

**AFPP – VINGT ET UNIÈME CONFÉRENCE DU COLUMA
JOURNÉES INTERNATIONALES SUR LA LUTTE CONTRE LES MAUVAISES HERBES
DIJON – 8 ET 9 DÉCEMBRE 2010**

**DEVELOPPEMENT D'ADVENTICES RESISTANTES AU GLYPHOSATE :
SITUATION ET PERSPECTIVES EN FRANCE**

M. DUBOIS⁽¹⁾, M.-P. PLANCKE⁽²⁾

⁽¹⁾ Monsanto Agriculture France – Europarc du Chêne – 1, rue Jacques Monod – 69673 Bron
Cedex – France – marielle.dubois@monsanto.com

⁽²⁾ Monsanto International Sarl – Rue des Vignerons 1A – 1110 Morges – Suisse
– marie-pierre.plancke@monsanto.com

RESUME

La mise en évidence d'adventices résistantes au glyphosate a retenu une attention croissante ces dernières années. Le développement de la résistance à cette matière active est limité relativement à ses larges utilisations, mais est néanmoins pris en compte sérieusement tant par Monsanto que les pouvoirs publics de façon à maintenir durablement les avantages de cette matière active. Dans le cadre des homologations françaises de ROUNDUP®, Monsanto procède à une surveillance rigoureuse de la performance de ses produits sur les populations d'adventices. Cette publication resitue cette surveillance par rapport aux évaluations du risque de développement de résistance, présente les résultats à ce jour, et discute comment ils permettent d'affiner autant les recommandations de gestion en cas de résistance avérée, que les pratiques de désherbage en général.

Mots-clés : Résistance, glyphosate, *Lolium*, *Conyza*, *Ambrosia*.

SUMMARY

DEVELOPMENT OF GLYPHOSATE RESISTANT WEEDS: SITUATION AND PERSPECTIVES IN FRANCE

Increased attention has been paid to the development of glyphosate resistant weeds over the past years. Development of glyphosate resistant weeds is limited compared to its broad intensive use, but is nevertheless taken seriously by Monsanto and the public authorities in order to sustain the benefits of this active ingredient. As part of the registration of ROUNDUP® products, Monsanto monitors the performance of its products on weed populations. This publication positions these monitoring activities within the risk assessment of resistance development, presents the results to date, and discusses how they contribute in fine-tuning the recommendations to manage resistance cases as well as weed control in general.

Key words: Weed resistance, glyphosate, *Lolium*, *Conyza*, *Ambrosia*.

INTRODUCTION

La résistance à un herbicide se caractérise par la capacité héritée et transmissible de plantes d'une population à survivre à un traitement qui permet normalement de les contrôler. Pour les herbicides et notamment le glyphosate, le développement de la résistance au sein d'une population est le résultat d'une sélection : des plantes naturellement résistantes sont présentes originellement, et leur proportion augmente au sein de la population par rapport aux plantes non résistantes contrôlées par les traitements.

Le risque de développement de la résistance dépend ainsi :

- De la biologie des populations d'adventices ciblées par l'herbicide : taux de présence originelle des caractéristiques de résistance, capacités reproductives et adaptatives,
- Du mode d'action de l'herbicide : les matières actives herbicides sont classées par familles selon leur mode d'action (HRAC),
- Des stratégies d'utilisation de l'herbicide, qui caractérisent la pression de sélection.

