

AFPP – 23^e CONFÉRENCE DU COLUMA
JOURNÉES INTERNATIONALES SUR LA LUTTE CONTRE LES MAUVAISES HERBES
DIJON – 6, 7 ET 8 DÉCEMBRE 2016

**EFFICACITE DES PRÉPARATIONS A BASE D'ARYLEX™, SUR DES COQUELICOTS RÉSISTANTS AUX
INHIBITEURS DE L'ALS PAR MUTATION DE CIBLE**

J.-L. CARDON, S. PIERRON, R. NEVOT ⁽¹⁾

(1) DOW AGROSCIENCES SAS (France), 6 rue Jean-Pierre Timbaud, Montigny le Bretonneux,
78067 Saint-Quentin en Yvelines

RÉSUMÉ

Les populations de coquelicots (*Papaver rhoeas*) résistantes aux herbicides inhibiteurs de l'acétolactate synthétase (IALS), identifiées en Espagne dès 1993, sont en expansion en Europe. En France, alors que 5 cas étaient recensés en 2005 dans les céréales, les principaux départements céréaliers sont aujourd'hui concernés par cette résistance. La situation espagnole est encore plus dégradée puisque des populations de coquelicots résistantes à certains herbicides auxiniques (2,4-D) et inhibiteur de la photosynthèse (bromoxynil) sont également identifiées. La lutte chimique est pourtant le seul recours des agriculteurs pour lutter contre cette dicotylédone puisque les méthodes de lutte non chimiques (travail du sol, décalage des dates de semis ...) sont insuffisamment efficaces en céréales.

C'est dans ce contexte que Dow Agrosiences développe de nouvelles solutions antidicotylédones à base d'halauxifène-méthyl (Arylex™ active), une nouvelle substance active de mode d'action auxinique appartenant à une nouvelle famille chimique, les arylpicolines. Ces préparations sont efficaces contre des coquelicots présentant au moins une mutation de cible avérée affectant les inhibiteurs de l'ALS. Afin de prévenir et de gérer ce type de résistance, l'utilisation de ces solutions à base d'Arylex™ s'inscrit dans une véritable stratégie de désherbage impliquant des programmes et des associations d'herbicides de modes d'action différents, de façon à ne pas reproduire en France la situation espagnole.

Mots-clés: halauxifène-méthyl, auxinique, coquelicot, résistance ALS, céréales.

ABSTRACT

EFFICACY OF ARYLEX™ SOLUTIONS AGAINST ALS RESISTANT POPPY

ALS-resistant populations of *Papaver rhoeas*, identified in Spain in 1993, are fast-expanding in cereals across Europe. Only 5 cases were reported in 2005 in France, today however almost all French departments are impacted. The situation has worsened in Spain where populations also resistant to auxin herbicides or to bromoxynil are identified. Since non-chemical methods of control are not very effective in cereals, only the use of herbicides remains possible. Halauxifen-methyl (Arylex™ active), an active substance with auxinic mode of action, from the new family of arylpicolines, developed by Dow Agrosiences in several product preparations is an effective tool to control these ALS resistant populations. However, its use in the prevention and management of resistance should be part of a genuine strategy involving weeding programs and use of herbicides with different modes of actions, to avoid reproducing the Spanish situation in France.

Keywords: halauxifen-methyl, auxinic, poppy, ALS resistance, cereals.

INTRODUCTION BIBLIOGRAPHIQUE

Les pratiques de désherbage changent régulièrement avec l'émergence de nouvelles problématiques et en fonction des modifications réglementaires. Après l'expansion des populations de graminées résistantes à différents modes d'action herbicides, notamment en cultures de céréales, débouchant sur une situation préoccupante dans de nombreux pays Européens, c'est maintenant pour les dicotylédones que les constats d'échecs de désherbage vont croissants en Europe. Une des adventices dicotylédones les plus préoccupante est clairement le coquelicot (*Papaver rhoeas*), le premier cas de résistance aux sulfonilurées ayant été identifié en Espagne dès 1993.

Papaver rhoeas (grand coquelicot ou plus communément coquelicot) est l'espèce de pavots de loin la plus commune (Torra *et al.*, 2011). D'autres espèces de coquelicots sont présentes en France de manière réduite dans les céréales à paille (*Papaver dubium*, *Papaver hybridum*, *Papaver argemone*). Dans cet article, nous nous intéresserons uniquement à *Papaver rhoeas*.

Dans les cultures de blé d'hiver, le coquelicot peut causer d'importantes pertes de rendements (Marshall *et al.*, 2010). Une synthèse faite par l'ACTA, ARVALIS et CETIOM indique qu'une densité de 22 coquelicots par mètre carré induit une baisse de rendement de 5% (www.arvalis-infos.fr). Les résultats d'un essai produit par Dow Agrosciences ont montré qu'en cas d'une très forte infestation (360 coquelicots/m²), les pertes de rendement du témoin non traité peuvent atteindre 50 quintaux/ha par rapport à l'application d'une préparation à base d'Arylex et 30 quintaux/ha par rapport à un traitement à base d'une sulfonilurée (Essai BPE, Somme, 2015, Dow AgroSciences).

Le coquelicot est très prolifique et peut produire de 20 000 à 50 000 graines selon la densité de végétation et la fertilité du sol (Holm *et al.*, 1997, Bond *et al.*, 2007). Ces graines très légères, sont ensuite facilement dispersées par le vent ou les oiseaux (Bond *et al.*, 2007 ; Blattner & Kadereit, 1991 cités par Délye *et al.*, 2011). *Papaver rhoeas* a la capacité de germer tout au long du cycle des céréales, de l'automne au printemps, avec un premier pic durant les mois de septembre et octobre, et un second pic durant les mois de février à avril qui est, sous nos climats, la principale période (Bond *et al.*, 2007). Cette large fenêtre de germination limite l'efficacité des méthodes de lutte agronomique comme le faux semis, le binage ... (Torra *et al.*, 2011).

