

Végéphy – 24^e CONFERENCE DU COLUMA
JOURNEES INTERNATIONALES SUR LA LUTTE CONTRE LES MAUVAIS HERBES
ORLÉANS - 3, 4 et 5 DECEMBRE 2019

EVOLUTION DE L'ACTIVITE DES HERBICIDES DE PRE-LEVÉE CHEZ LES MAUVAISES HERBES
GRAMINEES.

R. DUECKER^{1,2}, V. BRABETZ¹, P. ZOELLNER¹, S. RIES¹, A. COLLAVO¹, P. LUEMMEN¹, M. DEVAVRY³, R. BEFFA¹

¹Bayer Crop Science, Industriepark Hoechst, 65926 Frankfurt, Germany

²Georg-August Universität Göttingen, Section of General Plant Pathology and Crop Protection,
Grisebachstraße 6, 37077 Göttingen, Germany

³BAYER SAS – 16 rue Jean-Marie Leclair- 69266 Lyon Cedex 09

RESUME

Le désherbage d'automne en pré-levée prend de l'importance compte tenu du développement de la résistance des graminées (vulpin, ray-grass) aux modes d'action inhibiteurs des ALS et ACCase (groupe HRAC B et A) appliqués en sortie hiver. Les évolutions réglementaires, perte de matières actives, baisse de dose, vont modifier la pression de sélection sur les modes d'action herbicide présents en céréales d'automne (HRAC K3, F1, N, ...). A ce jour, seuls quelques rares cas de résistance au flufénacet (FFA) ont été relevés sur vulpin et sur ray-grass. L'identification des métabolites du flufénacet (HRAC K3) a permis de mettre en évidence les voies métaboliques impliquées dans sa détoxification via sa conjugaison avec le glutathion. Des tests en serre ont montré que des solutions à base de FFA associant différentes matières actives à mode d'action différents (diflufénicanil (DFF), métribuzine (MRB), aclonifène (ACL)) gardent une efficacité optimale même en cas de détoxification du FFA. Ainsi, la combinaison entre utilisation d'herbicides à modes d'action différents (comme une association de deux, voire trois substances actives), et agronomie (rotation, travail du sol, ...) est nécessaire pour une gestion durable des graminées en céréales.

Mots clés : automne, résistance graminées, aclonifène, flufénacet, diflufenican

ABSTRACT

Pre-emergence herbicides are one of the last solutions to increase diversity from the chemical perspective, and mitigate the evolution of resistance in grass weeds in cereal crops. Metabolic resistance to herbicides has been a growing problem for successful weed management and also poses a threat to herbicides that will be discovered in the future due to the potential for cross-resistance to a broad spectrum of chemical classes. Through the identification of metabolites, the detoxification pathway of flufenacet (HRAC, K3 group, VLCFAs) was confirmed to happen via glutathione conjugation in both blackgrass (*Alopecurus myosuroides*) and rye-grass (*Lolium* spp.). Bio-test in the greenhouse and experiment in the fields confirmed that mixtures of flufenacet with diflufénican (DFF) and another partner, like for example aclonifen, can control all blackgrass and rye-grass populations. The characterization of the molecular mechanisms of flufenacet resistance is helping to find the best partners for mixtures (DFF, aclonifen or metribuzine) and to develop accurate resistance diagnostic to optimize the use of the herbicide, select the right mixture(s) to be applied, and thus mitigate the evolution of resistance.

Key words: autumn, grasses resistance, aclonifen, flufenacet, diflufenican

INTRODUCTION

Le désherbage d'automne a pris ces dernières années de plus en plus d'importance compte tenu du développement de la résistance des graminées (vulpin et ray-grass) aux modes d'actions inhibiteurs de l'ALS (HRAC, groupe B) et ACCase (HRAC, groupe A) appliqués en sortie hiver. Les évolutions réglementaires actuelles, pertes de substances actives, baisse de dose, contraintes drainage, l'utilisation fréquente des mêmes modes d'actions ont ou vont, modifier les efficacités des stratégies de désherbage et la pression de sélection sur les modes d'action présents en herbicides céréales d'automne (HRAC K3, F1, N, ...). Il est donc important de suivre ces évolutions et de continuer à apporter aux agriculteurs des solutions efficaces permettant de maintenir leurs parcelles propres.

