

# Effet du Prosulfocarbe sur le ray-grass (*Lolium rigidum* Gaud.) résistant aux herbicides inhibiteurs de l'ALS et de l'ACCCase

M. KHAMMASSI<sup>1</sup>, H. CHAABANE<sup>2</sup>, H. CHEBBI<sup>1</sup>, N. BELBAHRI<sup>1</sup>, R. NASRAOUTI<sup>1</sup> et T. SOUISSI<sup>2</sup>

(Reçu le 31/01/2019; Accepté le 03/08/2019)

## Résumé

Le ray-grass (*Lolium rigidum* Gaud.) a développé de la résistance aux herbicides inhibiteurs de l'Acétolactate Synthase (ALS) et de l'Acétyl-CoA Carboxylase (ACCCase). L'objectif de cette étude est d'évaluer l'effet du Prosulfocarbe, pulvérisée en post-semis prélevée à différentes doses et associée au S-métolachlore, sur le ray-grass résistant à la dose homologuée (3200 g ha<sup>-1</sup>) et en fonction des stades d'application (SAP1: 1 jour après le semis du blé, SAP2: 7 jours après le semis et SAP3: 2 à 3 feuilles après la levée). On vise également d'étudier l'effet du Prosulfocarbe et des herbicides de post levée sur le rendement du blé dur et ses composantes. Des essais de terrain ont été installés, avec un dispositif expérimental en bloc aléatoire complet (RCBD), dans des parcelles de blé dur au nord de la Tunisie (Mateur/Bizerte). L'évaluation s'est étendue sur trois campagnes successives (2012/13 à 2014/15). Les résultats ont révélé que l'efficacité du prosulfocarbe s'améliore en fonction de l'augmentation des doses d'application. Le S-métolachlore a favorisé l'amélioration de l'efficacité du prosulfocarbe de 6 à 15%. L'efficacité du prosulfocarbe est meilleure aux deux premiers stades d'application (SAP1 et SAP2) et faible en application après la levée (SAP3). Le prosulfocarbe a permis un gain de rendement de 7,3% du blé dur. Le ray-grass (92,5 plantes/m<sup>2</sup>) a affecté le nombre de grains par épi du blé dur et a causé des pertes de rendement qui peuvent atteindre 39%.

**Mots clés:** Herbicide, Perte de rendement, Prosulfocarbe, Ray-grass, Résistance, Tunisie.

## Effect of Prosulfocarb on ryegrass (*Lolium rigidum* Gaud.) resistant to ALS and ACCCase inhibiting herbicides

### Abstract

Ryegrass (*Lolium rigidum* Gaud.) developed resistance to Acetolactate Synthase (ALS) and Acetyl-CoA Carboxylase (ACCCase) inhibiting herbicides. The objective is to evaluate the effect of the active substance 'Prosulfocarb', sprayed in post-sowing premergence at different rates and associated with S-metolachlor on ryegrass resistant to registered rate (3200 g ha<sup>-1</sup>) and according to the stages of application (SAP1: 1 day after sowing of wheat, SAP2: 7 days after sowing and SAP3: 2 to 3 leaves after emergence). The study also evaluated the effect of Prosulfocarb and post-emergence herbicides on durum wheat yield and its components. To meet these objectives, field trials were carried out in northern Tunisia (Mateur/Bizerte), with a Randomized Complete Bloc Design (RCBD). The evaluation was carried out over three successive seasons (2012/13 to 2014/15). The results revealed that the efficacy of prosulfocarb improved with increasing application rate. The S-metolachlor favored the improvement of prosulfocarb efficacy by 6 to 15%. Results also showed that the efficacy of prosulfocarb was better in the first two growth stages of the application (SAP1 and SAP2) and low when applied after emergence (SAP3). Prosulfocarb allowed a gain of 7.3% of durum wheat yield. The ryegrass infestation (92.5 plants/m<sup>2</sup>) affected the number of grains per spike and caused durum wheat yield losses of up to 39%.

**Key words:** Herbicide, yield loss, Prosulfocarb, Ryegrass, Resistance, Tunisia.

## INTRODUCTION

En Tunisie, la céréaliculture représente un choix stratégique effectué depuis quelques décennies. Les emblavures réservées aux céréales (blé dur, blé tendre, orge et triticale), corrélées avec les pluies automnales, sont en moyenne de 1,5 million d'hectares (Hénia *et al.*, 2013). Le blé dur a occupé la première place avec des emblavures de 580 mille hectares suivi par l'orge plus le triticale (555 mille hectares) et le blé tendre (95 mille hectares). Ces emblavures comptent environ 81 mille hectares de céréales irriguées, soit environ 7% des emblavures totales (ONAGRI, 2018). En effet, le climat est généralement caractérisé par l'irrégularité des précipitations mensuelles et interannuelles. Cette irrégularité des pluies est considérée comme l'une des principales contraintes affectant la production des céréales (Slama *et al.*, 2005). A côté des contraintes climatiques et malgré les efforts entrepris en matière d'amélioration génétique des céréales, par l'introduction de nouvelles variétés hautement productives,

les rendements restent fluctuants et tributaires des stress biotiques et abiotiques (Daaloul, 1988) et les rendements escomptés ne sont malheureusement pas atteints.

Parmi les facteurs limitant la production, les mauvaises herbes constituent un problème continu en agriculture (Aubry *et al.*, 1994; Skouri et Latiri, 2001). Elles sont un des principaux facteurs de pertes de rendement en raison de la concurrence pour la lumière, l'eau et les éléments nutritifs (Caussanel, 1989). Le ray-grass annuel ou rigide (*Lolium rigidum* Gaud.) est parmi les mauvaises herbes qui a provoqué des impacts économiques majeurs dans les céréales. C'est une espèce très répandue dans toute la surface du globe (Reeves, 1976) et qui peut causer des pertes importantes de rendement sous le climat méditerranéen (Recasens *et al.*, 1997). Le ray-grass est très concurrentiel pour l'azote, entraînant la réduction du nombre d'épis, du nombre de talles du blé et par conséquent une perte significative du rendement (Levick, 1969; Appleby *et al.*, 1976; Palta et Peltzer, 2001).

<sup>1</sup> Institut National des Grandes Cultures (INGC), Jendouba, Tunisie

<sup>2</sup> Institut National Agronomique de Tunisie (INAT), Tunis, Tunisie

D'autre part, la pratique de la monoculture de blé dans les zones céréalières avec l'emploi systématique et répétitif des mêmes techniques de production, à savoir le travail du sol; l'absence de rotation et l'utilisation des mêmes familles d'herbicides, a entraîné dans beaucoup de cas la prépondérance de certaines espèces de mauvaises herbes et le développement de la résistance aux herbicides chez d'autres. La résistance aux herbicides chez les mauvaises herbes est devenue une menace pour l'agriculture et elle a augmenté de façon spectaculaire dans le monde entier (Holt et LeBaron, 1990; LeBaron, 1991). Depuis le premier rapport sur la résistance chez la carotte sauvage (*Daucus carota* L.) au 2,4-D (Switzer, 1957), la résistance aux herbicides a évolué pour atteindre 255 espèces (148 dicotylédones et 107 monocotylédones) à l'échelle mondiale (Heap, 2019).