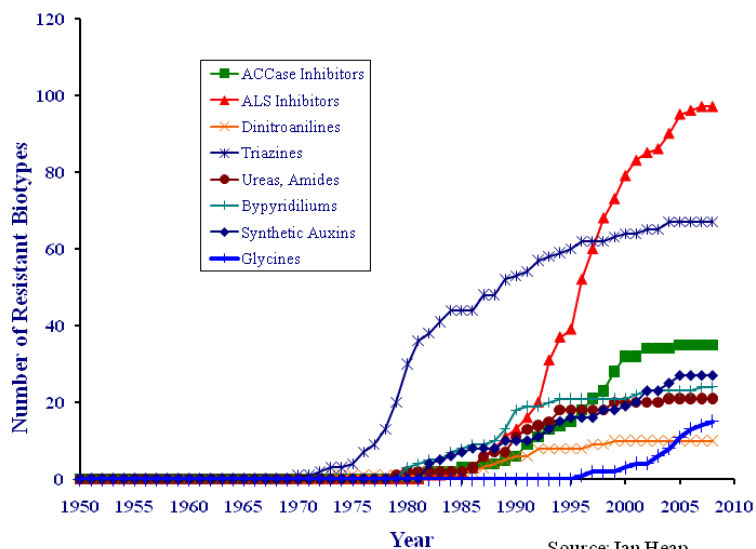
L'évaluation et les moyens de gestion du risque de développement de résistance font partie du dossier d'homologation des herbicides (Standard EPPO PP1/213).

Le glyphosate (N-phosphonométhyl glycine) est utilisé dans le monde depuis près de 40 ans dans de multiples situations autant agricoles que non-agricoles. Pourtant, le nombre d'espèces ayant développé de la résistance est faible : représentant de la famille des glycines, son mode d'action est spécifique (inhibition de l'enzyme EPSPS intervenant dans le métabolisme des acides aminés aromatiques) et moins concerné par le développement de résistance que d'autres modes d'action (Figure 1).

Figure 1

Nombre de cas de résistances dans le monde en fonction des familles de matières actives (Heap I., 2010)

(*Number of cases of weed resistance in the world according to active ingredient family (Heap I., 2010)*)



Depuis le développement des premiers cas, la résistance au glyphosate donne lieu à des publications régulières faisant état de leur évolution dans le monde et des pratiques agronomiques mises en place pour permettre aux agriculteurs de continuer à bénéficier de cet herbicide.

Afin d'assurer l'utilisation durable de ses produits, Monsanto s'engage tout particulièrement à mettre en place des recommandations adaptées au risque de développement de résistance, à identifier précocement tout cas, et à mettre en place les mesures de gestion correspondantes. L'approche est principalement basée sur le suivi des cas de performance insuffisante au champ. En France, ceci a conduit à l'identification du développement de la résistance au glyphosate dans des populations de ray-grass en vigne. Cet article retrace le cadre et les résultats de cette approche, conforme à la demande de suivi post-autorisation.

MATERIEL ET METHODES

IDENTIFICATION DES SITES DE DEVELOPPEMENT DE RESISTANCE

Pour suivre le potentiel développement de résistance à un herbicide, plusieurs protocoles peuvent être envisagés :

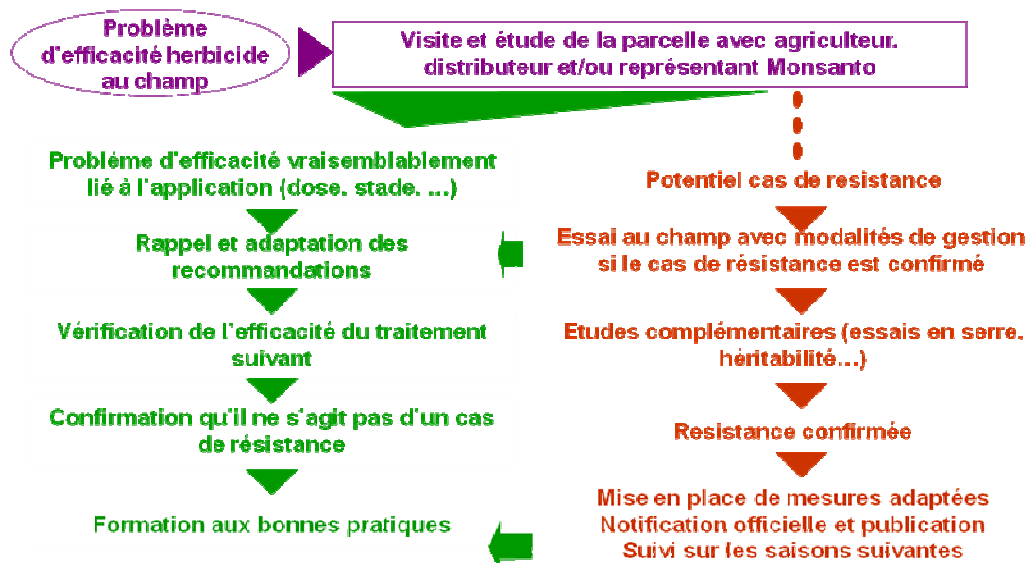
- La mise en place de parcelles d'essai long terme, sur lesquelles l'application de l'herbicide est répétée année après année, et la sensibilité des adventices mesurée régulièrement
- La collecte aléatoire d'adventices sur lesquelles sont réalisés les tests de sensibilité
- Le suivi des populations d'adventices et de la performance herbicide sur une série de parcelles agriculteurs
- Le suivi dirigé de cas de performance herbicide insuffisante

