

## Quels enseignements tirer du retrait de l'atrazine dans le cadre de l'interdiction prévue du glyphosate ?

Inès Mahé<sup>1</sup>, Christian Gauvrit<sup>2</sup>, Frédérique Angevin<sup>3</sup> et Bruno Chauvel<sup>4,\*</sup>

<sup>1</sup> GIS GC HP2E, INRAE Transfert, 28, rue du Docteur Finlay, F-75015 Paris, France

<sup>2</sup> 531, route de Moulin Cheval, F-43140 Saint Victor Malescour, France

<sup>3</sup> INRAE, unité Eco-Innov, Avenue Lucien Brétignières, F-78850 Thiverval-Grignon, France

<sup>4</sup> Agroécologie, AgroSup Dijon, INRAE, Univ. Bourgogne, Univ. Bourgogne Franche-Comté, F-21000 Dijon, France

**Résumé** – Au cours de ces 70 dernières années, certaines substances actives herbicides ont acquis le statut de molécules « pilier » dans la gestion des communautés adventices. En France, jusqu'en 2003, l'atrazine a joué un rôle central dans le désherbage du maïs. Depuis 1974, le glyphosate est devenu la molécule la plus utilisée dans la gestion de l'interculture, au point d'être considéré comme indispensable en agriculture de conservation. Une excellente efficacité et un faible coût ont placé ces deux molécules parmi celles les plus utilisées au monde. Mais dans les deux cas, une utilisation trop importante a conduit à la contamination des eaux et à l'émergence de questionnements sur de possibles effets négatifs sur l'environnement. Une comparaison de l'interdiction de l'atrazine et du glyphosate, d'un point de vue agronomique, économique et social, montre des inquiétudes similaires sur la gestion de la flore adventice de la part de la profession agricole. Si le retrait de l'atrazine a pu engendrer une augmentation des coûts de désherbage du maïs, la flore adventice a su être correctement maîtrisée via la mobilisation d'autres leviers, principalement chimiques. L'interdiction potentielle du glyphosate, prévue en France dans un futur proche, pourrait avoir des conséquences fortes sur la gestion de la flore adventice et plus globalement sur les exploitations agricoles. Le principal levier disponible pour se passer de glyphosate est le recours au travail du sol, mais d'autres leviers agronomiques doivent venir en complément pour assurer une gestion efficace. Bien que séparé de 15 années, le retrait de ces deux substances actives est l'occasion de prendre conscience des conséquences que peut avoir l'utilisation prédominante d'une unique substance active sur l'environnement, mais aussi sur la capacité d'adaptation des systèmes agricoles.

**Mots clés** : herbicide / mauvaise herbe / réglementation / désherbage / pollution par l'agriculture

**Abstract** – **What lessons can be learned from the atrazine ban in the context of the future withdrawal of glyphosate?** Over the past seventy years, some herbicides have become “keystone” active ingredients in weed management. In France, until 2003, atrazine played a key role for maize weeding. Since 1974, glyphosate has become the most used herbicide for intercropping period management and has become central for conservation agriculture. Such exceptional efficiency and a low cost placed atrazine and glyphosate among the most used herbicides worldwide. In either case, their over-use has contributed to water pollution and to the emergence of questions about possible negative effects on the environment. An agronomical, economical and societal comparison between the withdrawal of atrazine and glyphosate showed similar concerns of agricultural sector about weed management. The withdrawal of atrazine may have increased costs of maize weeding, but weed communities have been successfully managed, mainly thanks to the use of other chemical ingredients. The possible glyphosate ban, planned in France in a near future, may have strong impacts on weed management and more generally on farm operations. The main available alternative to glyphosate is soil tillage, but other agronomical practices have to be associated to maintain an effective weed management. Although 15 years apart, the withdrawal of these two active ingredients allows to put emphasis on the impacts that a massive use of a unique chemical ingredient can have on the environment and on the adaptability of agricultural systems.

**Keywords**: herbicide / weed / regulations / weeding control / pollution by agriculture

\*Auteur de correspondance : [bruno.chauvel@inrae.fr](mailto:bruno.chauvel@inrae.fr)

## 1 Introduction

La lutte contre les espèces adventices a toujours été une préoccupation majeure en agriculture. La présence simultanée d'espèces adventices et cultivées en forte densité est susceptible de créer une relation de compétition pour les ressources disponibles. Jusqu'au XIX<sup>e</sup> siècle, le désherbage manuel effectué par les femmes et les enfants était fréquent. Avec le développement du machinisme au milieu du XIX<sup>e</sup> siècle, sont apparues les herse et sardeuses tractées par des chevaux. À la fin du XIX<sup>e</sup> siècle, les premiers produits minéraux ou organiques à effets herbicides sont utilisés, et c'est juste avant la seconde Guerre Mondiale que sont apparus les herbicides de synthèse (Gasquez, 2018). Le désherbage a permis d'augmenter les rendements des cultures mais au prix d'efforts constants et d'un coût non négligeable pour l'agriculteur. L'avènement des herbicides de synthèse a été une étape majeure : leur efficacité a été telle que la mobilisation des leviers classiques préventifs et curatifs de gestion de la flore adventice est devenue secondaire dans de nombreux systèmes de culture. Cependant, depuis une vingtaine d'années, le modèle agricole intensif est remis en question, avec en particulier le recours aux nombreux produits phytosanitaires accusés de dégrader les ressources en eau, la biodiversité et la santé publique. À ceci s'ajoute une prise de conscience des services écosystémiques rendus par les espèces adventices, comme la production de ressources en pollen, nectar, feuilles ou semences, qui sont à la base des réseaux trophiques des agrosystèmes.

