

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

**ENGAGEMENT DE L'INVENTEUR DES HERBICIDES INHIBITEURS DE L'ALS DANS UNE
GESTION RESPONSABLE ET DURABLE DE CETTE FAMILLE D'HERBICIDES**

S. GODIN⁽¹⁾, C. PIEKACZ⁽¹⁾, M. BENICHON⁽¹⁾

⁽¹⁾ DuPont Solutions France S.A.S., Défense Plaza, 23/25, rue Delarivière Lefoullon
92800 Puteaux – France

stephanie.godin@dupont.com
christian.piekacz@dupont.com
maxime.benichon@dupont.com

RÉSUMÉ

Depuis leurs lancements, les herbicides inhibiteurs de l'ALS ont rapidement conquis les agriculteurs par leurs atouts : large spectre d'activité, sélectivité sur de nombreuses cultures, praticité d'emploi et faible dose d'utilisation par hectare. Depuis la caractérisation des propriétés herbicides des sulfonylurées, la société DuPont s'est engagée dans la durabilité d'utilisation de cette famille chimique. Cependant, certaines pratiques ont conduit au développement de résistance. A partir de l'identification du premier cas de résistance sur coquelicot en France, DuPont a développé un grand nombre d'actions pour sensibiliser les prescripteurs et utilisateurs à la prévention de la résistance aux herbicides inhibiteurs de l'ALS. Cette expérience acquise est partagée dans un outil pédagogique Evalio[®] SUGestion.

Mots-clés : Sulfonylurées, Résistance, Dicotylédones, Gestion, Durabilité.

ABSTRACT

ALS INHIBITOR HERBICIDES INVENTOR'S COMMITMENT IN A RESPONSIBLE AND SUSTAINABLE MANAGEMENT OF THIS HERBICIDE FAMILY

Since their launches, the ALS inhibitor herbicides have quickly conquered farmers thanks to their strengths: wide weed spectrum, selectivity on numerous crops, ease of use and low dose rate by hectare. Since the characterization of the herbicide properties of sulfonylureas, DuPont has been committed to maintaining the sustainability of this chemical family. However, some practices have led to the emergence of resistance. From the identification of the first resistance case of PAPRH in France, DuPont has developed a large number of actions to raise awareness among prescribers and users to prevent resistance to ALS inhibitor. This gained experience is shared in an educational tool DuPont[™] Evalio[®] SUGestion.

Keywords: ALS inhibitor, Resistance, Broadleaf, Management, Sustainability.

INTRODUCTION

C'est en 1966 que les propriétés herbicides des sulfonylurées (inhibiteurs de l'acétolactate-synthase (ALS)) sont rapportées pour la première fois. En 1975, après l'intensification des recherches, DuPont a développé cette classe d'herbicide et déposé le premier brevet aux Etats-Unis. La première mise en marché pour le chlorsulfuron date de 1982.

En raison de leur large spectre d'action, de leur sélectivité sur de nombreuses cultures et de leur efficacité à faible dose, ils sont devenus l'une des classes d'herbicides les plus utilisées actuellement dans le monde (Délye C. et *al.*, 2008). Cependant, les recommandations lors de leurs premières utilisations n'ont pas pris en compte le développement possible de résistance. Par conséquent, des cas d'adventices résistantes ont été sélectionnés. Le premier a été détecté en 1982 sur *Lolium Rigidum* en Australie concernant les graminées et en 1988 sur *Stellaria media* au Canada pour les dicotylédones (Heap, I., 2016).

Le développement de ces cas de résistances se manifeste selon deux principaux mécanismes :

- La résistance liée à la cible (RLC) qui est due à une modification de l'inhibition du site d'action des herbicides qui se traduit soit par la réduction de la fixation ou par l'amplification de la cible. Chez les dicotylédones, la plupart des cas de résistance aux herbicides inhibiteurs de l'ALS sont des résistances dues à des mutations dans le gène codant pour la protéine cible de l'herbicide (Marshall R., 2010).
- La résistance non liée à la cible (RNLC) qui englobe des processus différents, mais qui ont en commun de réduire la quantité de molécules d'herbicides atteignant la cible dans une proportion telle que la survie de la plante en est peu ou pas affectée. Ce deuxième mécanisme peut faire intervenir le métabolisme de la plante, il est donc beaucoup plus complexe et peut toucher plusieurs familles chimiques en même temps.

