



HAL
open science

Peut-on mesurer les conséquences du retrait d'une molécule herbicide pivot en s'appuyant sur les expériences passées ?

Inès Mahé, Frédérique Angevin, Bruno Chauvel

► To cite this version:

Inès Mahé, Frédérique Angevin, Bruno Chauvel. Peut-on mesurer les conséquences du retrait d'une molécule herbicide pivot en s'appuyant sur les expériences passées ?. Innovations Agronomiques, 2020, 81, pp.137-150. 10.15454/v0rx-069a . hal-03157445

HAL Id: hal-03157445

<https://hal.inrae.fr/hal-03157445>

Submitted on 7 Sep 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License

Peut-on mesurer les conséquences du retrait d'une molécule herbicide pivot en s'appuyant sur les expériences passées ?

Mahé I.¹, Angevin F.², Chauvel B.¹

¹ Agroécologie, AgroSup Dijon, INRAE, Univ. Bourgogne, Univ. Bourgogne-Franche-Comté, F-21000 Dijon

² Eco-Innov, INRAE, Avenue Lucien Brétignières, F-78850 Thiverval-Grignon

Correspondance : bruno.chauvel@inrae.fr

Résumé

Le retrait des substances actives herbicides amorcé depuis 2003 par l'Union Européenne va avoir des répercussions agronomiques de plus en plus sensibles. Le retrait de molécules dites « pivot » nécessite des adaptations importantes qui touchent au système de culture. Depuis cinq ans, le glyphosate défraie la chronique. Difficilement contournable pour son action dans la gestion de la flore adventice pendant l'interculture, la recherche d'alternatives à son utilisation repose sur la combinaison de leviers techniques complémentaires. Pourtant, ce n'est pas la première substance active majeure à avoir été retirée. En 2003, l'interdiction de l'atrazine, principale molécule utilisée dans la gestion des mauvaises herbes du maïs avait déjà mobilisé le monde agricole. L'identification de solutions alternatives chimiques avait permis aux agriculteurs de s'adapter rapidement. Cependant, le problème semble plus difficile pour le glyphosate dont le retrait peut nécessiter de revoir le fonctionnement complet du système de culture. Il est certain qu'avec le retrait en cours d'autres molécules herbicides, de nouvelles 'crises' pourraient apparaître prochainement avec une recherche d'alternatives de plus en plus complexe.

Mots-clés : Glyphosate, Atrazine, Alternatives, Stratégie de désherbage, Flore adventice

Abstract: Can the consequences of the withdrawal of a key herbicide be assessed on the basis of past experiences?

Withdrawal of herbicides active ingredients already started in 2003 in European Union, will probably lead to increasingly strong agronomical effects. The ban of 'keystone' active ingredients requires in-depth adaptations especially linked with the cropping system. For five years, glyphosate made big headlines in France and in Europe. Widely used for its weeding action during the intercropping period, alternatives to glyphosate will certainly rely on a combination of different additive cultural practices. However, it is not the first withdrawal of a major active ingredient. In 2003, the ban of atrazine, which was the main chemical ingredient for maize weeding, had already been a major issue of concern for the agricultural sector. Alternatives, mainly chemical, enabled farmers to deal rapidly with the atrazine ban. However, glyphosate ban appears to be more challenging and a deeper reconsideration of cropping systems will be certainly needed. Moreover, other chemical ingredients are soon to be withdrawn and new other 'crises' may arise in a next future, with more and more complex alternative solutions.

Keywords: Glyphosate, Atrazine, Alternatives, Weeding strategy, Weed flora

Introduction

Le contrôle des communautés de mauvaises herbes repose quasi exclusivement sur le désherbage mécanique et le désherbage chimique. Au cours de ces dernières années, le désherbage mécanique a gagné en efficacité par le développement de nouveaux outils possédant un guidage de plus en plus précis, et il est aujourd'hui possible d'atteindre les plantes adventices se développant sur le rang (Rodriguez, 2018) mais il ne concerne que 7% des surfaces de grande culture (Agreste, 2014). Le désherbage chimique, développé depuis près de 70 ans, repose presque exclusivement sur des molécules de synthèse (Chauvel et al., 2012) dont l'utilisation est aujourd'hui largement contestée. Dans l'attente de substances actives biologiques, seuls quelques acides (Anses, 2020) peuvent être aujourd'hui utilisés dans l'optique de rendre l'usage des herbicides plus acceptable (supposés moins toxiques, effets environnementaux réduits), mais leur déploiement à large échelle n'est pas encore observé.

Avant de pouvoir être utilisée, une substance active est validée par une autorisation de mise sur le marché qui est obtenue en deux étapes. Au niveau européen (EUR-Lex., 2009), en plus de la composition, sont examinés l'incidence sur la santé humaine et l'environnement, l'écotoxicologie et le devenir des métabolites et des résidus. L'efficacité de la substance est aussi un critère majeur. C'est seulement si la substance active respecte l'ensemble des critères, qu'elle pourra être inscrite dans la liste des herbicides autorisés. Ensuite, au niveau français, il est à nouveau vérifié que la substance remplit bien toutes les conditions d'efficacité et de sélectivité vis-à-vis de la culture et qu'elle présente bien une innocuité pour l'applicateur et le consommateur. Les études écotoxicologiques prennent en compte les composantes 'faune, flore, sol, eau et air'. Le degré d'utilisation par les agriculteurs va ensuite dépendre de différents critères dont l'accessibilité chez les fournisseurs, le conseil agricole, le coût et l'efficacité au champ.

Jusqu'à aujourd'hui, c'est l'évolution de ces critères d'homologation qui a conduit au retrait des substances actives. Si les restrictions d'usage du diuron avaient fait débat en 1999, le retrait de molécules importantes telles que la trifluraline (2008) ou plus récemment du glufosinate (2018) n'ont pas eu écho en dehors de la sphère agricole. Mais le contexte sociétal peut bousculer les démarches classiques. C'est notamment le cas du glyphosate, substance 'pivot' de certains systèmes de culture, pour laquelle une forte contestation sociétale, soutenue par une partie de la presse, pousse au retrait de cette molécule. Cette forte agitation autour du glyphosate fait penser à celle qui a eu lieu au début des années 2000 pour les triazines et plus particulièrement pour l'atrazine, substance active centrale dans le désherbage du maïs. Peut-on comparer ces deux situations à plus de 15 années d'écart ? Les conséquences agronomiques et malherbologiques sont-elles similaires ? Quelles seront les conséquences pour les agriculteurs du retrait du glyphosate ?