Cette publication fait état des lieux de l'évolution de l'efficacité des herbicides d'automne (prélevée notamment) pour le contrôle du vulpin et de l'ivraie sur céréales, met en évidence le mécanisme de résistance du flufénacet (FFA) et son évolution. Ces connaissances permettent de présenter une nouvelle solution innovante en désherbage d'automne sur céréales, commercialisée dès cet automne sous le nom commercial MATENO®. L'arrivée de cette solution, contenant de l'aclonifène, permet d'introduire un nouveau mode d'action pour le désherbage d'automne et constitue ainsi un nouvel outil dans la gestion de la résistance.

MATERIEL ET METHODES

Cultures des plantes et essais en serres (réponse en fonction de la dose appliquée)

Plusieurs dizaines de populations d'ivraie et de vulpin de France, de Grande-Bretagne et d'Allemagne ont été analysées avec différents herbicides de prélevée dont plusieurs contenaient du flufénacet, en particulier CADOU (FFA solo) et FOSBURI (FFA + DFF) comme décrit (Duecker *et al.*, 2019 a et b). Les doses efficaces nécessaires pour une réduction de la croissance de 50% et de 90% ont été déterminées et comparées à la dose recommandée de traitement aux champs. Quelques résultats représentatifs sont présentés ci-dessous (Figures 1 et 2).

Détoxification du flufénacet in planta.

Des plantules de 5 jours ont été traitées avec du flufénacet marqué au carbone ¹⁴C. Après extraction le flufénacet et ses métabolites ont été analysés par HPLC et identifiés par LC-MS/MS comme décrit dans Duecker *et al.* 2019a et b. Le taux de dégradation du flufénacet pour différentes populations est reporté ci-dessous ainsi que la voie métabolique de détoxification mise en évidence (Figures 3 et 4).

Efficacité des herbicides automne (racinaire) sur céréales. Intérêt de l'aclonifène

a. Dispositif

Des essais ont été mis en place par Bayer SAS France entre 2017 et 2018 pour évaluer l'apport de l'aclonifène en désherbage céréales d'automne et étudier la performance technique de la spécialité MATENO® (75g/l Flufénacet (FFA), 60 g/l Diflufénican (DFF), 450g/l Aclonifène (ACL)). 10 essais vulpins et 5 essais Ray-grass ont été implantés en France sur blé tendre d'hiver.

Les essais ont été conduits selon la méthode EPPO ou CEB en vigueur (Références bibliographie 3 et 4). Les modalités testées sont décrites ci-après (Tableau I). L'ensemble des résultats sont repris ci-dessous (Figures 5 à 8).

b. Modalités testées

Tableau I : Modalités et doses de substances actives testées.
(Treatments and dose rates of active ingredients tested)

Modalités (dose/ha)	Dose substances actives (g/ha)
MATENO® (2 l)	150 g FFA + 120 g DFF + 900 g ACLO
FFA + DFF	150 g FFA + 120 g DFF
Ref. 1 (2.5 l) <i>Référence pré-levée</i>	150 g FFA + 750 g Pendiméthaline
FOSBURI® (0,6 l) <i>Référence post-levée</i>	240 g FFA + 120 g DFF