Si aujourd'hui, la résistance des graminées aux herbicides inhibiteurs de l'ALS est un problème majeur dans les cultures en France, concernant les dicotylédones l'ampleur du problème est moins importante. En effet, un panel de suivi des adventices dans les céréales démontre que parmi les adventices avec des cas de résistances connus et difficiles à contrôler, seulement 8% sont des dicotylédones (ADquation 2015).

En France, des cas de résistance aux herbicides inhibiteurs de l'ALS ont été découverts sur 4 dicotylédones : *Papaver rhoeas* (coquelicot - PAPRH), *Matricaria recutita* (matricaire - MATCH), *Senecio vulgaris* (sénéçon - SENVU) et *Stellaria media* (stellaire - STEME). Afin de quantifier l'évolution de cette résistance, DuPont a mis au point un plan de suivi du développement de ces nouveaux cas. Lorsqu'un cas de contre-performance d'un herbicide est signalé, une analyse est effectuée afin de déterminer si l'adventice est résistante.

La mise en œuvre de bonnes pratiques associant des leviers agronomiques appropriés et le bon usage du désherbage chimique permettent de prévenir le développement de ces phénomènes et de préserver durablement l'efficacité des solutions de désherbage.

En tant qu'inventeur des sulfonylurées, DuPont a mis en place des actions visant à raisonner l'utilisation de ces produits :

- Les Universités des sulfonylurées, auxquelles ont déjà participé plus de 1300 techniciens ;
- L'aide au diagnostic de la flore, DuPont™ Evalio® Flasflore ;
- Les plateformes d'expertises technique, avec plus de 50 essais et 1000 visites en 2015 ;
- L'aide au diagnostic de résistance ;
- L'outil d'aide aux conseils, DuPont™ Evalio® SUgestion.

MATERIEL ET METHODE

Depuis la caractérisation des propriétés herbicides des sulfonylurées, la société DuPont s'est engagée dans la durabilité de cette famille chimique et pour cela un plan de suivi de la résistance a été mis au point.

❖ Prélèvement des adventices :

Lorsqu'un cas de contre-performance aux sulfonylurées est détecté chez un agriculteur, les équipes régionales de la société DuPont effectuent un prélèvement de feuilles et/ou de graines sur la population d'avertices concernées.

35 à 40 de parties de feuilles de minimum 6 cm² sont prélevées sur un minimum de 25 plants et conservées dans des conditions sèches. Elles sont ensuite placées individuellement dans des contenants perméables à l'air (enveloppes, insertion entre des feuilles de papiers) avant d'être envoyées au laboratoire.

Concernant le prélèvement de graines, les graines matures sont prélevées sur au moins quarante plantes différentes réparties sur une surface de 100m x 50m minimum dans des conditions sèches. Afin d'éviter les moisissures, elles sont ensuite séchées à l'air ambiant avant d'être conditionnées dans un flacon pour l'envoi au laboratoire.

❖ Les tests de résistance :

Afin de tester la résistance, deux tests peuvent être pratiqués :

Le premier est un test ADN réalisé sur les feuilles des adventices, il permet de mettre en évidence une ou des mutations d'intérêt dans le génome d'un individu. Le but est d'identifier des plantes portant une ou des mutations dans le gène de l'ALS sur les position 197 et/ou 574. Une technique appelée Pyroséquençage ou de SANGER est utilisée. Les résultats de ces analyses permettent de confirmer ou non la présence de plantes résistantes aux inhibiteurs de l'ALS par mutation de cible dans les parcelles.

L'avantage de ce type de test est sa rapidité, quelques jours seulement sont nécessaires pour savoir si une plante présente ou non une mutation. Cependant il y a des inconvénients majeurs à prendre en considération lors de son utilisation. Tout d'abord, il est évidemment limité aux seules résistances dans lesquelles le mécanisme a été élucidé au niveau de l'ADN, pour des produits de type inhibiteurs de l'ALS mais aussi inhibiteurs de l'ACCase (fops, dim, dem) et PSII (IPU, CTU) ainsi que pour des adventices dont le test a été validé (PAPRH, MATCH, STEME et quelques autres adventices). Ainsi, les analyses d'ADN sont actuellement limitées à diagnostiquer une résistance liée à la cible. Le second inconvénient consiste à tester un mécanisme spécifique : il faut donc être très prudent dans l'interprétation d'un résultat de test négatif, car la plante peut être résistante à un mécanisme différent de celui pour lequel le test est conçu.