1. Deux acteurs majeurs du désherbage

1.1 L'atrazine, la molécule emblématique du désherbage du maïs

Les triazines sont des molécules herbicides essentiellement utilisées en pré-levée (Gauvrit, 1996b). La molécule la plus connue, parmi les 12 homologuées en France, est l'atrazine. Elle a été utilisée pendant plus de 40 ans (1960-2003) et était en 2001 la principale matière active utilisée pour désherber le maïs avec 80% des surfaces traitées (Rabaud, 2003). L'atrazine était aussi utilisée sur d'autres cultures comme le sorgho, la canne à sucre ou encore les vergers et les vignes, mais également dans les zones non agricoles (Renoux et Bibard, 2001 ; ACTA, 1961-2020). Très largement employée aux États-Unis aujourd'hui, c'était la deuxième molécule herbicide la plus utilisée dans le monde après le glyphosate de 2001 à 2012 (Atwood et Paisley-Jones, 2017).

L'atrazine agit comme un inhibiteur de la photosynthèse par blocage de la phase lumineuse (groupe HRAC C1). Elle combine un large spectre d'action sur les plantes adventices (seules des adventices appartenant aux Panicoïdées et aux Eragrostidées peuvent la dégrader de manière significative) et une très bonne sélectivité vis-à-vis du maïs à la fois en pré-levée et post-levée de la culture. Peu coûteuse,

la substance active est persistante (demi-vie de 140 à 150 jours dans le sol ; Mahler et al., 2017) ce qui permet en un seul passage de gérer les levées échelonnées d'adventices.

Les premières populations résistantes aux triazines ont été découvertes aux États-Unis en 1968 chez le séneçon commun (*Senecio vulgaris* ; Ryan, 1970). En France, une première détection de résistance en 1978 (Ducruet et Gasquez, 1978 ; Figure 1) et une augmentation des problématiques de résistance les années suivantes, ont incité les ingénieurs conseil à proposer des programmes adaptés, sans pour autant préconiser un abandon de cette molécule, du fait de sa bonne efficacité globale (AGPM et ITCF, 1989).



Figure 1 : Parcelle de maïs envahie d'amarantes résistantes à l'atrazine (© J. Gasquez - INRAE)

1.2 Le glyphosate en France, l'herbicide d'interculture par excellence

Commercialisé depuis 1974, le glyphosate est en 2017, l'herbicide le plus utilisé au monde (Duke, 2018). C'est aussi l'herbicide le plus vendu en France de 2009 à 2017 (Commissariat général au développement durable, 2019) où il représente environ 30% du volume total d'herbicides vendus et environ 0,32 kg de substance active par hectare de terre agricole (Antier et al., 2020). Depuis que le brevet est dans le domaine public (2000), plusieurs compagnies ont synthétisé et commercialisé de nombreux produits herbicides à base de cette substance active (Benbrook, 2016).

L'usage du glyphosate est généralisé en agriculture, aussi bien en grandes cultures qu'en vergers ou en vignes et il est également utilisé pour l'entretien des infrastructures (voies ferrées principalement) (Richmond, 2018). Au niveau mondial, l'utilisation du glyphosate a fortement augmenté depuis l'apparition de cultures tolérantes à cette matière active (1996). En France, 84% du glyphosate est utilisé en agriculture (Reboud et al., 2017) pour gérer la flore adventice en interculture (Figure 2), détruire les couverts, ou plus rarement les prairies. Le glyphosate est aussi utilisé pour la gestion des espèces vivaces, invasives, allergènes ou toxiques comme l'ambrosie à feuilles d'armoise (*Ambrosia artemisiifolia*) ou le datura stramoine (*Datura stramonium*).

Le glyphosate est un herbicide systémique à large spectre d'action, dit « non sélectif » (Gauvrit, 1996a). Son mode d'action est unique (groupe HRAC G) : l'herbicide inhibe l'enzyme 5-énoypyruvylshikimate 3-phosphate (enzyme qui n'existe pas chez les mammifères) ce qui bloque la synthèse de trois acides aminés essentiels (phénylalanine, tyrosine et tryptophane). Son utilisation en interculture associée à d'autres herbicides appliqués pendant la période de culture, contribue à limiter le développement de populations résistantes (Labreuche et al., 2019). Le glyphosate est, pour toutes ces raisons, considéré comme « *a once-in-a-century herbicide* » (Duke et Powles, 2008).



Figure 2 : Parcelle en interculture avant semis d'une céréale et traitée au glyphosate (© INRAE)

Après 20 ans d'utilisation, aucun cas de résistance n'avait encore été observé. Cependant, en 1996, des populations d'ivraie raide (*Lolium rigidum*) résistantes au glyphosate ont été identifiées en Australie (Powles et al., 1998). D'autres cas de résistances ont été recensés dans des cultures génétiquement modifiées tolérantes au glyphosate (Bonny, 2016). En France, les premiers cas de résistance ont été observés en vigne en 2005 chez l'ivraie raide (Favier et Gauvrit, 2007) et l'érigéron de Sumatra (*Conyza sumatrensis* ; Dubois et al., 2011).

2. Pourquoi retirer ces deux substances actives et avec quelles conséquences ?

Le retrait des substances actives est une procédure habituelle, qui a régulièrement été utilisée au cours de l'histoire des produits de synthèse (Figure 3). La procédure de retrait n'est toutefois pas simple et doit respecter un certain nombre de conditions économiques et agronomiques (EUR-Lex, 2009).