Vu à la fois les résultats obtenus par les différents dispositifs jusqu'ici, et les caractéristiques connues du développement de la résistance au glyphosate, c'est le 4^{ème} dispositif qui s'avère le plus efficace pour une identification précoce du développement et c'est tout particulièrement celui que Monsanto suit (Figure 2).

Figure 2

Le suivi dirigé des cas de performance herbicide insuffisante est le dispositif le plus approprié pour identifier et gérer le développement de la résistance au glyphosate.

Monitoring and appropriate follow-up of grower performance issues is the most appropriate system to identify and manage the development of glyphosate resistance in weeds.



Par la suite, l'analyse des cas de développement de résistance conduit à mieux en identifier les facteurs de risque, de telle sorte qu'une surveillance ciblée peut être mise en place et ainsi étudier des parcelles considérées comme « à risque » par rapport à ces facteurs : difficulté récurrente de contrôle herbicide, forte densité de mauvaises herbes reconnues comme ayant développé de la résistance au glyphosate, cultures pérennes sans rotation.

Cette surveillance répond au suivi de post-autorisation de mise sur le marché de produits comme le ROUNDUP FLASH PLUS® demandé par les services spécialisés du Ministère de l'Agriculture, permettant « d'étudier l'apparition ou le développement éventuel d'une résistance sur les adventices avec une attention particulière pour les adventices telles que Ray-grass (*Lolium multiflorum* Lam. *Lolium perenne* L. et *Lolium rigidum* Gaud.), Erigéron (ou Vergerette) du Canada (*Conyza canadensis* (L.) Cronq.) et Ambrosie (*Ambrosia artemisiifolia* L.). »

ESSAIS D'EFFICACITE AU CHAMP

Les essais au champ mis en place dans les cadres d'identification et de surveillance décrit ci-dessus sont réalisés conformément aux directives de la Commission des Essais biologiques (Agulhon et al, 1998). Ils sont mis en place selon un dispositif expérimental de blocs de Fisher à 3 répétitions randomisées, avec des témoins semi-adjacents et des parcelles élémentaires de 20 à 25 m². Ils testent différentes doses et stades d'application de formulations de glyphosate et des programmes associant d'autres matières actives. Les produits testés sont appliqués à l'aide d'un pulvérisateur à dos fonctionnant à pression constante (100 à 200 kPa) avec un volume de bouillie de 200 L/ha. Les notations d'efficacité correspondent à un pourcentage de destruction des adventices par rapport au témoin non traité. L'efficacité des traitements est évaluée par estimation visuelle du contrôle par adventice environ 30 et 60 jours après traitement.

ESSAIS EN CONDITIONS CONTROLEES

Lorsque la performance du traitement au glyphosate au champ est insuffisante, au point que les adventices ciblées forment des graines, et que la résistance peut être suspectée selon la Figure 2, des graines sont prélevées dans les parcelles témoin et dans les parcelles traitées, et étudiées en conditions contrôlées. Seules des graines de *L. rigidum* ont été analysées à la suite de cas de performance insuffisante.