Le ray-grass (*Lolium* spp.) est l'une des espèces qui a développé une résistance vis-à-vis de plusieurs produits antigraminées foliaires dans différents pays du monde dont la France, l'Angleterre, l'Espagne, les USA, l'Australie et la Tunisie. Sur le plan national, le premier cas de résistance à des herbicides inhibiteurs de l'ACCCase chez des populations de ray-grass a été signalé en 1996 (Souissi *et al.*, 2004). Une étude menée en 2005 a montré que des populations de ray-grass ont développé des résistances aux herbicides inhibiteurs de l'ALS (Beldi, 2005). Le nombre de populations de ray-grass ne cesse de croître et pose un problème majeur pour le contrôle de cette mauvaise herbe dans les systèmes céréaliers. C'est actuellement parmi le cas de résistance qui pose le plus de problème d'un point de vue économique d'une part, car les antigraminées foliaires sont parmi les herbicides les plus utilisés sur céréales et d'autre part, car les alternatives de gestion de cette adventice résistante avec des herbicides à modes d'action différents sont assez limitées. Par conséquent, la prévention et/ou la gestion de la résistance aux herbicides chez les mauvaises herbes devient une priorité qui nécessite un diagnostic précis au moment opportun afin d'éviter des pertes économiques (Burgos *et al.*, 2013). De même, la mise au point de techniques de gestion de populations résistantes du ray-grass s'impose.

L'utilisation des inhibiteurs de l'ALS (essentiellement des sulfonylurées) qui se sont non seulement montrés efficaces contre les plantes résistantes, mais aussi pour le contrôle global de la communauté adventice. Ces caractéristiques ont largement contribué à l'explosion de leur marché. Les sulfonylurées ont donc été largement utilisées seules en une seule application dans de nombreux champs pour le désherbage des céréales (Gasquez *et al.*, 2008). L'usage systématique et unique d'un seul type d'herbicides est connu pour être depuis 30 ans à l'origine de la sélection rapide de résistants à travers le monde (Vacher *et al.*, 2003; Moss, 2006). De nouveaux herbicides, comme le pinoxa-

den, inhibiteur de l'ACCCase appartenant à une nouvelle famille chimique (phénylpyrazolines), ne peuvent pas prétendre être une solution à la résistance (Moss, 2006; Petit *et al.*, 2010). En effet, de nouvelles solutions, dont l'introduction de nouveaux modes d'action, particulièrement le prosulfocarbe, ont été développées pour la bonne gestion intégrée des adventices résistantes (Swanton et Weise, 1991; Buhler *et al.*, 2000).

Le présent travail a pour objectif d'évaluer l'efficacité du prosulfocarbe, molécule récemment inscrite pour la gestion du ray-grass résistant (*Lolium rigidum* Gaud.), appliquée en post-semis prélevée du blé dur, à différentes doses et associée au S-métolachlore. Son effet est évalué sur le ray-grass résistant en fonction de stades de son application (avant et après la levée du blé dur). L'effet de cette substance active, appliquée en post-semis prélevée du blé dur, et l'effet des herbicides, appliqués en post levée du ray-grass et du blé dur, sur le rendement du blé dur et ses composantes ont été évalués.

## MATÉRIEL ET MÉTHODES

### Évaluation de l'effet de la dose d'application sur l'efficacité du prosulfocarbe

Durant la campagne 2012/13, cinq doses de prosulfocarbe (2800 g, 3200, 3600 g, 4000 g et 4400 g par ha) ont été appliquées en post-semis prélevée du blé dur et du ray-grass dans un essai, installé à Mateur, en bloc aléatoire complet (RCBD) avec quatre répétitions. L'unité expérimentale était de 40 m<sup>2</sup> (4 × 10 m), représente la parcelle élémentaire. La conduite des essais de terrain depuis la préparation du sol, le semis, la fertilisation, les traitements chimiques jusqu'à la récolte a été effectuée suivant le paquet technique conseillé par l'Institut National des Grandes Cultures (INGC). L'application du prosulfocarbe a été assurée par un pulvérisateur à dos, réglé à une pression de 3 KPa pour assurer une bouillie de 300 L ha<sup>-1</sup>. La pluviométrie enregistrée sur le site de l'essai (Mateur) était de 648 mm et une infestation moyenne de 245,5 pieds de ray-grass par unité de surface (m<sup>2</sup>). L'efficacité du prosulfocarbe a été évaluée, un mois après le jour du traitement chimique, en calculant le pourcentage des plantes du ray-grass affectées par le traitement par rapport au témoin non traité.

### Évaluation de l'efficacité du prosulfocarbe combiné avec le S-métolachlore

Durant deux campagnes successives (2013/14 et 2014/15), le prosulfocarbe a été appliqué seul ou associé avec une autre substance active, le S-métolachlore (Tableau 1). Pour chaque campagne, l'essai de terrain a été installé à Mateur en RCBD avec quatre répétitions et 40 m<sup>2</sup> d'unité expérimentale. La conduite des essais de terrain a été effec-

**Tableau 1. Liste des herbicides utilisés en post-semis prélevée durant deux campagnes (2013/14 et 2014/15)**

Préparation commerciale (PC)†	Substance active (SA)	Teneur de la SA	Dose de la PC par ha
Boxer®	Prosulfocarbe	800 g.L <sup>-1</sup>	4 L
Minaix®	Prosulfocarbe + S-métolachlore	800 g.L <sup>-1</sup> + 120 g.L <sup>-1</sup>	2.5 L

† Herbicides appliqués en post-semis prélevée du blé dur et du ray-grass.

tuée suivant le paquet technique conseillé par l'INGC. Le prosulfocarbe a été appliqué seul (Boxer<sup>®</sup>) ou associé au S-métolachlore (Minaix<sup>®</sup>) en post-semis prélevée du blé dur, moyennant un pulvérisateur à dos, réglé à une pression de 3 KPa pour assurer une bouillie de 300 L ha<sup>-1</sup>. L'efficacité du prosulfocarbe seul (Boxer<sup>®</sup>) et du prosulfocarbe associé au S-métolachlore (Minaix<sup>®</sup>) a été évaluée, un mois après le jour du traitement chimique, en calculant le pourcentage des plantes du ray-grass affectées par le traitement par rapport au témoin non traité.

### Évaluation de l'efficacité du prosulfocarbe selon les stades d'application

Durant trois campagnes successives (2012/13 - 2013/14 - 2014/15), le prosulfocarbe a été appliqué à la dose homologuée (4 L de BOXER<sup>®</sup> par ha) à trois stades différents SAP1 (1 jour après le semis du blé dur), SAP2 (7 jours après le semis du blé dur) et SAP3 (après la levée du blé dur et du ray-grass) dans des essais en RCBD avec 4 répétitions. L'unité expérimentale était de 40 m<sup>2</sup> (4 × 10 m), représente la parcelle élémentaire. Les essais ont été installés dans le nord de la Tunisie au niveau du site de Mateur. L'efficacité du prosulfocarbe (Boxer<sup>®</sup>) a été évaluée, un mois après le jour du traitement chimique pour chaque stade d'application, en calculant le pourcentage des plantes du ray-grass affectées par le traitement par rapport au témoin non traité.