Le second est un test biologique en pots réalisé sur plantes à partir de graines préalablement récoltées. Celles-ci sont semées dans des pots, puis placées en chambre de croissance jusqu'aux stades d'applications choisis (souvent 4-6 feuilles). Les plantules sont alors traitées avec les herbicides pour lesquels la résistance est suspectée, puis replacées en chambre de croissance avant la période des notations. Une population de référence, dont la sensibilité aux sulfonylurées est avérée, est incluse dans le test. Une note d'efficacité est ensuite attribuée, le seuil de 80% d'efficacité du produit détermine la présence de résistance. Ce seuil correspond aux échelles d'évaluation de la résistance.

Toutefois, le diagnostic complet se fait sur l'analyse des efficacités en comparaison d'une référence sensible. L'analyse se fait sur les doses N et 8N des inhibiteurs de l'ALS testés (metsulfuron, tribenuron, florasulam). Grâce à cette technique, toutes les plantes peuvent être testées avec de nombreux produits, mais il est également possible d'explorer les modes d'action alternatif permettant de contrôler les populations confirmées résistantes. Cependant les tests nécessitent beaucoup de temps, entre 6 et 8 mois, avec la difficulté potentielle de lever la dormance des graines, les faire germer, et atteindre un développement de plantes correspondant au stade optimal d'application.

Par ailleurs, depuis 2 ans DuPont a élaboré une « fiche d'investigation » qui permet à la fois de tracer l'origine de l'échantillon mais aussi de connaître les pratiques culturales et phytosanitaires qui ont pu mener à une possible situation de résistance. Toutes ces informations sont ensuite analysées par les experts de DuPont.

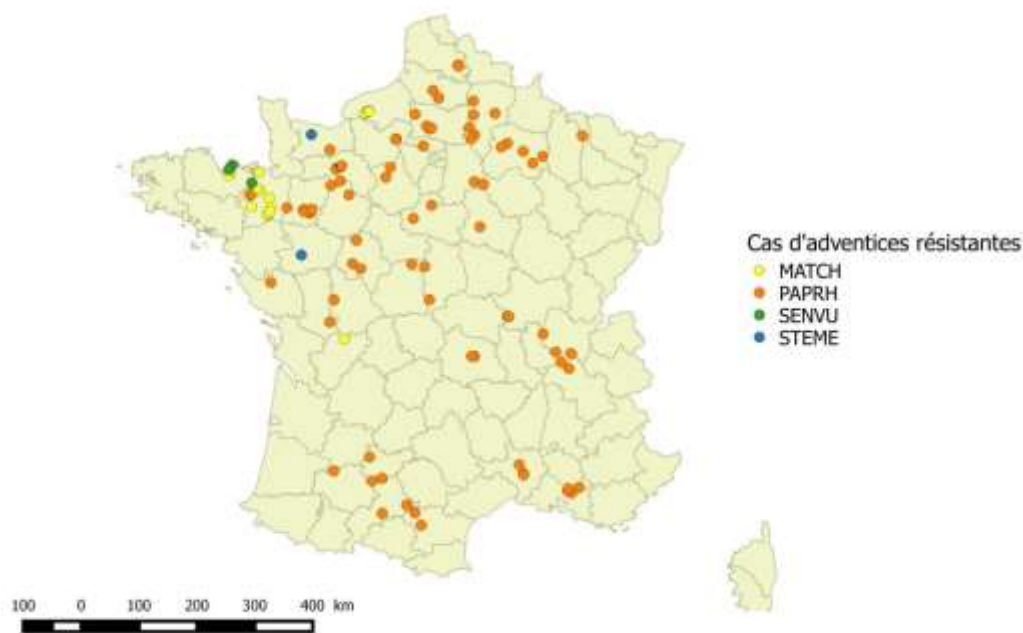
RESULTATS

Etat des lieux de la résistance :

❖ Cas général :

Figure 1 : Représentation des cas de dicotylédones résistantes aux sulfonyleurées en France de 2012 à 2016 identifiés par DuPont.