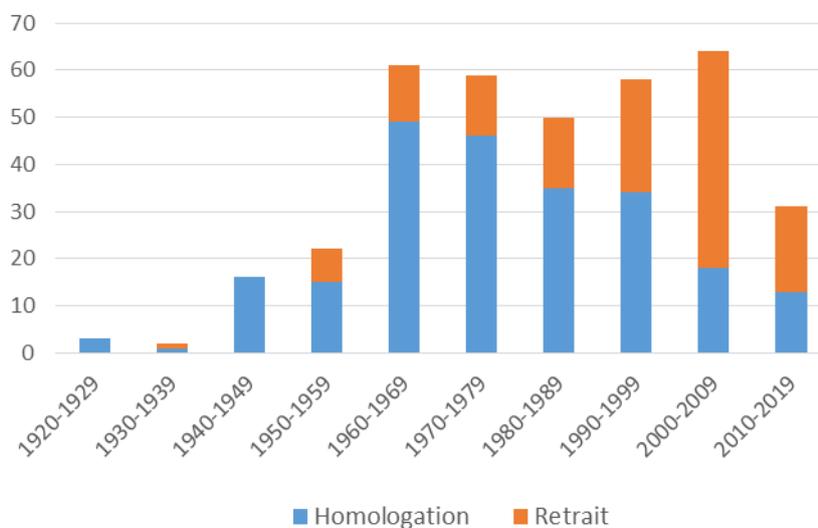


Figure 3 : Nombre de matières actives herbicides homologuées et retirées par période de 10 ans d'après les données des index phytosanitaires (ACTA, 1961-2020). Depuis les années 2000, le nombre de retraits est supérieur à celui des autorisations.

Pour des raisons d'efficacité ou de pollution avérée, le retrait peut se faire soit au niveau européen, soit au niveau national. Dans le cas du diuron en France, il a tout d'abord été mis en place une restriction des usages en 1999, puis une interdiction au niveau national (Giacomazzi et Cochet, 2004). Au niveau européen, le diuron est encore utilisé en Italie et en Slovaquie ainsi qu'en Suisse. Dans le cas de l'atrazine et du glyphosate, malgré leur importance agronomique et leur efficacité herbicide avérée, des procédures de retrait ont été mises en place, en France, du fait de plusieurs facteurs.

2.1 Les raisons du retrait ou de la demande de retrait de ces molécules

2.1.1 Réserves en eau

Les principales inquiétudes quant à l'utilisation massive et généralisée de l'atrazine concernaient la qualité des eaux. En effet, dès la fin des années 1980 en France, la molécule est retrouvée dans les eaux de surface et les eaux souterraines à des concentrations supérieures à la norme autorisée pour l'eau destinée à la consommation humaine (norme EDCH) (Miquel, 2003 ; maximum 0,1 µg/L par pesticide et 0,5 µg/L pour la concentration totale en pesticides) et à la norme de qualité environnementale (NQE) (Commission européenne, 2008). Suite à de nombreux dépassements de seuils de potabilité en France, les doses d'application maximales autorisées d'atrazine ont été progressivement diminuées, passant de 2 500 g/ha/an avant 1990 à 1 500 g/ha/an en 1991 et à 1 000 g/ha/an en 1998. Des réglementations locales dans certains bassins versants ont également été instituées dès 1998 pour diminuer les transferts d'atrazine dans les eaux.

De même, l'utilisation généralisée du glyphosate a conduit à retrouver cette molécule ainsi que ses métabolites, notamment l'acide aminométhylphosphonique (AMPA) dans les eaux de surface et souterraines. L'Anses a analysé plusieurs milliers de prélèvements d'eau de surface en 2017 et le glyphosate et l'AMPA ont été retrouvés respectivement dans 50% et 74% des prélèvements, sans toutefois qu'en aucun point de prélèvement la moyenne annuelle soit supérieure à la NQE (Anses, 2019). Ces deux molécules ont assez peu été retrouvées dans les eaux souterraines (dans seulement 3% des prélèvements).

2.1.2 Santé publique

Les conséquences sur la santé publique ont été moins évoquées pour l'atrazine et la seule problématique de la présence dans les eaux a suffi à l'interdiction de la substance active. Toutefois aujourd'hui, cette problématique 'santé' est beaucoup plus présente en Amérique du Nord dans le cadre de discussions sur le retrait de cette molécule (<https://ecojustice.ca/overwhelming-evidence-supports-need-canadian-atrazine-ban/>).

Dans le cas du glyphosate, le débat est centré sur la problématique de santé publique et relativement peu sur la problématique de pollution des eaux de surface. Si certaines études ont conclu à une action délétère du glyphosate sur plusieurs espèces animales (Rohr et Mc Coy, 2010), les analyses de risque (danger × exposition) conduites par les agences sanitaires de différents pays ont toutes conclu à l'absence de risque inacceptable (EFSA, 2015). Dans le domaine de la toxicité humaine, à l'exception du Centre international de la recherche sur le cancer (CIRC), les autres agences nationales et européennes, ont conclu à une absence de caractère cancérigène du glyphosate (Commission européenne, 2017). Cependant, des toxicités davantage liées aux co-formulants tels que la tallowamine, sont soupçonnées dans les produits à base de glyphosate (Decoin, 2016).

2.1.3 Débat public

En France, l'annonce du retrait de l'atrazine (Miquel, 2003) à la fin de l'année 2001 (fin de la commercialisation au 30 septembre 2002 et interdiction à l'utilisation à partir du 30 juin 2003) a suscité de vives contestations de la part de la profession agricole, car les solutions de désherbage alternatives étaient alors jugées incertaines. C'est bien le caractère 'pivot' de cette molécule herbicide qui explique

les inquiétudes des agriculteurs à l'époque. Certains systèmes de culture ont dû être reconçus mais des solutions alternatives, principalement chimiques ont été rapidement développées, se substituant à l'atrazine. Le débat public n'a pas eu l'ampleur atteint par celui du glyphosate quinze ans plus tard.

Dans le cas du glyphosate, une forte contestation est organisée en France par des organisations non gouvernementales, demandant un retrait de la molécule en se basant le principe de précaution. Une importante campagne de presse écrite et télévisée appuie cette demande, mais l'absence de preuves scientifiques décisives sur la cancérogénicité rend la prise de décision complexe pour les politiques. Suite à la ré-homologation du glyphosate pour cinq ans au niveau européen (Commission européenne, 2017), le Gouvernement français a annoncé un plan de sortie du glyphosate dans l'objectif d'une interdiction définitive à partir de 2021 (Mission d'information commune de l'Assemblée nationale, 2018). Cette demande pour le glyphosate s'inscrit dans une volonté globale de réduire l'utilisation des produits phytosanitaires de synthèse, avec des objectifs fixés de -25% en 2020 et -50% en 2025 (Ministère de la transition écologique et solidaire, 2018). Le Luxembourg serait le premier pays de l'Union européenne à retirer l'utilisation du glyphosate dès 2021 (Ministère de l'Agriculture de la Viticulture et du Développement rural, 2020).