Dans plusieurs cas, des substances actives herbicides (le terme *molécule* sera utilisé dans la suite du texte) ont pu prendre une place prépondérante dans la gestion de la flore adventice d'une culture donnée ou même dans la conception du système de culture. Aussi, le retrait ou l'annonce du retrait de ces molécules suscitent-ils de nombreuses interrogations sur les conséquences de ces décisions. L'objectif de cette synthèse est de faire une comparaison, à plus de 15 ans d'écart, des interrogations et des discussions qui ont précédé le retrait ou le futur retrait de deux molécules majeures : l'atrazine au début des années 2000 et le glyphosate dans le contexte actuel. Pourquoi l'arrêt d'une simple molécule peut-il créer tant de débats ? Quelles ont été les conséquences du retrait de l'atrazine sur les stratégies de gestion de la flore adventice ? Quelles pourraient être les solutions alternatives et les conséquences agronomiques du retrait du glyphosate ?

## 2 États des lieux de deux molécules herbicides emblématiques

### 2.1 Les raisons du succès de ces deux molécules herbicides

L'atrazine et le glyphosate sont deux molécules utilisées mondialement pour gérer la flore adventice. En 2017, le glyphosate est l'herbicide le plus utilisé au monde (Duke, 2018), avec plus de 47 000 tonnes utilisées dans 31 pays européens (Antier *et al.*, 2020). Cette molécule est également la plus vendue en France de 2009 à 2017, et représente environ 30 % du volume total d'herbicides vendus (Fugit et Moreau, 2019).

En France, l'atrazine a été utilisée pendant plus de 40 ans (1960–2003) et était en 2001 la principale matière active de désherbage du maïs (Rabaud, 2003).

L'action herbicide de l'atrazine (groupe HRAC C1) a été découverte dans les années 1950. La molécule (Tab. 1) est efficace sur jeunes plantules et pénètre principalement par les racines et est donc utilisée essentiellement en pré-levée (Gauvrit, 1996). Sa longue persistance dans le sol, permet de gérer les levées échelonnées en un seul passage. Elle était utilisée très majoritairement pour désherber le maïs, mais également d'autres cultures comme le sorgho ou la vigne (Anonyme, 1961–2020).

Le glyphosate est commercialisé depuis 1974 (Duke, 2018). C'est une molécule systémique à pénétration foliaire (Tab. 1), qui possède un mode d'action unique (groupe HRAC G). Après absorption, la molécule est donc distribuée dans l'ensemble des parties de la plante et en particulier dans les racines. Le glyphosate est très efficace sur les graminées ainsi que sur de nombreuses dicotylédones, et à dose plus élevée sur des espèces vivaces. En France et en Europe, il permet de gérer la flore adventice en interculture, de détruire les couverts et les prairies et de gérer l'enherbement dans les vergers et les vignes (Reboud *et al.*, 2017 ; Antier *et al.*, 2020). Au niveau mondial, l'utilisation du glyphosate a fortement augmenté depuis l'apparition de cultures tolérantes à cette matière active (1996) et depuis que le brevet est dans le domaine public (2000), permettant ainsi de réduire fortement son coût (Benbrook, 2016). Le glyphosate a également permis le développement de l'agriculture de conservation, en offrant la possibilité de gérer la flore adventice sans un travail du sol préalable au moment du semis (Rodriguez *et al.*, 2019). La combinaison de l'ensemble de ces caractéristiques ont fait du glyphosate « *the most successful herbicide in history* » (Duke 2018).

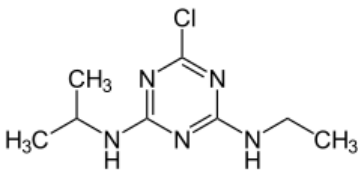
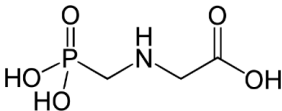
Les raisons du succès de ces deux molécules sont liées à la fois à une excellente efficacité, un spectre d'action très large et un faible coût. Ces deux molécules sont, ou ont été, également utilisées en zones non agricoles, pour l'entretien des infrastructures (bords des routes, voies ferrées) et des jardins. Toutefois, la grande différence d'utilisation entre l'atrazine et le glyphosate est que la première molécule est utilisée pour la gestion de la flore en présence de la culture (molécule sélective), tandis que le glyphosate peut être qualifié d'« herbicide du système de culture » (molécule non sélective), utilisé essentiellement en interculture (Gauvrit, 1996).

### 2.2 Développement de problèmes de résistance

Le succès agronomique de l'atrazine commence à se ternir en 1968, lorsque l'existence d'une espèce résistante est confirmée aux États-Unis (Ryan, 1970). Le nombre d'espèces résistantes à l'atrazine ne cesse d'augmenter partout dans le monde, notamment les chénopodes (*Chenopodium* sp.), morelles (*Solanum* sp.) et amarantes (*Amaranthus* sp.) (Heap, 2020) avec, en France, une première détection de résistance en 1978 (Ducruet et Gasquez, 1978). Pendant de nombreuses années, les résistances aux triazines ont été les principaux modèles d'étude des résistances aux herbicides (Fig. 1).