Figure 1 : Broadleaf weed resistance cases to sulfonyleureas in France from 2012 to 2016 identified by DuPont.

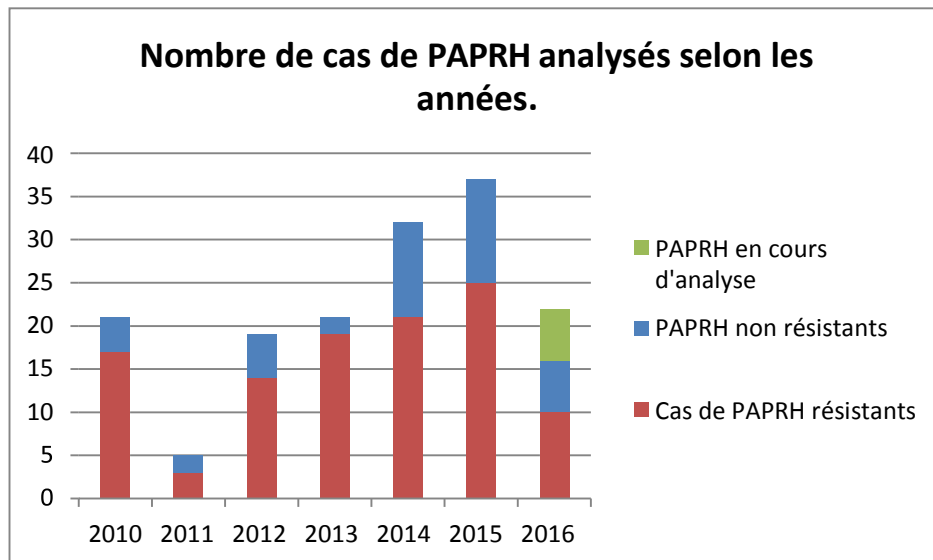


Tous les cas de dicotylédones détectées résistantes par DuPont sont représentés sur la Figure 1. D'après les cas remontés par les agriculteurs à DuPont, on s'aperçoit que seuls les cas de coquelicots (PAPRH) résistants sont répartis sur plusieurs régions de la France alors que ceux des autres dicotylédones (MATCH, STEME, SENVU) sont eux, localisées dans des régions spécifiques.

❖ Le coquelicot :

Figure 2 : Nombre de cas de PAPRH analysés par DuPont depuis 2010.

Figure 2 : Number of PAPRH cases analyzed by DuPont since 2010.



Lorsque l'on observe plus particulièrement les analyses concernant les cas de coquelicots (PAPRH), on remarque que le nombre de cas analysés par an évolue peu d'années en années, on constate même une baisse du nombre de cas analysés en 2016 par rapport aux années précédentes (Figure 2). On notera que pour les années 2010 et 2011 il est représenté la somme des résultats des tests biologiques et ADN et à partir de 2012 seul des tests ADN ont été effectués.

Par ailleurs, on peut souligner que le non contrôle de l'adventice concernée n'est pas toujours causé par des mécanismes de résistance. A titre d'exemple, seulement 68% des cas analysés en 2015 ont été confirmés résistants, les 32% restant sont par conséquent dus à d'autres facteurs comme de mauvaises conditions d'application de l'herbicide ou un programme de désherbage non adapté aux adventices ciblées.

Figure 3 : Proportion du nombre de cas de PAPRH analysés par année et classés selon leur profil de résistance lié à l'échelle de risque (mutation presque exclusivement sur la position 197).

Figure 3 : Proportion of PAPRH populations cases analyzed by year and ranked according to their resistance profile link with the scale of risk (mutation almost exclusively on position 197).