2.2 Gestion des flores adventices sans ces deux molécules 'pivot'

2.2.1 Développement de méthodes alternatives à l'utilisation d'atrazine

Dans de nombreux cas, le désherbage chimique du maïs a pu être maintenu grâce à l'homologation d'autres substances actives de remplacement, à la fois des produits de pré-levée et de post-levée (Guillet et al., 2001 ; Bibard, 2004). Par ailleurs, les problématiques de pollution des cours d'eau ont permis de faire émerger des réflexions sur les conditions et les doses d'application des produits herbicides en général. Le désherbage sans atrazine est donc apparu comme plus technique, notamment pour définir les stades d'intervention (Compagnon et Beraud, 2001). Pour maximiser l'efficacité des produits, il a été préconisé de les appliquer à un stade jeune des adventices (Guinefoleau, 2001) et de tenir compte des conditions climatiques pour positionner les traitements et adapter les doses (Renoux et al., 2003). Il était souvent nécessaire d'associer plusieurs produits et d'effectuer plusieurs applications (Compagnon et Beraud, 2001). En effet, pour gérer les levées échelonnées et les levées tardives, un second passage voire un troisième était nécessaire (Bibard et al., 2001). C'est également au début des années 2000 qu'est commercialisée une série de variétés de maïs tolérantes à la cycloxydime. Ces variétés sont toujours autorisées en France (Duo System®, obtenu par ressources génétiques sauvages ; Délye, 2018), mais ne semblent pas s'être imposées comme moyen de désherbage.

L'interdiction de l'atrazine a été l'occasion de développer le désherbage mécanique de manière à diminuer voire supprimer totalement les herbicides. Le maïs est une culture qui se prête bien à cette pratique car semée en ligne et avec un écartement suffisant pour un passage de bineuse. Néanmoins, le temps de travail est nettement plus important qu'un désherbage chimique (Cael et Bonnault, 2002) et l'efficacité du désherbage est alors plus limitée sur le rang (Cael, 2001).

Au vu de l'intérêt agronomique du désherbage mécanique, de nombreux essais de désherbage mixte ont été menés pour réduire l'utilisation des produits phytosanitaires tout en assurant une bonne maîtrise des adventices. Le désherbage mixte consiste souvent à désherber chimiquement le rang et mécaniquement l'inter-rang, soit en passages séparés, soit en un seul passage à l'aide d'une désherbineuse. L'avantage majeur de cette technique est la réduction de deux-tiers de l'utilisation d'herbicides (Heydel et al., 1999). Néanmoins, les limites du désherbage mixte en un seul passage sont fortes, puisque la fenêtre climatique d'utilisation est restreinte ce qui peut expliquer sa faible adoption. Néanmoins, l'arrêt de l'atrazine aura eu pour principale conséquence, au niveau de l'exploitation, l'augmentation des coûts de désherbage, notamment du fait de l'augmentation du nombre de passages (Pierson, 2009).

L'interdiction de l'atrazine a aussi permis d'élargir la réflexion sur la gestion des adventices et de repenser les systèmes de culture. Si l'atrazine pouvait permettre une efficacité quasi totale, il a été montré que l'élimination de 100% des adventices ne contribuait pas à une augmentation de manière considérable de la biomasse de maïs produite (Cael, 2001 ; Stupnicka-Rodzynkiewicz et al., 2000). Un certain degré de tolérance adventices dans la parcelle peut donc être accepté.

2.2.2 Mise en place de groupes de recherche d'alternatives au glyphosate

Les rapports se sont succédés depuis 2017 afin de trouver des solutions alternatives à l'utilisation du glyphosate. A la demande de différents ministères, une première expertise (Reboud et al., 2017) a été publiée sur les utilisations actuelles du glyphosate et les alternatives qui existent avec leurs incidences économiques et organisationnelles. Il en ressort que la mobilisation d'un ensemble de différentes pratiques est nécessaire pour atteindre des niveaux d'efficacité comparables au glyphosate. Le travail du sol, le développement de couverts végétaux et l'utilisation de pratiques de destruction physique du couvert peuvent concourir à une bonne gestion de la flore. Il est également montré qu'il n'existe pas d'alternatives chimiques pour remplacer le glyphosate, en particulier au niveau des herbicides anti-graminées.

Une enquête inter-instituts a été lancée en ligne en 2019 sur l'utilisation du glyphosate en grandes cultures, à destination des agriculteurs utilisateurs ou non de cette substance active (ACTA et al., 2020). Un des résultats marquant de l'enquête est le désarroi des agriculteurs face à l'annonce d'une interdiction du glyphosate. En effet, 78% des 6 335 répondants estiment ne pas avoir identifié d'alternatives actuellement. Trois autres rapports produits par INRAE (arboriculture, viticulture et grandes cultures ; Jacquet et al., 2019a et b ; Carpentier et al., 2020) montrent la place prépondérante du travail du sol dans les alternatives au glyphosate et l'absence d'alternatives chimiques satisfaisantes. La réalisation de déchaumages, faux-semis et en particulier du labour semblent être de loin les principaux leviers en grande culture (Reboud et al., 2017 ; ACTA et al., 2020). Néanmoins, un coût supplémentaire et une augmentation du temps de travail sont systématiquement mis en avant, ce qui, suivant les situations, peut être ou non accepté par l'agriculteur. En cas de substitution du glyphosate par du travail du sol, le surcoût est évalué à moins de 10 €/ha/an pour des exploitations pratiquant actuellement au moins un labour occasionnel, mais à près de 80 €/ha/an pour les exploitations en semis direct (Carpentier et al., 2020). Par ailleurs, des problèmes environnementaux liés au labour peuvent également se poser (érosion, turbidité des eaux). Dans les zones où le travail du sol n'est pas possible (pente, sols peu profonds ou caillouteux) et pour les systèmes sans labour, se passer de glyphosate sera difficile (Rodriguez et al., 2019) et nécessitera une remise en question et une re-conception des systèmes de culture (nouveaux porte-greffe en vigne, ré-intensification des pratiques de travail du sol en grande culture), voire même un changement d'utilisation des sols.

