement dépend de leurs propriétés physicochimiques (solubilité, Koc, DT 50, etc.) ainsi que des caractéristiques pédo-climatiques et topographiques du terroir (structure, texture du sol, MO, biodiversité, microorganismes, etc.).

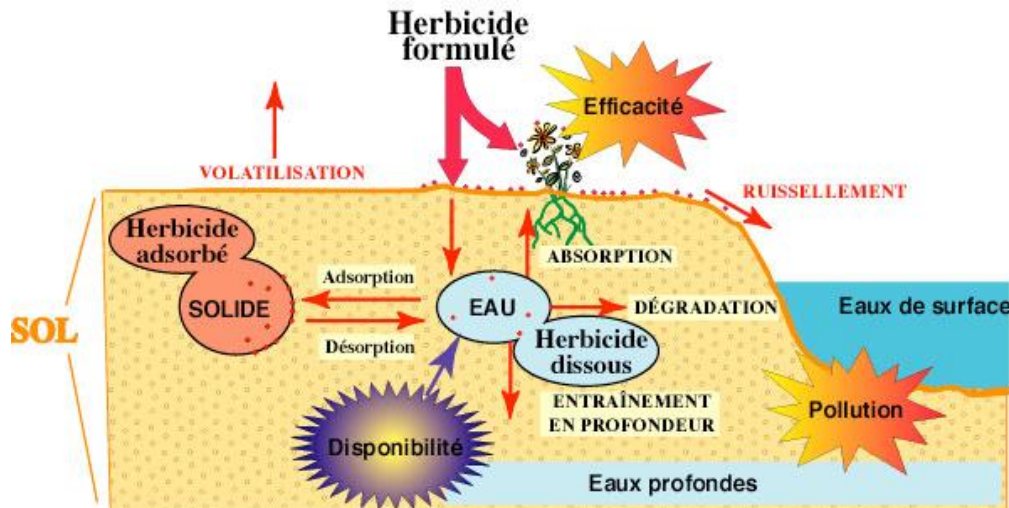


Figure 7 : Schéma générale montrant la dispersion des pesticides dans l'environnement

1. Rétention et transformation des produits phytosanitaires dans le sol

Les phénomènes de rétention et de transformation des pesticides dans les sols sont des réactions qui affectent fortement leur mouvement à travers la zone insaturée du sol vers les eaux souterraines et de surface. Ils sont considérés comme des processus clés dans la compréhension du mouvement des pesticides.

1.1. Définition des phénomènes d'adsorption/désorption

1.1.1. L'adsorption

Les phénomènes d'adsorption sont caractérisés par l'accumulation à la surface d'un solide (sol) de molécules (pesticides), ionisés ou non. Il y a donc, lieu à la surface de séparation (interface) de deux phases :

- Une phase solide constituée par des particules d'argiles et de Matières Organiques (MO) dans le cas du sol,
- Une phase liquide (la solution du sol) dans laquelle se trouvent des molécules pesticides soit en solution ou en suspension (Jamet, 1979, in Guimont 2005).

Divers facteurs agissent sur l'adsorption d'un pesticide par un adsorbant comme le sol. La température, les pH du sol et de l'eau, la distribution de taille des particules et la surface spécifique des solides, les particules en suspension dans les eaux superficielles, le rapport sol/eau, les propriétés physiques de l'adsorbant et la composition du sol (matière organique, argile ou autre constituant, etc.).

1.1.2. Désorption et hystérèse

Le phénomène inverse de l'adsorption est appelé la désorption. Il décrit la libération dans la phase fluide (liquide ou gazeuse) du sol, de molécules préalablement adsorbées. La caractérisation des phénomènes de désorption est utilisée



pour estimer la réversibilité des processus de liaisons. Fréquemment, on observe une incomplète réversibilité de l'adsorption, mise en évidence par décalage entre les isothermes d'adsorption et de désorption (Hamaker et Thompson, 1992). On attribue cet écart au phénomène d'hystérésis (Koskinen *et al.*, 1979, in Guimont 2005). Plusieurs explications seraient à l'origine de ce phénomène dont la précipitation du produit, l'occurrence de réaction chimique, le piégeage physique dans les agrégats (après diffusion moléculaire intra-agrégat et intra-particulaire) qui tendent à déséquilibrer le système (Barriuso *et al.*, 2000). Le phénomène d'hystérésis peut aboutir à la formation de résidus non extractibles (Shiavon, 1980 et Khan, 1982).

1.2. Processus de transformation

Au cours de son transport, l'herbicide est sujet à des phénomènes de transformation d'origine principalement biologique et/ou chimique dont l'intensité est contrôlée par ses propriétés physico-chimiques, les caractéristiques du sol et les conditions ambiantes. La transformation se traduit par l'apparition d'autres molécules, des métabolites, de propriétés (Polarité, solubilité dans l'eau), de réactivité, de comportement global et d'effet (toxicité par exemple) propre, différent de celles des molécules dites parents (Yaron, 1989). Le stade ultime de dégradation d'un pesticide est la minéralisation que l'on définit comme la conversion complète d'une molécule organique stable en formes inorganiques stables (H, C, N, P, ...) (Schwarzenbach *et al.*, 2003).

1.2.1. Dégradation chimique

La dégradation abiotique est souvent partielle et conduit en général, à la formation de produits de transformation qui peuvent être ultérieurement dégradés de façon biologique (Parochetti, 1978). Elle est assurée par des réactions : d'oxydation, de réduction, d'hydrolyse et de photolyse.

1.2.2. Biodégradation

La biodégradation a été définie comme une transformation structurelle d'un composé parent induite biologiquement et, qui modifie son intégrité moléculaire. Cette transformation nécessite que le composé (pesticide) soit biodégradable c'est-à-dire que les micro-organismes du sol possèdent l'appareil enzymatique nécessaire pour l'attaquer (Barriuso *et al.*, 2000). Si la molécule peut être utilisée directement par la microflore dégradante comme source de carbone et d'énergie, on parle de métabolisme. Au contraire, quand l'énergie nécessaire aux micro-organismes est fournie par la dégradation d'un autre substrat, nommé co-substrat, on parle de co-métabolisme.

Les principales réactions impliqués dans la biodégradation des pesticides par la microflore du sol sont des réactions d'hydrolyse, d'oxydation, de réduction et de conjugaison qui font apparaître des métabolites parfois plus polaires, plus solubles dans l'eau voire plus toxiques que le composé parent (Yaron, 1989).

La grande diversité des micro-organismes contenus dans le sol (bactéries, champignons, actinomycètes, algues) ainsi que leur abondance (10^6 - 10^9 bactéries/g. de sol sec) font de l'écosystème, un sol possédant un pouvoir détoxifiant parmi les plus élevés des milieux naturels (Gobat *et al.*, 1998).



1.3. Effet des pesticides sur les micro-organismes du sol

Les pesticides appliqués en grande quantité ou à des intervalles rapprochés, et qui ne subissent pas de détoxification rapide finissent par éliminer ou inactiver certains groupes microbiens, la conséquence étant une diminution du rendement ou de la qualité des cultures (Cayah, 1982). La nitrification, semble être l'une des transformations les plus sensibles dans le sol par suite de l'application d'un pesticide, et la vitesse d'oxydation de l'ammoniaque est souvent diminuée pour des concentrations qui sont par ailleurs sans influence sur les cultures. Ces transformations biochimiques importantes sont : la fixation non symbiotique de l'azote moléculaire, la minéralisation de l'azote et l'ammonification. Les résidus de Glyphosate datés d'une année, aboutissent à la réduction de la fixation azotée chez le soja, le trèfle, la laitue, l'orge et la carotte (El Ghazi, 2003).

2. Formation des résidus

2.1. Définition des résidus

On entend par résidus, la quantité laissée par un pesticide dans ou sur les aliments, les sols, les eaux, ou l'air. C'est la trace indésirable des traitements appliqués aux cultures ou aux productions pour les protéger ou en améliorer leur rendement. Il comprend tous les dérivés de pesticides : les métabolites et les produits de réaction (Shiavon, 1980).

Les produits phytopharmaceutiques sont appliqués par traitements foliaires, traitement des sols, traitements des denrées en vue de leur conservation et traitements des locaux. Dès que la matière active a été déposée, différents facteurs concourent à l'éliminer ; la pluie et le vent provoquent un entraînement mécanique du dépôt vers les parties basses des plantes puis vers le sol; le produit peut être partiellement solubilisé, oxydé ou hydrolysé donnant ainsi naissance à des métabolites plus ou moins toxiques que la molécule initiale (Shiavon, 1980).

Le résidu de pesticides s'exprime en mg/kg ou ppm (part par million). La croissance végétale est un facteur très important de décroissance du dépôt initial et de son évolution en résidu (Benzine, 2006). Si le jour du traitement, on retrouve 500g de produit sur des plantes de laitue par exemple, d'un poids de 5g, la valeur du dépôt (R_0) au moment de l'application est :

$$R_0 = 500 / 5 = 100 \text{ g/g (100 ppm)}$$

Au moment de la récolte, le poids de la laitue est de l'ordre de 250g; même si aucun facteur d'élimination n'est intervenu, la teneur en pesticide (R) dans la plante n'est que de 2 g.

$$R = 500 / 250 = 2 \text{ g (2 ppm)}$$

2.2 Formations des résidus liées ou non-extractibles

Les interactions entre les pesticides et les constituants des sols responsables de la rétention évoluent dans le temps. Cette évolution se traduit par une stabilisation des pesticides ainsi que de leurs produits de dégradation qui



évoluent vers des résidus de moins en moins disponibles par la formation des liaisons covalentes avec les constituants des sols (Shiavon, 1980) appelées *résidus liés* ou *résidus non-extractibles*.

2.3. Résidus libres ou extractibles

Ce sont des produits de dégradation des pesticides ou de leurs dérivés, extraits aisément du sol, par des techniques classiques d'extraction (utilisation des solvants organiques).

2.4. Devenir des résidus liés

L'existence des pesticides sous forme de résidus non extractibles pose le problème de leur devenir. En effet, si dans un premier temps, ces résidus peuvent être considérés comme une forme stabilisée de la molécule, la possibilité de leur libération constitue une préoccupation essentielle tant du point de vue agronomique qu'écologique. Khan (1982) avait montré que ces résidus pouvaient être remobilisés notamment via la modification physico-chimique des composantes du sol ou encore via l'action des micro-organismes. La remise en circulation des résidus non extractibles serait un phénomène lent qui aboutirait soit à leur minéralisation ou à leur réincorporation dans l'humus ou à leur relargage dans la solution du sol évoquant un possible transfert en profondeur.

2.5. Facteurs influant la formation de résidus liés

2.5.1. Concentration des produits

Certaines études ont souligné l'existence d'une relation inverse entre la formation de résidus liés et le taux d'application initiale (Racke et Lichtenstein, 1987). Ainsi, ces derniers ont montré que lors d'applications de C14-parathion à des faibles concentrations (1 et 5 ppm), les résidus liés s'élevaient à 31 et 24% de la quantité initiale. En revanche, à des taux plus élevés d'application (45 et 86 ppm), les résidus liés ne représentaient plus que 16 et 17% du composé appliqué. Ce phénomène serait dû au fait que les fortes concentrations auraient un effet inhibiteur sur les micro-organismes dégradants, médiateurs de formation des résidus liés.

2.5.2. Application répétée

L'application répétée de pesticides est une pratique commune en agriculture. Il apparaît que la plupart des études relatives à cet usage rapportent un effet positif sur la formation de résidus liés (Khan et Hamilton, 1980a).

2.5.3. Fraction du sol

Plusieurs études suggèrent que les polluants organiques présentent une plus grande affinité pour les surfaces organiques que pour les surfaces minérales (Senesi, 1993). Le contenu et la nature de la matière organique du sol jouent par conséquent un rôle majeur dans la formation de résidus liés. Certaines molécules peuvent former avec la fraction acide fulvique, acide humique et humine des liaisons irréversibles conduisant à la formation de résidus liés non extractibles par les solvants organiques (Bertin et Schiavon, 1989).



V. TOXICITE

La toxicité des pesticides dépend de plusieurs facteurs tels que le mode d'utilisation (gaz, liquide, poudres ou solides), les moyens d'application (dispersion, pulvérisation) et les conditions climatiques. Les principaux indices de mesure de la toxicité des pesticides utilisés sont :

- **DL50** : la dose létale 50 (dose administrée en une fois à un lot d'animaux et qui provoque la mort de 50% du lot); elle permet d'estimer la toxicité aiguë du produit (toxicité à court terme). Elle est exprimée en mg/kg de poids vif.

- **CL50** : concentration létale 50, (concentration d'un pesticide qui provoque 50% de mortalité); elle représente l'écotoxicité (en terme de toxicité aiguë) pour les organismes aquatiques (algues, crustacés, poissons,...).

- **DES** : Dose Sans Effet, elle correspond à la limite de toxicité chronique pour l'animal (toxicité à long terme), elle est exprimée en mg/kg de poids vif et par jour.

- **DJA** : Dose Journalière Acceptable, elle estime la limite de toxicité chronique pour l'homme. Elle est évaluée à partir de DES pour l'animal le plus sensible divisée par un facteur de sécurité.

- **LMR** : Limite Maximale de Résidu, c'est la concentration maximale admissible dans une denrée. Elle est établie pour un produit alimentaire en tenant compte de la quantité de cet aliment qu'un homme consomme en moyenne chaque jour.

* Phytotoxicité des herbicides

Selon l'organisation européenne de la protection des plantes (OEPP) la Phytotoxicité est définie comme la capacité d'un produit causant des dégâts temporaires ou permanents aux végétaux, et qui se manifeste par une inhibition ou un retard de la croissance, par une modification de couleurs, par nécroses ou des déformations. Cependant l'évaluation de la phytotoxicité sur le végétal constitue un élément essentiel de l'évaluation d'un herbicide, elle comporte des essais d'efficacité, de sélectivité et de tolérance.

- Sélectivité des herbicides

Pour être utilisable en pratique, un herbicide doit être non seulement efficace et sans danger pour le consommateur et l'environnement, mais aussi être sélectif (Scalla, 1991). La sélectivité des herbicides résulte d'une différence de sensibilité des plantes, cette différence peut se manifester entre les espèces (différence de sensibilité interspécifiques).

Les adjuvants peuvent influencer les effets environnementaux de la matière active, en jouant sur sa toxicité, sa dépression et sa persistance (Levitant, 1996). Elles peuvent augmenter la surface de contact avec la plante et permettent une pénétration facile dans la cuticule des plantes (El Ghasi, 2003). Elles permettent alors la réduction de la dose, la protection de l'environnement et la réduction du coût (Tanji, 1996).