### Effet du prosulfocarbe et des herbicides de post levée sur le rendement du blé dur et ses composantes

Durant la campagne 2010/2011, un essai de lutte chimique contre le ray-grass a été installé sur un site infesté (53 individus/m<sup>2</sup>) par le ray-grass. Sept substances actives ont été choisies et testées aux doses homologuées en Tunisie (Tableau 2). L'essai de terrain a été installé en RCBD avec quatre répétitions. L'unité expérimentale qui représente la parcelle élémentaire était de 40 m<sup>2</sup> (4 m × 10 m). La conduite des essais de terrain a été effectuée en suivant le paquet technique conseillé par l'INGC. Le prosulfocarbe (Boxer<sup>®</sup>) a été appliqué en post-semis prélevée du blé dur et les autres herbicides ont été appliqués au stade deux à trois feuilles du ray-grass, qui coïncide au stade 4 à 5 feuilles du blé dur, moyennant un pulvérisateur réglé à une pression de 3 KPa pour assurer une dose de 300 L par ha.

### Évolution du nombre de grains par épi (NGE) et du poids de 100 grains (PMG) du blé dur

Le NGE a été évalué sur 30 épis collectés au hasard à partir de chaque parcelle élémentaire. De plus, le PMG du blé dur a été déterminé par comptage de 1000 grains à l'aide d'un compteur à grains puis pesée moyennant une balance de précision pour déterminer le poids de 1000 graines, exprimé en gramme.

### Évaluation du rendement en grains du blé dur

A maturité, 10 échantillons de blé dur, de 1m<sup>2</sup> chacun, ont été collectés manuellement de chaque parcelle, puis battues. La pesée des graines récoltées permet de déterminer le rendement en graines à exprimer en quintaux par ha.

### Analyse statistique

Les résultats obtenus à travers l'ensemble des essais menés sur terrain ont fait l'objet des analyses de la variance (ANOVA) en utilisant le paquet statistique SAS<sup>®</sup> (SAS, 1985). Pour les paramètres dont l'effet principal était significatif, une séparation des moyennes a été conduite avec le test de la Plus Petite Différence Significative (PPDS) au seuil de probabilité de 5%.

## RÉSULTATS

### Effet de la dose d'application sur l'efficacité du prosulfocarbe

L'analyse de la variance de l'efficacité du prosulfocarbe (BOXER<sup>®</sup>), appliqué en post-semis prélevée du blé dur à différentes doses, a montré des différences très hautement significatives ( $p = 0,0008$ ). La figure 1 montre que l'efficacité du prosulfocarbe augmente en fonction de l'augmentation des doses d'application. En effet, moyennant la dose homologuée en Tunisie (4 L de préparation commerciale par ha) soit 3200 g de substance active, le prosulfocarbe a montré une efficacité moyenne de l'ordre de 70 %. D'autre part, l'efficacité du prosulfocarbe était qualifiée de faible (53%) avec une dose de 2800 g de substance active par ha et était à son maximum (supérieur à 85%) avec des doses de 4000 et de 4400 g de substance active qui sont classées, d'un point de vue statistique, dans le même groupe (Figure 1).

Tableau 2. Liste des herbicides utilisés dans l'essai de terrain durant la campagne 2010/11

Préparation commerciale (PC)	Substance active (SA)	Teneur de la SA	Dose de la PC par ha
Boxer <sup>®</sup> †	Prosulfocarbe	800 g.L <sup>-1</sup>	4 L
Lancelot <sup>®</sup> ††	Aminopyralyde + florasulam	355 g.Kg <sup>-1</sup> + 150 g.Kg <sup>-1</sup>	33 g
Amilcar OD <sup>®</sup> ††	Mesosulfuron-methyl + iodosulfuron-methyl-sodium	7,5 g.L <sup>-1</sup> + 7,5 g.L <sup>-1</sup>	1 L
Everest 70WG <sup>®</sup> ††	Flucarbazone sodium	70%	43 g
Grasp <sup>®</sup> ††	Tralkoxydim	400 g.L <sup>-1</sup>	0,8 L
Pallas OD <sup>®</sup> ††	Pyroxsulalm	46,6 g.L <sup>-1</sup>	0,5 L
Traxos <sup>®</sup> ††	Pinoxaden + clodinafop-propargyl	22,5 g.L <sup>-1</sup> + 22,5 g.L <sup>-1</sup>	1,2 L

† Herbicides appliqués en post-semis prélevée du blé dur.

†† Herbicides appliqués en post levée du blé dur.

### Efficacité du prosulfocarbe associé au S-métolachlore

Les analyses de la variance ont montré des différences significatives entre les traitements [prosulfocarbe (Boxer®) et prosulfocarbe associé au S-métolachlore (Minarix®)] durant les campagnes 2013/14 ( $p = 0,0474$ ) et 2014/15 ( $p = 0,0488$ ). La figure 2 montre que, pour les deux campagnes agricoles, l'efficacité du prosulfocarbe en association avec le S-métolachlore (Minarix®), appliqué en post-semis prélevée, est meilleure que l'efficacité du prosulfocarbe utilisé seul (Boxer®). En effet, l'efficacité du prosulfocarbe appliqué seul a présenté une efficacité moyenne de 75,5% contre 86,5% quand le prosulfocarbe est associé au S-métolachlore. Cette efficacité s'est confirmée même à faible dose (2000 g de prosulfocarbe) quand il est en mélange avec S-métolachlore (Minarix®) et comparé à son application seule (Boxer®) à 3200 g par ha. Par conséquent, il semble que le S-métolachlore favorise l'amélioration de l'efficacité du prosulfocarbe d'au moins 6% et peut même atteindre 15% (Figure 2).

### Efficacité du prosulfocarbe à différents stades d'application

Les analyses de la variance de l'efficacité du prosulfocarbe appliqué durant trois campagnes successives ont montré des différences très hautement significatives entre les stades d'application ( $p = 0,0001$ ). La figure 3 montre que l'efficacité de la substance active prosulfocarbe est meilleure aux deux premiers stades (SAP1 et SAP2) d'application, qui correspondent aux stades respectivement de 1 et de 7 jours après le semis. D'un autre côté, les plus faibles efficacités du prosulfocarbe ont été enregistrées avec une application tardive au stade SAP3, qui correspond à la levée à la fois du ray-grass et du blé dur. De plus, la comparaison des deux premiers stades SAP1 et SAP2, en séparant les moyennes, a permis de classer les deux efficacités dans le même groupe. En effet, l'application du prosulfocarbe en post-semis dans un délai ne dépassant pas 7 jours à partir de la date de semis du blé dur, a montré les mêmes effets sur le ray-grass. Cette substance active (prosulfocarbe) présente une meilleure action contre le ray-grass qui n'a pas encore levé comparée à celle qui vise les plantules déjà levées. En effet, elle perturbe la croissance des jeunes racines dès le début de leur formation ainsi que l'initiation de la coléoptile. En résumé, il semble que le prosulfocarbe agit sur la germination du ray-grass ou encore sur les jeunes racines, les jeunes coléoptiles ou même sur l'ensemble de ces processus et organes (Figure 3).