La germination et la levée du coquelicot dépendent de la profondeur d'enfouissement des graines : plus les graines sont situées près de la surface du sol, plus la germination et la levée sont importantes (Cirujeda *et al.*, 2006). Les travaux de Torra *et al.* en 2003 ont démontré qu'à 20 cm de profondeur, la majorité des semences restent viables, même après 29 mois. Selon Orlando D. *et al.* (1986), le taux de décroissance annuel des semences est faible, de l'ordre de 45% (T.A.D de 45%).

Le fort potentiel de production de semences, leur longévité même à grande profondeur (jusqu'à 20cm) et la germination possible de septembre à avril font du coquelicot une adventice majeure des systèmes céréaliers d'hiver en Europe (Cirujeda *et al.*, 2006).

Actuellement, en Europe de l'Ouest les stratégies de désherbage du coquelicot mises en place par les agriculteurs sont principalement basées sur les herbicides (Marshall *et al.*, 2010) et les plus largement utilisés sont les herbicides inhibiteurs de l'enzyme acétolactate synthase (ALS) (Durán-Prado *et al.*, 2004). Cependant, l'emploi répété des mêmes substances actives a conduit à la sélection de plantes résistantes à ces produits.

La résistance est une caractéristique héritable qui permet à une plante de se reproduire après avoir survécu à une dose qui tue les autres plantes de la même espèce, parfois jusqu'à une dose extrême (Gasquez, 2014). Il existe deux types de résistance, la première dite non liée à la cible (RNLC) entraîne la diminution de la translocation de l'herbicide vers son site d'action soit en augmentant le métabolisme de détoxification de l'herbicide, soit en séquestrant ou immobilisant l'herbicide dans une partie de la plante de sorte qu'il ne puisse pas atteindre son site d'action (hracglobal.com). Ce type de résistance très répandue en graminées est très difficile à déterminer car généralement multigéniques. Le second type de résistance, qui va particulièrement nous intéresser dans cet article est la résistance liée à la cible (RLC). Elle se caractérise par une inhibition de l'action de l'herbicide,

soit en changeant la structure de la protéine cible qui va diminuer la fixation de l'herbicide sur son site d'action habituel, soit en augmentant l'expression de la protéine cible ou en augmentant le nombre de copies du gène contenant le site cible (hracglobal.com). En ce qui concerne, par exemple, la résistance aux herbicides inhibiteurs de l'acétolactate synthase (ALS), les mutations connues se situent pour le coquelicot au niveau des codons Pro-197 et Trp-574.

L'application répétée des mêmes substances actives de mode d'action inhibiteur de l'ALS dans la rotation sélectionne des individus résistants. Ces plantes résistantes sont dans un premier temps diluées dans la population d'adventices mais au fur et à mesure de la sélection, la concentration des individus résistants (hétérozygote, puis homozygote) augmente (AgrEvo et *al.*). La résistance s'installe durablement et des échecs aux champs deviennent alors visibles.

En Europe (Figure 1) et y compris en France, des populations d'ambroisie, coquelicot, stellaire, séneçon, matricaires résistantes aux herbicides inhibiteurs de l'ALS ont aussi été mises en évidence (weedsience.org). La résistance du coquelicot est la principale et s'étend rapidement depuis 10 ans : si seulement cinq cas étaient identifiés dans les années 2005-2006, aujourd'hui les principaux départements céréaliers français sont concernés, comme le montre la Figure 2 ci-dessous. La situation espagnole est encore plus dégradée puisque des populations de coquelicots ont également été identifiées comme résistantes à certains herbicides auxiniques (2,4-D) et inhibiteurs de la photosynthèse (bromoxynil).

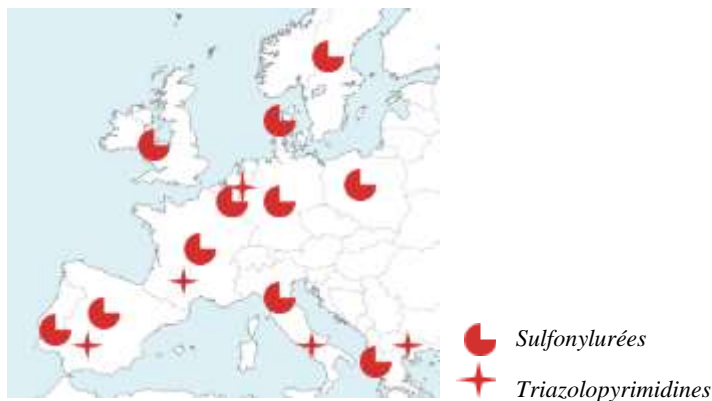


Figure 1: Résistance des coquelicots au mode d'action inhibiteur de l'ALS (HRAC B) en Europe aujourd'hui (Weed sciences + Dow AgroSciences 31/07/16)



Figure 2: Carte des départements français avec au moins un cas de résistance de coquelicot aux inhibiteurs de l'ALS ; INRA, ANSES et AFPP avec données tests Dow AgroSciences au 31/07/16

Le recours aux méthodes agronomiques étant limité et le développement des résistances aux ALS étant croissant, la lutte chimique reste essentielle mais se doit d'être raisonnée pour une gestion durable de l'utilisation des substances actives. Dans ce contexte, Dow Agrosciences a découvert et développé de nouvelles solutions antidicotylédones à base d'halauxifène-méthyl (Arylex™ active), une nouvelle substance active appartenant à une nouvelle famille chimique, les arylpicolines et au mode d'action auxinique. Ces solutions sont efficaces contre les coquelicots même résistants aux herbicides inhibiteurs de l'ALS par mutation de cible.