La sélectivité des herbicides dépend, souvent de la dose administrée, du stade d'application, de la vigueur de la plante et des conditions climatiques et agronomiques, à savoir les conditions de température et d'humidité (Tbib, 2007). La sélectivité s'exprime différemment selon la dose et peut disparaître à une forte dose (Gaillardon, 1991). Ainsi, il existe différents mécanismes de sélectivité.

a. Sélectivité de position

Ce mécanisme découle, soit de la localisation relative dans le sol des herbicides et des organes absorbants souterrains de la culture soit de la position des organes sensibles de la plante (Blondlot *et al.*, 2000).

b. Sélectivité anatomique

La sélectivité anatomique semble être liée aux particularités de la culture qui se traduit par des différences de morphologie, des différences de rétention des gouttes de pulvérisation (plantes mouillables ou peu mouillables) ou de pénétration des produits (Blondlot *et al.*, 2000)

VI. METHODES D'ANALYSE DES HERBICIDES

Les herbicides sulfonylurées sont appliqués sous forme de pâte granulée dispersables dans l'eau à des taux de 10 à 20 g de principe actif par hectare. Ainsi, pas plus de 5 g d'herbicide/ha/an qui migre dans le sol (Chafik, 2002). Donc, ils montrent un très faible taux d'application et de mobilité dans le sol. En effet, l'analyse de résidus des sulfonylurées dans le sol nécessite une détection à des seuils inférieurs à 1g/kg. Il est nécessaire donc, de développer des méthodes analytiques sensibles pour la détection et le contrôle de ces herbicides dans les différents compartiments de l'environnement.

1. Biotest

Toute méthode ayant comme avantage, l'analyse directe du sol sans extraction préalable des résidus (Rahman *et al.* 1989), par l'utilisation des plantes indicatrices et en se basant sur leur croissance, leur poids et la croissance de leurs racines pour déterminer la quantité de résidus des herbicides dans le sol (Smith, 1995). Le biotest peut être très sensible et donne des réponses à de très faibles quantités de résidus allant jusqu'à 0,01 ppm (Chafik, 2002). En plus, cette technique ne nécessite pas une instrumentation sophistiquée. Simmons (1998) avait montré que l'effet d'un herbicide ciblant les mauvaises herbes pour une culture monocotylédones (céréales) présente un effet néfaste plus élevé si la culture suivante est une dicotylédones (légumineuses).

Le tableau ci-dessous, montre les principales espèces végétales utilisées pour évaluer la contamination du sol par les résidus de différents herbicides.

Tableau 3 : Différentes espèces bio-essais pour différents herbicides (Simmons W., 1998).

Herbicide	Nom commercial	Espèces bio-essais
-----------	----------------	--------------------



Atrazine	Aetrex	Concombre, Avoine, Blé, Tomate, Petit pois.
Chlorsulfuron	Glean	Betterave, Lentille, Maïs.
Diphenamid	Enide	Orge, Avoine, Tomate, Ray-grass.
Flauzifop	Fusilade	Maïs.
Linuron	Lorox	Concombre, Betterave, Ray-grass.
Metribuzin	Sencor, Lexone	ognion, Betterave.
Napropamide	Devrinol	Blé.
Picloram	Tordon	Fève, Concombre.
Prometryn	Caparol	Betterave, Concombre, Avoine, Blé, Potiron, Pastèque.
Terbacil	Sinbar	Blé, Betterave.

L'inconvénient du biotest réside dans le fait que les concentrations évaluées sont semi-quantitatives (Hall et Hartwig, 1978, in Chafik 2002), ce test n'est pas spécifique et par conséquent, il peut y avoir des interférences avec d'autres résidus présents dans le sol. En plus, l'adsorption de l'herbicide par le sol peut également fausser la sensibilité de la plante indicatrice. Par ailleurs, des courbes d'étalonnages sont nécessaires pour chaque type de sol et d'herbicide (Smith, 1995).

2. Analyses physico-chimiques

2.1. Extraction des résidus du sol

La préparation des échantillons et l'extraction constituent les étapes les plus délicates. L'extraction des pesticides est souvent réalisée avec la technique de Soxhlet, de l'extraction assistée par ultrasons (UAE) ou l'extraction assistée par les micro-ondes (MAE). La procédure d'extraction varie selon la matrice, elle peut se faire par extraction en phase solide, solide-liquide, ou liquide pressurisés (PLE) pour l'extraction des produits phytosanitaires du sol, des sédiments, des composts ou de vases.

2.2. Technique d'analyse

2.2.1. Chromatographie Liquide à Haute Performance (HPLC)

La HPLC phase normale et inverse est la méthode la plus répandue dans l'analyse des résidus des sulfonyles (Smith, 1995). La HPLC est utilisée comme méthode de quantification et de détection dans la plupart des études de biodégradation, de photolyse, adsorption/désorption, hydrolyse, mobilité, etc. (Galletti *et al.*, 1995). Il a été démontré que cette méthode présente des caractéristiques requises de spécificité, de linéarité, de précision et d'exactitude. Les limites de détection enregistrées pour le rimriduron et son métabolite sont inférieures à 0,02 ppm (Shalaby *et al.*, 1992).

2.2.2. Chromatographie Liquide à Haute Performance couplée à la spectroscopie de masse (HPLC/MS)

Il s'agit d'un chromatographe en phase liquide, muni d'un système de pompe et d'un passeur couplé à une détection en spectrométrie de masse à trappe à ions (Figure 8). L'appareil est piloté depuis un ordinateur équipé du logiciel XCalibur.



Figure 8 : Chromatographe liquide couplé à un spectromètre de masse.

D'après des travaux récents, Cette méthode d'analyse, est très utile à la quantification des sulfonyles dans différents milieux (eau et sol). Elle a été également utilisée pour fournir des informations sur la nature des produits de dégradation (Chafik, 2002).

Récemment, des études ont souligné l'utilité de cette technique pour identifier et quantifier différentes molécules sulfonyles dans les eaux souterraines et de surface avec des limites de détection de 10 ng/l (Furlong et al., 2000, in Chafik, 2002).

2.2.3. Chromatographie en Phase Gazeuse (CPG)

Les herbicides de type sulfonyle sont connus comme étant des composés non volatiles et thermosensibles (Smith, 1995). Par conséquent, Leur analyse directe par CPG n'est pas prometteuse. Néanmoins, on trouve dans la littérature, des méthodes d'analyse, basées sur la CPG, permettant de doser certaines sulfonyles. Klaffenbach et Holland (1993) ont pu doser le chloresulfuron et le metsulfuron méthyle dans l'eau et dans le sol à l'aide de leurs dérivés N, N'-diméthylés thermostables. Les limites de détection sont de 0,1 g/l et de 1 g/kg dans l'eau et le sol respectivement (Cotterill 1992). Toutefois, l'utilisation de la CPG comme méthode d'analyse des sulfonyles demeure limitée.

2.2.4 Chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (GC-MS)

Cette méthode séparative couplée à une détection très sensible permet l'identification de molécules volatiles, thermostables à l'état de traces dans des mélanges complexes. L'appareil est un chromatographe Trace de Finnigan équipé d'un passeur d'échantillon couplé à un spectromètre de masse équipé d'un analyseur à piégeage de charge (trappe à ions). L'ensemble est piloté par un ordinateur muni d'un système d'acquisition et d'exploitation des données utilisant le logiciel XCalibur.



Figure 9 : Chromatographe en phase gazeuse couplé à un spectromètre de masse.

Les composés sont alors identifiés par leur temps de rétention sur le chromatogramme et par leurs ions spécifiques caractérisés par leur rapport masse/charge (m/z) sur le spectre de masse.

Pour les solutions les plus diluées, le rapport Signal/Bruit (SN) permet de déterminer si l'on se trouve à la limite de détection ou de quantification. La limite de détection notée LOD ($SN \approx 3$) est définie comme étant la plus petite quantité d'un analyte pouvant être détectée et considérée comme différente de la valeur du blanc, mais non certainement quantifié (AFNOR, 1999). La limite de quantification notée LOQ ($SN \approx 10$) est la plus petite grandeur d'un analyte pouvant être déterminé quantitativement.

L'utilisation de la MS en tandem (MS/MS) a pour avantage de supprimer le bruit de fond lié en partie à l'effet de la matrice. Cette technique permet de mieux isoler les molécules d'intérêt et d'améliorer ainsi la sélectivité et la sensibilité de la méthode d'analyse. Elle implique toutefois (dans une analyse en multi-résidus) que les temps de rétention des composés recherchés ne soient pas trop proches. En effet, les fenêtres d'isolement doivent être suffisamment éloignées afin de pouvoir déterminer des segments d'analyse spécifiques de chaque ion caractéristique pour chacune des molécules.



I. ESSAI DE GERMINATION ET DE LA VIABILITE DES GRAINES DE BROME

1. Matériel végétal

Des graines de brome rigide (*Bromus rigidus* Roth) de différents âges sont utilisées.

2. Méthode d'étude

Cinq graines de brome rigide de la période 1999-2008 sont désinfectés dans l'eau de javel, puis misent en germination dans des boîtes de pétri préalablement couvertes de papier filtre, avec deux répétitions pour les graines de chaque année. Ensuite, les boîtes sont arrosées avec de l'eau distillée et sont mises dans la chambre de culture à 25°C avec 16 heures de lumière et 8 heures d'obscurité. La germination est mesurée en comptant le nombre de graines germées pour les différentes années.

Quelques gouttes de l'acide gibbérellique à raison de 1 g/l sont ajoutées aux boîtes contenant des graines qui ne sont pas germées pour but de lever la dormance des graines.

La viabilité des graines est ainsi, testée par l'ajout de 2, 3, 5 – Triphonyltetrazolium chloride à raison de 1 g/l.

II. ETUDE DE L'EFFICACITE DE CERTAINES SUBSTANCES ACTIVES CONTRE LES MAUVAISES HERBES (DANS LE CHAMP)

1. Matériel végétal

Le matériel végétal utilisé est la variété *Amal* du blé tendre : *triticum aestivum* de la famille de graminées.

2. Station d'étude

L'expérimentation a eu lieu au Domaine expérimental de Douyet-Fès de l'Institut Nationale de la Recherche Agronomique de Meknès durant la campagne agricole 2009/2010. Cinq matières actives sont testées et comparées à un témoin non désherbé (TND).

3. Conduite de l'essai

Les traitements herbicides ont été appliqués à l'aide d'un pulvérisateur à dos équipé d'une buse de type miroir, menu d'une rampe d'un demi mètre de long et débitant un volume de bouillie de 200l/ha vers 15 janvier (2010). La taille des parcelles élémentaires utilisées est de 20m² (4m x 5m).

Le travail du sol a été effectué en septembre à la charrue à disques suivi d'un passage de pulvérisateur dissymétrique. L'engrais de fond sous forme de 40 unités d'azotes, de sulfate d'ammoniaque (21%), 40 unités de phosphore sous forme de super triple de phosphate (45%) à l'aide d'un épandeur d'engrais. L'enfouissement a eu lieu à l'aide d'un pulvérisateur dissymétrique léger. Le semis a été réalisé avec le semoir Wintersteiguer réglé à la dose de 160 kg/ha. L'engrais de couverture sous forme d'ammonitrate (35%) a été épandu au stade plein tallage à une dose de 160 kg/ha.

4. Dispositif expérimental



Le dispositif expérimental adopté est un bloc aléatoire complet avec 4 répétitions.

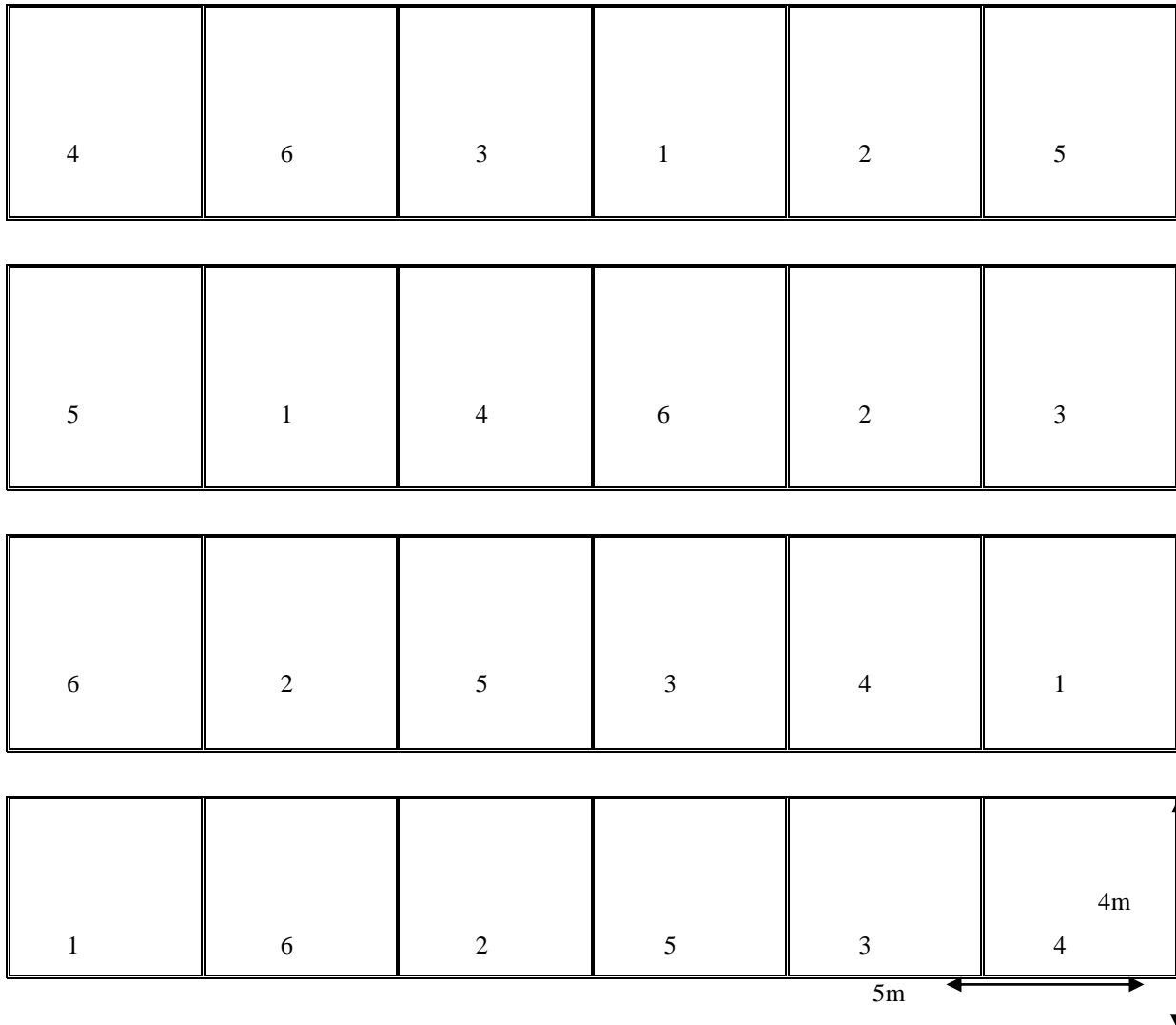


Figure 10 : Schéma du dispositif expérimental

- | | |
|-------------------------------|--------------------------|
| 1 : Sulfosulfuron ; | 4 : Prométryne ; |
| 2 : Propoxycarbazone sodium ; | 5 : Pyroxsulam ; |
| 3 : Méso-sulfuron méthyle ; | 6 : Témoin non désherbé. |

5. Echantillonnage

Chaque parcelle a fait l'objet d'un prélèvement aléatoire de 5 pieds de blé et un demi-mètre carré de mauvaises herbes à l'aide d'une placette délimitée au centre de chaque parcelle élémentaire, aux stades : tallage, montaison, épiaison et à la récolte. Un mètre linéaire de blé a été prélevé à la récolte.