### Effet du prosulfocarbe et des herbicides de post levée sur le rendement du blé dur et ses composantes

#### Effet sur le nombre de grains par épi (NGE) du blé dur

L'analyse de la variance du nombre de grains par épi du blé dur a montré qu'il existe des différences significatives entre les traitements ( $p = 0,0197$ ). La séparation des moyennes a montré que le plus grand NGE de blé dur a été enregistré sur les parcelles traitées par H6 (Pallas OD®) suivi par des groupes intermédiaires composés de H2 (Amilcar OD®), H5 (Grasp®) et H7 (Traxos®), d'une part et des traitements à base de prosulfocarbe [H3, (Boxer®)] et H4 (Everest®), d'autre part. Les parcelles traitées par H1 (Lancelot®) et les parcelles témoins ont montré les

plus faibles NGE de blé dur. De plus, l'infestation par le ray-grass sur les parcelles témoins a affecté le NGE du blé dur comparé aux parcelles traitées. Ceci montre que le ray-grass qui n'est pas contrôlé sur les parcelles témoins ou sur les parcelles traitées avec l'herbicide (H1) favoriserait une diminution du NGE de blé dur, qui se traduit par une perte de fertilité des épis du blé dur sur ces parcelles. Le prosulfocarbe [H3 (Boxer®)] et les herbicides H2 (Amilcar OD®), H4 (Everest®), H5 (Grasp®), H6 (Pallas OD®) et H7 (Traxos®) ont favorisé une augmentation dans le NGE de blé dur, qui a varié de 7,3 à 30,9%, avec un pourcentage d'augmentation moyen de 19% ( $\pm 9,8$ ) (Tableau 3).

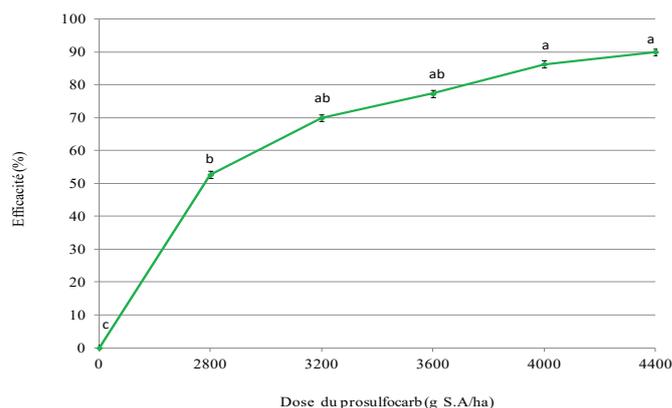


Figure 1: Efficacité du prosulfocarbe (BOXER®) en fonction des doses d'application

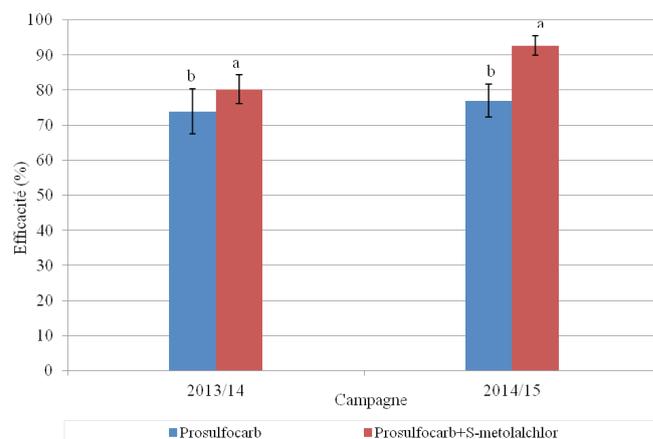


Figure 2: Efficacité du prosulfocarbe utilisé seul et mélangé avec le S-métolachlore durant deux campagnes agricoles (2013/14 et 2014/15)

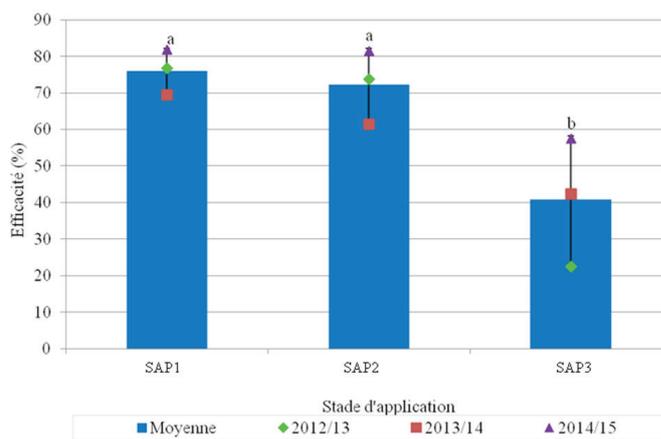


Figure 3: Efficacité du prosulfocarbe (BOXER®) en fonction des stades d'application durant trois campagnes agricoles successives (SAP1: 1 jour après le semis du blé, SAP2: 7 jours après le semis du blé et SAP3: 2 à 3 feuilles après la levée du ray-grass)

### Effet sur le poids de 1000 grains (PMG) du blé dur

L'analyse de la variance du poids de 1000 grains de blé dur a montré qu'il existe des différences significatives entre les traitements ( $p = 0,0332$ ). La séparation des moyennes a montré que les meilleurs PMG sont enregistrés sur les parcelles traitées par H6 (Pallas OD<sup>®</sup>) suivies par les parcelles traitées par H2 (Amilcar OD<sup>®</sup>) et par H7 (Traxos<sup>®</sup>), alors que pour les autres parcelles traitées par le prosulfocarbe [H3 (Boxer<sup>®</sup>)], par H1 (Lancelot<sup>®</sup>) ou par H5 (Grasp<sup>®</sup>), les PMG sont comparables à ceux calculés au niveau du témoin non traité. En conséquence, la présence du ray-grass a faiblement affecté le PMG du blé dur et le pourcentage d'augmentation n'a guère dépassé un maximum de 13,7% et une moyenne de 5% ( $\pm 5,4$ ) pour l'ensemble des traitements herbicides (Tableau 4).