Arylex™ se caractérise, en résumé, par:

- Une structure biochimique spécifique (un groupement phényle sur un noyau pyridine)
- Un site d'action différent des autres herbicides auxiniques (mis en évidence sur *Arabidopsis thaliana*).
- Un comportement au champ particulier pour un auxinique : l'efficacité est peu dépendante des conditions climatiques, avec en particulier un impact réduit de la température à l'application.
- Une faible dose par hectare (6 g e.a./ha)

L'halauxifène-méthyl est principalement absorbé par le feuillage. La forme active, est l'halauxifène-acide obtenue par désestérification. Elle est dotée de systémie ascendante et descendante. L'halauxifène-méthyl, qui peut être utilisé sur tous les types de céréales à paille, est également très rapidement dégradé dans le sol.

Deux préparations à base d'Arylex™, associé à du fluroxypyr (GF-2819) ou à du florasulame (GF-2644) sont en cours d'homologation. L'objectif de l'article est d'étudier leur efficacité sur coquelicot dans une série d'essais présentant une résistance avérée par mutation de cible à des matières actives de la famille des sulfonylurées afin de définir si et comment ces préparations pourront s'intégrer dans des programmes de prévention ou de gestion de cette résistance.

MATERIEL ET MÉTHODE

CONDUITE DES ESSAIS SUR COQUELICOTS RÉSISTANTS

Suite à des échecs de désherbage du coquelicot durant les campagnes précédentes, 14 parcelles d'essai, où des baisses d'efficacité avec des produits à base de sulfonylurées avaient été constatées et pour lesquelles des analyses ont effectivement révélé des mutations qui confèrent une résistance à certains herbicides inhibiteurs de l'ALS, ont été sélectionnées pour étudier le comportement des solutions Arylex™ active.

❖ ANALYSE DE RÉSISTANCE

Pour chaque essai, l'analyse de résistance a été réalisée sur 10 individus prélevés au hasard dans l'ensemble des parcelles témoin ou dans les parcelles traitées avec un herbicide à base de sulfonylurée. L'analyse a ensuite été conduite dans les laboratoires de l'INRA de Dijon ou PlantaLyt (Allemagne). L'ADN est extrait des feuilles des individus, purifié, puis les gènes d'intérêts sont amplifiés par PCR (Polymerase Chain Reaction). Pour identifier les mutations aux herbicides inhibiteurs de l'ALS de *P. rhoeas*, l'amplification par PCR est réalisée au voisinage du codon 197 ou du codon 574 grâce à des amorces spécifiques. Le test INRA, basé sur un génotypage, détecte la présence de mutations au codon 197 mais ne permet pas leur caractérisation comme le fait le test de séquençage de PlantaLyt (Propriété de PlantaLyt ; Délye et al., 2011). Les résultats de la détection de mutation indiquant un phénomène de résistance lié à la cible sont regroupés dans le tableau 1.

Tableau 1 : Mutations, substitutions et distribution des taux d'homozygote et d'hétérozygote détectés dans les 14 populations de *Papaver rhoeas* – 14 essais – France, 2014-2016.
Mutations, substitutions and homozygote-heterozygote level detected in the 14 populations of *Papaver rhoeas* - 14 trials - France, 2014-2016.

Essais	Dept.	Localité	Laboratoire	Codon	Substitution	Homoz (%)	Heteroz. (%)	Wild type (%)
1	72	Lhomme	Plantalyt	Pro-197	Leucine	18	64	18
2	80	Gentelles	INRA	Pro-197	non caractérisée	2	6	92
3	10	Crancey	INRA	Pro-197	non caractérisée	18	54	28
4	80	Domartin	Plantalyt	Pro-197	Serine	80	20	0
5	37	Crissay /Manse	INRA	Pro-197	non caractérisée	83	15	2
6	86	Saix	Plantalyt	Pro-197	Leucine, Serine	0 0	50 25	25
7	31	Cepet	Plantalyt	Pro-197	Arginine	32	32	36
8	31	Montferrand	Plantalyt	Pro-197	Serine	0	12,5	77,5
9	54	Benev en woivre	Plantalyt	Pro-197	Histidine	50	50	0
10	84	Pertuis	Plantalyt	Pro-197	Thréonine	29	71	0
11	72	Lhomme	Plantalyt	Pro-197	Leucine	43	43	14
12	63	Surat	Plantalyt	Pro-197	Thréonine	57	29	14
13	45	Ingré	Plantalyt	Pro-197	Leucine	0	29	0
	45	Ingré	Plantalyt	Trp-574	Leucine	25	50	12,5
14	89	Looze	Plantalyt	Pro-197	Serine	62	28	10

Les populations des 14 essais présentent la mutation Pro-197 et 1 population regroupe les mutations Pro-197 et Trp-574. Certaines populations montrent des taux de mutation importants avec un pourcentage élevé d'homozygotes. Cela signifie que la résistance est déjà bien installée dans ces parcelles.

❖ DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL

Ces 14 essais contre les coquelicots résistants aux ALS ont été menés en France au cours des années 2014 à 2016 par différents organismes BPE.

Tous les dispositifs sont constitués de plusieurs répétitions (3 à 4). Les produits ont été appliqués à l'aide de pulvérisateurs portables à pression constante, équipés d'une rampe de 2 à 3 mètres de large, munie de buses à jet plat, délivrant un volume d'environ 180 à 200 litres de bouillie par hectare. La surface des parcelles élémentaires est comprise entre 16 et 25m².

En cultures de céréales, les produits ont été appliqués des stades «début-tallage» à «2 nœuds». L'efficacité a été évaluée à intervalles réguliers, en pourcentage visuel de réduction de la biomasse de la parcelle traitée par rapport à celle du témoin non traité. Les efficacités présentées sont les efficacités finales à la floraison du coquelicot (Méthode OEPP 1/93).