Ce n'est qu'après plus de 20 ans d'utilisation du glyphosate en 1996 (Heap, 2020), que les premières populations résistantes ont été observées chez *Lolium rigidum* (Fig. 1). Cela coïncide avec l'apparition de plantes génétiquement modifiées (PGM) tolérantes au glyphosate qui permettent de

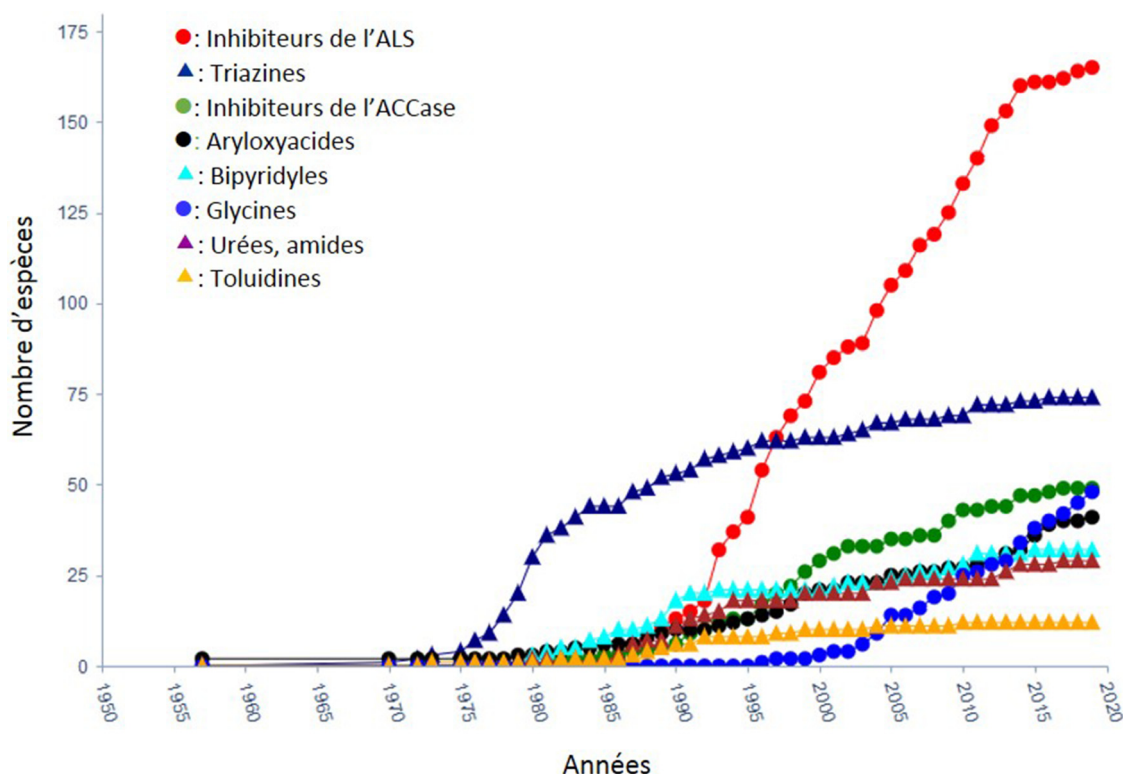
**Tableau 1.** Résumé des caractéristiques du glyphosate et de l'atrazine pour la France.**Table 1.** Summary of atrazine and glyphosate characteristics in France.

Description	Atrazine	Glyphosate
Formule chimique		
Nom UICPA	2-chloro-4-(éthylamine)-6-(isopropylamine)-s-triazine	N-(phosphonométhyl) glycine
Formule brute	C <sub>8</sub> H <sub>14</sub> ClN <sub>5</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> NO <sub>5</sub> P
Famille	Triazines – Chlorotriazines. (12 substances homologuées de 1957 à 2019)	Aminophosphonates glycines (seule substance homologuée)
Société initiale	Geigy	Monsanto
Période d'utilisation	1960 – 2003	1975 – 2022 ?
Domaine publique	1978	2000
Groupe HRAC Groupe WSSA	C1 5	G 9
Modes d'action	Inhibiteur de la photosynthèse par blocage de la protéine D1 du photosystème II	Inhibiteur de l'énolpyruvyl shikimate phosphate synthase (EPSP). Blocage de la synthèse des acides aminés : phénylalanine, tyrosine et tryptophane
Pénétration	Racinaire et faiblement foliaire	Foliaire
Migration	Importante par le xylème Molécule systémique	Importante par le xylème et le phloème. Molécule systémique
Espèces adventices visées	Toutes espèces adventices annuelles ou vivaces	Selon la dose, toutes espèces adventices annuelles ou vivaces
Résistance	1 <sup>er</sup> cas en 1978 en France	Quelques cas en France dans la vigne à partir de 2005
Espèces résistantes	Plusieurs graminées et eudicotylédones	<i>Lolium rigidum</i> et <i>Conyza sumatrensis</i>
Type de résistance	Résistance par modification de la cible	Résistances par surexpression ou modification de la cible et résistances par efflux, séquestration intracellulaire et moléculaire
Dégradation	Demi-vie de la déséthylatrazine : - de l'ordre de 140 à 150 jours dans le sol - 6 mois dans l'eau	Demi-vie de l'AMPA : - de 2 à 5 jours dans le sol - de 1,7 à 142 jours dans l'eau

détruire les adventices avec cet herbicide sans dommages pour la culture. En France, dans des situations agronomiques très différentes, les premiers cas de résistance ont été observés en viticulture en 2005 (Favier et Gauvrit, 2007). Le glyphosate est aujourd'hui une molécule modèle dans l'étude de la résistance aux herbicides car un nombre important de mécanismes différents a été identifié (Heap, 2020).