### Effet sur le rendement en grains (RG) du blé dur

L'analyse de la variance du rendement grain du blé dur a montré qu'il existe des différences hautement significatives entre les traitements ( $p = 0,0017$ ). La séparation des moyennes a montré que les meilleurs rendements en grain ont été enregistrés dans les parcelles traitées par H6 (Pallas OD<sup>®</sup>) suivies des parcelles traitées par H2 (Amilcar OD<sup>®</sup>) et par H7 (Traxos<sup>®</sup>). Des groupes de rendements intermédiaires ont été également enregistrés sur les parcelles traitées par H5 (Grasp<sup>®</sup>) et par le prosulfocarbe (H3, Boxer<sup>®</sup>). Concernant les plus faibles rendements, ils ont été enregistrés sur les parcelles témoins et celles traitées par H4 (Everest<sup>®</sup>) et par H1 (Lancelot<sup>®</sup>). Les deux

nouvelles formulations huileuses OD [H2 (Amilcar OD<sup>®</sup>) et H6 (Pallas OD<sup>®</sup>)] ont donné les meilleurs rendements en grains de blé dur (68,2 et 56,0 qx/ha) suivies par du H7 [Traxos<sup>®</sup> (53,5 qx/ha)]. Les plus faibles rendements en grains ont été enregistrés sur les parcelles témoins (41,8 qx/ha) ainsi que sur les parcelles traitées par l'Everest<sup>®</sup> (34,8 qx/ha), le Lancelot<sup>®</sup> (32,0 qx/ha) et par le prosulfocarbe [H3 (Boxer<sup>®</sup>): 45,1 qx/ha].

Le traitement herbicide moyennant Pallas OD<sup>®</sup> a montré une meilleure efficacité pour gérer le ray-grass et a permis un gain en rendement de 38,7% par rapport au témoin non traité. Cependant, dans les conditions de l'essai, le ray-grass a présenté un niveau d'infestation moyen de 92,5 individus par m<sup>2</sup> (avec une infestation minimale de 7,3 plantes/m<sup>2</sup> et une infestation maximale de 278,7 plantes/m<sup>2</sup>). Dans ces conditions, il peut causer des pertes de rendement en grains qui peuvent atteindre 39%.

Les meilleures augmentations du rendement en blé dur ont été enregistrées sur les parcelles traitées par les herbicides H6 (Pallas OD<sup>®</sup>: 38,7%), H2 (Amilcar OD<sup>®</sup>: 25,4%) et H7 (Traxos<sup>®</sup>: 21,9%). Par contre, les parcelles traitées par les herbicides H1 (Lancelot<sup>®</sup>) et par H4 (Everest<sup>®</sup>) n'ont pas montré d'augmentations du rendement du blé dur comparé au témoin non traité. Alors que le prosulfocarbe [H3 (Boxer<sup>®</sup>)] et les autres herbicides H2 (Amilcar OD<sup>®</sup>), H5 (Grasp<sup>®</sup>), H6 (Pallas OD<sup>®</sup>) et H7 (Traxos<sup>®</sup>) ont montré une augmentation moyenne de 21,8% ( $\pm 11,7$ ) du rendement du blé dur (Tableau 5).

**Tableau 3: Effet des traitements herbicides sur le NGE du blé dur et pourcentage d'augmentation par rapport au témoin non traité**

Paramètre	Témoin	Traitements herbicides						
		H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7
Rendement (qx/ha)	38 c	38 c	53 ab	41 bc	42 bc	49 ab	55 a	45 abc
Augmentation (%)		0	28,3	7,3	9,5	22,4	30,9	15,6

Les moyennes suivies de la même lettre (a, b et c) ne sont pas significativement différentes au seuil de probabilité de 5%. H1: Lancelot<sup>®</sup>, H2: Amilcar OD<sup>®</sup>, H3: Boxer<sup>®</sup>, H4: Everest<sup>®</sup>, H5: Grasp<sup>®</sup>, H6: Pallas OD<sup>®</sup> et H7: Traxos<sup>®</sup>.

**Tableau 4: Effet des traitements herbicides sur le PMG du blé dur et pourcentage d'augmentation par rapport au témoin non traité**

Paramètre	Témoin	Traitements herbicides						
		H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7
PMG (g)	44abc	38c	48ab	43bc	39c	46abc	51a	48ab
Augmentation (%)		0	8,3	0	0	4,3	13,7	8,3

Les moyennes suivies de la même lettre (a, b et c) ne sont pas significativement différentes au seuil de probabilité de 5%. H1: Lancelot<sup>®</sup>, H2: Amilcar OD<sup>®</sup>, H3: Boxer<sup>®</sup>, H4: Everest<sup>®</sup>, H5: Grasp<sup>®</sup>, H6: Pallas OD<sup>®</sup> et H7: Traxos<sup>®</sup>.

**Tableau 5: Effet des traitements herbicides sur le RG du blé dur et pourcentage d'augmentation par rapport au témoin non traité**

Paramètre	Témoin	Traitements herbicides						
		H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7
Rendement du blé dur (qx/ha)	41,8 d	32,0 cd	56,0 ab	45,1 bcd	34,8 cd	49,6 bc	68,2 a	53,5 ab
Augmentation (%)		0	25,4	7,3	0	15,7	38,7	21,9

Les moyennes suivies de la même lettre (a, b et c) ne sont pas significativement différentes au seuil de probabilité de 5%. H1: Lancelot<sup>®</sup>, H2: Amilcar OD<sup>®</sup>, H3: Boxer<sup>®</sup>, H4: Everest<sup>®</sup>, H5: Grasp<sup>®</sup>, H6: Pallas OD<sup>®</sup> et H7: Traxos<sup>®</sup>.

## DISCUSSION

Au nord de la Tunisie, les infestations élevées par le ray-grass dans les céréales ont contribué à une baisse d'efficacité des herbicides et voire même à un échec total du désherbage chimique de cette adventice. Depuis les années 1990, les agriculteurs du nord de la Tunisie utilisent les herbicides de post-levée de façon systématique et répétitive. Ceci a favorisé le développement de la résistance chez le ray-grass pour les herbicides inhibiteurs de l'ACCCase et de l'ALS (Gasquez, 2000; Souissi *et al.*, 2004; Khammassi *et al.*, 2016).

La présence des populations résistantes de ray-grass devient un nouveau problème face auquel se trouvent les agriculteurs. Ceci peut conduire à des impasses techniques et à une augmentation des coûts de gestion (Roush et Powles, 1996). Face à cette situation, les agriculteurs ont recours à la recherche d'autres substances actives de post-levée efficaces ou encore à l'introduction de nouvelles molécules appliquées au stade post-semis prélevée, qui représente un nouveau stade d'application pour les céréales. Cependant, l'application d'herbicides en post-semis prélevée du blé dur, en particulier le prosulfocarbe (Boxer®) à la dose homologuée (3200 g de substance active par ha) a été récemment utilisé par les agriculteurs tunisiens pour la gestion du ray-grass résistant. L'application de cet herbicide en post-semis prélevée du blé dur a montré des niveaux d'efficacité faibles à bons qui peuvent atteindre 90% avec des doses de 4000 g de SA par ha. Toutefois, l'augmentation de la dose d'herbicide peut causer d'une part des dégâts pour les cultures, et d'autre part peut augmenter le coût de production (Grundy *et al.*, 1996). À l'opposé, l'application de doses réduites, inférieures à celles homologuées, peut affecter l'efficacité de l'herbicide (Duchesne *et al.*, 2004).