Tableau 2 : Détails des conditions d'application – 14 essais – France, 2014-2016.
Application details -14 trials - France, 2014-2016.

Essais	Organisme	Culture (Code EPPO)	Date d'application	Stade culture (BBCH)	Stade <i>P. rhoeas</i> (BBCH)	Densité <i>P. rhoeas</i> (/m ²)	Temp. du sol (°C)
1	Dow Agrosiences	TRZAW	10/04	31-32	15-19	223	15,8
2	Biotek	TRZAW	14/03	23	14	14	15
3	Biotek	TRZAW	11/03	29	-	252	8,8
4	Biotek	TRZAW	10/03	29	19	184	9,5
5	Qualiphyt	TRZAW	09/03	24	19	10	9,5
6	Terrena	TRZAW	11/03	29	19	50	-
7	Dow Agrosiences	TRZAW	24/02	29	19	15	11
8	Dow Agrosiences	TRZAW	17/02	30	19	20	6,4
9	Dow Agrosiences	TRZAW	17/03	29	19	150	3,1
10	Dow Agrosiences	TRZDU	11/02	30	19	647	5
11	Dow Agrosiences	TRZAW	29/02	30	35	223	8,3
12	Syntech Research	TRZAW	21/03	30	19	400	6,7
13	Dow Agrosiences	TRZAW	24/03	30	-	150	8,4
14	Antedis	TRZAW	18/03	22	-	75	14

TRZAW = Blé tendre d'hiver ; TRZDU = Blé dur d'hiver ; - = pas de données

DESCRIPTION DES PRÉPARATIONS EXPÉRIMENTÉES

Deux préparations ont été mises au point par Dow Agrosiences à base d'halauxifène-méthyl:

- A: GF-2819, formulation EC contenant 12 g e.a. /l d'halauxifène-méthyl, 280 g e.a./l de fluroxypyr-meptyl et 12 g/l de cloquintocet-mexyl. La dose d'homologation revendiquée est de 0,5 l/ha apportant 6 g e.a./ha d'halauxifène-méthyl + 140 g e.a./ha de fluroxypyr-meptyl.

- B: GF-2644, formulation OD contenant 6 g e.a. /l d'halauxifène-méthyl, 5 g e.a./l de florasulame et 12 g/l de cloquintocet-mexyl. La dose d'homologation revendiquée est de 1,0 l/ha apportant 6 g e.a./ha d'halauxifène-méthyl + 5 g e.a./ha de florasulame.

A leur dose d'homologation, les deux préparations apporteront 6 g d'Arylex™ active/ha.

Les références utilisées sont les suivantes :

-référence C., correspond à l'herbicide de référence ALS appliqué dans l'essai à sa dose recommandée sur coquelicot, herbicide pouvant varier selon les essais mais contenant du metsulfuron-methyl ou une

association de thifensulfuron-methyl et tribenuron-methyl, ou thifensulfuron-methyl et metsulfuron-methyl.

-référence D., à la dose de 1,33 l/ha contenant 20 g/l de picolinafène et 600 g/l de dichlorprop-p.

-référence E., à la dose de 0,6 l/ha contenant 400 g/l de flufenacet et 200 g/l de diflufenicanil.

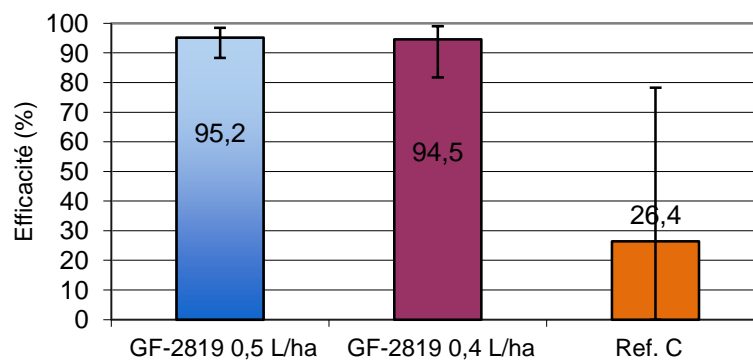
-référence F. correspondant à 5 g/ha de florasulame

RESULTATS

EFFICACITÉ DE GF-2644 ET GF-2819 SUR POPULATIONS RÉSISTANTES AUX INHIBITEURS DE L'ALS

Figure 3 : Efficacité (en %) de GF-2819 contre des populations de *Papaver rhoeas* résistantes aux herbicides inhibiteurs de l'ALS- moyenne de 12 essais (N° 1 ; 2 ; 4 ; 5 ; 7 ; 8 ; 9 ; 10 ; 11 ; 12 ; 13 et 14) – France, 2014 à 2016.

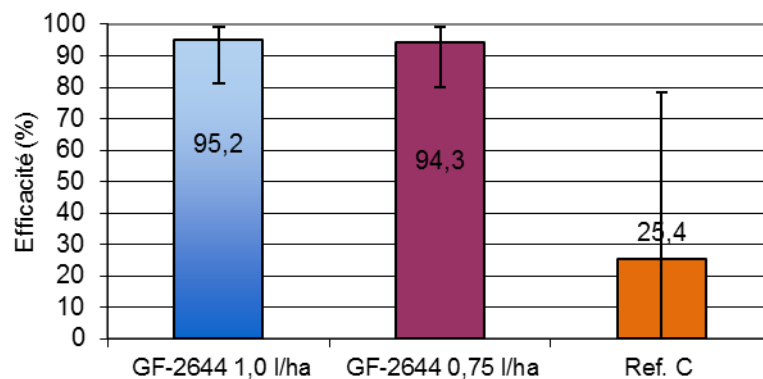
Efficacy (%) of GF-2819 against ALS resistant populations of *Papaver rhoeas* –an average of 12 trials (N° 1 ; 2 ; 4 ; 5 ; 7 ; 8 ; 9 ; 10 ; 11 ; 12 ; 13 and 14)- France, 2014 to 2016.