Au-delà de l'amélioration des techniques de désherbage mécanique, il se développe actuellement des techniques alternatives de désherbage, tels que le désherbage thermique à la flamme ou à l'eau chaude et le désherbage électrique. Ces méthodes ne sont encore qu'à l'état de prototypes (Labreuche et al., 2019). Localement, des agriculteurs ont aussi montré que l'utilisation de troupeaux 'désherbeurs' pendant la période d'interculture, pouvait assurer une gestion efficace de la flore adventice. Cependant, cette pratique a été qualifiée comme « non envisagée » par les agriculteurs actuellement utilisateurs de glyphosate par l'enquête inter-instituts, de même que le désherbage manuel ou la conversion vers l'Agriculture Biologique (ACTA et al., 2020).

2.3 Conséquences sur les flores adventices

Au niveau malherbologique, Bibard et Renoux (2004) parlent de « mutation complète des peuplements floristiques dans les parcelles de maïs » où l'atrazine n'a plus été utilisée pendant trois ans. Une diminution des taxons résistants à l'atrazine (chénopodes (*Chenopodium* sp.), amarantes (*Amaranthus*

sp.) et morelle (*Solanum nigrum*) et une augmentation des espèces sensibles (renouée à feuilles de liseron (*Fallopia convolvulus*), renouée des oiseaux (*Polygonum aviculare*), mercuriale (*Mercurialis annua*), amброisie à feuilles d'armoise, panics (*Panicum* sp.), sétaires (*Setaria* sp.) et digitales (*Digitaria* sp.)) sont logiquement observées. Certaines eudicotylédones sont également apparues de manière plus inattendue, comme la pensée (*Viola arvensis*) et les véroniques (*Veronica* sp.). Les vivaces, comme les liserons des haies (*Calystegia sepium*) et des champs (*Convolvulus arvensis*), semblent également plus difficiles à contrôler sans atrazine (Bibard, 2015). À un niveau plus général, ces modifications des communautés adventices en maïs n'ont cependant pas été mises en évidence par Fried et al. (2006), qui ont comparé des relevés de flore réalisés dans presque 500 parcelles dans toute la France de 2002 à 2010. Il est probable que d'autres herbicides alternatifs aient été utilisés avec finalement des résultats de désherbage comparables à ceux de l'atrazine. Toutefois, tirer des conclusions plusieurs années après l'arrêt de l'utilisation de l'atrazine est difficile, car il existe très peu d'études qui dressent un bilan final. Si un nombre d'essais important a été mis en place pour préparer le retrait, il semblerait que le sujet ait été rapidement résolu sur le terrain, ou du moins que la situation ne se soit pas révélée aussi difficile à gérer que ce qui avait été prévu du point de vue malherbologique. L'arrêt de l'atrazine s'inscrit dans une période, de 2002 à 2005, où quatre nouvelles substances actives ont été homologuées. Après quelques années sans nouvelle homologation, l'offre de molécules herbicides s'est fortement étoffée à partir de 2009, offrant ainsi un large choix pour gérer les espèces adventices du maïs (Annexe 1).

Des problématiques de gestion de la flore adventice sont attendues dans les situations où le glyphosate était particulièrement efficace. Son utilisation est privilégiée par les agriculteurs pour la gestion des eudicotylédones vivaces (liserons, cirses) et de la flore graminéenne sensible ou résistante à une substance active (vulpin (*Alopecurus myosuroides*), ray grass (*Lolium* sp.), jouet du vent (*Apera spicaventi*)). Positionné à l'interculture, le glyphosate permet de compenser des erreurs ou des prises de risques dans les stratégies de désherbage pendant la culture. L'absence de glyphosate risque donc d'amener une pression supplémentaire dans les parcelles avec un niveau élevé de densité de plantes adventices (Carpentier et al., 2020). De même, la gestion adventice sera complexe dans les parcelles avec des sols superficiels et un pourcentage de cailloux élevés là où la pratique d'un travail du sol « profond » pose trop de problèmes techniques. D'un point de vue biologique, les espèces adventices à faible dormance (vulpin, gailllet (*Galium aparine*)) pourraient être favorisées si la stratégie globale de désherbage et d'installation de la culture n'est pas repensée.

Il n'est pas possible pour le moment d'imaginer un fort changement de la composition de la communauté adventice que l'on pourrait attribuer à l'arrêt de l'utilisation du glyphosate. En effet, l'adaptation des systèmes ne se fera pas à la marge et nécessitera un retour à une fréquence plus forte du travail du sol. Cette situation est déjà connue par ailleurs chez les agriculteurs qui continuaient à baser leur gestion de la flore préférentiellement sur ce levier agronomique.

3. Discussion - conclusion

Il existe de réels points de comparaison entre la « situation glyphosate » de 2019 et la « situation atrazine » de 2001 (Tableau 1). On peut remarquer que les raisons du succès et la place prise par les deux substances actives sont relativement proches, notamment du fait qu'elles combinent à la fois une excellente efficacité herbicide, une facilité d'utilisation et un faible coût, ce qui explique leur utilisation massive. Toutefois il faut noter que l'atrazine était utilisée pour la gestion de la flore au cours du cycle de la culture tandis que le glyphosate, à l'exception de la culture de la vigne et des vergers, est épandu essentiellement en interculture.

Pour l'atrazine, même si des solutions alternatives non-chimiques ont été adoptées par certains agriculteurs, cette substance active a majoritairement été remplacée par d'autres molécules. En ce qui concerne les substitutions chimiques, la situation est beaucoup plus limitée pour le glyphosate, voire non souhaitable dans le contexte actuel. Il n'existe pas aujourd'hui de solutions herbicides anti-graminées qui

soient homologuées, ce qui agronomiquement pourrait poser de réels problèmes si les agriculteurs ne font pas évoluer leurs systèmes de culture. L'absence d'alternatives pourrait même poser d'importants problèmes pour la gestion des espèces vivaces ou des adventices estivales à risques sanitaires (*Ambrosia* sp., *Datura stramonium* ; Fugit et Moreau, 2019). Ces changements doivent être anticipés pour limiter les conflits réglementaires et ne pas mettre les agriculteurs en difficulté vis-à-vis de la gestion de leur flore adventice.