Dans le cas du prosulfocarbe, en particulier à la dose homologuée (3200 g de substance active par ha), les résultats de terrain ont montré les meilleures efficacités qui ont été enregistrées lorsque cette molécule est appliquée en post-semis prélevée (1 à 7 jours après le semis du blé dur) et sur des sols humides. Cependant, l'application du prosulfocarbe, après la levée précoce du blé dur et du ray-grass a montré des efficacités faibles pour contrôler cet adventice. Cette faible efficacité peut être expliquée par la volatilisation de certains herbicides de post-semis prélevée à la surface des feuilles qu'à la surface du sol (Bedos *et al.*, 2002) et particulièrement le prosulfocarbe (Jensen *et al.*, 2007). D'un autre côté, l'efficacité du prosulfocarbe a été améliorée lorsqu'il est associé au S-métolachlore. En effet, le S-métolachlore a favorisé de la rémanence du prosulfocarbe dans le sol. Par conséquent, le prosulfocarbe a un bon effet sur les germinations précoces que sur des germinations tardives du ray-grass.

La température et l'humidité relative de l'air ainsi que l'humidité du sol peuvent affecter l'efficacité des herbicides (Akesson et Yates, 1987; Kudsk et Kristensen, 1992). Certains herbicides ne peuvent pas persister pendant longtemps à la surface du sol en raison des pertes par photo-décomposition et/ou volatilisation (Savage et Barrentine, 1969). Par conséquent, certaines substances peuvent être ajoutées à ces herbicides dans le but d'augmenter leur rémanence afin de contrôler les germinations tardives (Hugo *et al.*, 1990; Rahman et James, 1994). Dans le cas du S-métolachlore, qui a remplacé l'ancienne molécule metolachlor (Blaser et

Spindler, 1997) déjà enregistrée dans le contrôle des mauvaises herbes graminées en pré-émergence (Gerber *et al.*, 1974), a pu favoriser l'activité biologique du prosulfocarbe et a induit la destruction des germinations tardives des semences du ray-grass. Cette substance active a une demi-vie dans le sol de 23 jours ce qui favorise le contrôle des graminées à germination tardive (O'Connell *et al.*, 1998). Par conséquent, l'introduction du S-métolachlore en Tunisie offre une occasion précieuse, permettant la réduction de la dose du prosulfocarbe, qui est appliqué seul à la dose de 3200 g de substance active par ha. Alors que lorsque le prosulfocarbe est associé au S-métolachlore, la dose est réduite à 2000 g de substance active par ha.

Cette tendance à la baisse des doses d'application en maintenant l'efficacité des produits permet à la fois une protection de l'environnement et de l'agriculteur. De plus, avec un mode d'action différent de celui couramment utilisé par les agriculteurs, le S-métolachlore qui inhibe les elongases, et les enzymes de cyclisation du GGPP (géranyl-géranyl pyrophosphate) conduisant aux gibbérélines, permet aux agriculteurs une meilleure gestion des mauvaises herbes, particulièrement celles résistantes aux molécules déjà utilisées (Powles *et al.*, 1997). D'autre part, le prosulfocarbe inhibe la synthèse des lipides et des acides gras insaturés et également inhibe la synthèse des lipides de surface, des cires et de la subérine, qui est due à sa capacité à inhiber la biosynthèse des acides gras à très longue chaîne (Rao, 2000). Des études récentes ont montré que le prosulfocarbe est un herbicide de prélevée de la famille des thiocarbamates ayant un bon effet sur le contrôle d'un large spectre de dicotylédones et de graminées (Tomlin, 2003).

Dans le nord de la Tunisie et dans les zones céréalières, les agriculteurs, particulièrement du gouvernorat de Bizerte, ont observé des baisses d'efficacité des herbicides inhibiteurs de l'ACCCase et de l'ALS contre le ray-grass. En parallèle, les prospections et les visites de terrains ont signalé les faibles efficacités et insatisfaisantes de ces herbicides pour le contrôle cet adventice. Ces faibles efficacités sont dues à un certain nombre de facteurs dont la densité des mauvaises herbes (Radford *et al.*, 1980; Scursoni *et al.*, 2012), le type de sol, la période d'émergence des mauvaises herbes et le stade de croissance des mauvaises herbes (Jensen, 1985) et le développement de la résistance (Powles *et al.*, 1997).

En Tunisie, les travaux récentes de Khammassi *et al.*, (2016) ont rapporté la présence de ray-grass résistant à des herbicides inhibiteurs de l'ACCCase et de l'ALS. Alors, la maîtrise chimique du ray-grass résistant, dans les parcelles des agriculteurs du nord de la Tunisie, est possible par l'application d'herbicides de nouveaux modes d'action différents tels que le prosulfocarbe appliqué, en post-semis prélevée ou en post levée précoce (2 à 3 feuilles du blé et après la levée du ray-grass), seul (Boxer®) ou associé à S-métolachlore (Minarix®). Par conséquent, l'application de mélanges des substances actives, à différentes modes d'action, ou la rotation des groupes d'herbicides permettent de bien gérer la résistance herbicide chez les mauvaises herbes (Wrubel et Gressel, 1994; Powles *et al.*, 1997).

Le contrôle chimique du ray-grass a pu d'une part tuer les pieds du ray-grass et d'autre part affecter à la fois les paramètres de développement et de production de celles qui ont échappé au traitement chimique. Cependant, les traitements herbicides ont pu affecter aussi bien la hauteur

du ray-grass et ont pu entraîner un effet de nanisme sur le ray-grass et les plantes sont restées à la surface du sol. Parallèlement, le développement du blé dur a été favorisé et a dominé le développement du ray-grass. En effet, le blé a montré des hauteurs plus élevées que le ray-grass et a provoqué une zone d'ombre qui peut limiter le passage de la lumière pour l'adventice. D'autre part, le contrôle chimique a favorisé l'amélioration du rendement du blé dur et ses composantes.

Les traitements herbicides ont favorisé une augmentation de 19% dans le nombre de grains par épi du blé dur par rapport au témoin non traité. De plus, une perte de fertilité des épis du blé dur dans les parcelles infestées par le ray-grass (témoin) a été signalée. Plusieurs études ont montré qu'en absence de lutte chimique, le ray-grass est une mauvaise herbe très compétitive des céréales (Lemerle *et al.*, 1996; Cousens et Mokhtari, 1998). Ainsi, l'absence de contrôle du ray-grass et sa présence dans la parcelle peuvent affecter la fertilité des épis du blé dur. Nos résultats ont pu montrer que le contrôle chimique du ray-grass a favorisé une amélioration de 21,8% ( $\pm 14,3$ ) dans les rendements de blé dur. Par ailleurs, cette adventice peut affecter le tallage et la fertilité des épis du blé et par conséquent des chutes importantes des rendements qui peuvent atteindre 80% (Reeves et Smith, 1975; Medd *et al.*, 1985; Izquierdo *et al.*, 2003). Cette chute de rendement peut également être attribuée à des niveaux d'infestation élevés. Reeves et Brooke (1977) ont montré que les pertes dans les rendements ont varié de 23,1 et 47,8% avec une infestation de 1500 individus/m<sup>2</sup>. En effet, le rendement grain était corrélé négativement avec le nombre de plantes du ray-grass par unité de surface (m<sup>2</sup>), le nombre d'épi par m<sup>2</sup>, la matière sèche par m<sup>2</sup> et la production de semences par m<sup>2</sup> (Smith et Levick, 1974; Poole et Gill, 1987). D'autres études ont montré que le ray-grass est la mauvaise herbe la plus nuisible du blé, ce qui entraîne des pertes de rendement importantes dans les cultures de blé (Gill, 1996).