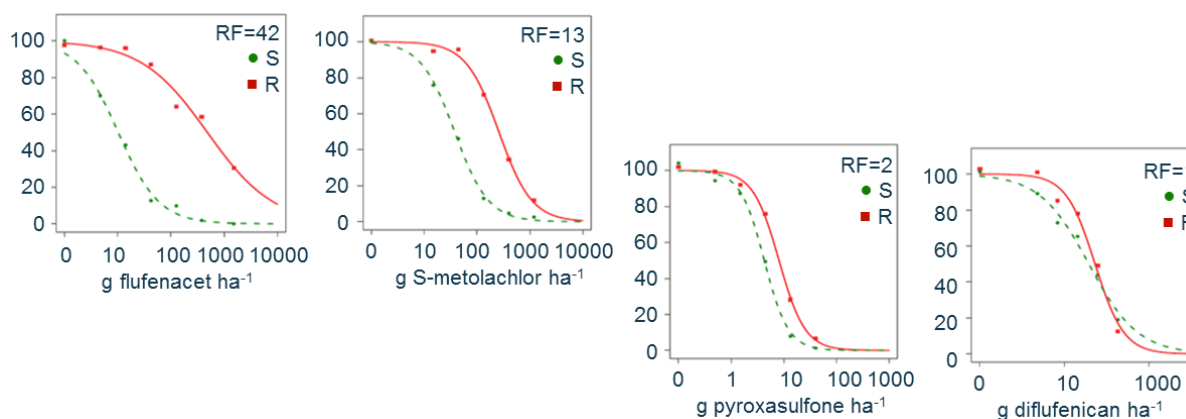
c. Mesures réalisées

Les notations finales sont réalisées à épiaison. Elles consistent à dénombrer le nombre d'épis/m² moyen dans les témoins et les parcelles traitées pour définir ensuite un pourcentage d'efficacité. Des comptages intermédiaires ont également eu lieu (1 mois après application, en sortie d'hiver). Ils ne sont pas repris dans cette présentation car ils ne sont pas les plus pertinents dans l'analyse.

RESULTATS

Cultures des plantes et essais en serres (réponse en fonction de la dose appliquée)

Figure 1 : Exemple de réponse en fonction de la dose, de populations d'ivraie à différentes substances actives de prélevée.
(Example of dose response at different active ingredients applied on pre-emergence on ryegrass)