1/ Essais d'efficacité en serre

Selon Deschomets et Gauvrit (2007), *L. rigidum* est cultivé sous serre (environ 17°C le jour et 12°C la nuit) dans des pots de 1 L contenant un mélange de vermiculite, sable et argile (70 %, 15 %, 15 %, v/v/v). Chaque pot contient huit plantes, qui sont traitées au stade trois feuilles par une gamme de neuf doses : 22,5, 45, 90, 180, 360, 720, 1440, 2880 et 5760 g e.a. ha⁻¹ de glyphosate sous formulation ROUNDUP® classique. L'application (150 L ha⁻¹) se fait au moyen d'un pulvérisateur de laboratoire comprenant une rampe mobile équipée d'une buse à fente (Albuz 110°, 300 kPa). Le dispositif expérimental est une randomisation totale, avec trois répétitions. Les plantes sont récoltées 21 jours après le traitement (JAT). Les plantes sont ensuite séchées à 75°C pendant 48 h, de manière à déterminer le poids de matière sèche. Les résultats sont analysés grâce à un ajustement non linéaire selon le modèle log-logistique suivant :

$$M = C + \frac{D - C}{1 + \left(\frac{\text{Dose}}{ED_{50}} \right)^b}$$

où M dénote la matière sèche, D et C dénotent les limites supérieure et inférieure de matière sèche aux doses zéro et infinie de glyphosate, ED₅₀ dénote la dose de glyphosate nécessaire

pour réduire la matière sèche de moitié entre les limites supérieure et inférieure, et b est proportionnel à la pente de la courbe à la ED_{50} .

2/ Méthode rapide d'évaluation de la résistance au glyphosate du ray-grass

La méthode établie par Ballot et al., 2009, permet de générer des données de résistance de graines de *L. rigidum* au glyphosate sans avoir recours à des essais d'efficacité en serre tels que ceux décrits ci-dessus, plus exigeants en temps et en espace. Elle est donc utilisée en remplacement de celle-ci quand c'est nécessaire.

La méthode consiste à placer des graines pré germées dans des puits d'une plaque Elisa contenant des solutions de glyphosate à des concentrations croissantes, et de mesurer la longueur du coléoptile (ou de la 1^{ère} feuille selon les définitions) au bout de 7 jours de croissance. Ces mesures sont indicatrices du niveau de résistance des plantes testées.

RESULTATS

BILAN DES QUESTIONS ET RECLAMATIONS DES UTILISATEURS

1/ Données générales par le suivi des questions au service utilisateurs

D'une façon générale, le service utilisateur Monsanto reçoit plus de 1000 questions par an, tous produits confondus, gammes de produits de protection des plantes et semences. La plupart des questions sur les formulations de glyphosate portent sur les recommandations d'usage sur les adventices considérées comme difficiles, dose et stade optimal d'application. Depuis 2004, il n'a reçu que 3 questions sur ray-grass, dont une seule était relative à un problème d'efficacité.

2/ Les réclamations par les agriculteurs

Les réclamations sont les questions ayant donné lieu à une visite spécifique de la parcelle au sens de la Figure 2. Le Tableau I indique le nombre de réclamations traitées ces trois dernières années sur les formulations de glyphosate.

Tableau I

Nombre de réclamations pour performance insuffisantes sur 2007 – 2009 en France

Number of performance claims in 2007, 2008 and 2009 in France

	2007	2008	2009	Total
Nombre de réclamations sur les formulations de glyphosate	20	11	15	46
Dont en cultures arables sur flore mixte	14	9	9	32
Dont en cultures pérennes sur flore mixte	4	1	4	9
Dont en cultures pérennes sur ray-grass	2	1	2	5
Dont en cultures pérennes sur érigéron	0	0	0	0
Dont en culture pérennes sur ambroisie	0	0	0	0

Sur ces 46 réclamations étudiées conformément à la Figure 2, toutes se sont avérées relever de mauvaises pratiques. Les pratiques de désherbage sont prioritairement à mettre en cause quand l'inefficacité est constatée sur flore mixte, notamment dans les cultures arables. Elles se sont aussi avérées déterminantes dans les situations qualifiées comme « à risque de développement de résistance », sur ray-grass en cultures pérennes.

Ces informations remontées des questions soulevées par les agriculteurs utilisateurs, à la fois par le service utilisateurs et le suivi des réclamations, confirment la difficulté de contrôler les ray-grass, même en l'absence de résistance au glyphosate. Ceci illustre que la difficulté de contrôle herbicide est bien un facteur de risque de développement de résistance. Parallèlement, ce facteur de risque n'apparaît nullement sur les autres adventices comme érigéron et ambroisie.