## CONCLUSION

Le ray-grass résistant a bien été maîtrisé chimiquement par l'application des herbicides à nouveaux modes d'action, particulièrement le prosulfocarbe (groupe N). L'introduction du S-métolachlore en Tunisie a permis la réduction de la dose du prosulfocarbe avec le maintien de l'efficacité de l'herbicide tout en permettant à la fois une protection de l'environnement et de l'agriculteur. Le prosulfocarbe et les traitements herbicides de post levée ont favorisé une augmentation moyenne de 19% ( $\pm 9,8$ ) et de 21,8% ( $\pm 11,7$ ) respectivement dans le NGE et dans le rendement du blé dur. Le ray-grass a bien affecté le NGE et a causé des pertes de rendement du blé dur qui peuvent atteindre 39%.

## REMERCIEMENTS

Nos remerciements à l'Institut National des Grandes Cultures, à Syngenta Agroscience et à la société 'Bioprotection pour la participation et le financement de ce travail.

## RÉFÉRENCES

Akesson N.B. and Yates W.E. (1987). Effect of weather factors on the application of herbicides. In: McWhorter, C.G., Gebhardt, M.R. (Eds.), *Methods of Applying Herbicides*. Weed Science Society of America, Champaign, IL, USA. pp. 335-344.

Aubry C., Latri-souki K., Dore T. et Grimer C. (1994). Diagnostic des facteurs limitant du rendement du blé dur en parcelle d'agriculteur dans une petite région semi-aride en Tunisie. *Agronomie*, 14: 213-220.

Appleby A.P., Olson P.D. and Colbert D.R. (1976). Winter wheat yield reduction from interference by Italian ryegrass. *Agron. J.* 68: 463-466.

Beldi S. (2005). Évaluation de l'efficacité de la lutte chimique contre le ray-grass rigide (*Lolium rigidum*) dans la culture de blé et du risque de développement de la résistance herbicide. *Projet de fin d'études*, INAT (Tunisie). 62 p.

Blaser H.U. and Spindler F. (1997). Enantioselective catalysis for agrochemicals: the case history of the DUAL MAGNUM® herbicide. *Chimia* 51: 297-299.

Buhler D.D., Liebman M. and Obrycki J. (2000). Theoretical and practical challenges to an IPM approach to weed management. *Weed Sci.* 48: 274-280.

Burgos N.R., Tranel P.J., Streibig J.C., Davis V.M., Shaner D., Norsworthy J.K. and Ritz C. (2013). Review: Confirmation of resistance to herbicides and evaluation of resistance levels. *Weed Sci.* 61: 4-20.

Caussanel J.P. (1989). Nuisibilité et seuils de nuisibilité des mauvaises herbes dans une culture annuelle : situation d'une concurrence bispécifique. *Agronomie* 9: 219-240.

Cousens R.D. and Mokhtari S. (1998). Seasonal and site variability in the tolerance of wheat cultivars to interference from *Lolium rigidum*. *Weed Res.* 38: 301-307.

Daaloul A. (1988). La technologie dans l'agriculture tunisienne: cas du secteur céréalier. In: Colloque Tuniso-Américain: Une agriculture stabilisée pour la Tunisie au XXI<sup>ème</sup> Siècle. Tunis. pp 66-77.

Duchesne R., Lachance P. and Letendre M. (2004). Reduced herbicide rates in field crops: Lower than label rate. Working Group, Stratégie Phytosanitaire, Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation, Quebec City, Canada.

Gasquez J. (2000). Extension des graminées foliaires en France. In: 11<sup>ème</sup> colloque international sur la biologie des mauvaises herbes. Dijon, France. pp. 485-491.

Gasquez J., Fried G., Délos M., Gauvrit C. et Reboud X. (2008). Vers un usage raisonné des herbicides: analyse des pratiques en blé d'hiver de 2004 à 2006. *Innovations Agronomiques* 3: 145-156.

Gerber H.R., Mtiller G. and Ebner L. (1974). CGA 24705, A new grass killer herbicide. In: Proc. 12<sup>th</sup> Brit. Weed Control Conf, Brighton, UK. pp. 787-794.

Gill G.S. (1996). 'Why annual ryegrass is a problem in Australian agriculture'. *Plant Protection Quarterly*, 11: 193-194.

Gill G.S. and Holmes J.E. (1997). Efficacy of cultural control methods for combating herbicide-resistant *Lolium rigidum*. *Pestic. Sci.* 51: 352-358.

Grundy A.C., Boatman N.D. and Foud-Williams R.J. (1996). Effects of herbicide and nitrogen fertilizer application on grain yield and quality of wheat and barley. *Jour. Agri. Sci.* 126: 379-385.

Heap I. (2019). International Survey of Herbicide Resistant Weeds. <http://www.weedscience.com>.

Hénia L., Hlaoui Z. et Ben Boubaker H. (2013). La pluie de l'automne: comme indicateur de la qualité de la saison céréalière en Tunisie. In: XXVI<sup>ème</sup> colloque de l'Association Internationale de Climatologie, 3-7 Septembre 2013, Cotonou - Benin. pp. 273-278.

Holt J.S. and LeBaron. H.M. (1990). Significance and distribution of herbicide resistance. *Weed Technol.* 4:141-149.

Hugo K.J., Van Biljon J.J. and Van Der W. and Jooste J. (1990). Residual effect of various herbicides on Japanese millet. In: Proceedings South African Sugar Tech. Assoc. pp. 45-46.

Izquierdo J., Recasens J, Fernandez-Quintanilla C. and Gill G. (2003). Effects of crop and weed densities on the interactions between barley and *Lolium rigidum* in several Mediterranean locations. *Agronomie* 23: 529-536.