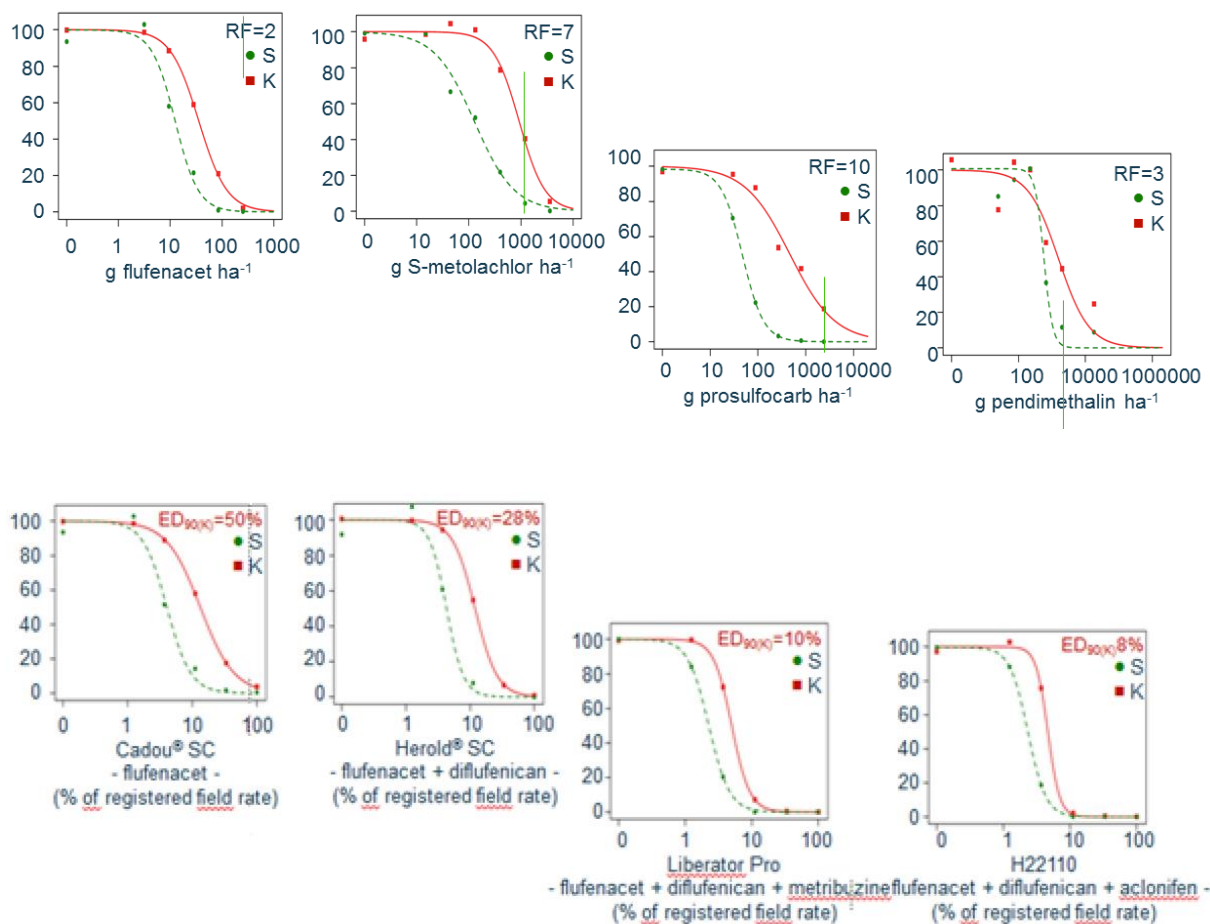


RF : Resistance Factor (UK) = Facteur de résistance (FRA)

Ces résultats montrent que d'autres familles chimiques avec le même mode d'action, comme la pyroxasulfone ou avec un mode d'action différent comme le DFF restent capables de contrôler de façon optimale des populations d'ivraie résistantes au flufenacet.

A noter que, bien que ces études aient été conduites sur une même population dite « sensible », la réponse à la dose peut différer d'un graphe à l'autre dans la mesure où les expérimentations ont été conduites de manière indépendante. Par ailleurs, les échelles entre graphiques diffèrent également pour s'adapter au mieux à la matière active étudiée.

Figure 2 : Exemple de réponse en fonction de la dose de populations de vulpin à différents herbicides de prélevée.
(Example of dose response at different active ingredients applied on pre-emergence on blackgrass)

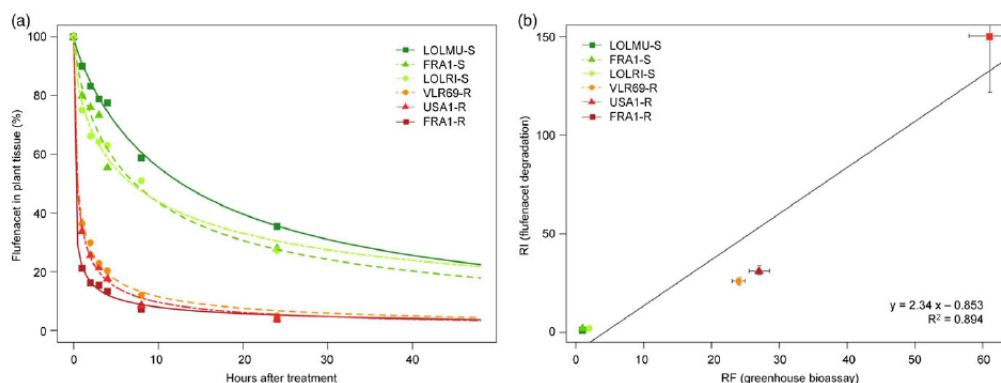


Ces résultats montrent qu'en comparaison à du S-metolachlor, du prosulfocarbe et de la pendiméthaline, le flufénacet reste l'herbicide le plus actif chez le vulpin (figure 2, haut). A noter également que par rapport aux populations de ray-grass analysées, les populations de vulpin montrent une diminution de la sensibilité au flufénacet plus faible (Fig1 et Fig. 2).

Pour comparer l'activité des mélanges (figure 2, bas), la dose recommandée d'application est représentée par 100 (100%) en abscisse. Une dose de 90% de flufénacet seul ne contrôle que 50% (ED_{90(K)} = 50%) des populations de vulpins récoltées en Allemagne (K). Un mélange avec le diflufenican (DFF) permet de contrôler 28% des mêmes populations avec 90% de la dose effective (ED₉₀). Finalement un mélange entre 3 partenaires permet d'améliorer encore le contrôle de ces populations soit avec la métribuzine ou l'acétonifène. Ceci montre que pour préserver l'évolution des résistances, le flufénacet doit être utilisé en mélange associé à d'autres matières actives comme le DFF, la métribuzine ou encore l'acétonifène. Notons que ces mélanges entre 3 partenaires représentent à chaque fois 3 modes d'action différents.