Tableau 1 : Comparaison des conditions de retraits glyphosate / atrazine

	Particularités glyphosate	Caractéristiques communes	Particularités atrazine
Emploi	Post-levée des adventices, « foliaire »	Spectre large Excellente efficacité	Pré-levée, post précoce, « racinaire » principalement
Zones agricoles traitées	Parcelles en interculture	Cultures pérennes	Cultures de maïs, sorgho
Pollution des eaux		Nappes de surface	Nappes profondes
Toxicité / écotoxicité	Santé humaine	Liée à une forte utilisation de ces molécules	Impact environnemental
Craintes vis-à-vis de la gestion des parcelles	Abandon des systèmes en agriculture de conservation	Augmentation des coûts de désherbage	
Craintes vis-à-vis de la flore adventice	Développement des espèces vivaces Gestion de la flore graminéenne	Perte de contrôle de la flore	Modification des communautés adventices
Recherches d'alternatives	Forte mobilisation de la recherche	Mobilisation de tous les leviers : instituts, chambres, groupes d'agriculteurs, etc.	
Alternatives	Pas d'alternative chimique	Mobilisation d'un ensemble de leviers Place plus importante de l'agronomie Promotion du travail du sol	Alternatives chimiques efficaces
Contexte social	Pression sociale forte (Organisations non gouvernementales, médias)	Opposition avec le monde agricole	Préoccupation principalement portée sur la pollution des eaux
Contexte agronomique	Réduction du désherbage chimique, agroécologie	Réduction du nombre de molécules actives	Optimisation du désherbage chimique

Une autre grande différence réside dans le contexte du retrait de ces deux molécules et la dynamique dans laquelle les discussions se sont inscrites. La prise de conscience environnementale n'était pas la même au début des années 2000. Le retrait du glyphosate s'inscrit dans une réflexion agroécologique

globale sur l'utilisation des produits phytosanitaires et s'inscrit dans une politique plus large pour développer une agriculture moins dépendante des pesticides de synthèse (U.E., 2009).

Cependant, ces retraits de molécules vont inmanquablement se reproduire au cours des prochaines années (loi EGalim) et faire reposer le désherbage chimique sur un nombre limité de substances actives qui vont être à leur tour inmanquablement être mises sous les feux des médias. La possible interdiction du prosulfocarbe va, par exemple, rendre problématique la gestion de la flore graminéenne dans certaines rotations. Il est certain qu'avec le retrait en cours d'autres molécules herbicides, de nouvelles 'crises' pourraient apparaître prochainement, rendant la recherche d'alternatives de plus en plus complexe.

Ces évolutions réglementaires auront un impact de plus en fort sur le fonctionnement des exploitations agricoles aussi bien au niveau économique qu'organisationnel (temps de travail, type de systèmes d'exploitation). Ces modifications peuvent même remettre complètement en question des systèmes agricoles comme l'agriculture de conservation très en vogue actuellement pour son intérêt au niveau de la protection et de la fertilité des sols.

Remerciements

Les auteurs remercient le GIS Grande Culture à Hautes Performances Économiques et Environnementales (GC HP2E) pour avoir financé le projet. M. Christian Gauvrit est également remercié pour son aide dans l'écriture et la relecture du rapport qui a servi de base à cet article.

Références bibliographiques

ACTA, 1961-2020. Index Phytosanitaire ACTA. ACTA, Paris.

ACTA, ARVALIS, FNAMS, ITB, Terres Inovia, 2020. Enquête inter-instituts 2019 sur l'utilisation du glyphosate en grandes cultures Agriculteurs utilisateurs ou non utilisateurs. 60 p. <https://ecophytopic.fr/protoger/enquete-inter-instituts-2019-sur-lutilisation-du-glyphosate-en-grandes-cultures>

AGPM, ITCF, 1989. Le désherbage du maïs. 43 p.

Agreste, 2014. Enquête Pratiques Culturelles 2011 - Principaux résultats. Les dossiers. Agreste, 52-54.

Anses, 2019. Glyphosate. Phytopharmacovigilance, 2017-04, 16 p. https://www.anses.fr/fr/system/files/Fiche_PPV_Glyphosate.pdf

Anses, 2020. E-Phy. <https://ephy.anses.fr/> [20/03/2020].

Antier C., Andersson R., Auskalnienė O., Barić K., Baret P., Besenhofer G. et al., 2020. A survey on the uses of glyphosate in European countries. INRAE. 60 p.

Atwood D., Paisley-Jones C., 2017. Pesticides industry sales and usage 2008-2012 market estimates. EPA United States Environmental Protection Agency, 24 p.

Benbrook C.M., 2016. Trends in glyphosate herbicide use in the United States and globally. *Environmental Sciences Europe* 28, 1-15.

Bibard V., Collin J.M., Vincent J., 2001. La nuisibilité des adventices dans la culture du maïs, In 18ème conférence du COLUMA, journées internationales sur la lutte contre les mauvaises herbes, Toulouse (France), du 5 au 7 décembre 2001, 1-9.

Bibard V., Renoux J.P., 2004. Le désherbage du maïs en pleine mutation, In 19ème conférence du COLUMA, journées internationales sur la lutte contre les mauvaises herbes, Dijon (France) du 8 au 10 déc. 2004, 6 p.

Bibard V., 2015. Lutte contre les liserons sur maïs : des programmes toujours incontournables. *Perspectives Agricoles* 421, 12-13.

Bonny S., 2016. Genetically modified herbicide-tolerant crops, weeds, and herbicides: overview and impact. *Environmental Management* 57, 31-48.