### 2.3 Des problématiques environnementales et de santé publique

Une utilisation aussi massive et généralisée de l'atrazine et du glyphosate ne pouvait qu'être source d'inquiétudes par rapport aux conséquences sur l'environnement et la santé humaine. En effet, quelques dizaines d'années après le début



**Fig. 1.** Nombre d'espèces concernées par une résistance dans le monde en fonction des familles de matières actives : ▲ triazines (famille de l'atrazine) et ● glycines (famille du glyphosate). D'après ©2020 [WeedScience.org](https://www.weedscience.org/), Dr. Ian Heap 04/02/2020.

**Fig. 1.** Number of resistant weed species in the world. ▲ triazines (atrazine's family); ● glycines (glyphosate's family). From ©2020 [WeedScience.org](https://www.weedscience.org/), Dr. Ian Heap 04/02/2020.

de l'utilisation de l'atrazine, la molécule est retrouvée dans les eaux de surface et souterraines à des concentrations supérieures à la norme autorisée pour l'eau destinée à la consommation humaine (norme EDCH) en Europe, mais aussi à la norme de qualité environnementale (NQE) (Miquel, 2003). Cette contamination est généralisée dans toute la France et dans le monde. De leur côté, le glyphosate ainsi que son principal métabolite, l'acide aminométhylphosphonique (AMPA), sont essentiellement retrouvés dans les eaux de surface (taux de quantification respectivement de 50 % et 74 % en 2017), où les concentrations peuvent dépasser la norme EDCH, sans toutefois qu'en aucun point de prélèvement la moyenne annuelle soit supérieure à la NQE (Anses, 2019a).

De nombreux acteurs se sont impliqués pour trouver des solutions à la contamination des cours d'eau par l'atrazine, et ce, même avant son retrait officiel. Les efforts pour limiter les transferts d'atrazine et l'adoption de certaines pratiques, ont rapidement conduit à une amélioration significative de la qualité des eaux (Maillet-Mezery *et al.*, 2007). Cependant, l'atrazine est une molécule possédant une forte rémanence, si bien que plus de 15 années après sa dernière utilisation, on peut encore la retrouver dans les eaux (PHYT'EAUVERGNE, 2016). Si l'atrazine elle-même n'est actuellement présente qu'à de faibles fréquences, son principal produit de dégradation, la déséthylatrazine, est plus fréquemment détectée (taux de détection de 4 % et de 17 % respectivement). Pour ces deux

produits, la concentration est supérieure à la norme de potabilité dans 1 % des points de prélèvements (PHYT'EAUVERGNE, 2016).

La non-inscription de l'atrazine à l'annexe I du document de la Commission européenne (2004) ne fut pas motivée par des raisons de toxicité humaine ou d'écotoxicité, mais par l'incapacité des notifiants à démontrer que sa concentration dans les eaux souterraines ne dépasserait pas 0,1 µg/L. Par la suite, l'atrazine fut soupçonnée d'être un perturbateur endocrinien (Hayes *et al.*, 2011) et de fait, l'US EPA (United States Environmental Protection Agency) a conclu que l'atrazine a le potentiel d'interagir avec les voies androgène et œstrogène (Farruggia *et al.*, 2016).

L'effet du glyphosate a été étudié sur de nombreux organismes. Ces travaux avaient pour objectif de révéler un danger, ce qui a conduit parfois à tester des concentrations de l'herbicide bien supérieures à celles trouvées dans l'environnement, comme dans les travaux de Annett *et al.* (2014). Certaines de ces études ont conclu à une action délétère du glyphosate sur plusieurs espèces animales (Rohr et McCoy, 2010). Cependant, les analyses de risque (danger × exposition) conduites par les agences sanitaires de divers pays ont toutes conclu à l'absence de risque inacceptable, comme montré par exemple par l'EFSA (2015). De même, dans le domaine de la toxicité humaine, les conclusions du Centre international de la recherche sur le cancer (CIRC), n'ont pas été suivies par les autres agences nationales et



européenne, qui ont conclu à une absence de caractère cancérigène du glyphosate (Decoin, 2016).

## 2.4 Des décisions d'interdiction largement contestées

En France, à la suite de contaminations d'eaux destinées à la consommation humaine, les doses d'application maximales d'atrazine ont été progressivement diminuées, passant de 2 500 g/ha/an avant 1990 à 1 000 g/ha/an en 1998. L'usage de l'atrazine a été également restreint, en 1991, aux seules cultures de maïs et de sorgho, et en 1997 elle a été interdite sur les zones non agricoles (Anonyme, 1961–2020). Des réglementations locales ont été prises dès 1998 pour diminuer les transferts d'atrazine dans les eaux, notamment dans certains bassins versants et également en Bretagne où un arrêté préfectoral a interdit les applications à moins de 15 m d'un cours d'eau ou d'un point d'eau (Bibard *et al.*, 2001).

En France, l'annonce de l'interdiction de l'atrazine a été faite fin octobre 2001 par le ministère de l'Agriculture et de la Pêche pour une fin d'utilisation en 2003 (Miquel, 2003). Certains pays avaient devancé la réglementation européenne, comme l'Allemagne et l'Italie, en interdisant la molécule dès le début des années 1990 (Ackerman, 2007). L'atrazine reste néanmoins encore autorisée actuellement dans de nombreux pays, notamment aux États-Unis où elle est très largement utilisée. En France, les contestations ont été vives de la part de la profession agricole du fait des inquiétudes sur les solutions de désherbage alternatives, jugées incertaines. L'atrazine était un pilier du raisonnement du désherbage et son retrait a remis en question les systèmes de culture en place jusque-là.