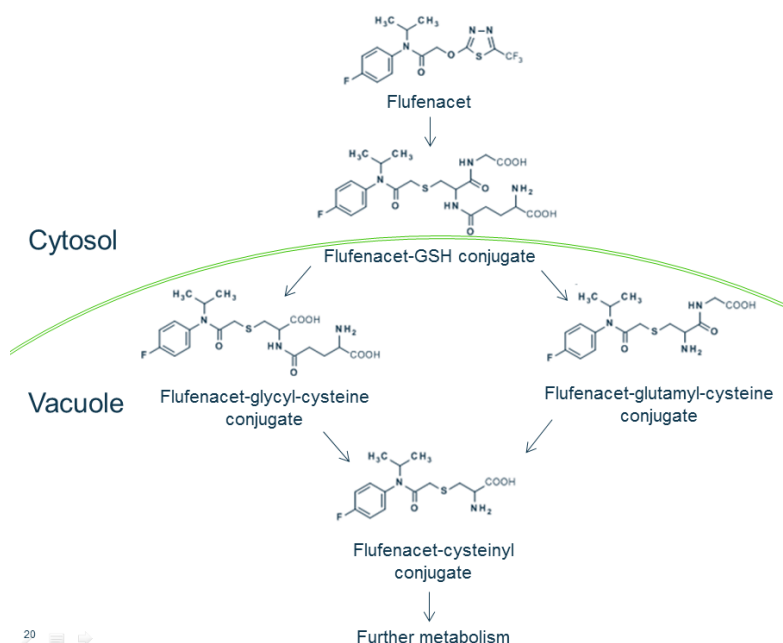
Détoxification du flufénacet *in planta*.

Figure 3 : Vitesse de détoxification du flufénacet (a)) dans 3 populations d'ivraie résistantes (rouge) et sensibles (vert). Comparaison de la vitesse de détoxification avec le facteur de résistance (RF) déterminé par traitement en serre (b).
Detoxification rate of flufenacet (a)) in 3 resistant (red) and susceptible (green) populations of ryegrass. Comparison of the detoxification rate with the resistance factor (RF) determined by greenhouse treatment (b).



Une très bonne corrélation est trouvée entre la vitesse de métabolisation du flufénacet et l'activité biologique du produit. Ceci suggère que le mécanisme principal de résistance du vulpin et de l'ivraie au flufénacet est une détoxification accélérée. Ceci montre l'évolution d'une résistance métabolique non liée à la cible.

Figure 4 : Résumé des voies de dégradation du flufénacet mises en évidence par des analyses HPLC et LC-MS/MS chez l'ivraie et le vulpin.
Summary of flufenacet degradation pathways evidenced by HPLC and LC-MS / MS analyzes in Ryegrass and Foxtail.