La figure 3 compare l'efficacité de GF-2819 à celle d'une solution « tout ALS ». Le niveau d'infestation variait de 14 à 400 coquelicots/m². L'efficacité très réduite de la référence C illustre bien les conséquences de la présence de coquelicots résistants aux herbicides inhibiteurs de l'ALS. Dans cette série de 12 essais, GF-2819 à 0,5 l/ha s'avère très efficace sur ces populations de coquelicots résistants aux herbicides inhibiteurs de l'ALS. L'effet dose n'est pas très important entre 0,4 et 0,5 l/ha de GF-2819 (94,5 vs 95,2%) alors que l'efficacité moyenne de la référence sulfonylurée est de 26,4%.

Figure 4 : Efficacité (en %) de GF-2644 contre des populations de *Papaver rhoeas* résistantes aux herbicides inhibiteurs de l'ALS- moyenne de 11 essais (N° 2 ; 4 ; 5 ; 7 ; 8 ; 9 ; 10 ; 11 ; 12 ; 13 et 14) – France, 2014 à 2016.

Efficacy (%) of GF-2644 against ALS resistant populations of *Papaver rhoeas* – an average of 11 trials (N° 2 ; 4 ; 5 ; 7 ; 8 ; 9 ; 10 ; 11 ; 12 ; 13 and 14) - France, 2014 to 2016.



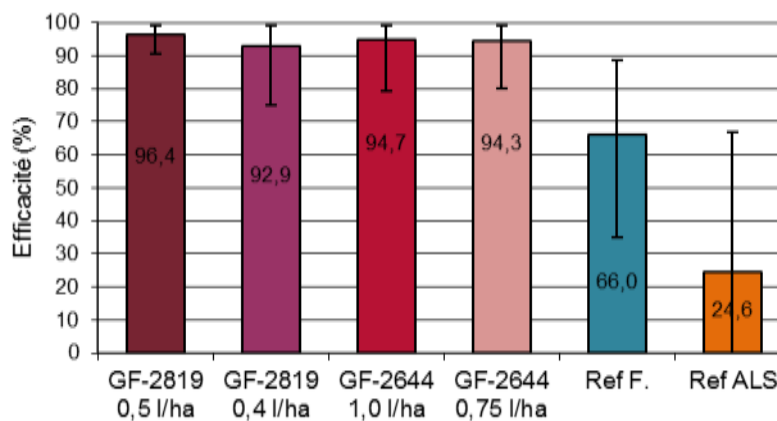
Dans la figure 4 on compare maintenant l'efficacité de GF-2644 à celle d'une solution « tout ALS ». L'efficacité moyenne de la référence C ne dépasse pas 30% avec une variabilité importante allant de 0 % à 78%.

GF-2644 est très efficace contre les populations de coquelicots testées. L'efficacité à 1 l/ha atteint 95% et l'effet dose entre 1,0 l/ha et 0,75 l/ha semble relativement faible dans cette série de 11 essais. Dans la suite de l'article, nous verrons que ce faible écart peut se traduire par un nombre de fleurs/m² plus important.

Dans 6 de ces essais, les deux spécialités sont présentes avec une modalité de référence (Primus) à 5 g/ha de florasulame (figure 5).

Figure 5 : Efficacité (en %) des solutions ArylexTM contre des populations de *Papaver rhoeas* résistantes aux herbicides inhibiteurs de l'ALS- moyenne de 6 essais (N° 4 ; 9 ; 10 ; 11 ; 12 et 14) – France, 2014 à 2016.

Efficacy (%) of ArylexTM solutions against ALS resistant populations of *Papaver rhoeas* – an average of 6 trials (N° 4 ; 9 ; 10 ; 11 ; 12 et 14) - France, 2014 to 2016.



La référence F florasulame atteint encore 66% d'efficacité en moyenne soit 41% de plus que la référence sulfonylurée, ce qui traduit une moindre dérive de sensibilité au florasulame dans ces populations et rejoint les résultats de l'article de Délye et *al.* publié dans Plant Science en 2010. Cette baisse d'efficacité du florasulame, ne diminue pas l'efficacité du GF-2644 puisque dans ces 6 essais, les deux spécialités à base d'ArylexTM présentent le même niveau d'efficacité quel que soit le partenaire associé à l'ArylexTM (fluroxypyr ou florasulame).

GF-2644 et GF-2819, deux préparations à base d'ArylexTM active, présentent donc un haut niveau d'efficacité sur les populations de coquelicot testées dans cette série d'essais. Toutefois, dans la suite de cet article, nous allons étudier les stratégies de désherbage mises en place dans ces essais permettant de viser le 100% d'efficacité, objectif recherché en désherbage et encore plus en cas de résistance avérée.

STRATÉGIE DE DÉSHERBAGE INCLUANT LES SOLUTIONS ARYLEXTM

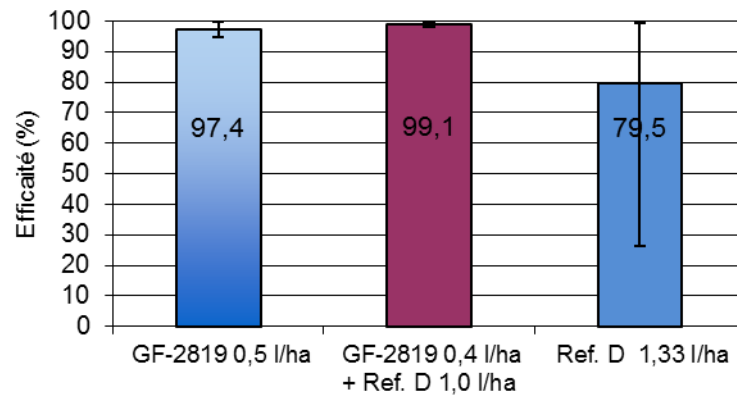
❖ ASSOCIATIONS D'HERBICIDES

• Efficacité

Quatre des essais mis en place en situation de résistance avérée ont permis de tester les solutions ArylexTM appliquées en association avec la référence D, à base de dichlorprop-p et de picolinafène. Les deux figures suivantes montrent l'intérêt d'une telle association.