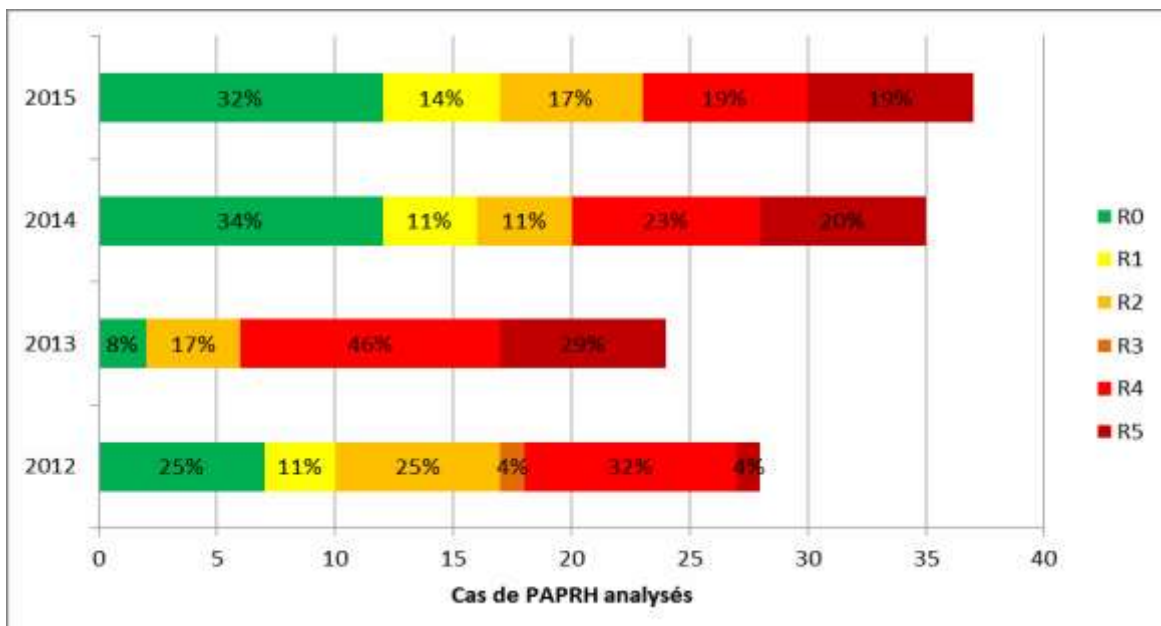


Figure 4 : Echelle des niveaux de résistance des populations, selon le risque de transmission (source DuPont, 2013)

Figure 4 : Scale of levels resistance of population, based on risks of transmission (source DuPont, 2013)

5	Highly resistant and high risk of transmission to next generation	75-100% mutants, including homo > 50%
4	Highly resistant and moderate risk of transmission to the next generation	75-100% mutants, including homo < 50%
3	Resistant with high risk of transmission to next generation	50-74% mutants, including homo > 50%
2	Resistant with moderate risk of transmission to next generation	50-74% mutants, including homo < 50%
1	Moderate resistant	< 50% mutants
0	Susceptible	No mutants

Les cas de PARPH analysés sont classés selon leur profil de mutation (Figure 3) à l'aide de l'échelle de niveaux de résistance des populations établie par DuPont (Figure 4). Il s'agit d'une échelle indicative permettant de hiérarchiser les niveaux de risques vis-à-vis de la transmission aux générations suivantes. Dès le niveau 1, la résistance est confirmée, mais avec une majorité d'individus encore sauvages qui transmettront leur gène sauvage à la génération suivante. A chaque niveau suivant, on considère d'abord le taux de mutants dans la populations (plus il est élevé, plus le risque de transmission est important), puis la proportion d'homozygote et d'hétérozygotes. En effet, le risque est encore plus élevé si les 2 allèles du gène sont mutés, transmettant forcément la résistance à la génération suivante (pour les hétérozygotes, un allèle du gène est encore sauvage).

Ainsi lorsque l'on s'attarde sur le niveau de résistance des cas de PARPH analysés (Figure 3) on constate que sur l'ensemble des années étudiées il y a entre 25 et 34% (hormis en 2013 – 8%) des populations analysées où la mutation n'est jamais détectée sur la position 197 ou 574 (représenté en vert). Le niveau de risque est donc considéré comme faible même s'il n'est pas exclu que d'autres mutations soient possibles à d'autres positions, ou que d'autres mécanismes de résistance soient en jeu.

Par ailleurs, il y a entre 11 et 14 % (selon les années) des populations analysées qui sont classées dans la catégories 1, où la résistance est bien confirmée mais avec des niveaux de risque de transmission à la descendance modérées (représenté en jaune à orange). Dans cette situation, une majorité de plante est encore sauvage et pourra produire de nouvelles plantes toujours sauvages par la suite. La descendance des plantes mutées sera bien là mais dans une proportion a priori limitée. Le comparatif se fait ensuite sur les autres niveaux de l'échelle où la proportion de mutants est majoritaire (niveaux 2 à 5) et pourra prendre plus vite le dessus (d'autant plus en cas de forte proportion de mutants homozygotes). Tout cela reste bien sûr indicatif et dépendant de la dynamique de la population dans la parcelle, et de la représentativité de l'échantillon prélevé pour l'analyse.