6. Observations et mesures

Les observations et mesures ont concerné les paramètres de croissance et de développement ainsi que les composantes de rendement de la culture du blé dur et du brome raide.



Tableau 4: Les paramètres de croissance et de rendements mesurés

Les paramètres de croissance	Les composantes de rendement
Densité de peuplement	Nombre d'épis/m ²
Hauteur	Nombre de grains/épi
Matière sèche	PMG
Densité	Rendement en grain
	Rendement biologique

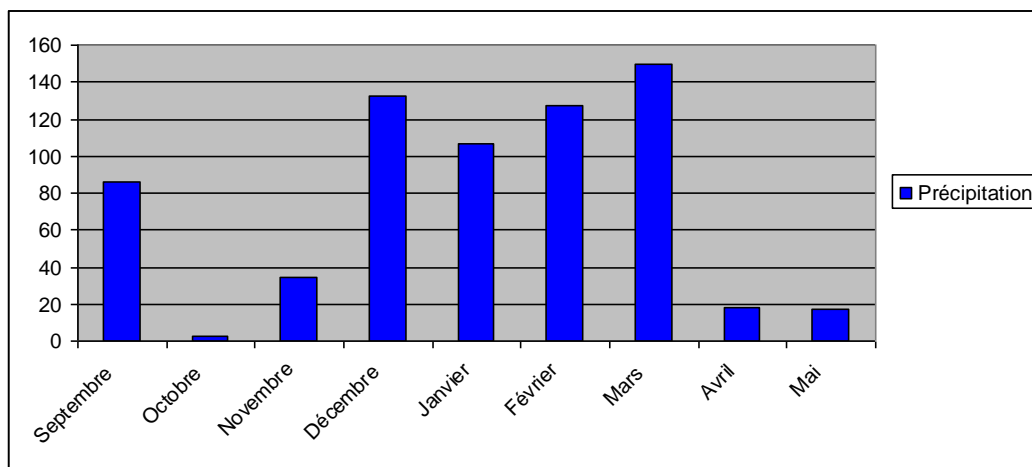


Figure 11 : Répartition de la pluviométrie par mois durant la campagne 2009/2010 (Domaine expérimental Douyet Fès).

III. EFFET RESIDUEL DES HERBICIDES ANTI-GRAMINEES SUR LA CULTURE DU BLE ET DU BROME, CULTURES OLEAGINEUSES, LEGUMINEUSES ET CULTURES SUCRIERES (ESSAI SOUS SERRE)

1. Matériel végétal

Nous avons utilisé 7 variétés végétales :

Tableau 5 : les variétés cultivées sous serre

Plante	Variété
Blé	Arrihane
Colza	INRA CZ 409
Tournesol	Salma
Carthame	Rancho
Petit pois	Douce Provence
Pois chiche	Farihane
Fève	Aduadulce



L'essai a été installé, en pots sous serre vitrée à l'INRA de Meknès. Le sol a été pris sur une profondeur de 10 cm dans des parcelles du blé traitées au sulfosufuron à la dose de 20 g m.a /ha, propoxycarbazone-Na⁺ (42 g m.a/ha), mésosulfuron-méthyl (350 g m.a/ha), prométryne (500 g m.a/ha) et pyroxsulam (18,75 g m.a/ha).

Un échantillon du sol de chaque pot a été prélevé pour l'analyse des résidus au laboratoire. Une petite cuillère de fertilisant (sulfate 21%), est ajoutée dans chaque pot. Après homogénéisation du sol, les pots sont remplis de sol (6 kg) de type argileux-limoneux.

2. Conduite de l'essai

Le semis a été réalisé au cours du janvier 2010 à une profondeur de 4cm, avec une densité qui varie selon la variété.

- * Céréales (Blé) : 10 graines par pot, soit une densité de 320 graines /m² ;
- * Brome : 10 graines par pot, soit une densité de 320 graines /m² ;
- * Légumineuses qui sont au nombre de 3 :
 - Fève : 3 graines par pot, soit une densité de 96 graines /m² ;
 - Pois chiche : 4 graines par pot, soit une densité de 128 graines /m² ;
 - Petit pois : 4 graines par pot, soit une densité de 128 graines /m² ;
- * Oléagineuses
 - Tournesol : 2 graines par pot, soit une densité de 64 graines /m² ;
 - Colza : 2 graines par pot soit, une densité de 64 graines /m² ;
 - Carthame : 2 graines par pot, soit une densité de 64 graines /m² ;
- * Sucrrières: Betterave : 1 graines par pot, soit une densité de 32 graines /m² ;

Les pots ont été irrigués régulièrement jusqu'à la récolte.

3. Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental adopté est un bloc aléatoire complet avec deux répétitions et deux niveaux de traitement sol, sol avec résidu (SR) et sol propre non traité (SP).

4. Test de germination des graines

Le pouvoir germinatif des graines de différentes espèces végétales cultivées, sous serre, est testé au laboratoire.

Le taux de germination est estimé par le nombre de graines germées par rapport à la totalité des graines de l'espèce étudiée.

5. Paramètres mesurés

- La hauteur de la tige principale (H)
- Le nombre de feuilles vertes par plante
- La matière sèche aérienne (MSA)



- La longueur racinaire (LR)
- Le volume racinaire (VR)
- la matière sèche racinaire (MSR)
- La surface foliaire (SF)
- La teneur en chlorophylle

La température et l'humidité relatives journalières de la serre ont été mesurées en utilisant un thermo hydrographes (figure 12).

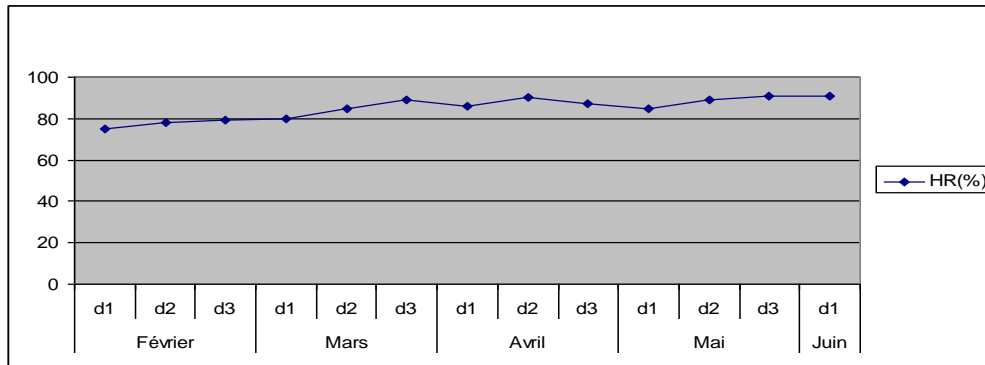


Figure 12 : Evolution de l'humidité relative (HR) décadaires sous serre.

Les principales propriétés physico-chimiques du sol utilisé ont été déterminées au laboratoire des sciences du sol de l'INRA Meknès et sont notées dans le tableau suivant :

Tableau 6 : Propriétés physico-chimiques du sol utilisé

Sol	Argile	Limon	Sable	PH	MO (%)
Avec résidu	44,40	43,80	11,80	6,80	2,17
Sans résidu	45,00	43,30	11,70	6,70	2,21

6. Analyse statistique

Le traitement des résultats obtenus a été effectué par l'utilisation de l'ANOVA en utilisant le logiciel SPSS.

IV. EXTRACTION DE RESIDUS DE PESTICIDES DU SOL

1. Préparation des échantillons du sol

Cinq échantillons sol sont prélevés, avant le semis, dans des pots rempli de sol présentant les 5 matières actives retenues dans cette étude. Ils sont séchés à la température ambiante et tamisés à 2mm.

Les différentes étapes de l'analyse de résidu de pesticide du sol sont :

- Extraction
- Purification
- Concentration de l'extrait

- Analyse (identification et quantification)

2. Extraction de résidus des pesticides

2.1. Extraction discontinue

L'extraction des résidus de pesticides effectuée sur 20g de sol est réalisée avec 100 ml d'un mélange Hexane : Propanol (75 : 25) dans un erlenmeyer de 125 ml. Après filtration et élimination de culot, 20 ml du surnageant sont agités avec 30 ml d'eau distillée dans une ampoule à décanter. La phase organique est alors, séparée et séchée sur sulfate de sodium anhydre puis concentrée sur évaporateur rotatif à 2 ml. Les extraits sont conservés dans des piluliers au congélateur (à -20°C) jusqu'à l'analyse.



Figure 13 : Les différentes étapes d'extraction discontinue des résidus de pesticides
(1 : agitation, 2 : filtration, 3 : décantation et 4 : concentration)

2.2. Extraction continue

L'extraction est réalisée pendant un temps t par un soxhlet (figure 14) de 250 et de 125 ml, en utilisant un solvant pour extraire une quantité de sol. Les cartouches utilisées sont en cellulose et en papier filtre. Le tableau 6 résume les conditions expérimentales d'extraction.

Tableau 7 : Conditions expérimentale d'extraction des résidus

Matière active extraite	Solvant	Volume de solvant	Durée d'extraction	Quantité du substrat
Sulfosulfuron	Méthanol	200 ml	24 heures	50g
Propoxycarbazone- Na^+	Acétone	200 ml	24 heures	50g
Mésosulfuron-méthyl Na^+	Méthanol	300 ml	14 heures	30g
Prométryne	Méthanol	200ml	18 heures	40g
Pyroxsulam	Méthanol	200 ml	18 heures	50g





Figure 14 : Dispositif expérimentale d'extraction des résidus des pesticides.

A. RESULTATS

I. Essai de germination et de viabilité des graines du brome raide

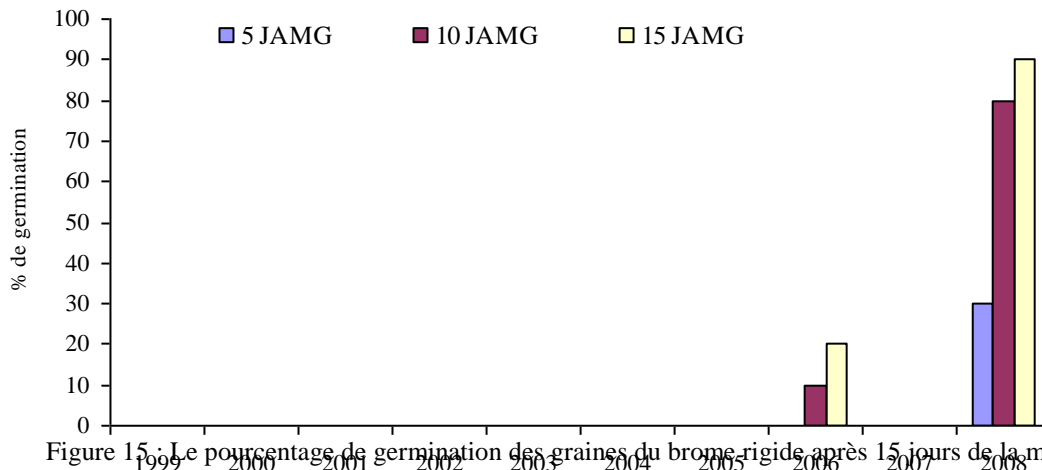


Figure 15 : Le pourcentage de germination des graines du brome raide après 5, 10 et 15 jours de la mise en germination

La figure ci-dessus montre le pourcentage de germination de graines du brome raide de la période 1999-2008 après 5, 10 et 15 JAMG (Jours Après la mise en Germination). Les graines de l'année 2008 ont commencé à germer dès le cinquième jour de la mise en germination avec un pourcentage de 30% et atteint 90% après 15 JAMG. Pour les graines de l'année 2006 la germination n'a commencé qu'à partir 10 JAMG avec un pourcentage faible (10%). Les graines des autres années n'ont pas germé après 15 JAMG.

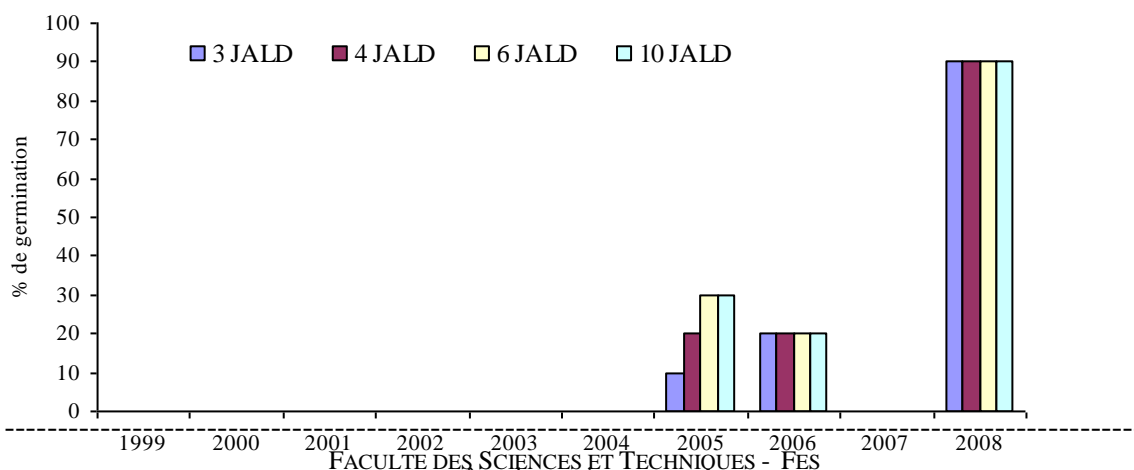




Figure 16 : Le taux de germination des graines du brome raide après la levée de dormance

Les résultats représentés sur cette figure montre le pourcentage de germination des graines du brome raide de la même période à 3, 4, 6 et à 10 jours après levée de dormance par l'acide gibbérellique.

Les graines de l'année 2008 ont germées à 100% dès les premiers jours après la levée de dormance, tandis que, les graines de l'année 2006 montrent un pourcentage de germination qui atteint 20% après 3 JALD et qui reste constant jusqu'à 10 JALD. Par contre, celles de l'année 2005 ont atteint 20% après 4 JALD et 30% après 6 JALD. Pour les autres années, aucune graine de brome n'a germé après application de l'acide gibbérellique pour lever la dormance des semences.

Tableau 8: Pourcentage de graines viables parmi les graines non germées

Année	Nombre de graines non germés	% des graines viable
1999	10	80%
2000	10	90%
2001	10	90%
2002	10	80%
2003	10	100%
2004	10	80%
2005	7	70%
2006	8	80%
2007	10	70%
2008	0	–

Le tableau 8 montre le nombre de graines du brome raide non germées après 15 jours de la mise en germination et 10 jours après la levée de dormance. Nous avons remarqué que le pourcentage des graines viables reste important, malgré que celles-ci n'aient pas germé. Le taux de germination est de 100% pour l'année 2003. Par contre, le pourcentage de viabilité le plus faible est observé pour l'année 2005 et 2007, il est de 70%.