En 2017, la Commission européenne a renouvelé l'approbation du glyphosate pour cinq ans. Des tensions fortes sont apparues dans la société française entre organisations non gouvernementales (Greenpeace, Générations futures et Amis de la terre, par exemple) exigeant le retrait immédiat du glyphosate en se basant sur le principe de précaution lié aux conclusions du CIRC, et associations d'agriculteurs (notamment celles prônant une agriculture de conservation) insistant sur le côté indispensable et bénéfique de cette molécule. Une importante campagne de presse a appuyé la demande d'interdiction de la molécule tandis que l'absence de critères scientifiques dans les débats interrogeait et mettait en difficulté les instances d'évaluation. Le caractère fortement médiatique du glyphosate est lié en partie à un amalgame entre cette molécule herbicide et la firme dépositaire du brevet, Monsanto, qui est étroitement associée aux PGM, non autorisées en France. En 2018, le Gouvernement français a annoncé un plan de sortie du glyphosate qui vise à mettre fin à ses principaux usages en trois ans et à son interdiction définitive en cinq ans, mais les modalités restent encore très floues et les délais paraissent actuellement difficiles à tenir. Le retrait des autorisations de 36 produits à base de glyphosate fin 2019 et le refus d'autoriser quatre nouveaux produits (Anses, 2019b) s'inscrivent dans une volonté globale de réduire l'utilisation de cette molécule. Le Luxembourg serait le premier pays de l'Union européenne à interdire le glyphosate fin 2020 (Ministère de l'Agriculture, de la Viticulture et du Développement rural, 2020).

## 3 Les problématiques liées à l'interdiction, les moyens mis en œuvre et les solutions développées pour y répondre

Tout au long de l'histoire des herbicides de synthèse, des molécules ont été autorisées ou retirées en fonction de leur efficacité ou de leur dangerosité. À partir des années 2000, le nombre de molécules retirées devient supérieur au nombre de molécules homologuées (Chauvel *et al.*, 2012). Les démarches engagées pour interdire l'atrazine et le glyphosate ne sont donc pas exceptionnelles.

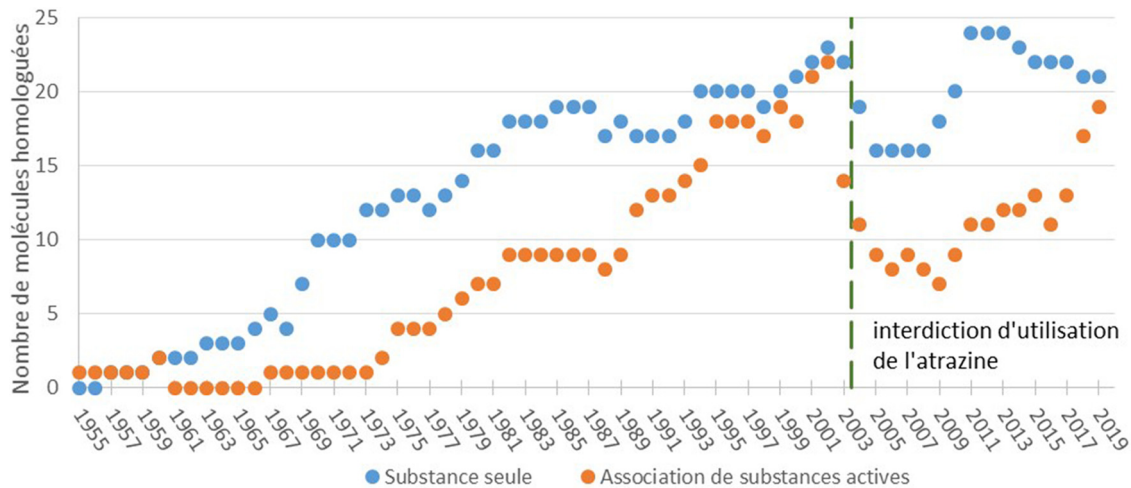
### 3.1 Désherber le maïs sans atrazine

De manière surprenante, il est relativement difficile de dresser un bilan *a posteriori* du retrait de l'atrazine, car il existe très peu d'études analysant ses répercussions sur le désherbage du maïs. Comparé à l'importante bibliographie qu'a suscitée l'annonce de l'arrêt de cette molécule, il semblerait que le sujet ait été rapidement résolu sur le terrain et qu'il n'y ait pas eu d'augmentation des cas d'échec du désherbage (Pierson, 2009). Différentes stratégies ont été mises en place (principalement substitution par d'autres molécules herbicides, et également travail mécanique ou désherbage mixte) et se sont montrées efficaces.

Le désherbage chimique du maïs a pu être maintenu grâce à l'homologation d'autres molécules (Fig. 2). Les stratégies de traitement en pré-levée ont souvent été associées à des traitements de post-levée qui ont permis de gérer correctement la flore adventice (Bibard et Nicolier, 2007). La reconnaissance de la flore présente dans la parcelle est également devenue incontournable et, pour maximiser l'efficacité des produits, il est recommandé de tenir compte des conditions climatiques pour positionner les traitements et adapter les doses (Renoux *et al.*, 2003). Ainsi, globalement, les stratégies de gestion sont devenues plus techniques qu'auparavant et ne sont plus systématiques : elles doivent être adaptées à la parcelle, car le large spectre d'action et l'efficacité de l'atrazine ne sont pas égalés (Renoux *et al.*, 2003).