SURVEILLANCE SUR RAY-GRASS

A l'analyse des premiers cas de développement de résistance au glyphosate en France et en Europe, sur ray-grass en cultures pérennes (Favier et Gauvrit, 2007), une surveillance ciblée a été mise en place en partenariat avec les réseaux de la distribution agricole et les services de la protection des végétaux pour identifier et étudier des parcelles considérées comme « à risque » : difficulté récurrente de contrôle herbicide, forte densité de mauvaises herbes reconnues comme ayant développé de la résistance au glyphosate, cultures pérennes sans rotation. Seules des populations de *L. rigidum* ont été étudiées dans ce dispositif. Le Tableau II présente les résultats de cette surveillance.

Tableau II

Surveillance sur *L. rigidum* en France depuis 2006 : essais d'efficacité au champ, prélèvements et analyses de résistance en conditions contrôlées

Monitoring on L. rigidum in France since 2006 : field efficacy trials, sampling and analysis of resistance in controlled conditions

	2006	2007	2008	2009	2010
Nombre d'essais efficacité sur des sites conservés de l'année précédente	0	1	6	5	3
Nombre d'essais efficacité sur des nouveaux sites	1	19	21	2	0
Modalité ROUNDUP FLASH 3.2L/ha présentant une efficacité >90%	0	11	12	2	0
Modalité ROUNDUP FLASH 3.2L/ha présentant une efficacité <90%	1	9	15	5	3
Nombre de cas où la résistance est confirmée après analyse en conditions contrôlées	1	6	9	5	Analyses en cours
% de détection de résistance confirmée par rapport au nombre d'essais mis en place	100%	30%	33%	71%	

Si les données de 2006 sont biaisées du fait de l'unicité du cas étudié, l'ensemble montre qu'au fur et à mesure du temps, le nombre de cas de résistance confirmée par nombre de parcelles étudiées augmente, au point que (presque) toutes les parcelles étudiées s'avèrent sites de développement de résistance. Ceci montre qu'on est désormais bien à même d'identifier la présence de résistance en fonction des facteurs de risque identifiés, et que par conséquent, on n'est pas obligé de procéder à plus d'essais, tant au champ qu'en laboratoire pour mettre en place les mesures de gestion des ray-grass potentiellement résistants.

Par ailleurs, on en note pas d'augmentation du nombre de sites étudiés, ce qui laisse penser que le développement de la résistance au glyphosate chez les ray-grass est stabilisée.

SURVEILLANCE SUR ERIGERON

Les informations remontées des questions soulevées par les agriculteurs utilisateurs, à la fois par le service utilisateurs et le suivi des réclamations ne font pas ressortir de problème d'efficacité du glyphosate sur érigeron en France (Tableau I). Néanmoins, compte tenu des cas de résistance au glyphosate identifiés au niveau mondial, et de la biologie des érigerons en France (présence dans les cultures installées, notamment vigne, faculté de dispersion, etc...), nous sommes conscients que le risque de développement de résistance au glyphosate mérite une attention particulière. Aussi, quelques essais ont été mis en place aléatoirement sur des parcelles où les densités étaient importantes dans différentes régions viticoles françaises. Comme le montre le Tableau III, l'efficacité des traitements a été confirmée, et il n'a pas été justifié de procéder à quelque analyse en conditions contrôlées. L'ensemble confirme qu'aucun développement de résistance n'a été mis en évidence.