II. EFFICACITE DES SUBSTANCES ACTIVES CONTRE LES MAUVAISES HERBES (ESSAI EN PLEIN CHAMP)



1. Efficacité des matières actives

1.1. Effet des herbicides sur les adventices

Tableau 9 : Effet des herbicides sur la densité et la matière sèche des mauvaises herbes

Matière active	Nom commerciale	Dose g m.a/ha	Stade	Densité pied/m ²	Matière sèche totale g/m ²
Sulfosulfuron	Apyros 70 wp	20+400cc	3 feuilles	34c	89,4c
Propoxycarbazone Na⁺	Attribus 70	42+200cc	3 feuilles	98b	202,4b
Mésosulfuron méthyle Na⁺	Atlantis 70	350	3 feuilles	10d	16,6d
Propmétryne	Gesagard 500 SC	500	3 feuilles	38c	93,4c
Pyroxsulam	Pallas 45 OD	18,75	3 feuilles	16d	41,6d
TND	-	-	3 feuilles	118a	308,6a
Moyenne	-	-	-	52,3	125,3
SD	-	-	-	44,8	110,2

L'analyse statistique a révélé un effet significatif des traitements herbicides sur la densité et la matière sèche des mauvaises herbes. La densité varie de 10 à 118 pieds/m² pour la mésosulfuron méthyle et le traitement non désherbé. La matière sèche maximale des adventices a été obtenue pour le traitement non désherbé avec 308,6 g/m² et elle est de 16,6 g/m² pour le mésosulfuron méthyle Na⁺.

Par rapport aux autres traitements, le propoxycarbazone Na⁺ a donné le minimum d'effet sur la densité et la matière sèche des mauvaises herbes, et a diminué la densité des adventices de 20 pied/m² et la matière sèche de 106,2 g/m² par rapport au témoin non désherbé.

L'application de pyroxsulam à une dose de 18,75 g m.a/ha a baissé la densité de peuplement des adventices de 102 pied/m² et la matière sèche de 267 g/m².

1.2. Efficacité des herbicides

Tableau 10 : Efficacité des herbicides sur la densité et la matière sèche des mauvaises herbes



Matière active	Nom commerciale	Dose g m.a/ha	Stade	Efficacité de la densité (%)	Efficacité de la matière sèche(%)
Sulfosulfuron	Apyros 70 wp	20+400 cc	3 feuilles	71,2b	71,0b
Propoxycarbazone Na⁺	Attribus 70 wp	42+200 cc	3 feuilles	16,9d	34,4c
Mésosulfuron méthyle Na⁺	Atlantis 70	350	3 feuilles	91,5a	94,6a
Propmètryne	Gesagard 50 SC	500	3 feuilles	67,8c	69,7b
Pyroxsulam	Pallas 45 OD	18,75	3 feuilles	86,4a	86,5b
TND	-	-	3 feuilles	-	-
Moyenne	-	-	-	66,8	71,3
SD	-	-	-	29,6	23,1

Les résultats du tableau 10 montrent que l'efficacité moyenne des herbicides testés concernant la densité et la matière sèche est respectivement de 66,8 et 71,3. Le mésosulfuron méthyle Na⁺ et le pyroxsulam appliqué à la dose de 350 g m.a/ha et 18,75 g m.a/ha au stade de trois feuilles du blé, ont permis une efficacité respectivement de 91,5 et 86,4% et de 94,6 et 86,5% de la densité et la matière sèche des mauvaises herbes.

Le traitement par le propoxycarbazone Na⁺ à la dose de 42 g m.a/ha, a montré une efficacité plus faible (16 et 34% respectivement pour la densité et la matière sèche des adventices) par rapport aux autres traitements (91 et 94% pour la densité et la matière sèche obtenues par l'application de mésulfuron méthyle Na⁺).

L'application de sulfosulfuron à la dose 20 g m.a/ha + 400 cc de Mirowet au stade de 3 feuilles a permis une réduction de la densité et la matière sèche des mauvaises herbes respectivement de 71,2 et 71% (tableau 10).

2. Rendement du blé tendre

2.1. Effet des herbicides sur les paramètres de rendement

Tableau 11 : Effet des traitements sur les composantes de rendement du blé tendre



Matière active	Nom commerciale	Dose g m.a/ha	Stade	Nombre de grain/épi	PMG	Rendement en grain g/m ²	Rendement biologique g/m ²
Sulfosulfuron	Apyros 70 wp	20+400cc	3 feuilles	23,5c	28,8a	215,6c	1450a
Propoxycarbazone Na ⁺	Attribus 70	42+200cc	3 feuilles	25,2c	27,9a	264,8b	1350b
Mésosulfuron méthyle Na ⁺	Atlantis 70	350	3 feuilles	33,6a	23,8c	223,0c	1100c
Prométryne	Gesagard 50 SC	500	3 feuilles	30,2a	26,5b	200,1c	1300b
Pyroxulam	Pallas 45 OD	18,75	3 feuilles	27,9b	25,8b	295,8a	1100c
TND	-	-	3 feuilles	25,4c	24,4c	178,6d	750d
Moyenne	-	-	-	27,6	26,2	229,6	1175,0
SD	-	-	-	3,7	1,9	43,2	250,5

Les résultats du tableau 10 montrent l'effet de cinq molécules herbicides sur les composantes de rendement du blé tendre. La molécule de sulfosulfuron et de propoxycarbazone sodium appliquée respectivement à la dose 20g m.a/ha et 42g m.a/ha au stade de 3 feuilles du blé ont augmenté le poids de mille graines, le rendement en grain et le rendement biologique est respectivement de 18 ; 20,7 ; 93,3% et de 14,4 ; 48,2 ; 80% comparé au témoin non désherbé (TND). La molécule herbicide de mésosulfuron méthyle Na⁺ appliqué à 350 g m.a/ha a affecté positivement le nombre de grains par épi, rendement en grain et rendement biologique respectivement de 36,2 ; 24,9 et de 46,7%.

Le traitement par la molécule de prométryne et pyroxulam appliqué respectivement à 500g m.a/ha et à 18,75g m.a/ha au stade de 3 feuilles du blé a amélioré le nombre de grains par épi, le poids de mille graines, le rendement en grains et le rendement biologique est respectivement de 18,9 ; 8,6 ; 12 et 73,3% et de 9,8 ; 5,6 ; 65,7 et 46,7%.

L'analyse statistique effectuée a bien montré un effet significatif des cinq traitements sur les paramètres de rendement de la culture du blé tendre.

2.2. Gain de rendement

Tableau 12 : Impact des herbicides anti-bromes sur le gain en rendement grain et biologique



Matière active	Nom commerciale	Dose g m.a/ha	Stade	Gain en rendement grain (%)	Gain en rendement biologique (%)
Sulfosulfuron	Apyros 70 wp	20+400cc	3 feuilles	20,7c	93,3a
Propoxycarbazone Na ⁺	Attribus 70	42+200cc	3 feuilles	48,3b	80a
Mésosulfuron méthyle Na ⁺	Atlantis 70	350	3 feuilles	24,8c	46,7c
Prpmétryne	Gesagard 50 SC	500	3 feuilles	12d	73,3b
Pyroxsulam	Pallas 45 OD	18,75	3 feuilles	65,6a	46,7c
TND	-	-	3 feuilles	0	0
Moyenne	-	-	-	28,6	56,7
SD	-	-	-	24,2	33,4

L'analyse statistique a montré un effet significatif des cinq molécules herbicides sur le gain en rendement en grains et rendement biologique. L'application de sulfosulfuron et propoxycarbazone Na⁺ a donné un gain de rendement biologique respectivement de 93,3 et de 80%. Un gain de rendement en grains de 65,6 et 48,3% a été assuré respectivement par l'application de pyroxsulam et propoxycarbazone Na⁺. Le meilleur rendement en grains a été obtenu par l'application de pyroxsulam à 18,75g m.a/ha au stade de 3 feuilles, ce gain est de 65,6%, et le meilleur rendement biologique a été obtenu par l'application de sulfosulfuron ; il est de 93,3% par rapport au témoin non désherbé.

III. EFFET RESIDUEL DES HERBICIDES ANTI-GRAMINEES SUR LA CULTURE DU BLE ET DU BROME, LES CULTURES OLEAGINEUSES, LES CULTURES LEGUMINEUSES ET LES CULTURES SUCRIERES (ESSAI SOUS SERRE).

1. Hauteur de la tige principale à 15 jours après levée(H)

Les figures 17a, 17b, 17c et 17d montrent la variation de la hauteur de la tige principale de la culture du blé et du brome, les cultures oléagineuses (Colza, Tournesol et Carthame), les cultures légumineuses (Petit pois, Pois chiche et fève) et la culture de la betterave exposées aux résidus des 5 molécules herbicides anti-brome comparées au témoin (sol sans résidus). Après 15 jours de la levée des plantes, l'effet des résidus du sulfosulfuron, propoxycarbazone-Na⁺, Mésosulfuron méthyle-Na⁺ et prométryne se montre plus marqué sur la hauteur de la tige du blé et du brome. Cette



réduction est respectivement de l'ordre de 66,7, 56,7, 56,7 et 60% pour la hauteur du blé et de 72,7, 68,2, 63,7 et 77,3% pour la hauteur du brome rigide.

Pour les cultures oléagineuses, l'effet résiduel affecte la hauteur des plantes d'une façon considérable par rapport au témoin. Le maximum de réduction a été effectué par les résidus de sulfosulfuron, le taux de réduction est de l'ordre de 66,9 ; 73,1 et 83,3% respectivement pour la hauteur du colza, tournesol et carthame. La différence entre l'effet de chaque substance active sur la taille des plantes oléagineuses est relativement faible (0,5cm).

L'effet résiduel sur les cultures légumineuses est plus accentué et il se manifeste par l'absence de germination des graines dans les sols avec résidus de sulfosulfuron et propoxycarbazone- Na^+ de toutes les légumineuses, alors que dans le sol avec résidu de Mésosulfuron méthyle- Na^+ il y a absence de germination des graines de petit pois, de pois-chiche et celle de petit pois dans le sol avec résidus de prométryne. Les résidus de prométryne et pyroxsulam n'ont pas modifié la hauteur du pois-chiche et de la fève, elle est réduite respectivement, de 7 et 14,2%, et de 2 et 7% par rapport au témoin.

Pour la betterave l'effet résiduel se traduit par l'absence totale de germination dans les sols traités avec les cinq matières actives.

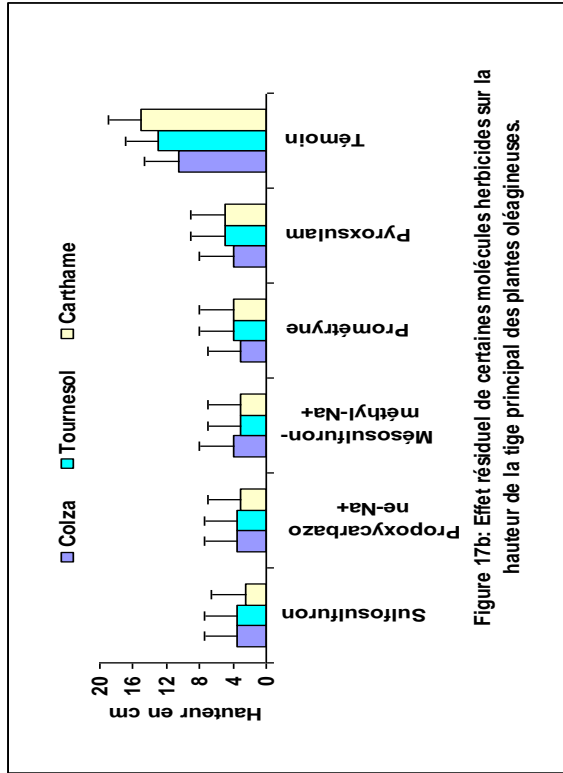


Figure 17b: Effet résiduel de certaines molécules herbicides sur la hauteur de la tige principal des plantes oléagineuses.

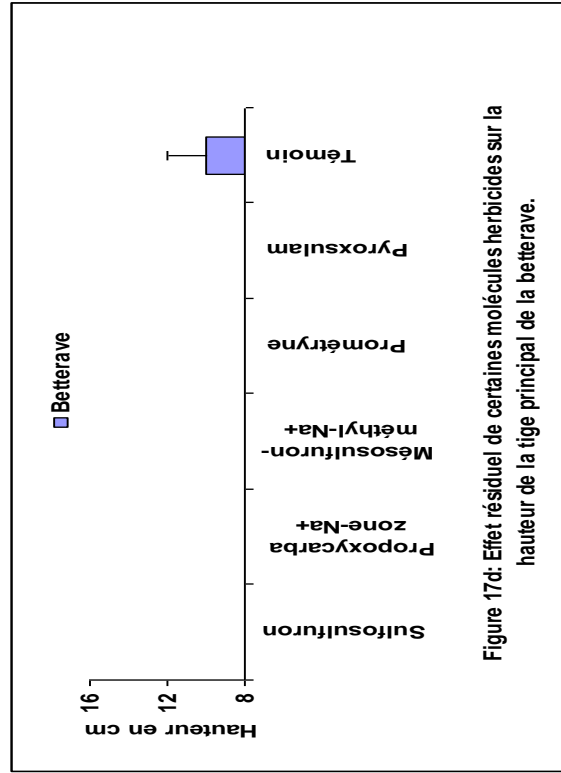


Figure 17d: Effet résiduel de certaines molécules herbicides sur la hauteur de la tige principal de la betterave.

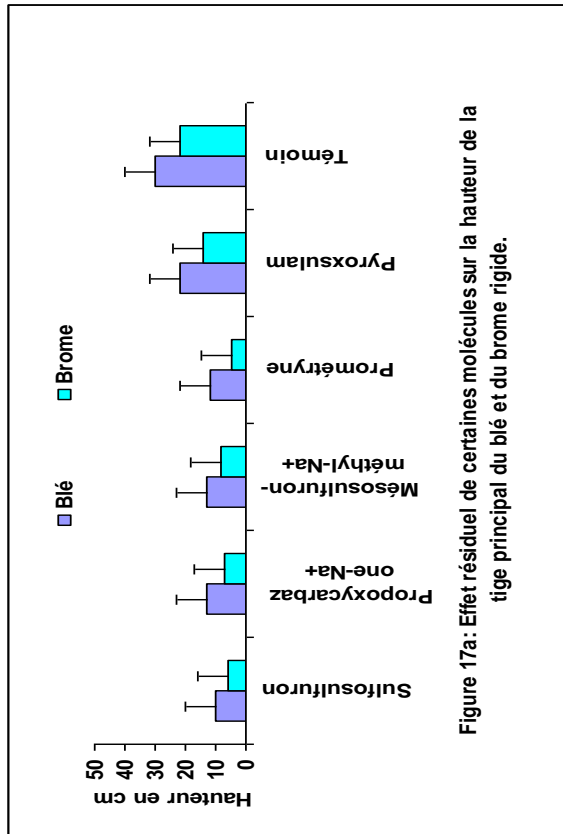


Figure 17a: Effet résiduel de certaines molécules sur la hauteur de la tige principal du blé et du brome rigide.