L'interdiction de cette molécule, pilier du désherbage du maïs, a aussi permis d'élargir la réflexion de la gestion des adventices. L'objectif du « zéro adventice » a été écarté (Pierson, 2009) et des réflexions ont été portées sur la diminution des impacts du désherbage sur l'environnement. Ce retrait a été l'occasion d'introduire le désherbage mécanique, potentiellement bien adapté à la culture du maïs. Bien qu'efficace sur l'inter-rang, il ne semble pas avoir été retenu par une majorité d'agriculteurs (Lecomte, 2008). Ceci est certainement lié à un temps de travail plus long et à une efficacité fortement dépendante des conditions pédo-climatiques. Le désherbage mixte par une désherbineuse, avec un traitement herbicide du rang associé à un binage de l'inter-rang pour réduire l'utilisation des molécules herbicides, semble avoir été peu adopté. Ceci s'explique par l'investissement que représente un tel outil et la difficulté de combiner les conditions optimales pour les désherbages chimique et mécanique (Cael, 2001).

Ackerman (2007) a comparé la situation de la production de maïs en Allemagne et en Italie, pays pour lesquels l'utilisation de l'atrazine est interdite depuis 1991, avec celle



**Fig. 2.** Évolution du nombre de molécules homologuées pour désherber le maïs en France. En bleu : molécules homologuées seules ; en orange : molécules homologuées en association. (Chauvel, communication personnelle ; données : [Anonyme, 1961–2020](#)).

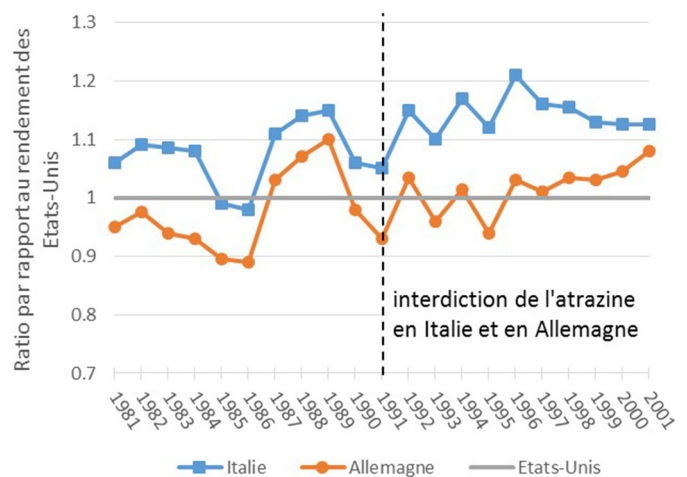
**Fig. 2.** Evolution of the number of active ingredients registered for maize weeding in France. Blue dots: active ingredients used alone; orange dots: active ingredients used in mixture. (Chauvel, personal communication; data: [Anonyme, 1961–2020](#)).

des États-Unis, où l'atrazine est encore utilisée actuellement. Après 1991, il n'observe pas de diminution de rendement pour l'Allemagne et l'Italie ([Fig. 3](#)). Il constate également une augmentation des surfaces pour ces deux pays et une stagnation aux États-Unis. L'interdiction de cette molécule ne semble donc pas avoir eu une influence importante sur la production du maïs en Allemagne et en Italie ; des solutions alternatives ont certainement été mises en place pour gérer efficacement la flore adventice.

C'est au niveau économique que se trouve donc la principale conséquence du retrait de l'atrazine, avec une augmentation des coûts de désherbage de 20 % entre 2002 et la fin des années 2000 ([Pierson, 2009](#)).

### 3.2 La gestion des adventices sans glyphosate

Si l'interdiction de l'atrazine avait été annoncée plusieurs années à l'avance, l'annonce du retrait du glyphosate a été plus brusque avec peu de temps pour développer des travaux de recherche sur des pratiques alternatives qui s'annoncent plus complexes. De plus, en fonction de son niveau d'utilisation, occasionnel, récurrent ou systématique ([Antier \*et al.\*, 2020](#)), se passer du glyphosate va représenter une difficulté agronomique plus ou moins élevée. Tout d'abord, la possibilité de substitution du glyphosate par une autre molécule semble beaucoup plus limitée après le retrait successif des autres molécules non sélectives (aminotriazole, paraquat, glufosinate). Deux molécules herbicides sont encore autorisées en France en interculture (2,4-D et dicamba – groupe HRAC O) mais ne sont efficaces que sur eudicotylédones. Trois acides à action herbicide (acide acétique, acide caprylique et acide pélargonique), classés parmi les molécules considérées comme naturelles ([Anonyme, 1961–2020](#)), pourraient être utilisés, mais leur efficacité sur de grandes surfaces et leur coût restent à quantifier (efficacité sur les espèces vivaces, quantité d'acide à utiliser, volume d'eau, etc.).



**Fig. 3.** Évolution du rendement du maïs dans trois pays, en proportion du rendement des États-Unis (moyenne mobile ; d'après [Ackerman, 2007](#)).

**Fig. 3.** Maize yields in three countries, relative to United States (moving average; from [Ackerman, 2007](#)).

Le principal levier pour se passer du glyphosate, comme pour tout autre herbicide, consiste à réintroduire des pratiques de travail du sol (labour, déchaumages et faux-semis) ([Cellule d'animation nationale DEPHY, 2018](#)). Néanmoins, ce retour au travail mécanique risque d'augmenter les charges de mécanisation et les émissions de gaz à effet de serre ([Rodriguez \*et al.\*, 2019](#)). Cette hypothèse n'a cependant pas été vérifiée avec les fermes du réseau DEPHY (réseau national qui regroupe 3 000 fermes engagées dans une démarche de réduction des produits phytosanitaires) ([Cellule d'animation nationale DEPHY, 2018](#)). Cependant, les problèmes environnementaux liés au travail du sol posent aussi question (érosion et perturbation de l'activité biologique des sols par exemple).