Identification des pratiques à risque :

Depuis le développement de cas de résistances aux herbicides de la famille des sulfonylurées, de nombreuses études ont pu mettre en évidence qu'elles étaient causées par des pratiques considérées à risque. Ainsi, les experts de DuPont ont pu les valider au cours de leurs investigations. Il est mis en évidence que le développement de ces cas de résistances est favorisé par plusieurs facteurs liés au système de culture et/ou aux pratiques de désherbage.

En effet, on peut retenir que les systèmes de cultures à rotation courte et peu diversifiée vont favoriser l'installation d'une flore spécifique et envahissante. L'allongement de la rotation en alternant les cultures de printemps et d'hiver va créer un effet de césure sur les adventices. Cela va permettre de mieux maîtriser les « stocks » semenciers et de limiter les risques de développement de résistance. Parmi les facteurs indirectement liés aux systèmes de culture, la dissémination d'individus résistants peut être causée par le matériel de récolte ou végétatif (paille, engrais organique).

En ce qui concerne les pratiques de désherbage chimique, l'utilisation répétée d'un même mode d'action dans la campagne et dans la rotation augmente le risque de sélectionner des individus résistants à ce mode d'action. Par ailleurs, les utilisations en conditions non optimales comme par exemple le stade de l'adventice trop développé, les mauvaises conditions d'application, les doses réduites d'un herbicide sont susceptibles de favoriser le développement de populations résistantes. Il convient donc d'utiliser des doses dites « efficaces », avec un objectif de désherbage de 100 % afin de contrôler totalement les adventices présentes dans le but d'affaiblir le stock semencier du sol. De plus, d'autres facteurs favorisent également le développement de la résistance comme l'absence de rattrapage suite à l'échec de désherbage ou l'utilisation d'herbicides très persistants dans le sol.

DISCUSSION

Dans le but de prévenir le développement de ces phénomènes et de préserver durablement l'efficacité des herbicides inhibiteurs de l'ALS, DuPont a développé de nombreux modules d'accompagnement à l'utilisation de ses herbicides, en particulier l'outil d'aide à décision, DuPont™ Evalio®SUgestion qui a été lancé en 2015. Cet outil pédagogique est dédié aux distributeurs pour accompagner la préconisation des bonnes pratiques de désherbage en matière de graminées et de dicotylédones.

Basé sur une grille d'évaluation de la situation et sur les bonnes pratiques développées par DuPont, cet outil fournit un support de pédagogie et des préconisations des bonnes pratiques liées à la famille des sulfonylurées aux techniciens-conseil.

Pour adapter ses pratiques d'usages des sulfonylurées à la problématique spécifique de chaque parcelle, l'utilisateur doit renseigner dans l'application un certain nombre de critères permettant d'évaluer le risque de résistance. Pour ce faire, après la sélection de la rotation dans laquelle la parcelle se trouve puis l'adventice avec laquelle il rencontre des difficultés, l'utilisateur répond à un questionnaire qui prend en compte les pratiques agronomiques et chimiques mises en œuvre pour lutter contre cette adventice (travail du sol, matière active...). Les réponses à chaque question ayant une valeur prédéterminée, on obtient un score composite permettant d'orienter les préconisations de façon précise. L'outil apporte ensuite un conseil sur les pratiques à modifier pour améliorer le désherbage et éviter le développement de la résistance (Figure 4).

Les propositions formulées comportent :

- une partie agronomique qui correspond à un premier ensemble de pratiques dites « non chimiques » liées aux conduites des cultures ayant un impact favorable sur la réduction du risque de développement de la résistance pour l'adventice et la rotation considérées (labour, faux semis, déchaumage, décalage de la date de semis, modification de la rotation, lutte mécanique) ;
- une partie chimique proposant l'association ou l'alternance des produits utilisant des modes d'action différents et complémentaires sur l'adventice considérée.