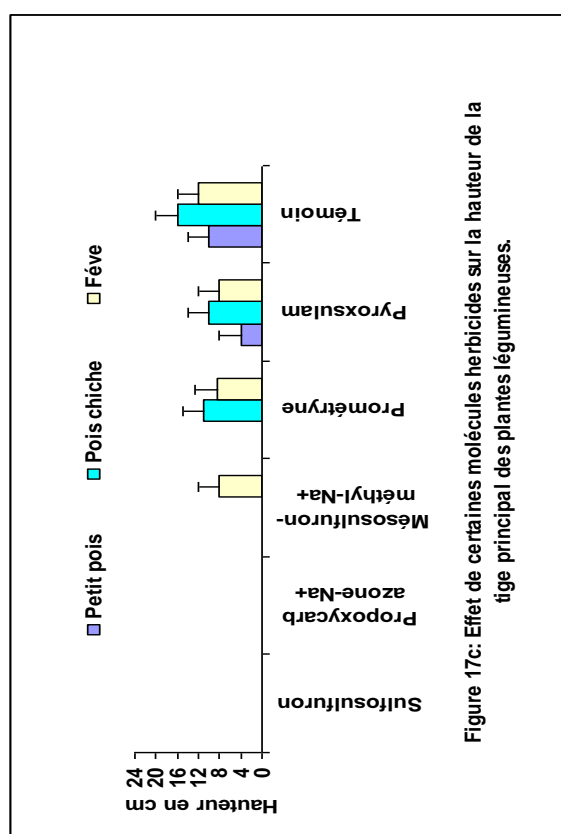


Figure 17c: Effet de certaines molécules herbicides sur la hauteur de la tige principal des plantes légumineuses.



2. Nombre de feuilles vertes par plante

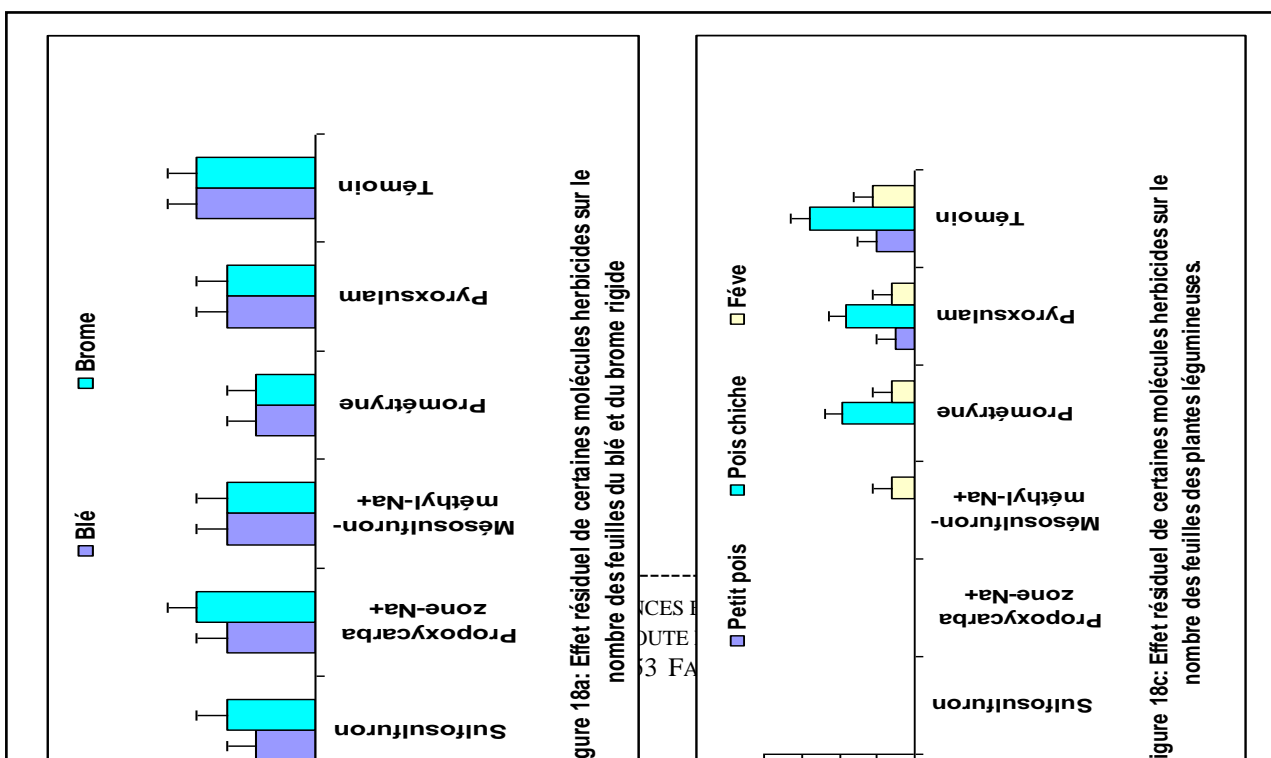
La figure 18 (a, b, c et d) montrent l'effet résiduel de certaines molécules herbicides sur le nombre des feuilles vertes par plante de la culture du blé et du brome raide, les cultures oléagineuses (Colza, Tournesol et Carthame), les cultures légumineuses (Petit pois, Pois chiche et fève) et la culture de la betterave exposée aux résidus de cinq molécules herbicides anti-brome. Après 15 JAL les résidus de mésosulfuron méthyle Na^+ , prométryne, et pyroxsulam ont le même effet sur le nombre de feuilles de la culture du blé et du brome raide qui est diminué de moitié dans le sol avec résidu de prométryne comparé au témoin.

L'effet résiduel sur les cultures oléagineuses se manifeste par la réduction du nombre de feuilles de la même façon pour les cinq molécules herbicides, alors que pour les cultures légumineuses, les résidus de prométryne n'ont pas d'effet sur le nombre de feuilles de la fève et ceux de pyroxsulam n'ont pas d'effet sur le nombre de feuilles de fève et petit pois levée. Pour la betterave les résidus des matières actives à des effets sur la germination des graines.

3. Matière sèche aérienne des plantes (MSA)

Les résidus de toutes les molécules herbicides étudiées ont un effet bien marqué sur la production de la matière sèche aérienne après 15 JAL du blé et brome raide, des cultures oléagineuses (Colza, Tournesol et Carthame), les cultures légumineuses (Petit pois, Pois-chiche et Fève) et la culture de la betterave (figures 19a, b, c et d)). Ils ont réduit la production de la matière sèche du blé et du brome, l'effet le plus accentué est celui des résidus de sulfosulfuron sur la matière sèche du blé et du brome (réduction respectivement de 51,6 et 52%) et le moins accentué est celui des résidus de pyroxsulam sur la matière sèche du blé et du brome raide, réduction respectivement est de 24,8 et 40,3%. Pour les plantes oléagineuses, le sulfosulfuron a diminué la production de la matière sèche du colza, du tournesol et du carthame, le taux de réduction est respectivement de 90%, 53,3% et 60,9% par rapport au témoin.

L'effet résiduel de pyroxsulam sur la production de matière sèche est le moins faible par rapport aux effets des autres matières actives, il a réduit la matière sèche de 75,2 ; 22,6 et de 32,9% respectivement pour le colza, le tournesol et le carthame par rapport au témoin.



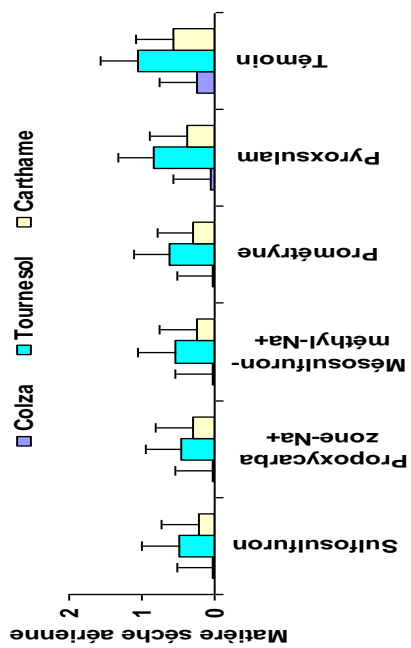


Figure 19b: Effet résiduel de certaines molécules herbicides sur la matière sèche aérienne des plantes oléagineuses.

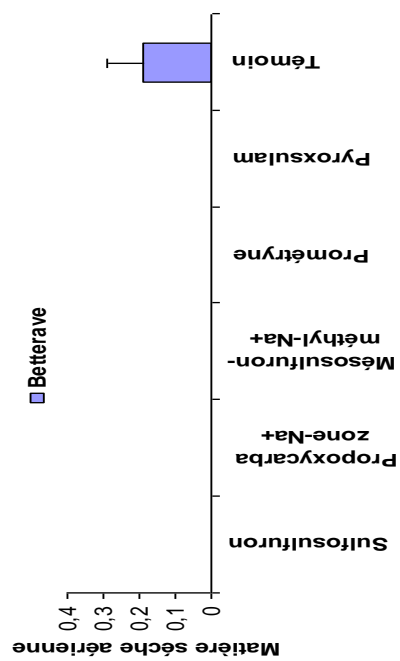


Figure 19d: Effet de certaines molécules herbicides sur la matière sèche aérienne de la betterave.



UNIVERSITÉ SIDI MOHAMMED BEN ABDELLAH
FACULTE DES SCIENCES ET TECHNIQUES
DEPARTEMENT DE BIOLOGIE
www.fst-usmba.ac.ma





Pour les plantes légumineuses les résidus de sulfosulfuron et le Propoxycarbazone Na⁺ ont un effet de 100% sur la culture de petit pois, pois-chiche, fève et celle de mésosulfuron méthyle Na⁺ a un effet de 100% sur la culture de petit pois et pois-chèche, alors que les résidus de prométryne et de pyroxsulam ont déprimé la production de matière sèche du pois-chiche.

Les résidus des deux dernières matières actives n'ont pas d'effet considérable sur la matière sèche de la fève, elle est réduite respectivement, de 4,6 et 0,8%. Dans le sol propre, la betterave a produit une MS de 6,01 g/m² alors que dans le sol avec résidu, la production de la matière sèche est nulle.

4. Longueur racinaire (LR)

Les résidus des herbicides a affecté la hauteur racinaire de la culture du blé et brome raide, les cultures oléagineuses (Colza, Tournesol et carthame), et les cultures légumineuses (Petit pois, Pois chiche et Fève) après 15 jours de la levée (figures 20a, b, c et d). Les résidus de toutes les matières actives ont réduit la longueur racinaire du blé de deux tiers par rapport à un témoin, alors que les résidus n'ont pas changé la longueur racinaire du brome d'une façon considérable (une légère réduction).

Pour les cultures oléagineuses les cinq molécules herbicides ont réduit la longueur racinaire d'une manière différente. La longueur racinaire du colza est influencée d'une manière importante par les résidus de la matière active de prométryne et de pyroxsulam, celle de carthame est plus influencée par les résidus de sulfosulfuron et celle de tournesol sont influencées par les résidus des cinq matières actives. On constate aussi, qu'il y a une différence de 1 cm dans le sol avec résidu de pyroxsulam (5cm) et les dans les sols avec les autres résidus (4cm).

L'effet des résidus de molécules herbicides sur les plantes légumineuses levées n'a pas réduit d'une façon importante la longueur racinaire de la fève, par les résidus de mésosulfuron méthyle Na⁺, prométryne et pyroxsulam, le petit pois, par les résidus de pyroxsulam et pois-chiche, par les résidus de prométryne et de pyroxsulam. La betterave a une racine pivotante, dans un sol propre, la longueur racinaire (LR) atteint 20 cm ; par contre dans un sol avec résidu, la LR est nulle car il n'y a pas eu de germination de graines à cause de la présence des résidus des herbicides anti-bromes dans le sol.

5. Matière sèche racinaire (MSR)

Les figures (21a, b, c et d) montrent la variation de matière sèche racinaire après 15 JAL de la culture du blé et du brome raide, les cultures oléagineuses (Colza, Tournesol et Carthame) et les cultures légumineuses (Petit pois, Pois-chiche et Fève) cultivées sur un sol présentant des résidus de cinq molécules herbicides et un sol propre (témoin) sans résidus.

Les molécules herbicides ont réduit la matière sèche racinaire du blé et du brome dans un ordre décroissante par les résidus de Sulfosufuron, Propoxycarbazone Na⁺, Mésosulfuron méthyle Na⁺, Prométryne et Pyroxsulam comparé à un témoin, elle est respectivement de 67,16 ; 58,2 ; 53,8 ; 32,9 et 25,3% pour la culture du blé.



En ce concerne les cultures oléagineuses les résidus ont déprimé la formation de la matière sèche racinaire (réduction de 43,4% dans le sol avec résidu de Mésofuron méthyle Na^+ comparé au témoin). Pour la culture du colza, toutes les matières actives ont affecté la production de la matière active de la même façon (réduction de 44,4% par rapport au témoin). La matière sèche racinaire du carthame a été réduite de 42,6% dans le sol avec résidu de sulfosulfuron comparé au témoin.

Pour les cultures légumineuses levées, la fève n'est pas influencée d'une façon importante par les résidus, alors que la matière sèche racinaire du pois-chiche est affectée de 50% par les résidus de prométryne (0,020 g/racine) par rapport au témoin (0,042 g/racine).

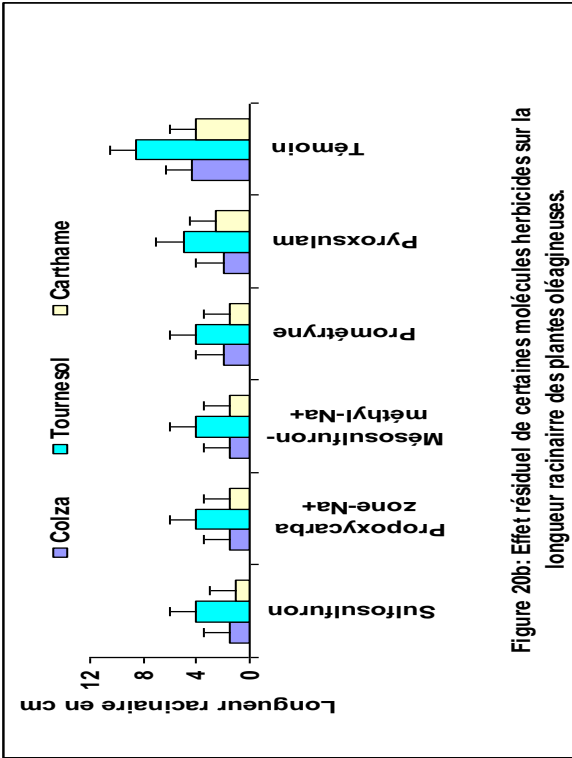


Figure 20b: Effet résiduel de certaines molécules herbicides sur la longueur racinaire des plantes oléagineuses.