Des techniques plus innovantes, telles que le désherbage électrique ou l'utilisation de nouveaux rouleaux broyeurs ont vu le jour ces dernières années et pourraient être des alternatives au glyphosate. De même, des essais locaux par des agriculteurs ont montré que l'utilisation de troupeaux d'ovins pendant la période d'interculture pouvait assurer un désherbage de qualité (Chauvel, communication personnelle). Si des méthodes alternatives existent potentiellement, elles ne sont encore qu'à l'état de prototypes et leur application sur de grandes surfaces et leur généralisation demandent encore à être validées d'un point de vue agronomique et environnemental.

Comme pour l'atrazine, l'efficacité et le large spectre d'action du glyphosate ne seront pas égalés par les solutions alternatives, car elles sont notamment plus sensibles aux conditions météorologiques. En complément d'un travail du sol raisonné, l'allongement de la rotation, le choix des cultures et l'alternance de périodes d'interculture longues et courtes sont à la base des réflexions agronomiques (Rodriguez *et al.*, 2019). Depuis février 2019, un centre de ressource (<https://ecophytopic.fr/centre-de-ressources-glyphosate>) rend accessible l'ensemble des alternatives au glyphosate existantes. La seule certitude réside dans l'augmentation du temps de travail liée aux débits de chantier plus long lors d'un travail mécanique et à l'augmentation du nombre d'opérations. Des coûts supplémentaires de désherbage seraient donc à prévoir avec l'interdiction du glyphosate.

Une enquête inter-institut auprès des agriculteurs français (ACTA *et al.*, 2020) a mis en évidence un désarroi de la part des agriculteurs lors de l'annonce du retrait du glyphosate ; 78 % des 6335 répondants estiment ne pas avoir identifié d'alternatives. L'enquête a également montré que les principaux leviers mobilisés par les 352 agriculteurs n'utilisant pas cette molécule, sont cohérents avec ceux cités plus haut, à savoir le faux-semis, l'implantation de couverts d'interculture, le labour et l'allongement des rotations. Ces mêmes leviers ont également été cités comme des alternatives par les 1428 agriculteurs actuellement utilisateurs de glyphosate. Les principales craintes qui ressortent de l'enquête sont liées à une gestion plus difficile des adventices, en particulier des vivaces, et à l'augmentation des charges de mécanisation et donc des coûts de production.

Pour les systèmes conçus sur une réduction ou une suppression du travail du sol, le retrait du glyphosate pose beaucoup plus de problèmes. Le développement de tels systèmes a été permis grâce à une gestion bien maîtrisée de la flore adventice et des couverts en interculture par l'utilisation du glyphosate. Les solutions alternatives autres que le recours au travail du sol étant réduites, les systèmes en agriculture de conservation ainsi que les zones en pente où le travail du sol n'est pas possible, seront très impactés par le retrait du glyphosate.

#### 4 Mise en perspective de l'arrêt de l'atrazine et du glyphosate

L'annonce du retrait de l'atrazine et du glyphosate a provoqué des inquiétudes et des contestations de la part de la profession agricole. Si dans le cas du retrait de l'atrazine des alternatives chimiques ont pu rapidement être trouvées, dans le

cas du glyphosate, il faut repenser les systèmes de culture et accepter « des changements profonds » (Reboud *et al.*, 2017). Un certain nombre de blocages (pression du marché, maintien des rendements, informations incomplètes sur les problèmes liés aux molécules) peuvent limiter la capacité des agriculteurs à faire évoluer leur système (Wilson et Tisdell, 2001). Pour valider une nouvelle technique ou un nouveau système, il n'est pas suffisant de vérifier son efficacité directe, il faut également prendre en compte, à l'aide d'évaluations multicritères, les impacts économiques et organisationnels que cela génère, ainsi que les effets non-intentionnels, sur l'environnement ou la biodiversité par exemple (Rodriguez *et al.*, 2019).

Enfin, il n'existe pas une et unique solution pour pallier ces retraits et il faut mobiliser un ensemble de leviers, complémentaires et durables pour gérer la flore adventice, et les adapter à la parcelle, à la culture et à la situation de production (Fugit et Moreau, 2019). Dans tous les cas, l'agronomie reprend une place plus importante (Rodriguez *et al.*, 2019), car son intérêt était jusque-là masqué par la remarquable efficacité de ces deux molécules herbicides.

Une des grandes différences entre les contextes de retrait de ces deux molécules est la dynamique dans laquelle ces interdictions se sont inscrites. Pour l'atrazine, même si des solutions alternatives non-chimiques ont été adoptées par certains agriculteurs, cette molécule a majoritairement été remplacée par d'autres molécules. La principale limite au principe de substitution, s'il ne s'accompagne pas d'une démarche globale pour réduire les impacts du désherbage, est que les molécules de substitution seront également retrouvées dans les eaux (Bibard *et al.*, 2001). C'est ce qui s'est passé en Italie, où l'atrazine a été interdite en 1991 : dans les premières années qui suivirent l'interdiction, d'autres molécules de substitution (terbuthylazine, métolachlore et alachlore par exemple) ont été à leur tour retrouvées en fortes concentrations dans l'eau et n'avaient pas de meilleurs profils environnementaux que l'atrazine (Giupponi, 2001).