Tableau III

Surveillance sur *Conyza spp.* en France depuis 2008 : essais d'efficacité au champ
Monitoring on Conyza spp in France since 2008 : field efficacy trials

	2008	2010
Nombre d'essais Efficacité	5	4
Modalité ROUNDUP FLASH 3.2L/ha présentant une efficacité >90% (*)	5	4
Modalité ROUNDUP FLASH 3.2L/ha présentant une efficacité <90% (*)	0	0
Analyses en conditions contrôlées	0	0

(*) Les applications sont réalisées en sortie d'hiver avec $1690\text{g}\cdot\text{ha}^{-1}$ de glyphosate, les notations sont réalisées 30 jours après traitement

SURVEILLANCE SUR AMBROISIE

L'ambrosie, plante allergène, est aussi considérée comme une adventice nuisible en raison de la compétition qu'elle exerce à l'égard de la plante cultivée notamment maïs et tournesol mais aussi de la gêne qu'elle peut occasionner à la récolte. Par ailleurs, Gauvrit et Chauvel (2010), ont montré que, par traitement soit au stade « bouton floral », soit au stade « mission de pollen », le glyphosate annule la production de semences viables, et interrompt de ce fait l'alimentation du stock semencier. Le glyphosate est donc très efficace pour maîtriser à la fois la production de pollen et de semences par cette espèce.

Des cas de développement de résistance au glyphosate sont identifiés chez l'ambrosie dans le monde, cependant, les informations remontées des questions soulevées par les agriculteurs utilisateurs, à la fois par le service utilisateurs et le suivi des réclamations ne font pas ressortir de problème d'efficacité du glyphosate sur ambrosie en France (Tableau I) ; cette plante n'est que rarement présente dans les systèmes de culture pérennes, et le risque de développement de résistance au glyphosate est considéré comme très faible. Par conséquent, aucun essai spécifique n'a été mis en place.

ETUDE SPECIFIQUE SUR LE COMPORTEMENT A LONG TERME

A la suite de la mise en évidence du développement de la résistance au glyphosate dans des populations de ray-grass, les parcelles identifiées ont été utilisées afin d'étudier l'évolution de ces populations selon les pressions de sélection appliquées : les modalités non traitées et traitées avec le glyphosate ont été maintenues pendant 5 années consécutives. La disparition de la résistance dans les parcelles non traitées indiquerait que les individus résistants sont pénalisés par rapport aux individus sensibles, comme ça a été rapporté par Pedersen et al (2007). La confirmation ou l'infirmité de cette hypothèse permet d'affiner les recommandations de gestion en cas de résistance avérée.

Le Tableau IV présente l'évolution de l'efficacité des traitements au champ et des analyses de résistance au laboratoire de 2006 à 2009 (2010 en cours) sur 5 sites suivis sur plusieurs années. Du fait de la variabilité des méthodes employées et des résultats obtenus en laboratoire, les EC_{50} doivent être comparées entre sites par année (verticalement) et non par site au travers des années (horizontalement). Un autre facteur à considérer est que les analyses portent sur un échantillon de graines de plusieurs plantes, si bien que les résultats reflètent la moyenne d'une population, et non le statut d'un individu seul.

Dans la plupart des cas, les résultats montrent que les taux de résistance sont plus élevés dans les modalités traitées que dans les modalités non traitées. Cependant, le rapport des EC_{50} entre les modalités traitées et non traitées est en général inférieur à 10 et n'évolue pas rapidement au cours du temps : on ne peut pas conclure que la résistance disparaît rapidement après l'arrêt de la pression de sélection...

Plus précisément, les résultats pourraient indiquer deux types d'évolution possible (données non présentées) : dans certains cas, la résistance diminue au cours du temps, alors que dans d'autres, elle se maintient. Ceci serait assez cohérent avec d'autres résultats établis sur ray-grass montrant une grande diversité au sien de cette adventive et de sa dynamique d'évolution (Collavo et al, 2010). La vitesse d'évolution dépend à la fois des pratiques agronomiques et des caractéristiques, comme un éventuel coût physiologique (pénalisation) de la résistance.

Tableau IV

Evolution de l'efficacité des traitements au champ (efficacité à T+60J d'une application de 1440 g/ha de ROUNDUP FLASH en de sortie d'hiver) et des EC_{50} (en mg/l) établies en laboratoire de 2006 à 2009 sur 5 sites.

Evolution of the field efficacy (assessment at T+60 after treatment at 1440 g/ha of ROUNDUP FLASH at the end of winter) and EC_{50} (in mg/l) established in the lab from 2006t to 2009 on 5 sites.