Figure 6: Efficacité (en %) de GF-2819 associé à la référence D contre des populations de *P. rhoeas* résistantes aux herbicides inhibiteurs de l'ALS- moyenne de 4 essais (N° 3 ; 10 ; 11 et 12) – France, 2015 à 2016.

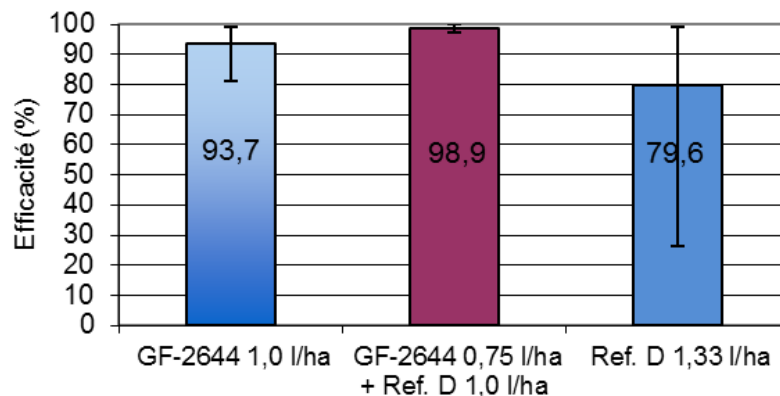
Efficacy (%) of GF-2819 applied in mixture with reference D against ALS resistant populations of *Papaver rhoeas* –an average of 4 trials (N° 3 ; 10 ; 11 and 12) - France, 2015 to 2016.



L'association de la préparation GF-2819 à 0,4 l/ha (dose minimale conseillée en association sur des adventices résistantes aux inhibiteurs de l'ALS par mutation de cible) avec la référence D à 1,0 l/ha montre une performance excellente sur ces 4 populations de coquelicots. L'efficacité constante de l'association est indépendante du niveau de résistance des populations de coquelicot aux ALS (cf tableau 1)

Figure 7 : Efficacité (en %) de GF-2644 associé à la référence D contre des populations de *P. rhoeas* résistantes aux herbicides inhibiteurs de l'ALS - moyenne de 4 essais (N° 3 ; 10 ; 11 et 12) – France, 2015 à 2016.

Efficacy (%) of GF-2644 applied in mixture with reference D against ALS resistant populations of *Papaver rhoeas* – an average of 4 trials (N° 3 ; 10 ; 11 and 12) - France, 2015 to 2016.



Dans cette série de 4 essais, GF-2644 à 1,0 l/ha et la référence D appliquée à leur dose d'homologation réduisent considérablement le nombre de coquelicots résistants aux inhibiteurs de l'ALS. Néanmoins, dans un cas comme dans l'autre, le désherbage n'est pas parfait. L'association de GF-2644 à 0,75 l/ha (dose minimale conseillée en association sur des adventices résistantes aux inhibiteurs de l'ALS par mutation de cible) avec la référence D à 1,0 l/ha assure un contrôle quasi parfait de ces 4 populations de coquelicots résistants. Là aussi, l'efficacité constante de l'association est indépendante du niveau de résistance des populations de coquelicot aux inhibiteurs de l'ALS (cf tableau 1).

En cas de situation de résistance avérée des coquelicots aux inhibiteurs de l'ALS, il conviendra d'associer les préparations Arylex™ avec d'autres substances actives de familles chimiques

différentes et ayant un haut niveau d'efficacité sur coquelicot. Dans ces associations, la dose sera toujours d'au moins 0,75 l/ha pour GF-2644 ou de 0,4 l/ha pour GF-2819.

- **Nombre de fleurs**

Un des points clé de la lutte contre les adventices résistantes est de réduire le plus possible le nombre de graines produites. Dans cette perspective, le nombre de fleurs par parcelle a été dénombré dans 3 essais à forte densité dont un (essai n° 10) avec une très forte densité (environ 650 coquelicots/m² au traitement), puis ramené à un nombre de fleurs par mètre carré. Le blé très clair de l'essai n°10 explique ce très fort développement des coquelicots et l'efficacité parfois plus faible des produits. Le tableau 3 compare le pourcentage d'efficacité et le nombre de fleurs par mètre carré dans ces 3 essais (n°10, 11 et 12).

Tableau 3 : Comparaison de l'efficacité (en %) de GF-2644 et du nombre de fleurs de coquelicot par mètre carré - moyenne de 3 essais (n° 10 ; 11 ; et 12) – France, 2016.
Comparison between efficacy (%) of GF-2644 and number of flowers per square meter – an average of 3 trials (n° 10; 11; and 12) - France, 2016.