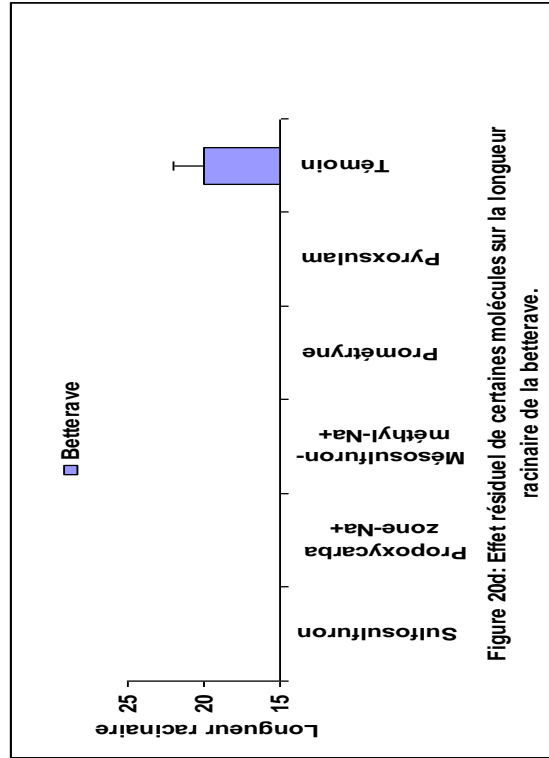


Figure 20d: Effet résiduel de certaines molécules sur la longueur racinaire de la betterave.

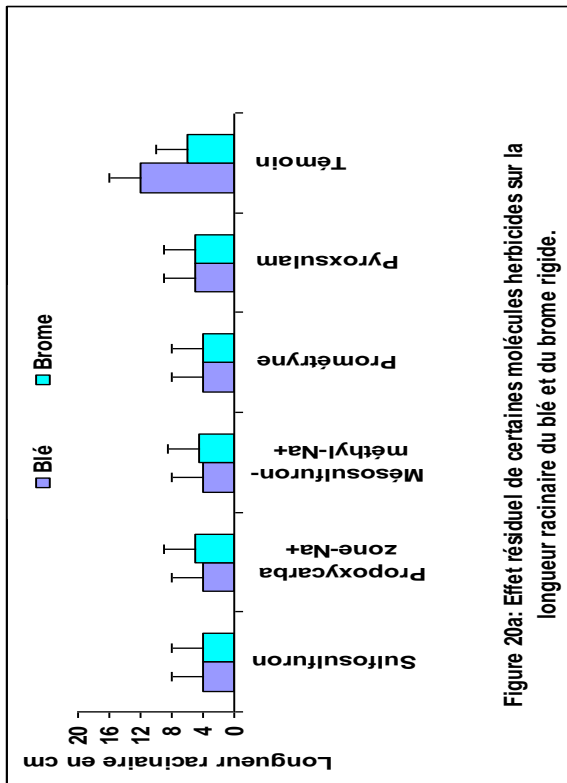


Figure 20a: Effet résiduel de certaines molécules herbicides sur la longueur racinaire du blé et du brome rigide.

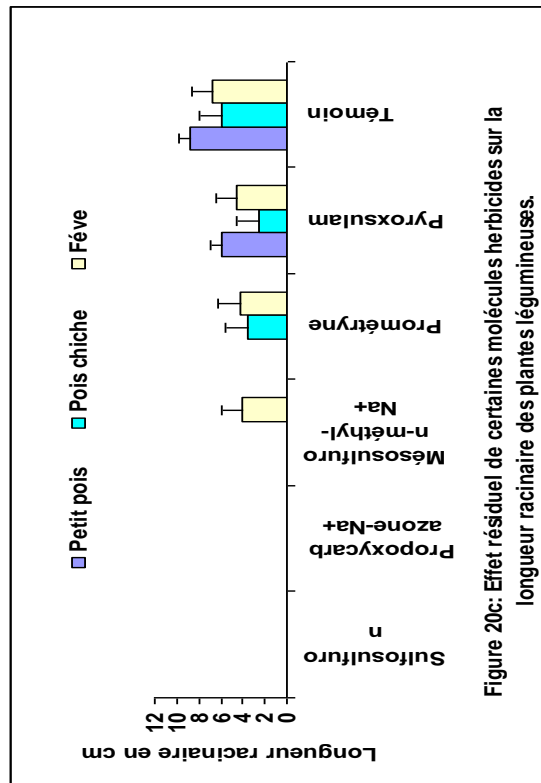
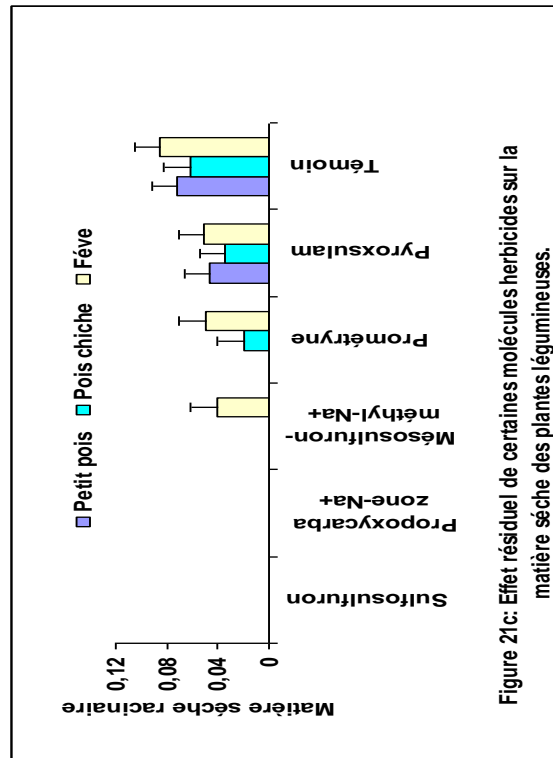
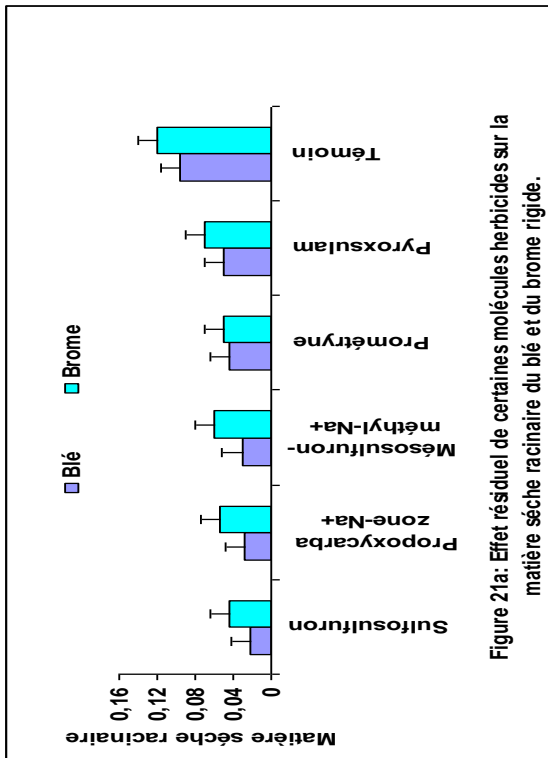
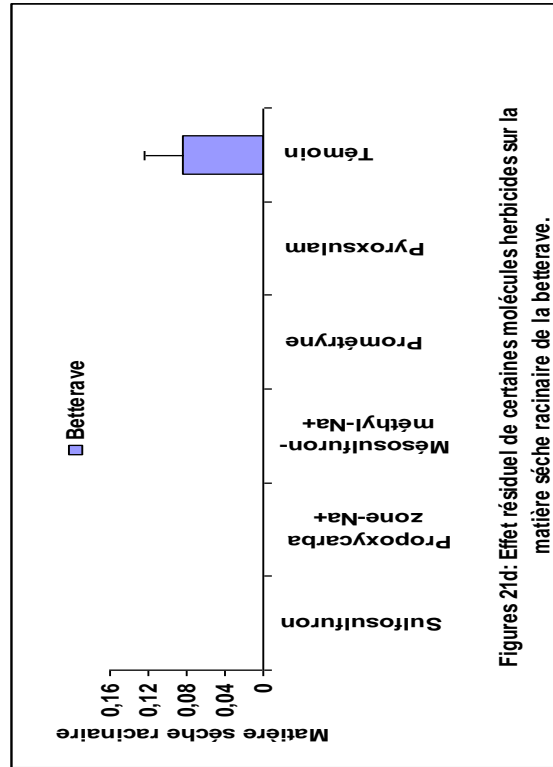
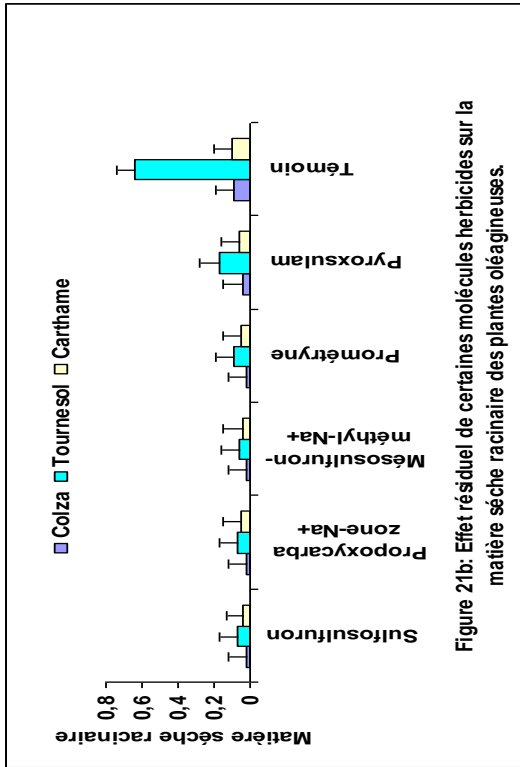


Figure 20c: Effet résiduel de certaines molécules herbicides sur la longueur racinaire des plantes légumineuses.





6. Volume racinaire (VR)

Les figures (22a, b, c et d) montrent l'effet résiduel sur le volume racinaire après 15 JAL de la culture du blé et brome, les cultures oléagineuses (Colza, Tournesol, Carthame), les cultures légumineuses (Petit pois, Pois chiche et Fève) et la culture de la betterave cultivées sur un sol avec résidus de cinq matières actives et sol propre (témoin). Les résidus de Propoxycarbazone Na⁺, Mésosulfuron méthyle Na⁺ et pyroxsulam ont réduit le VR du blé de 50%, et Sulfosulfuron et Prométryne ont réduit le VR de 25% comparé au témoin. Le VR du brome raide a été réduite de 66,7% dans le sol avec toutes les molécules herbicides, sauf dans le sol avec résidus de pyroxsulam où le VR est réduit de 33,33% par rapport au témoin.

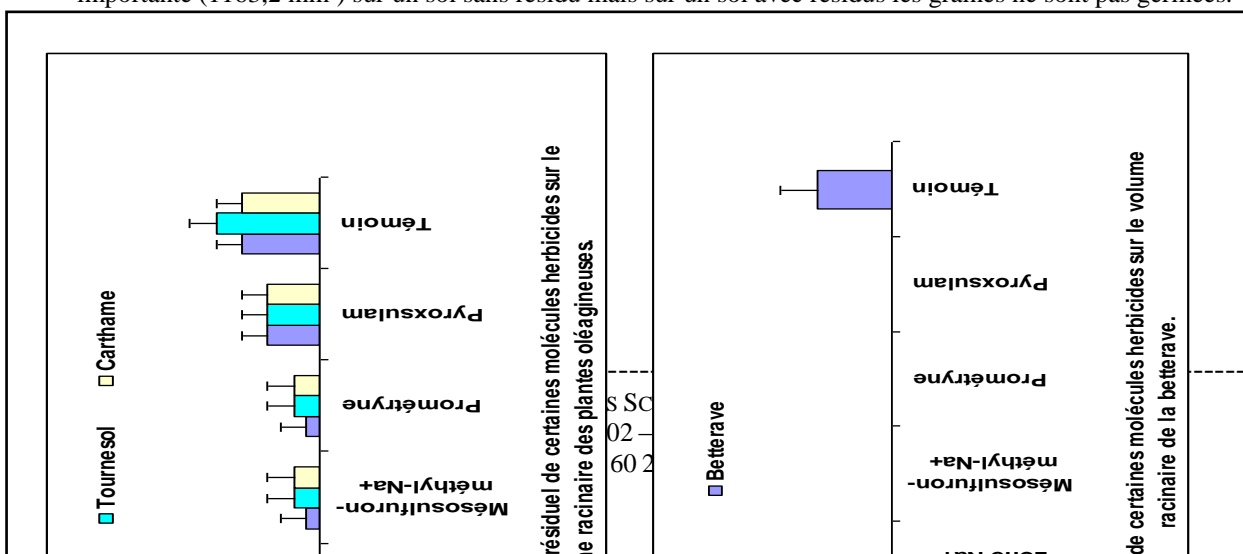
Pour les plantes oléagineuses, les résidus de toutes les matières actives ont réduit le VR, et la réduction la plus faible est celle engendrée par les résidus de pyroxsulam pour les trois cultures oléagineuses. Le volume du système racinaire des cultures légumineuses levées est influencé de la même façon par les résidus de toutes les substances actives (50% pour le VR du pois chiche). La betterave a un volume racinaire de 2 ml/plante dans un sol sans résidus, tandis que dans un sol présentant des résidus des cinq matières actives il y a absence totale de germination et de levée des plantes sucrières.

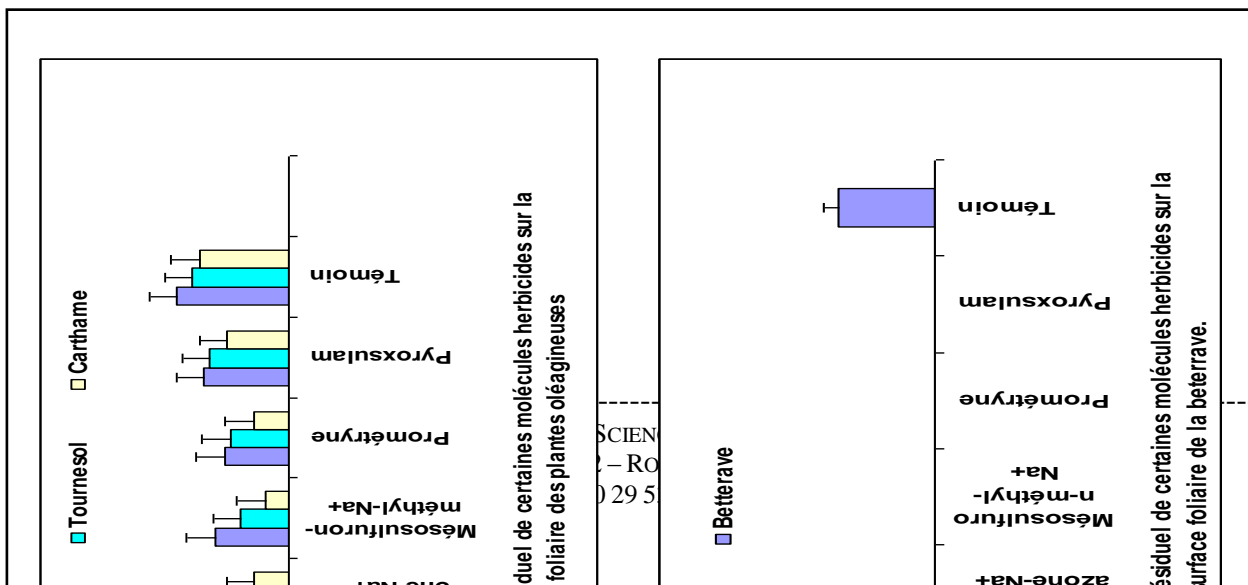
7. Surface foliaire (SF)

Les résidus des herbicides ont un effet bien marqué sur la surface foliaire de la culture du blé tendre et du brome raide, les cultures oléagineuses (Colza, Tournesol et Carthame), Les cultures légumineuses (Petit pois, Pois chiche, et Fève) et la culture de la betterave, après 15 jours de la levée (figures 23a, b, c, d). Les résidus des cinq matières actives ont un faible effet sur la SF du blé comparé au témoin. Le sol avec résidu de pyroxsulam n'a pas influencé la SF du blé, par contre, il a engendré une diminution de 23% de la surface des feuilles du brome raide.