Site	2006		2007		2008		2009	
	Efficacité	EC_{50} (mg/l)	Efficacité	EC_{50} (mg/l)	Efficacité	EC_{50} (mg/l)	Efficacité	EC_{50} (mg/l)
Saint Pons la Calm Modalité traitée	7%	-	22%	298	3%	306	7%	323 13756 258 (*)
Saint Pons la Calm Modalité non traitée	0%	-	0%	221	0%	2578	0%	113
Le Puy Notre Dame Modalité traitée	-	-	20%	-	17%	-	?	1342
Le Puy Notre Dame Modalité non traitée	-	-	0%	-	0%	-	0%	799
Archiac Modalité traitée	-	-	-	-	30%	360	20%	1151
Archiac Modalité non traitée	-	-	-	-	0%	143	0%	114
L'Isle sur Tarn Modalité traitée	-	-	-	-	?	197	3%	432
L'Isle sur Tarn Modalité non traité	-	-	-	-	?	149	0%	176
Fronton Modalité traitée	-	-	-	-	46%	214	66%	556
Fronton Modalité non traitée	-	-	-	-	0%	-	0%	299

(*) EC_{50} pour chacune des 3 modalités

MISE EN PLACE DE RECOMMANDATIONS

Parallèlement à la caractérisation du développement de la résistance au glyphosate, mécanismes, dynamique, facteurs de risque, Monsanto s'investit dans la détermination et la diffusion des bonnes pratiques limitant le développement de la résistance, et l'élaboration des recommandations permettant contrôler les adventices problématiques.

Ainsi, les essais mis en place sur les parcelles des réseaux de surveillance discutés ci-dessus ont permis d'étudier différentes options de contrôle du ray-grass. Comme rapporté par Dubois

et Deschomets (2009), les produits testés étaient : aminotriazole (WEEDAZOL TL, Nufarm SAS) ; flazasulfuron (KATANA 25W, Belchim Crop Protection) ; glyphosate (ROUNDUP FLASH, Monsanto Agriculture France SAS) ; cycloxydim (STRATOS ULTRA, BASF agro SAS) ; oxyfluorène (GOAL EC, Dow AgroSciences). Les résultats confirment l'efficacité du mélange glyphosate et flazasulfuron aux deux dates d'application testées. De la même manière, le cycloxydim utilisé seul ou en mélange a aussi une excellente efficacité. Les autres produits testés n'apportent pas une efficacité suffisante. Il est également intéressant de noter que le flazasulfuron utilisé seul ou en mélange avec l'aminotriazole n'apporte pas un contrôle suffisant.

Ce programme d'expérimentation a confirmé que le glyphosate est toujours beaucoup plus efficace lorsqu'il est appliqué sur les stades jeunes des adventices annuelles, et qu'en cas de contrôle difficile ou résistance avérée, des solutions alternatives existent.

DISCUSSION

Seul des ray-grass ont nécessité une analyse en conditions contrôlées à la suite de performance insatisfaisante au champ. Notamment, à ce jour, aucun cas de résistance potentielle n'a du être étudié sur érigoïde ou ambrosie, ces deux espèces étant expressément citées dans le suivi post-autorisation demandé par les services spécialisés du Ministère de l'Agriculture

A la suite du cas mis en évidence par une performance insuffisante au champ sur ray-grass en 2006, la surveillance s'est orientée selon l'analyse de risque. L'étude des cas de développement de résistance au glyphosate, mécanismes biologiques, dynamique d'évolution, facteurs de risque, permet d'affiner les recommandations de gestion en cas de résistance avérée, mais aussi d'améliorer les pratiques de désherbage y compris en l'absence de résistance au glyphosate. En impliquant à la fois agriculteurs, distributeurs, prescripteurs, autorités locales et spécialistes de Monsanto, elle permet la définition et la diffusion des recommandations adaptées pour limiter voire restreindre les populations d'herbes résistantes, et contrôler les adventices problématiques.

CONCLUSION

Les schémas de développement de la résistance au glyphosate sont conformes à l'analyse du risque d'un tel développement. Il est principalement mis en évidence grâce au suivi dirigé de cas de performance insuffisante puis à l'étude de cas présentant des facteurs de risque élevés.