Essai	Essai n°11 (223 PAPH/m ²)		Essai n°12 (400 PAPH/m ²)		Essai n°10 (650 PAPH/m ²)		Moyenne des 3 essais	
	Efficacité (%)	Nombre de fleurs par m ²	Efficacité (%)	Nombre de fleurs par m ²	Efficacité (%)	Nombre de fleurs par m ²	Efficacité (%)	Nombre de fleurs par m ²
GF-2644 1,0 l/ha	96,3	0	98,3	0,38	89,0	7,30	94,5	2,56
GF-2644 0,75 l/ha	96,0	0,81	97,7	0,86	82,5	9,07	92,1	3,58
GF-2644 0,75 l/ha + Ref D 1,0 l/ha	99,0	0	96,0	0,63	97,0	2,21	97,3	0,95
GF-2819 0,5 l/ha	96,3	0,59	98,3	1,44	94,7	3,79	96,4	1,94
GF-2819 0,4 l/ha	95,3	0,57	97,7	2,17	95,0	4,55	96,0	2,43
GF-2819 0,4 l/ha + Ref D 1,0 l/ha	99,3	0	98,0	0,32	97,7	2,02	98,3	0,78
Ref. D 1,33 l/ha	94,3	2,36	98,0	2,51	30,0	44,28	74,1	16,38
Témoin non traité	0	550	0	1167	0	1633	0	611

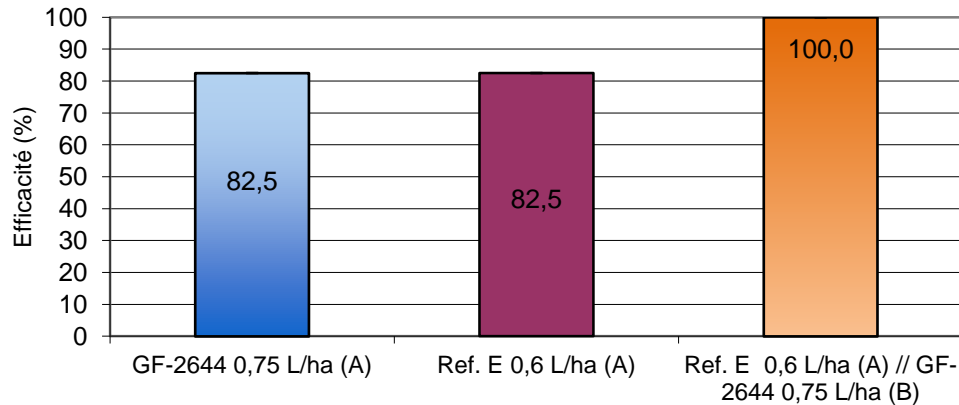
Malgré les densités de populations très élevées (200 à 650 PAPH/m²), GF-2644 réduit considérablement le nombre de fleurs produites avec une meilleure finition de la dose de 1,0 l/ha et par conséquent un impact important sur le stock semencier. Il en est de même pour GF-2819 qui a une meilleure efficacité et un nombre de fleurs/m² plus faible que la référence D.

Dans la situation difficile de l'essai n°10, sur blé clair avec 86% des individus de la population ayant une mutation cible en Pro-197 qui confère une résistance aux inhibiteurs de l'ALS, l'efficacité des solutions à base d'ArylexTM est plus faible (90% pour le GF-2644 et 95% pour le GF-2819) mais décroche moins que la référence D à 1,33 l/ha avec seulement 30% d'efficacité. Cependant, l'association de GF-2644 à 0,75 l/ha ou GF-2819 à 0,4 l/ha avec 1 l/ha de la référence D donne des résultats très intéressants, puisque le nombre de fleurs dans cet essai est respectivement de 2,21 /m² et 2,02 /m². La moyenne de ces 3 essais confirme que l'association des produits à base d'ArylexTM avec la référence D permet d'obtenir une très bonne efficacité y compris en terme de production de graines.

❖ PROGRAMMES ALTERNANT LES MODES D'ACTION

Quelques essais ont été mis en place de façon à tester les solutions ArylexTM appliquées en programme avec des herbicides à base de substance actives de modes d'action différents sur différentes adventices. L'essai n°6 ciblait le grand coquelicot.

Figure 8: Efficacité (en %) de GF-2644 appliqué en programme après l'application de la référence E - Essai n°6 - France, 2015.
 Efficacy (%) of GF-2644 applied in a program following an application of reference E - Trial n°6 - France, 2015.



Dans cet essai, la référence E est une préparation à base de flufenacet et de diflufenicanil appliquée à 0,6 l/ha. L'application de la référence E à 2 feuilles de la céréale à l'automne a réduit la population de coquelicot mais son efficacité finale (82,5%) reste insuffisante. La préparation GF-2644 appliquée, dans un programme, en hiver (B), après une application de la référence E à l'automne (A), a montré une efficacité de 100%. Le programme a permis d'atteindre une maîtrise totale des coquelicots.

DISCUSSION

En céréales, la lutte chimique reste le principal recours des agriculteurs pour lutter contre les coquelicots puisque les méthodes de lutte non chimiques (travail du sol, rotation, décalage de la date de semis ...) sont insuffisamment efficaces. L'impact de ces méthodes de lutte ne doit cependant pas être négligé et il conviendra de tester l'intérêt des pratiques agronomiques associées à la lutte chimique.

Les préparations GF-2644 et GF-2819 à base d'Arylex™ active ont démontré une action intéressante contre des populations de coquelicots résistants aux inhibiteurs de l'ALS (mutations Pro-197 et Trp-574). Les essais mis en place balayent l'ensemble des mutations liées à la cible (pour les inhibiteurs de l'ALS) connues en France mais il conviendra aussi de suivre l'apparition éventuelle de nouveaux types de mutation concernant le coquelicot.

Même si GF-2644 et GF-2819 sont efficaces et réduisent considérablement la production de graines (y compris en cas de résistance aux inhibiteurs de l'ALS), la présence en France de populations de coquelicots présentant des résistances ALS non liées à la cible ainsi que celle en Espagne de populations de coquelicots résistants au 2,4-D doit nous inciter à la prudence. Il conviendra donc d'étudier les performances au champ des solutions Arylex™ dans le temps et dans ces différents cas.

L'exemple de l'expansion massive des graminées résistantes à un ou plusieurs modes d'action nous a appris que la gestion des résistances ne peut être efficace et durable que par la mise en place d'un désherbage raisonné intégrant des herbicides de différents modes d'action.