Après 15 JAL, les résidus de sulfosulfuron a affecté la SF de la culture de colza, tournesol et carthame respectivement, de 39 ; 57,5 et de 69,2%.

Pour les cultures légumineuses, les résidus de toutes les molécules herbicides ont permis une légère réduction de la surface foliaire, elle est de 18% pour la culture du pois-chiche. La culture de betterave a enregistré un SF très importante (1163,2 mm²) sur un sol sans résidu mais sur un sol avec résidus les graines ne sont pas germées.







8. Teneur en chlorophylle

La figure (24a, b, c et d) montrent l'effet résiduel sur la teneur en chlorophylle de la culture du blé et brome raide, les cultures oléagineuses (Colza, Tournesol et Carthame), les cultures légumineuses (Petit pois, Pois chiche et Fève) et la culture de betterave, cultivées sur un sol présentant les résidus de cinq molécules herbicides et un sol propre.

Après 15 JAL les résidus de sulfosulfuron ont affecté la teneur en chlorophylle du blé, brome, colza, tournesol et carthame respectivement, de 60,7 ; 60,2 ; 79,1 ; 62,4 et de 63,6% par rapport au témoin, alors, un effet de 100% a été constaté sur les cultures des légumineuses.



La teneur en chlorophylle de la culture de blé, brome, colza, tournesol, carthame, petit pois, pois chiche et fève a été réduite par les résidus de pyroxsulam respectivement, de 21,8 ; 20,5 ; 15 ; 18,5 ; 19 ; 66,2 ; 46,6 et de 15,3% comparé au témoin. Pour la culture de la betterave les résidus ont un effet de 100% sur la teneur en chlorophylle.

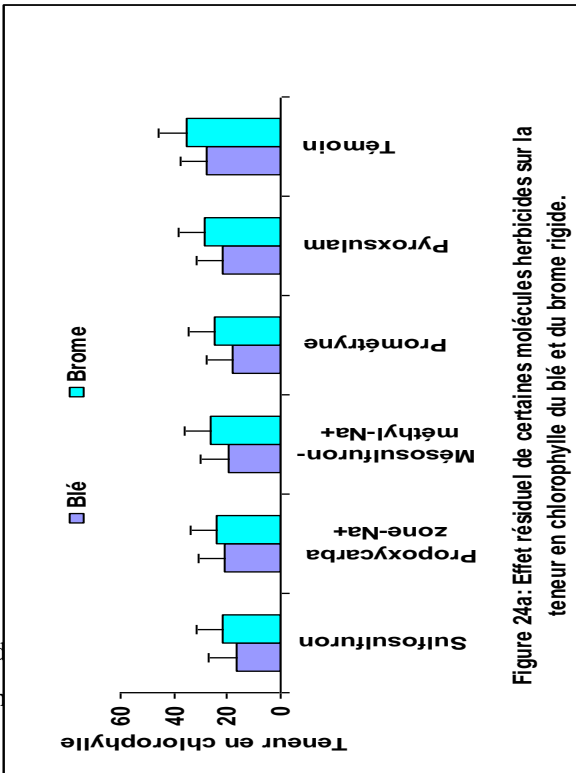


Figure 24a: Effet résiduel de certaines molécules herbicides sur la teneur en chlorophylle du blé et du brome rigide.

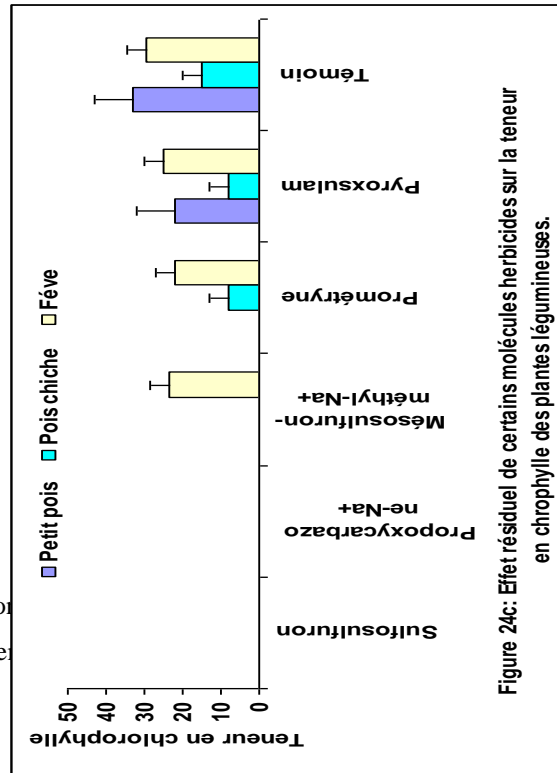


Figure 24c: Effet résiduel de certaines molécules herbicides sur la teneur en chlorophylle des plantes légumineuses.

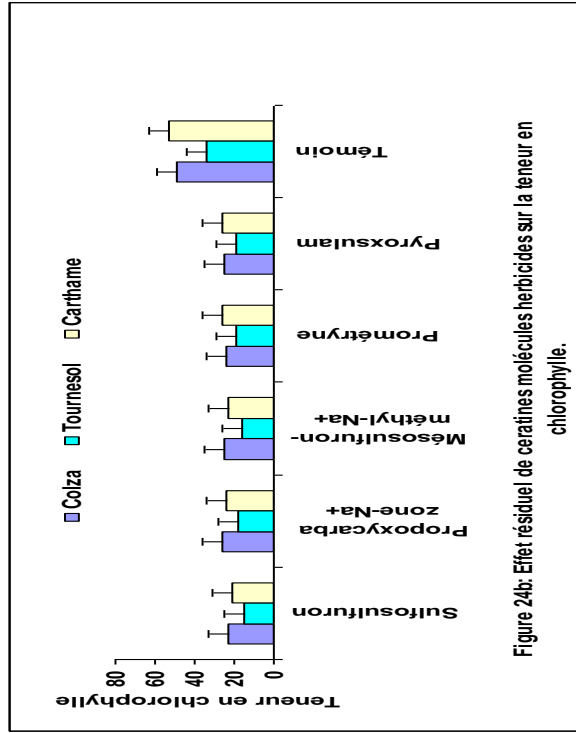


Figure 24b: Effet résiduel de certaines molécules herbicides sur la teneur en chlorophylle.

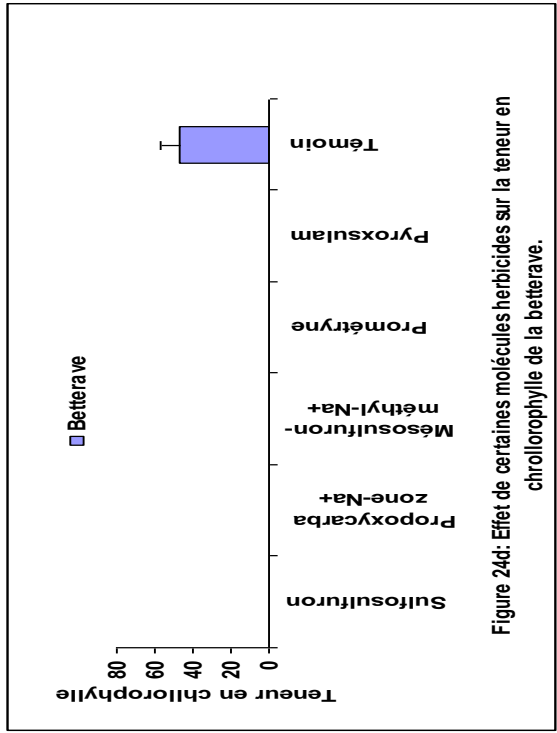


Figure 24d: Effet de certaines molécules herbicides sur la teneur en chlorophylle de la betterave.



Tableau 13 : Les symptômes des plantes exposées aux résidus des herbicides

La culture	Symptôme	Date de dessèchement de la plante
Blé	Blocage de croissance et de développement de la plante pendant 25 jours	60 JAL
Brome	Blocage de croissance plus de 45 jours	50 JAL
Colza	Jaunissement des feuilles	5 JAL
Tournesol	Lésions nécrotiques sur les feuilles	4 JAL
Carthame	Lésions nécrotiques sur les feuilles	5 JAL
Petit pois	Lésions nécrotiques sur les feuilles et absence de germination	20 JAL
Pois chèche	Forme chétive et retard de germination	40 JAL
Fève	Lésions nécrotiques sur les feuilles et mort prématuré des plantes	48 JAL
Betterave	Absence de germination	-

B. DISCUSSION

I. ESSAI DE LA VIABILITE DES GRAINES DU BROME RIGIDE

Les graines du brome rigide de l'année 2008 ont germé en premier temps, suivies des graines de l'année 2006 et enfin celles de l'année 2005. Les graines de bromes récoltées récemment germent en premier et les plus âgées en dernier lieu. En effet, les graines de brome rigide ont une germination échelonnée. L'absence de germination des graines de l'année 2007 peut être expliquée que par les conditions défavorables de germination en température, humidité et lumière. Ces résultats se concordent avec ceux obtenus auparavant par Hamal *et al.*, (2005, 2010)

II. ESSAI HERBICIDE CHIMIQUE EN PLEIN CHAMP

L'année 2009/2010 s'est caractérisée par une précipitation de 713,9mm. Les adventices ont gagné des conditions optimales de croissance et de développement. L'application des molécules herbicides a un effet bien marqué sur la densité et la matière sèche des adventices et le rendement du blé tendre, car le désherbage chimique a bien contrôlé la densité et la matière sèche des adventices et particulièrement les monocotylédones y compris le brome rigide.

L'application des molécules herbicides a amélioré les paramètres de rendement de la culture du blé tendre. La molécule de prométryne appliqué à 42 g m.a/ha a donné un gain en nombre de grains par épi, PMG, rendement en grains et rendement biologique de 18,9 ; 8,6 ; 12 et 73,3%. La molécule de sulfosulfuron et de propoxycarbazone sodium appliquée respectivement à la dose de 20 g m.a/ha et de 42 g m.a/ha au stade de 3 feuilles du blé a augmenté le poids de mille graines, le rendement en grains et le rendement biologique respectivement de 18 ; 20,7 ; 93,4% et de 14,3 ; 48,3 ; 80% comparé au témoin non désherbé (TND). Ces résultats se concordent avec ceux de Hamal (2008, 2009).

L'application de la molécule de pyroxsulam à la dose de 18,75 g m.a/ha au stade de 3 feuilles a donné un gain en nombre de grains par épi, PMG, le rendement en grains et le rendement biologique respectivement de 9,9 ; 5,7 ; 65,6 et 46,7% comparé au témoin non désherbé. Par rapport aux autres molécules, le meilleur rendement en grains a été assuré par l'application de pyroxsulam.

III. ESSAI SOUS SERRE



La culture des plantes céréalières, oléagineuses, légumineuses et sucrières sur un sol traité par les résidus de cinq molécules herbicides sous serre a montré que ces derniers affectent la majorité des paramètres de croissance et développement de ces cultures d'une façon importante qui peut atteindre 100% pour certaines légumineuses et la culture de la betterave.

En général, l'effet de résidus de pyroxsulam est le moins important pour les différentes cultures et celle de sulfosulfuron est la plus importante. Ces résultats sont en concordance ceux de Hamal (2009), il rapporte que les résidus du sulfosulfuron ont affecté la taille de la fève, le petit pois, le tournesol et la betterave respectivement, de 64 ; 39 ; 59 ; 100 et 100% par rapport au témoin.

L'accumulation des herbicides et ses résidus dans le sol peut avoir un effet négatif sur la microflore total de l'écosystème sol, et donc un effet négatif sur les cultures car les êtres vivants de sol participent à la restauration du sol et l'amélioration de la nutrition et l'approvisionnement en eau. Les microorganismes représentent la composante biologique la plus important du sol qui peut conduire à la minéralisation totale des produits phytosanitaires dans le sol si la concentration incorporée dans le sol ne présente pas une toxicité pour les micro-organismes et donc absence d'effet résiduel.

Dans le cas de notre étude, il apparaît que les résidus sont en grande concentration ou la transformation abiotique (photolyse, hydrolyse) des matières actives conduit la formation des composés plus toxiques que la molécule mère, les résidus absorbés par la plante ont entraîné une perturbation ou un déséquilibre dans les fonctions principales de la plante. Bordjiba et Ketif (2009) ont montré que les résidus de pesticides ont un effet sur la respiration normale de la plante et donc agissent sur les mécanismes de la photosynthèse en altérant la chlorophylle, le transport des électrons et la phosphorylation oxydative.



L'étude de la germination des graines du brome rigide, de différentes années au laboratoire, a montré que la germination est de type échelonnée. Le test biochimique de viabilité a révélé que la majorité des graines du brome rigide reste viable et peut germer quand les conditions optimales de germination se réunissent. Ce qui menace la céréaliculture en générale et affecte le rendement de la culture du blé tendre en particulier.

Les résultats de l'étude de l'efficacité des herbicides ont montré que l'application des molécules herbicides a un effet très important sur la densité de peuplement et la matière sèche des mauvaises herbes, et a amélioré les paramètres de croissance de la culture du blé tendre ainsi que le rendement grains et biologique.

L'effet le plus efficace sur la densité du peuplement et la matière sèche des mauvaises herbes a été enregistré par l'application de la mésosulfuron méthyle Na^+ utilisée à la dose de 350 g m.a/ha au stade de 3 feuilles du blé, le taux de cette efficacité sur la densité et la matière sèche des MH est respectivement, de l'ordre de 91,5 et 94,6% par rapport au TND. Suivie par l'application de pyroxsulam à 18,75 g m.a/ha, avec un taux d'efficacité de 86,4 et 86,5% respectivement, sur la densité et la matière sèche des adventices.