- Cael N., 2001. Le désherbage mixte du maïs. *Phytoma* 538, 18-21.
- Cael N., Bonnault M., 2002. Désherbage mixte du maïs. *Phytoma* 549, 5-8.
- Carpentier A., Fadhuile A., Roignant M., Blanck M., Reboud X., Jacquet F., Huyghe C., 2020. Alternatives au glyphosate en grandes cultures. Evaluation économique. INRAE, 159 p. <https://www.inrae.fr/actualites/alternatives-au-glyphosate-grandes-cultures-evaluation-economique>
- Cellule d'animation nationale DEPHY, 2018. Le glyphosate dans le réseau DEPHY FERME. 47 p. https://ecophytopic.fr/sites/default/files/Brochure%20Glyphosate%20DEPHY_vf_num_2.pdf
- Chauvel B., Guillemain J-P, Gasquez J., Gauvrit C., 2012. History of chemical weeding from 1944 to 2011 in France: changes and evolution of herbicide molecules. *Crop Protection* 42, 320-326.
- Commissariat général au développement durable, 2019. Plan de réduction des produits phytopharmaceutiques et sortie du glyphosate : état des lieux des ventes et des achats en France. *DATALAB Essentiel* 172, 4 p.
- Commission européenne, 2008. Directive 2008/105/CE du parlement européen et du conseil du 16 décembre 2008 établissant des normes de qualité environnementale dans le domaine de l'eau. *Journal officiel de l'Union européenne*, L 348/84, 16.12.2008.
- Commission européenne, 2017. Communication de la commission relative à l'initiative citoyenne européenne « interdire le glyphosate et protéger la population et l'environnement contre les pesticides toxiques ». 16 p. <https://ec.europa.eu/transparency/regdoc/rep/3/2017/FR/C-2017-8414-F1-FR-MAIN-PART-1.PDF>
- Compagnon J.M., Beraud J.M., 2001. Intérêt de la mésotrione pour la mise au point de stratégies de désherbage du maïs en post-levée sans atrazine, In 18ème conférence du COLUMA, journées internationales sur la lutte contre les mauvaises herbes, Toulouse (France), du 5 au 7 déc. 2001, 649-653.
- Decoin M., 2016. Glyphosate : ce qu'en disent le CIRC, l'EFSA et l'ANSES. *Phytoma* 694, 10-14.
- Délye C., 2018. Comprendre, prévenir et gérer les résistances aux herbicides, In : Gestion durable de la flore adventice, Chauvel B., Darmency H., Munier-Jolain N., Rodriguez A. (coord.), Versailles (France), 201-203. Éditions Quæ.
- Dubois M., Cottet C., Favier T., De Prado R., 2011. Erigeron résistant au glyphosate, le point. *Phytoma* 649, 25-28.
- Ducruet J-M., Gasquez J., 1978. Observation de la fluorescence sur feuille entière et mise en évidence de la résistance chloroplastique à l'atrazine chez *Chenopodium album* L. et *Poa annua* L. *Chemosphère*, 8, 691-696.
- Duke S.O., 2018. The history and current status of glyphosate. *Pest Management Science* 74, 1027-1034.
- Duke S.O., Powles S.B., 2008. Glyphosate: a once-in-a-century herbicide. *Pest Management Science* 64, 319-325.
- EFSA (European Food Safety Authority), 2015. Conclusion on the peer review of the pesticide risk assessment of the active substance glyphosate. *EFSA Journal* 13, 4302, 107 p.
- EUR-Lex, 2009. Règlement (CE) no 1107/2009 — La mise sur le marché des produits phytopharmaceutiques. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/HTML/?uri=LEGISSUM:sa0016&from=FR>
- Favier T., Gauvrit C., 2007. Premier cas de résistance au glyphosate, In 20ème conférence du COLUMA, journées internationales sur la lutte contre les mauvaises herbes, Dijon (France), 11 et 12 décembre 2007, p. 233-237.
- Fried G., Reboud X., Bibard V., Delos M., Bombarde M., 2006. Mauvaises herbes du maïs : 25 ans d'évolution dans les grandes régions de production. *Perspectives Agricoles* 320, 68-74.
- Fugit J.L., Moreau J.B., 2019. Rapport d'information par la mission d'information commune sur le suivi de la stratégie de sortie du glyphosate, 99 p. http://www.assemblee-nationale.fr/dyn/15/rapports/micglypho/l15b2406_rapport-information
- Gauvrit C., 1996a. Le glyphosate, In *Efficacité et sélectivité des herbicides*. Paris, 142-146.

- Gauvrit C., 1996b. Les triazines et les urées substituées, In Efficacité et sélectivité des herbicides. Paris, 111-119. Éditions INRA.
- Giacomazzi S., Cochet N., 2004. Environmental impact of diuron transformation: a review. *Chemosphere* 56, 1021–1032.
- Guillet T., Dupuich M., Aumont C., Hazouard D., 2001. Le DMTA-P, nouvelle substance active pour le désherbage du maïs, In 18ème conférence du COLUMA, journées internationales sur la lutte contre les mauvaises herbes, Toulouse (France), du 5 au 7 décembre 2001, 459-465.
- Guinefoleau J-P., 2001. Désherbage du maïs. Utilisation en programme de spécialités sans atrazine, In 18ème conférence du COLUMA, journées internationales sur la lutte contre les mauvaises herbes, Toulouse (France), du 5 au 7 décembre 2001, p. 675-682.
- Heydel L., Benoit M., Schiavon M., 1999. Reducing atrazine leaching by integrating reduced herbicide use with mechanical weeding in corn (*Zea mays*). *European Journal of Agronomy* 11, 217-225.
- Jacquet F., Delame N., Lozano-Vita J., Reboud X., Huyghe C., 2019a. Alternatives au glyphosate en viticulture. Evaluation économique des pratiques de désherbage. <https://www.inrae.fr/actualites/alternatives-au-glyphosate-viticulture-evaluation-economique>
- Jacquet F., Delame N., Lozano-Vita J., Reboud X., Huyghe C., 2019b. Alternatives au glyphosate en arboriculture. Evaluation économique des pratiques de désherbage. <https://www.inrae.fr/actualites/alternatives-au-glyphosate-arboriculture-evaluation-economique-pratiques-desherbage>
- Labreuche J., Perriot B., Gautellier Vizioz L., Brun D., Bonin L., Duroueix F., Vuillemin F., Duval R., Royer D., Buridant C., Rodriguez A., 2019. Glyphosate: Peut-on s'en passer et avec quelles conséquences ? *Perspectives agricoles* 468, 41-48.
- Mahler B.J., Van Metre P.C., Burley T.E., Loftin K.A., Meyer M.T., Nowell L.H., 2017. Similarities and differences in occurrence and temporal fluctuations in glyphosate and atrazine in small Midwestern streams (USA) during the 2013 growing season. *Science of the Total Environment* 579, 149-158.
- Ministère de l'Agriculture de la Viticulture et du Développement rural, 2020. Luxembourg, le premier pays de l'Union européenne à interdire l'utilisation du glyphosate. Le gouvernement luxembourgeois. https://gouvernement.lu/fr/actualites/toutes_actualites/communiques/2020/01-janvier/16-interdiction-glyphosate.html [24/02/2020].
- Ministère de la transition écologique et solidaire, 2018. Plan Écophyto II+. 66 p. <https://agriculture.gouv.fr/le-plan-ecophyto-quest-ce-que-cest>
- Miquel G., 2003. Rapport sur la qualité de l'eau et de l'assainissement en France - Tome II - Annexe 47. p. 136-139. <http://www.senat.fr/rap/l02-215-2/l02-215-21.pdf>.
- Mission d'information commune de l'Assemblée nationale, 2018. Audition de François de Rugy et de Didier Guillaume par la mission d'information commune de l'Assemblée nationale sur le suivi de la stratégie de sortie du glyphosate. 2 p. <https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/audition-francois-rugy-et-didier-guillaume-mission-dinformation-commune-lassemblee-nationale-sur-0>
- Pierson P., 2009. Désherbage du maïs. Les fruits d'un réseau d'expérimentation lorrain. *Perspectives Agricoles* 358, 60-61.
- Powles S.B., Lorraine-Colwill D.F., Dellow J.J., Preston C., 1998. Evolved resistance to glyphosate in rigid ryegrass, *Lolium rigidum* in Australia. *Weed Science* 46, 604-607.
- Rabaud V., 2003. L'utilisation des produits phytosanitaires sur blé et maïs en 2001. Davantage de traitements mais réduction des doses. *Agreste Primeur* 137, 137-141.
- Reboud X., Blanck M., Aubertot J.N., Jeuffroy M.H., Munier-Jolain N., Thiollet-Scholtus M., Alaphilippe A., Ballot R., Blazy J.M., Cote F., Delière L., Ozier-Lafontaine H., Schmitt B., Simon S., Védrine L., 2017. Usages et alternatives au glyphosate dans l'agriculture française. Rapport Inra. 85 p. <https://www.inrae.fr/sites/default/files/pdf/resume-executif-rapport-glyphosate-inra-5.pdf>
- Renoux J.P., Bibard V., 2001. Atrazine, la fin d'un mythe, In 18ème conférence du COLUMA, journées internationales sur la lutte contre les mauvaises herbes, Toulouse (France), du 5 au 7 décembre 2001, p. 709-715.
- Renoux J.P., Bibard V., Gautier X., Hébrard J-P., 2003. Maïs : réussir l'après atrazine. *Perspectives*