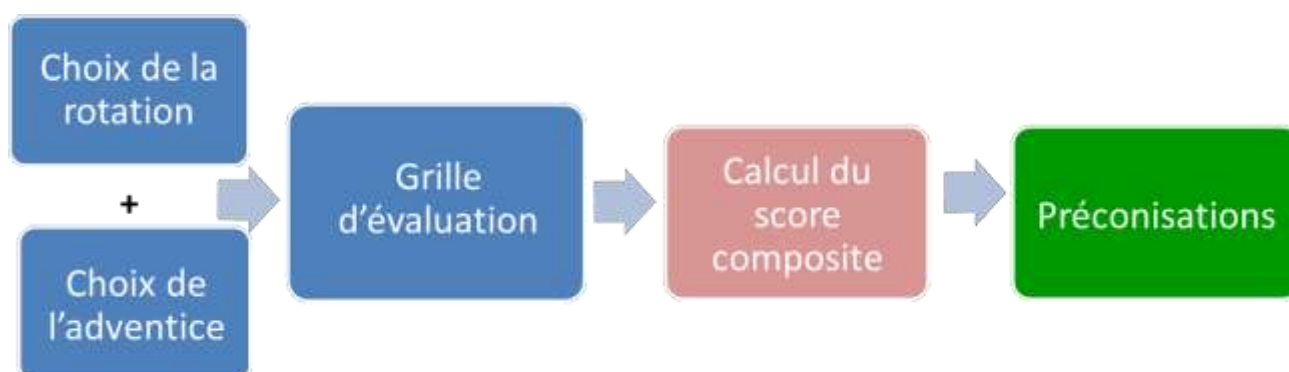
En fonction de chaque situation, l'utilisateur pourra sélectionner les recommandations qui lui semblent les plus pertinentes et possibles à mettre en œuvre.

Dans un objectif pédagogique, l'utilisateur a la possibilité à chaque étape du diagnostic ou des préconisations, d'accéder facilement à un grand nombre d'informations ou de conseils généraux concernant les adventices et les bonnes pratiques de désherbage agronomique et chimique qu'il peut mettre en œuvre.

La restitution des résultats se fait sous format PDF imprimable avec possibilité de l'envoyer par e-mail ou de l'enregistrer.

Figure 4 : Schémas représentant les différentes étapes de l'utilisation de l'application DuPont™Evalio®SUgestion.

Figure 4 : Diagrams showing the various stages of DuPont™Evalio®SUgestion application.



CONCLUSION

En raison de leur large spectre d'action, de leur sélectivité sur de nombreuses cultures et de leur efficacité à faible dose, les sulfonylurées restent encore aujourd'hui une classe d'herbicide indispensable. Cependant dues à de mauvaises pratiques de désherbage, des cas de dicotylédones résistantes à cette famille d'herbicides sont reportés.

Ainsi pour maintenir la durabilité de ses produits, DuPont a mis en place des actions comme le développement de l'outil d'aide aux conseils, DuPont™Evalio®SUGestion. A la suite de l'établissement d'un diagnostic du risque de développement de résistance sur la parcelle, cet outil va proposer d'une part, des solutions agronomiques avec la proposition d'une palette de leviers agronomiques pour accompagner efficacement les solutions chimiques et d'autre part des solutions chimiques proposant l'association ou l'alternance des produits utilisant des modes d'actions complémentaires sur l'adventice considérée.

REMERCIEMENTS

- ❖ Marisa SALAS, European Technical Manager, DuPont de Nemours
- ❖ Sébastien BAYART, Chef Projets Développement Herbicide DuPont Solutions (France) S.A.S.
- ❖ Jean-Sébastien NOTTER, EMEA PS&R Biologist Herbicide DuPont de Nemours ERDC Nambenheim

BIBLIOGRAPHIE

- ❖ Délye C., Boucansaud K., Pernin F., Couloume B., 2008. Détection de résistances aux inhibiteurs de l'ALS : des outils moléculaires pour un diagnostic rapide et fiable. Innovation Agronomique 3, 157-165.
- ❖ Heap, I., 2016. The International Survey of herbicide Resistant Weeds. Online. Internet. Disponible sur : www.weedsciences.org
- ❖ Marshall R., Hull R. et Moss S. R., 2010. Target resistance to ALS inhibiting herbicides in Papaver rhoeas and Stellaria media biotype from the UK. Weed Research 50, 621-630.
- ❖ ADquation, Etudes Marketing. Panels phytosanitaires 2015.