La molécule de pyroxsulam appliquée à la dose de 18,75 g m.a/ha au stade de 3 feuilles a donné un meilleur rendement en grains (65,6%), par contre, le meilleur rendement biologique a été obtenu par l'application de la molécule de sulfosulfuron (93,3%) et de propoxycarbazone Na^+ (80%) respectivement, à la dose de 20 et 42 g m.a/ha. Il ressort que le traitement à base des ces molécules herbicides contrôlent bien les mauvaises herbes céréalières y compris les monocotylédones d'une manière efficace et le brome en particulier, ce qui assure une production en quantité et en qualité de la culture du blé tendre. La molécule de pyroxsulam reste la plus efficace contre les mauvaises herbes en général et plus particulièrement contre le brome rigide, comparé aux autres matières actives, en tenant compte, de l'efficacité, l'importance de paramètres de rendement amélioré et la dose appliquée.

L'étude de l'effet résiduel de cinq molécules herbicides sous serre a montré que ces herbicides et ses résidus ont un effet négatif sur les paramètres de croissance de la culture du blé et du brome rigide, les cultures oléagineuses (Colza, Carthame et Betterave) et les cultures légumineuses (Petit pois, Pois chiche et Fève). Après 15 JAL on note un effet phytotoxique observables sur les cultures. En effet, l'effet résiduel sur la partie aérienne se manifeste par la diminution de la production de la matière sèche, lésions nécrotiques sur les feuilles et blocage de croissance.

En ce concerne la partie souterraine, nous avons noté un rétrécissement du système racinaire à cause des résidus. Les racines de ces plantes en présence des résidus ont été moins développées, mal répartis, dégradé et présentent des anomalies. Les résidus de sulfosulfuron ont affecté beaucoup plus la taille des cultures testées que les résidus des autres matières actives. En effet, on note une réduction de la hauteur du blé, brome, colza, tournesol, carthame, petit pois, pois chiche et fève respectivement 66,7, 72,7%, et se concordent avec ceux par Hamal *et al.*, (2008). Les résidus de la molécule pyroxsulam ont un effet légèrement faible sur les cultures par rapport aux résidus des autres matières actives. Ainsi, le test d'efficacité en plein champ a montré que l'application de pyroxsulam a un effet positif en ce concerne les paramètres de rendement du blé tendre.

Le sol avec résidus des ces cinq molécules herbicides inhibe la germination des graines de betterave et donc, un effet de 100% sur la culture de la betterave. Il ressort que le désherbage chimique permet d'assurer un rendement



satisfaisant de parcelles de blé tendre. Cependant, la persistance des herbicides dans le sol a une problématique sur la culture suivante ou sur une culture de remplacement, sensible à la molécule herbicide utilisée.

RECOMMANDATIONS

A la lumière de ces résultats nous pouvons recommander ce qui suit :

L'identification et la quantification systématique des radicaux de différentes matières actives persistantes dans le sol par l'utilisation des méthodes de détection très sensibles.

La détermination de l'effet des résidus des pesticides sur la microflore totale et plus particulièrement, sur les micro-organismes de sol bénéfique aux cultures.

L'identification des principales voies de dégradation pour chaque famille de pesticides et à leur intégration dans les modélisations sur le devenir des polluants dans l'environnement.

Pour pouvoir maîtriser l'effet des pesticides et leurs dérivés de dégradation sur les cultures, il paraît nécessaire de s'intéresser aux facteurs qui influencent leur devenir dans l'environnement, autrement dit, qui accentuent ou réduisent la dispersion des produits dans le milieu.



-
- AFNOR (Association Française de la Normalisation), 1999.** XP T90-210. décembre 1999. Protocole d'évaluation d'une méthode alternative d'analyse physicochimique quantitative par rapport à une méthode de référence : *AFNOR*.
- Abdennadher M., 2000.** Sulfosulfuron: un nouveau herbicide pour le contrôle des mauvaises herbes graminées et dicotylédones dans la culture du blé. La Journée Nationale sur le Désherbage des Céréales : *AMM* (Association Marocaine de Malherbologie).
- Aït Bouhouch M., 2002.** Stratégie de lutte intégrée contre le brome raide (*Bromus rigidus* ROTH) dans une culture de blé dur (*Triticum durum* Desf) au saïs et effet résiduel du sulfosulfuron sur la croissance et le développement de quelques espèces cultivées. Mémoire de troisième cycle en agronomie, *ENA de Meknès*.
- Anonyme, 1998.** Sulfosulfuron. <http://www.hc-sc.gc.ca/pmra-arla/>.
- Barriuso, E., Soules G. et Schiavon M., 2000.** Rétention et dégradation des pesticides dans le sol. *Hydrogéologie* 1 : 49-56.
- Ben Marzouq A, 2007.** Le Maroc épinglé par ses pesticides. <http://www.bladi.net/maroc-pesticides.htm>
- Benzine M., 2006.** Les pesticides : toxicité, résidus et analyse ; Départements des Produits Frais-Etablissement Autonome de Contrôle et de Coordination des Exportations (*EACCE*), N 0/2006).
- Bertin G et Schiavon M., 1989.** Les résidus non extractibles de produits phytosanitaires dans les sols. *Agronomie* 9, 1-8.
- Blondlot A. et Verdier H., 2000.** Raisonner la lutte contre les chardons des champs à l'échelle de rotation. N° 259 (p 93-98).
- Bordjiba O., 2009.** Effet de Trois Pesticides (Hexaconazole, Bromuconazole et Fluazifop-p-butyl) sur quelques Métabolites Physio-Biochimiques du Blé dur : *Triticum durum*. Desf ; *European Journal of Scientific Research* ISSN 1450-216X Vol.36 No.2 (2009), pp.260-268 © *EuroJournals Publishing, Inc.* 2009.
- Bouhache M., Safour K., 1992.** Désherbage des céréales. Premières journées nationale de protection des plantes : grandes cultures et cultures sous abris. Programme et résumés des communications. AMPP Rabat : p15.
- Bouziati M., 2007.** L'usage immodéré des pesticides de graves conséquences sanitaires. Le guide de la médecine et de la santé. *Santé Maghreb*.
- Cayah M., 1982.** Effet de deux herbicides sur la microflore du sol. Mémoire de fin d'étude à l'E.N.A.
- Caussanel J.P., 1989.** Nuisibilité et seuils de nuisibilité des mauvaises herbes dans une culture annuelle : Situation de concurrence bispécifique. *Agronomie J.*, 9 : 219-240.
- Chafik N., 2002.** Contribution à l'étude du comportement de l'herbicide Triflulfuron méthyle dans le sol et dans les milieux aquatiques : Etude de la photodégradation en milieux aqueux, et préparation et étude de nouvelles formulations à libération contrôlée. Thèse en Chimie de l'Environnement présenté pour l'obtention du titre de docteur à l'Université Hassan II Ain Chok, Casablanca.



-
- Chatibi R., 2006.** Efficacité de quelques formulations à base de glyphosate et de sulfosate sur l'orobanche de la fève et l'évolution de leur phytotoxicité sur la fève et le petit pois. Mémoire de troisième cycle en agronomie, ENA de Meknès.
- Chevre N., 2006.** Estimation de l'écotoxicité des substances retrouvées dans le léman.
- Cotteril E. G., (1992).** Determination of the sulfonylurea herbicides chlorsulfuron and metsulfuron-methyl in soil, water and plant material by gas chromatography of their pentafluorobenzyl derivatives. *Pestic. Sci.* 34, 291-296.
- Dastgheib F. et Frampton C., 2000.** Weed management practices in apple orchards and vineyards in the South Island of New Zealand. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science* 28, 53-58.
- De Prador Romera E. et Jorin J., 1993.** Effects of chloroacetamides and photosynthesis-inhibiting herbicides on growth and photosynthesis in sunflower (*Helianthus annuus* L.) and *Amaranthus hybridus*.
- El attmani K. et Oudou A., 1984.** Essai de lutte chimique contre la folle avoine dans la culture de blé tendre. *Mémoire de 3^{ème} cycle. ENA de Meknès.*
- El Ghasi M., 2003.** Effet résiduel du Sulfosulfuron et de la Métribuzine sur la croissance et le développement des légumineuses alimentaires. *Mémoire de troisième cycle, ENA de Meknès.*
- Gago P., Cabaleiro C., García J., 2007.** Preliminary study of the effect of soil management systems on the adventitious flora of a vineyard in north western Spain. *Crop Protection* 26, 584-591.
- Galletti G. C., Bonetti A. et Dinelli G., (1995).** High-performance liquid chromatographic determination of sulfonylureas in soil and water. *J. Chromatogr A* 692, 27-37.
- Gauvrit C., 1996.** Efficacité et sélectivité des herbicides. *INRA Edition.*
- Gaillardon P., 1991.** Sélectivité des traitements herbicides, in les herbicides R. scalla, 237-264.
- Guimont S., 2005.** Devenir des pesticides dans les sols en fonction de l'état d'humidité et du mode de circulation de l'eau dans le sol. Thèse en Sciences Agronomiques pour l'obtention du titre de docteur de l'INPL, Institut Nationale Polytechnique de Lorraine
- Higley L.G. et Wintersteen W.K., 1992.** A novel approach to environmental risk assessment of pesticides as a basis for incorporating environmental costs into economic injury levels. *American Entomologist*, 38, 34-39.
- Hamal A., Rzoui S. B., Benbella M., Bouhache M. et Msetef Y., 2000.** Competition des variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf) vis-à-vis du brome raide (*Bromus rigidus* Roth). *Journée nationale sur le désherbage des céréales.* Settat, 23 Novembre. Pp : 19-25.
- Hamal A., 2005.** Elaboration des bases de gestion intégrée du brome raide (*Bromus rigidus* Roth.) dans la culture de blé (*Triticum* spp) dans le Saïs, Maroc. *Thèse d'Etat ES Sciences Agronomiques.* IAV Hassan II, Rabat. 173 pp.
- Hamal A et al., 2008.** Lutte chimique contre le brome rigide dans le blé au Saïs. Rapport d'activité, *INRA de Meknès.*
- Hamal A., 2008.** Effet résiduel des anti-bromes sur les cultures succédentes le blé. Rapport d'activité, *INRA de Meknès.*
- Hamal A., 1993.** Concurrence entre le blé dur (*triticum eastivum*) et une communauté de mauvaises herbes dominée par le brome dans le Saïs. Mémoire de 3^{ème} cycle. *I.A.V Rabat.*
- Hamal A., 2009.** Effet résiduel des anti-bromes sur les cultures succédentes le blé. Rapport d'activité, *INRA de meknès.*
-



-
- Harradine A.R., 1986.** Seed longevity and seedling establishment of *Bromus diandrus* Roth. *Weed research*, 26 : 173-180.
- Hamaker J. W. et Thompson L., 1992.** Adsorption. Organic chemicals in the soil Environment. *C.A.I. Gorin and J. W. Hamaker*. New York.
- Jawad A., 1996.** Possibilité de contrôle du brome rigide (*Bromus rigidus* Roth) et ray-grass (*Lolium rigidum* Gaud.) par le triallate dans une culture de blé. Mémoire de troisième cycle en agronomie, *I.A.V Rabat*.
- IPM:** Index phytosanitaire Maroc Edition 2009.
- Khan S.U. et Hamilton H.A., 1982.** Extractable and bound (Nonextractable) Residues of prometryn and Its Metabolites in an Organic soil. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* 28: 126-132.
- Khan S.U., 1982.** Bound pesticide in soil and plants *Residus Reviews* 84: 1-25.
- Klaffenbach P. et Holland P. T., (1993-b).** Analysis of sulfonylurea herbicides by Gas-Liquid Chromatography. 2. Determination of chlorsulfuron and metsulfuron-methyl in soil and water samples. *J. Agric. Food Chem.* 41, 396-401.
- Levitan L., Mewin I. et Kovach J., 1996.** Assessing the relative environmental impacts of agricultural pesticides: the quest for a holistic method. *Agriculture, Ecosystems and environment*, 55, 153-168.
- Prasad B. P., Kantam M. L., Choudary B. M., Sukumar K., Satyanarayana K., 1990.** New pesticide metal complexes for controlled release. *Pestic. Sci.* 28, 157-165.
- Rahman A., 1989-a.** Sensitive bioassays for determining residues of sulfonylurea herbicides in soil and their availability to crop plants. In: Munawar M., Dixon G., Mayfield C. I., Reynoldson T., Sador M. H.E., *Environmental Bioassay Techniques and their Application. Hydrobiologia* 188/189, 1365-1375.
- Racke K. D. et Lichtenstein E. P., 1987.** Effects of agricultural practices on the binding and fate of ¹⁴C-parathion in soil. *Journal of Environmental Sciences Health*.
- Saffour K., 1992.** Concurrence entre le blé dur et les mauvaises herbes dans le Saïs. Mémoire de 3^{ème} cycle . I.A.V. Hassan II, Rabat.
- Scalla R. et al ., 1991,** les herbicides : mode d'action et principes d'utilisation, INRA Paris, 1991).
- Schiavon M., 1980.** Contribution à l'étude du mouvement et de la dégradation de l'atrazine dans deux sols agricoles drainés. Interactions matière organique herbicide. Thèse INPL- Nancy, 193 p.
- Schwarzebach R.P., Gschwend P.M. et Imboden D.M., 2003.** Environmental Organic Chemistry second edition. *J., Willeyand Sons*
- Shalaby M., Bramble F. Q. et Lee P. W., 1992.** Application of thermospray LC/MS for residue analysis of sulfonylurea herbicides and their degradation products. *J. Agric. Food Chem.*
- Senesi N., 1993.** Organic pollutant Migration in soils as Affected by soil. Migration and Fate of pollutants in soils and subsoils. H. Petruzzelli.
- Simmons W., 1998.** Extension specialist, soil and water management. *Fate and efficacy of soil-applied herbicides* vol, issue 1 January 1998.



-
- Smith A. E., 1995.** A Review of analytical Methods for Sulfonylurea Herbicides in Soil. *Intern. J. environ. Anal. Chem.* 59, 97-106.
- Tbib M., 2007.** Evaluation de quelques formulations à base de glyphosate et de sulfosate sur l'orobanche et leur phytotoxicité sur la fève (*Vicia faba*). Mémoire de troisième cycle.
- Tanji A., 1999.** Désherbage des céréales : Lutte raisonnée contre les bromes avec Sulfosulfuron. *Le monde agricole et la pêche.*
- Tanji A. 1996,** Désherbage des céréales : Contrôler les graminées et les autres mauvaises herbes. *Le monde agricole et la pêche.* Décembre 1996.
- Tilman D., Cassman K.G., Matson P.A., Naylor R. et Polasky S., 2002.** Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature* 418: 671-677.
- Trewavas A., 2002.** Malthus foiled again and again. *Nature* 418: 668-670.
- Yaron B., 1989.** General Principle of Pesticide Movement to Groundwater. *Agriculture and Environment* 26: 275-297.
- Zimadhl R.L. et El bahli A., 1993.** Pertes occasionnés par les mauvaises herbes sur les céréales en zone semis aride du Maroc Occidental. *Al Awamia* : 53-61.
- Zemrag A., 1985.** Les mauvaises herbes des cultures, influence, orientation de la recherche et moyen de lutte . Station de phytologie, INRA.