Ainsi, pour préserver l'efficacité de cette nouvelle molécule, en cas de résistance avérée ou même de fortes populations de coquelicot, nous proposons de recommander dès l'homologation, l'application de ces deux préparations en associations ou dans des programmes. Les programmes permettront de réduire considérablement les populations dès l'automne en diversifiant les modes d'action grâce à des herbicides à base de matières actives efficaces comme par exemple la pendiméthaline, le chlortoluron, l'isoxaben, le diflufenicanil...

Ces préparations pourront également être appliquées en association avec des herbicides contenant des matières actives, efficaces sur coquelicot, de mode d'action différents des auxiniques et des inhibiteurs de l'ALS. Les essais ont démontré que ces associations présentaient une excellente efficacité sans lien avec le niveau ni le type de mutation, avec des efficacités de l'ordre de 99%. Dans ces associations la dose des 2 préparations à base d'halauxifène-méthyl sera toujours d'au moins 0,75 l/ha pour GF-2644 et 0,4 l/ha pour GF-2819.

CONCLUSION

Les deux préparations testées, à base d'halauxifène-méthyl (Arylex™ active), s'avèrent être des solutions efficaces contre les populations de coquelicots résistantes aux herbicides inhibiteurs de l'ALS par mutation de cible dans les essais mis en place. Elles sont efficaces l'année du traitement et permettent de réduire le nombre de fleurs donc la reconstitution du stock semencier.

Cela en fait donc des outils intéressants pour prévenir et ralentir le développement des résistances aux inhibiteurs de l'ALS par mutation de cible en France.

En situation de résistance ALS avérée, il conviendra d'utiliser ces préparations aux doses adaptées, en programme ou en association avec des herbicides de modes d'action différents apportant un bon niveau d'efficacité sur coquelicot, afin de viser 100% d'efficacité et de limiter au maximum la pression de sélection exercée sur la nouvelle substance active Arylex™.

Nous souhaitons par précaution étendre dès maintenant cette préconisation aux parcelles présentant une forte infestation en coquelicots (au moins 100/m²).

En outre, il sera recommandé, pour lutter contre le coquelicot, de n'appliquer qu'une seule préparation contenant de l'Arylex par hectare et par an.

BIBLIOGRAPHIE

Sites internet consultés :

Arvalis-infos, nuisibilité des adventices en céréales. <http://www.arvalis-infos.fr/quelle-est-la-nuisibilite-des-mauvaises-herbes-en-cereales-a-paille--@/view-17542-arvarticle.html> consulté le 03/08/2016.

HRAC, <http://hracglobal.com/herbicide-resistance/overview> consulté le 27/09/2016

Weedsciences. <http://www.weedscience.com/Summary/Country.aspx> consulté le 27/09/2016

Articles :

AgrEvo, American Cyanamid, BASF, ABYern DowElanco, DuPont, F.M.C, Monsanto, Rhône-Poulenc, Rohm and Haas, Tomen, Zeneca. Guide to the Management of Herbicide Resistance. HRACglobal.

Bond W., Davies G. & Turner R. (2007). The biology and non-chemical control of Common Poppy (*Papaver rhoeas* L.).

Cirujeda A., Recasens J. & Taberner A. (2003). Effect of ploughing and harrowing on a herbicide resistant corn poppy (*Papaver rhoeas*) population. Biological agriculture and horticulture **21**, 231-246.

Cirujeda A., Recasens J. & Taberner A. (2006). Dormancy cycle and viability of buried seeds of *Papaver rhoeas*. *Weed Research* 46, 327-334. .

Délye C., Pernin F., Scarabel L., 2010. Evolution and diversity of the mechanisms endowing resistance to herbicides inhibiting acetolactate-synthase (ALS) in corn poppy (*Papaver rhoeas* L.) *Plant Science* 180 (2011) 333-342

Délye C., Boucansaud K., Pernin F., Bertin G., (2011) Résistance du coquelicot aux inhibiteurs de l'ALS. La mise au point d'outils de diagnostic rapide a permis de révéler la présence de cette résistance en France. *Phytoma* n°645 juin-juillet 2011 47-50

Durán-Prado M., Osuna M.D., De Prado R. & Franco A.R. (2004). Molecular basis of resistance to sulfonylureas in *Papaver rhoeas*. *Pesticide Biochemistry and Physiology* 79, 10-17.

Gasquez J., 2014. "Désherbage et résistance les clés pour comprendre" *Phytoma* n° 677 octobre 2014, 8-12.

Holm L., Doll J., Holm E., Pancho J. & Herberger J. (1997). *Papaver rhoeas* L. In: *World Weeds Natural Histories and Distribution*, 555-561. John Wiley & Sons., New York, Chichester, Weinheim, Brisbane.

Orlando D., Fleury, P., Caussanel J.P., Mircovich C., Barralis G., Pasquereau JL., Daniau P., Martin JL., Mamarot J., Saembier JF. Conséquences de l'évolution des systèmes de cultures sur la flore dans la rotation. *Seizième conférence du COLUMA*. France, 655-673.

Marshall R., Hull R. & Moss S.R. (2010). Target site resistance to ALS inhibiting herbicides in *Papaver rhoeas* and *Stellaria media* biotypes from the UK. *Weed Research* 50, 621-630.

Torra J., Cirujeda A., Planes J., Aibar J., Taberner A. & Recasens J. (2003). Persistencia del banco de semillas e influencia de las labores del suelo en poblaciones de *Papaver rhoeas* y *Lolium rigidum* resistentes a herbicidas. *Actas del IX Congreso de la Sociedad Española de Malherbología*, 4-6 novembre 2003, Barcelona, pp 74-78.

Torra J., Royo A. y Recasens, J. 2011. Management of herbicide resistant *Papaver rhoeas* in dry land cereal fields. *Agronomy Sust. Developm.* Vol 31 : 483-490

*1: Marque déposée Dow Agrosiences