En France, le développement de cas de résistance au glyphosate a ainsi été mis en évidence uniquement sur ray-grass dans des parcelles de vigne. En associant recherche, surveillance et formation aux bonnes pratiques, les acteurs agricoles, dont Monsanto, progressent dans la connaissance et les pratiques adaptées à mettre en place en cas de résistance des adventices au glyphosate et aux herbicides en général. Les pratiques recommandées dans le monde, et en France dans le cas de ray-grass, incluent les éléments suivants :

- utiliser des herbicides à mode d'action différent – en séquence ou en mélange avec le glyphosate - et avoir recours au travail du sol de façon adaptée en fonction du système de production,
- appliquer les produits conformément à leurs recommandations d'usage, notamment à la bonne dose et au bon moment par rapport au stade de l'adventice présente la plus difficile à contrôler,
- s'assurer de l'efficacité du désherbage,
- éviter que les adventices ne montent à graines,

- nettoyer le matériel agricole avant de le déplacer d'un champ à l'autre afin de limiter la dissémination des mauvaises herbes,
- informer le distributeur ou le fabricant du produit utilisé si son efficacité n'est pas satisfaisante malgré des bonnes conditions d'application, ce qui pourrait révéler un cas de résistance

Le processus complet - de l'identification des résistances jusqu'à l'adoption de pratiques adaptées par les agriculteurs – demande une vigilance particulière. Concernant le glyphosate, les pratiques agronomiques mises en place dans le monde et en France ont permis de contrôler efficacement les populations résistantes en permettant aux agriculteurs de bénéficier de l'herbicide sur l'essentiel de leurs surfaces cultivées.

REMERCIEMENTS

Par leurs contributions et leurs critiques de qualité, Christian GAUVRIT, BIOtransfer et Gilles DESCHOMETTS ont largement aidé ce travail : nous les en remercions !

BIBLIOGRAPHIE

Agulhon R. et al, 1998 - Méthode d'étude et d'évaluation des herbicides destinés à la destruction des mauvaises herbes annuelles et bisannuelles du vignoble. Méthode n°205 de la Commission des Essais Biologiques. 22 pp.

Ballot R., Deschomets G, Gauvrit C, 2009 - A quick test of glyphosate resistance in ray-grass. AFPP -XIIIème colloque international sur la biologie des mauvaises herbes – Dijon, France, 8-10 septembre 2009, 331-338.

Collavo A., De Prado R., Gonzalez-Torralva F., Barbieri G., Sattin M., 2010 - First Occurrence of glyphosate resistance *Lolium rigidum* in Italian vineyards and olive groves. 15th Symposium of EWRS – Kaposvar, Hungary, 12-15 July 2010, 38.

Deschomets G., Gauvrit C., 2007 - Résistance au glyphosate en France : mise en évidence et solutions. AFPP - XX^{ème} conférence du COLUMA – Journées internationales sur la lutte contre les mauvaises herbes – Dijon France, 11-12 décembre 2007, 427-434.

Dubois M., Deschomets G., 2009 - Résistance au glyphosate en Europe : mise en évidence et solutions. AFPP – XIII^{ème} colloque international sur la biologie des mauvaises herbes – Dijon, France, 8-10 septembre 2009.

Favier T., Gauvrit C., 2007 - Premier cas de résistance au glyphosate en France. AFPP - XX^{ème} conférence du COLUMA – Journées internationales sur la lutte contre les mauvaises herbes – Dijon, France, 11-12 décembre 2007, 233-237.

Gauvrit C, Chauvel B., 2010 - Sensitivity of *Ambrosia artemisiifolia* to glufosinate and glyphosate at various developmental stages. *Weed Research*, 50, 503–510.

Heap, I - The International Survey of Herbicide Resistant Weeds. Online. Internet consulté le 26 septembre 26, 2010 . Disponible sur www.weedscience.com

Pedersen B.P., Neve P., Andreasen C., Powles S.B., 2007 - Ecological fitness of a glyphosate-resistant *Lolium rigidum* population: Growth and seed production along a competition gradient. *Basic and Applied Ecology*, 8, 258-268.