Agricoles 286, 32.

Richmond M.E., 2018. Glyphosate: A review of its global use, environmental impact, and potential health effects on humans and other species. *Journal of Environmental Studies and Sciences* 8, 416-434.

Rodriguez A., 2018. Le désherbage mécanique en grandes cultures. Chap. 14. In : *Gestion durable de la flore adventice*, Chauvel B., Darmency H., Munier-Jolain N., Rodriguez A. (Coord.), Versailles (France), 231-234. Éditions Quæ.

Rodriguez A., Bonin L., Buridant C., Duroueix F., Duval R., Gautellier-Vizioz L., Labreuche J., Perriot B., Vuillemin F., 2019. Retrait du glyphosate : analyse comparative de faisabilité et d'efficacité des pratiques agronomiques de remplacement, In 24ème conférence du COLUMA, journées internationales sur la lutte contre les mauvaises herbes, Orléans (France), du 3 au 4 décembre 2019, 13 p.

Rohr J.R., McCoy K.A., 2010. A qualitative meta-analysis reveals consistent effects of atrazine on freshwater fish and amphibians. *Environmental Health Perspectives* 118, 20-32.

Ryan G.F., 1970. Resistance of common groundsel to simazine and atrazine. *Weed Science* 18, 614-616.

Stupnicka-Rodzynkiewicz E., Bintsanga Malounguidi P., Hochol T., 2000. Effets de la lutte chimique et mécanique sur la dynamique des mauvaises herbes dans la culture du maïs, In XIème colloque international sur la biologie des mauvaises herbes, 355-361.

Cet article est publié sous la licence Creative Commons (CC BY-NC-ND 3.0).



<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/fr/>

Pour la citation et la reproduction de cet article, mentionner obligatoirement le titre de l'article, le nom de tous les auteurs, la mention de sa publication dans la revue « *Innovations Agronomiques* », la date de sa publication, et son URL ou DOI).

Annexe 1 : Liste des molécules herbicides du maïs homologuées et retirées de 1999 à 2011. (*) Première année à partir de laquelle la molécule n'est plus homologuée (d'après les données des index phytosanitaires ACTA).

Année (*)	Nouvelles substances actives et associations de substances actives homologuées	Substances actives et associations de substances actives retirées
1999	Isoxaflutole Isoxaflutole + alconifen Métolachlore + métosulam Métosulam + flufénacet Prosulfuron + bromoxynil	Atrazine + simazine Terbutylazine + alachlore
2000	Acétochlore	Dicamba + atrazine
2001	Isoxaflutole + atrazine Métosulam + atrazine Pendiméthaline + diméthénamide Terbutylazine + bromoxynil	Bentazone + bromoxynil
2002	Mésotrione Bentazole + dicamba Isoxaflutole + flufénacet	Pendiméthaline + métolachlore
2003	Dmta-P S-métolachlore	EPTC Linuron Terbutryne Atrazine + bromoxynil Bentazole + atrazine Cyanazine + atrazine Diméthénamide + atrazine Métolachlore + atrazine Métolachlore + métosulam Pendiméthaline + atrazine Terbutylazine + bromoxynil
2004	Foramsulfuron	Amétryne Atrazine Métolachlore Propachlore Alachlore + atrazine Isoxaflutole + atrazine Métosulam + atrazine
2005		Clopyralid Pendiméthaline Pyridate Pyridate + bromoxynil Aclonifen + alachlore
2006		Pyridate + clopyralid
2007	Mésotrione + S-métolachlore	
2008		Rimsulfuron + thifensulfuron-méthyle
2009	Bentazole Fluroxypyr Pendiméthaline Florasulam + fluroxyr	Alachlore Diméthénamide Pendiméthaline + alachlore Pendiméthaline + diméthénamide
2010	Clopyralid Prosulfuron Tembotrione Dicamba + prosulfuron Tembotrione + bromoxynil	
2011	Péthoxamide Pyridate Thifensulfuron-méthyle Tritosulfuron Dmta-P + pendiméthaline Mésotrione + nicosulfuron Tritosulfuron + dicamba	Prosulfuron + bromoxynil