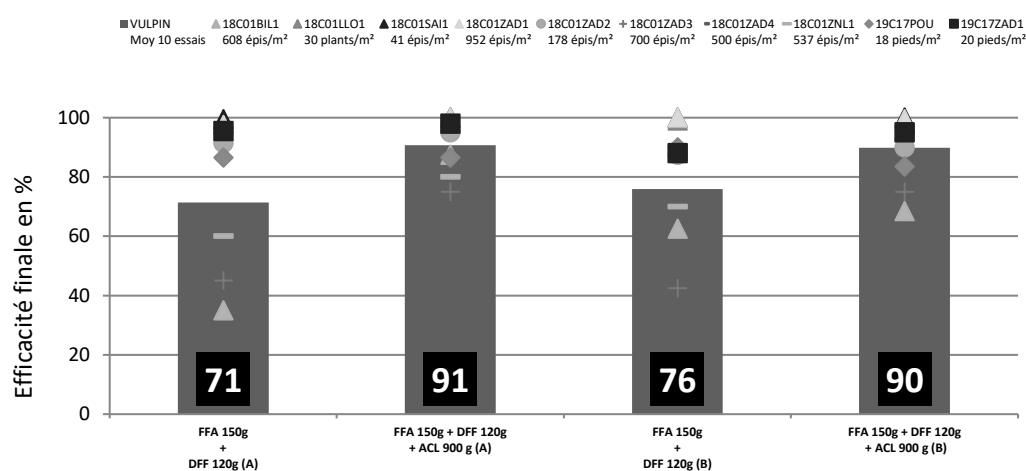


Le premier métabolite de détoxification du flufénacet est un conjugué avec le glutathion montrant que des glutathion-s-transférases jouent un rôle primordial dans la détoxification du flufénacet.

Efficacité des herbicides automne (racinaire) sur céréales. Intérêt de l'aclonifène

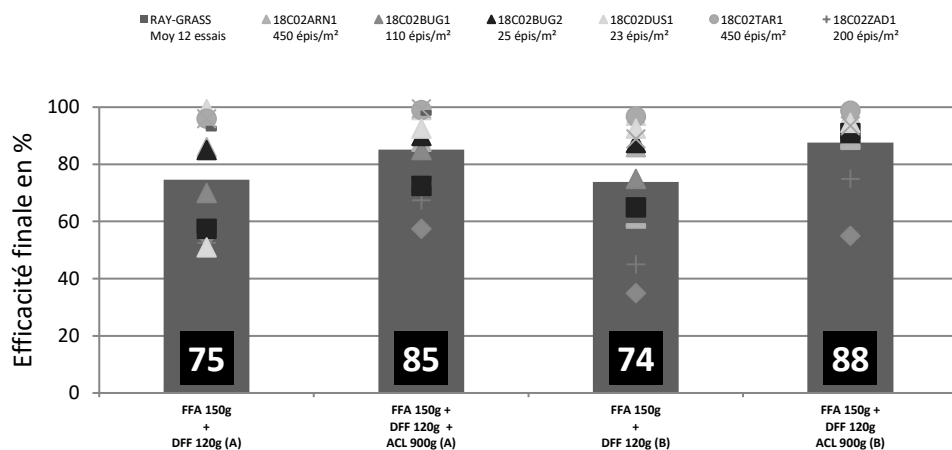
L'aclonifène est une matière active largement connue en culture de printemps notamment au travers de la spécialité commerciale Challenge® 600, jusqu'alors jamais encore utilisé sur céréales d'hiver. Cette matière avec une action racinaire et foliaire de contact, appartient à la famille chimique du groupe HRAC F3 (diphényléthers). Elle constitue un nouvel outil pour la prévention de la résistance. Cette matière active possède un large spectre d'action, à la fois efficace sur graminées (vulpin, ray-grass, agrostis) et dicotylédones (crucifères, véroniques, coquelicot, matricaire). Bien que la quantité d'aclonifène apportée par le MATENO® à sa dose recommandée (900g/ha) soit inférieure à la dose d'aclonifène apporté par Challenge® (1800g/ha), les résultats au champ avec MATENO® ont permis de démontrer l'apport de cette nouvelle matière active à l'automne.

Figure 5 : Apport de l'aclonifène en pré-levée et post-levée précoce sur blé tendre d'hiver pour le contrôle des vulpins (*Alopecurus myosuroides*)
(aclonifen interest applied on pre-emergence or early post-emergence on winter wheat against blackgrass (*Alopecurus myosuroides*)).