- Jensen P.K. (1985). Review of yield responses to weed control in one thousand spring barley experiments. In: Proceedings British Crop Protection Conference-Weeds, England. pp. 687-692.
- Jensen A.R., Spliid N.H. and Svensmark B. (2007). Determination of volatilization (dissipation) and secondary deposition of pesticides in a field study using passive dosimeters. *Intern. Jour. Environ. Anal. Chem.* 28: 913-926.
- Khammassi, M., Chaabane, H., Bousselmi, A., Belbahri, N., Souissi, T. (2016). Rigid ryegrass (*Lolium rigidum*) abundance in Tunisian northern cereal fields and its susceptibility to selected inhibitors of Acetyl Coenzyme A Carboxylase (ACCase) and Acetolactate Synthase (ALS). *Tunisian Journal of Plant Protection* 11, 105-115.
- Kudsk P. and Kristensen J.L. (1992). Effect of environmental factors on herbicide performance. In: First International Weed Control Congress (Melbourne, Australia, 17-21 February 1992) Combella, J.H., Levich, K.J., Richardson, R.G. Eds. Weed Science Society of Victoria, Melbourne. pp. 173-186.
- LeBaron H.M. (1991). Distribution and seriousness of herbicide-resistant weed infestations worldwide. In: Herbicide Resistance in Weeds and Crops. Caseley J.C., Cussans G.W. and Atkin R.K. eds. Butterworth-Heinemann. Ltd. Oxford. pp. 27-43.
- Lemerle D., Verbeek B. and Coombe N.E. (1996). Interaction between wheat (*Triticum aestivum*) and diclofop to reduce the cost of annual ryegrass (*Lolium rigidum*) control. *Weed Sci.* 44: 634-639.
- Levick G.R.T. (1969). The effect of competition from Wimmera ryegrass on the grain yield of wheat. M. Agr.Sci. Thesis University of Melbourne.
- Medd R.W., Auld B.A., Kemp D.R. and Murson R.D. (1985). The influence of wheat density and spatial arrangement on annual ryegrass, *Lolium rigidum* Gaudin, competition. *Aust. Jour. Agri. Res.* 36: 361-371.
- Moss S.R. (2006). Herbicide resistance: new threats, new solutions? HGCA Conference. Arable crop protection in the balance: Profit and Envi. 121-129.
- O'Connell J.P., Christian S., Harms T. and Allen J.R.F. (1998). Metolachlor, S-métolachlore and their role within sustainable weed-management. *Crop Protection* 17: 207-212.
- ONAGRI. (2018). Chiffre de l'Observatoire National de l'Agriculture sur les grandes cultures-les céréales. <http://www.onagri.nat.tn>.
- Palta J.A. and Peltzer S. (2001). Annual ryegrass (*Lolium rigidum*) reduces the uptake and utilisation of fertiliser-nitrogen by wheat. *Aust. Jour. Agric. Res.* 52: 573-581.
- Petit C., Bay G., Pernin F. and Délye C. (2010). Prevalence of cross- or multiple resistance to the acetyl-coenzyme A carboxylase inhibitors fenoxaprop, clodinafop and pinoxaden in black-grass (*Alopecurus myosuroides* Huds.) in France. *Pest Manag. Sci.* 66: 168-177.
- Poole M.L. and Gill G.S. (1987). Competition between crops and weeds in southern Australia. *Plant Protection Quarterly* 2: 86-96.
- Powles S.B. and Matthews J.M. (1992). Multiple herbicide resistance in annual ryegrass (*Lolium rigidum*), the driving force for the adoption of integrated weed management. In: Achievements and Developments in Combating Pest Resistance. Denholm I, Devonshire A, Holloman D. eds. Elsevier, London. pp 75-87.
- Powles S.B. and Matthews J.M. (1996). Integrated weed management for the control of herbicide resistant annual ryegrass (*Lolium rigidum*). In: Proceedings of the 2<sup>nd</sup> International Weed Control Congress, Copenhagen, Slagelse, Denmark: Department of Weed Control and Pesticide Ecology. pp. 407-414.
- Powles S.B., Preston C., Bryan I. B. and Jutsum A. R. (1997). Herbicide resistance: impact and management. *Advances in Agronomy* 58: 57-93.
- Radford B.J., Wilson B.J., Carthedge O. and Watkins F.B. (1980). Effect of wheat seeding rate on wild oat competition. *Aust. Jour. Exp. Agric. Anim. Husb.* 20: 77-81.
- Rahman A. and James T.K. 1994. Field persistence of some maize herbicides in two soils. In: Proceedings 47<sup>th</sup> N.Z. Plant Protection Conf. pp. 6-10.
- Rao V.S. (2000). Principles of weed science. Second edition. Science Publishers, Inc., New Hampshire, USA. 566 p.
- Recasens J., Taberner A. and Izquierdo J. (1997). *Lolium rigidum* Gaud. en cultivos de cereales. In: X. Sans. C. Fernandez-Quintanilla, Eds. Edicions Biologia de las Malas Hierbas de Espana. Phytoma Espana, Valencia, Spain. pp. 49-94.
- Reeves T.G. (1976). Effect of annual ryegrass (*Lolium rigidum* Gaud.) on yield of wheat. *Weed Res.* 16:57-63.
- Reeves T.G. and Smith I.S. (1975). Pasture management and cultural methods for the control of annual ryegrass in wheat. *Aust. Jour. exp. Agric. Anim. Husb.* 15: 527-530.
- Reeves T.G. and Broke H.D. (1977). The effect of genotype and phenotype on the competition between wheat and annual ryegrass (*Lolium rigidum* Gaud.). In: Proceeding Sixth Conf. Asian Pac. Weed Sci. Soc., Jakarta, Indonesia. pp. 167-172.
- Roush R.T. and Powles S.B. (1996). Pesticide resistance: why be concerned. Pesticide Resistance: Prevention and Management. In: New Zealand Plant Protection Society. Bourdot, G., Suckling, D. eds. Lincoln, Canterbury. pp. 3-16.
- SAS® (1985). Statistical Analysis System Institute. Language guide for personal computers, version 6. Edition SAS Institute, Cary, N.C.
- Savage K. and Barrentine W. (1969). Trifluralin persistence as affected by depth of soil incorporation. *Weed Sci.* 17: 349-352.
- Scursoni J.A., Palmano M., De Notta A. and Delfino D. (2012). Italian ryegrass (*Lolium multiflorum* Lam.) density and N fertilization on wheat (*Triticum aestivum* L.) yield in Argentina. *Crop Protection* 32: 36-40.
- Skouri M. et Latiri K. (2001). L'agriculture pluviale dans les pays du Maghreb. In: Comptes rendus de l'Académie d'Agriculture. 87: 147-160.
- Slama A., Ben Salem M., Ben Naceur M. et Zid E. (2005). Les céréales en Tunisie: production, effet de la sécheresse et mécanismes de résistance. *Sécheresse* 16: 225-229.
- Smith D.F. and Levick G.R.T. (1974). The effect of infestation by *Lolium rigidum* Gaud. (Annual ryegrass) on the yield of wheat. *Aust. Jour. Agric Res.* 25: 381-393.
- Souissi T., Labidi S. et Ben Haj Salah H. (2004). Mise en évidence et origine de la résistance herbicide du ray-grass (*Lolium rigidum*) dans les cultures de blé. *Revue de l'INAT* 18: 149-161.
- Swanton C. and Weise S. (1991). Integrated weed management: the rationale and approach. *Weed Technol.* 5: 657-663.
- Switzer C. (1957). The existence of 2,4-D resistant strains of wild carrot. Proceedings Northeast. *Weed Control Conf.* 11: 315-318.
- Tomlin C. (2003). The Pesticide Manual: A world compendium. 13<sup>th</sup> Edition British Crop Protection Council, Hampshire, UK. 1344 p.
- Vacher C., Bourguet D., Rousset F., Chevillon C. and Hochberg M.E. (2003). Modelling the spatial configuration of refuges for a sustainable control of pests: a case of study of Bt cotton. *Jour. of Evolutionary Biology* 16: 378-387.
- Wrubel R.P. and Gressel J. (1994). Are herbicide mixtures useful for delaying the rapid evolution of resistance? A case study. *Weed Technol.* 8:635-648.