A = Application prélevée ; B = Application de post-précoce

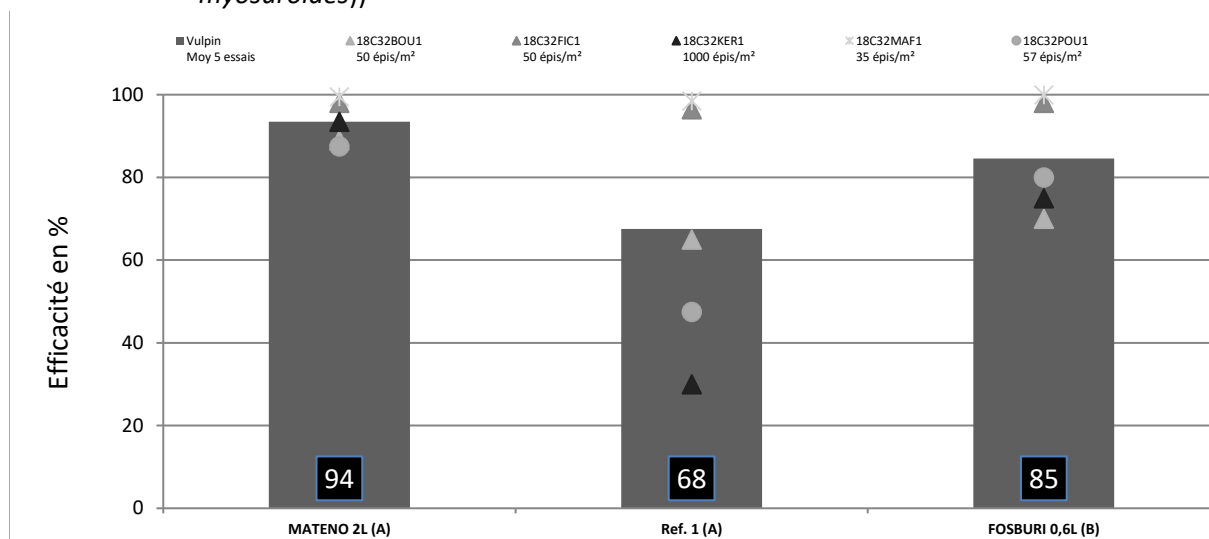
Figure 6 : Apport de l'aclonifène en pré-levée et post-levée sur blé tendre d'hiver pour le contrôle des ray-grass (*Lolium multiflorum*)
(Aclonifen interest applied on pre-emergence or early-post emergence on winter wheat against ryegrass (*Lolium multiflorum*))



A = Application prélevée ; B = Application de post-précoce

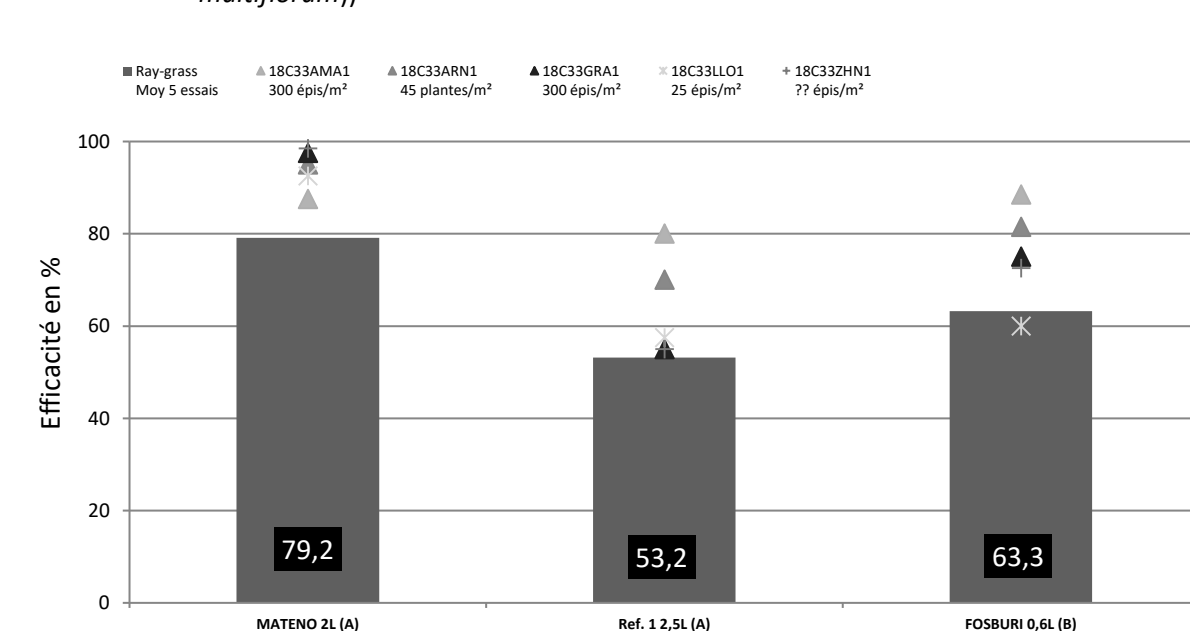
Ces essais montrent l'apport de l'acétonifène appliqué en pré-levée ou en post levée précoce dans le contrôle des vulpins et des ray-grass en désherbage céréales sur blé tendre d'hiver. A grammage équivalent en FFA et DFF (150g FFA + 120g DFF), l'apport de l'acétonifène permet d'apporter entre 13 et 20 points d'efficacité supplémentaires sur vulpins ; entre 10 à 14 points sur ray-grass. Cette association 150g de FFA + 120g de DFF + 900g de ACL correspond à la nouvelle spécialité commerciale, MATENO®, appliquée à la dose de 2l/ha.

Figure 7 : Efficacité de MATENO® en pré-levée sur vulpin (*Alopecurus myosuroides*)
(Efficacy of MATENO® in pre emergence application against blackgrass (*Alopecurus myosuroides*))



A = Application prélevée ; B = Application de post-précoce

Figure 8 : Efficacité de MATENO® en pré-levée sur ray-grass (*Lolium multiflorum*)
(Efficacy of MATENO® in pre emergence application against ryegrass (*Lolium multiflorum*))



A = Application prélevée ; B = Application de post-précoce

En comparaison à la référence de prélevée (Ref. 1), MATENO® appliqué en prélevée se montre nettement plus performant sur vulpin et ray-grass, respectivement +34 points et + 26 points. En comparaison à la référence de post-levée précoce (FOSBURI®), MATENO® appliqué en prélevée se montre également plus performant sur vulpin et ray-grass, respectivement +9 points et + 16 points. Ainsi, ces résultats démontrent la valeur technique de la nouvelle solution sur graminées.

CONCLUSION

Sur quelques populations d'ivraie en France et en Grande-Bretagne, une résistance au flufénacet, significative du point de vue agronomique a pu être observée pour la première fois. Une moindre sensibilité a été observée chez des populations de vulpin. Parce que la résistance au flufénacet n'est pour l'instant observée que très rarement en situation agronomique, il est important dès maintenant de réduire la pression de sélection. Une des meilleures approches est d'utiliser le flufénacet en combinaison avec d'autres herbicides de prélevée ayant un mode d'action différent comme par exemple le DFF et l'aclonifène. Ces solutions, comme par exemple le produit MATENO®, a démontré jusqu'à présent une efficacité maximale sur toutes les populations traitées aux champs ou en serre. En combinaison avec des mesures agronomiques, dans une approche intégrée (travail du sol, rotation des cultures, dates de semis appropriées, rotation ou combinaison des modes d'action) du contrôle des adventices, les herbicides de prélevée sont des outils essentiels pour assurer un bon désherbage des graminées. La caractérisation biochimique et moléculaire des résistances permet de mettre en place des tests de diagnostic rapides, et de définir les meilleures combinaisons de matières actives pour obtenir une efficacité maximale et réduire et ralentir l'évolution des résistances aux différents herbicides.

BIBLIOGRAPHIE

1. Dücker R., Zöllner P., Lümmer P., Ries S., Collavo A. and Beffa R., 2019 - Glutathione transferase plays a major role in flufenacet resistance of ryegrass (*Lolium* spp.) field populations. Pest Management Science, <https://doi.org/10.1002/ps.5425>
2. Dücker R., Zöllner P., Parcharidou E., Ries S., Lorentz L. and Beffa R., 2019 Enhanced metabolism causes reduced flufenacet sensitivity in black-grass (*Alopecurus myosuroides* Huds.) field populations - Pest Management Science, <https://doi.org/10.1002/ps.5414>.
3. Cure B. Méthode CEB 13 – Herbicides céréales - Méthode d'essai d'efficacité pratique des herbicides destinés au désherbage des cultures de céréales à paille (blé, orge, avoine, seigle, triticale)
4. Guideline OEPP - PP1/093(3) - Weeds in cereals - <https://pp1.eppo.int/standards/PP1-093-3>