Le retrait du glyphosate s'inscrit davantage dans une réflexion globale sur l'usage des produits phytosanitaires et s'insère dans une politique plus large pour développer une agriculture qui en est moins dépendante (Commission européenne, 2009). Le plan Écophyto II+, mis en place en France en 2018, vise à réduire de 50 % l'utilisation des produits phytosanitaires à l'horizon 2025 (Ministère de la transition écologique et solidaire, 2018). Les alternatives au glyphosate seront quasi exclusivement non-chimiques et traduisent une réflexion sur la gestion des adventices plus globale qu'une simple substitution. Il est prévisible que d'autres molécules soient aussi interdites dans un avenir proche ; aussi, l'élaboration de stratégies sans glyphosate doit-elle tenir compte des possibles interdictions futures. Se passer du glyphosate est une réelle contrainte dans certains cas, mais cela peut aussi être vu comme une opportunité de faire sauter un verrou technique et d'adopter à large échelle des pratiques agronomiques et écologiques de gestion des adventices (Fugit et Moreau, 2019).

Cependant, ces évolutions réglementaires ont un impact très fort sur les exploitations agricoles et peuvent même remettre complètement en question des systèmes agricoles comme l'agriculture de conservation, jusque-là encouragés par les aides agricoles (financement de formations, achat de



semoirs par exemple, création d'un label « Au Cœur des Sols »<sup>©</sup> Apad pour ses intérêts environnementaux multiples. Plus généralement, les alternatives peuvent être difficiles et longues à trouver pour la gestion des vivaces ou des adventices estivales à risques sanitaires (*Ambrosia* sp., *Datura stramonium*) (Fugit et Moreau, 2019). Ces réglementations incitent par ailleurs à une réflexion plus globale des effets de l'agriculture sur l'environnement (érosion, rejet de nitrates ou de phosphates) et sur la santé humaine (Commission européenne, 2009).

## 5 Conclusion

La problématique liée aux espèces adventices n'est pas à négliger, tant au niveau des pertes de rendement, que de la dégradation de la qualité des récoltes ou de la santé publique (plantes allergisantes et contamination des récoltes par des alcaloïdes par exemple). Les nombreuses évolutions réglementaires ont poussé les agriculteurs à modifier et faire évoluer leurs systèmes et leurs exploitations, mais jusqu'à aujourd'hui, ils ont toujours su s'adapter. Actuellement, il conviendra donc d'assumer la réduction de l'usage de ces molécules herbicides très efficaces dont l'utilisation est remise en cause par une partie de la population. Aux États-Unis, ce sont les dégâts liés à la volatilité du dicamba qui font fortement débat, du fait de son utilisation importante pour contrôler les adventices résistantes au glyphosate dans les PGM (Sall *et al.*, 2020).

Malgré l'écart dans le temps, un contexte sociétal et une utilisation de l'atrazine et du glyphosate différente, une comparaison des tensions liées au retrait de ces deux molécules semble aussi bien intéressante d'un point de vue efficacité de gestion de la flore que dans les processus liés à l'interdiction. Pour ces deux molécules, on peut noter que leur efficacité et leur faible coût ont bloqué ou bloquent toute réflexion agronomique et ont masqué ou masquent l'intérêt pour la biologie et la dynamique des espèces adventices.

Actuellement en France, les débats sont tournés vers le glyphosate, molécule symbole des PGM et des systèmes de culture simplifiés à l'extrême. Première molécule utilisée au monde, son utilisation questionne plus généralement sur la réduction voire l'arrêt de l'épandage des produits phytosanitaires, fortement critiqués pour leurs impacts environnementaux et sur la santé publique. Trouver des alternatives à l'utilisation de produits phytosanitaires consiste maintenant à re-concevoir des systèmes en s'appuyant sur une bonne connaissance des adventices et des leviers agronomiques à combiner pour les maîtriser. Il s'agit aussi de concilier des objectifs économiques (coût du poste désherbage, des investissements matériels), sociaux (temps de travail, pénibilité des tâches, main d'œuvre peu payée) et environnementaux (biodiversité, émission de gaz à effet de serre), ce qui rend le défi complexe.

**Remerciements.** Les auteurs remercient le GIS Grande Culture à Hautes Performances Économiques et Environnementales (GC HP2E) pour avoir financé le projet.

## Références

Ackerman F. 2007. The economics of atrazine. *International Journal of Occupational and Environmental Health* 13(4): 437–445. DOI: 10.1179/coh.2007.13.4.437.

- 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>.
- Annett R, Habibi HR, Hontela A. 2014. Impact of glyphosate and glyphosate-based herbicides on the freshwater environment. *Journal of Applied Toxicology* 34(5): 458–479. DOI: 10.1002/jat.2997.
- Anonyme. 1961–2020. Index Phytosanitaire ACTA. Paris, France : ACTA.
- Anses. 2019a. Glyphosate. *Phytopharmacovigilance* 2017(04): 16. [https://www.anses.fr/fr/system/files/Fiche\\_PPV\\_Glyphosate.pdf](https://www.anses.fr/fr/system/files/Fiche_PPV_Glyphosate.pdf).
- Anses. 2019b. L'Anses annonce le retrait de 36 produits à base de glyphosate. [2020/01/27]. <https://www.anses.fr/fr/content/l%E2%80%9999anses-annonce-le-retrait-de-36-produits-%C3%A0-base-de-glyphosate>.
- 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. DOI: 10.15454/A30K-D531.
- Benbrook CM. 2016. Trends in glyphosate herbicide use in the United States and globally. *Environmental Sciences Europe* 28: 1–15. DOI: 10.1186/s12302-016-0070-0.
- Bibard V, Nicolier S. 2007. Comparaison des différentes stratégies de désherbage du maïs. In : 20<sup>e</sup> conférence du COLUMA, journées internationales sur la lutte contre les mauvaises herbes, Dijon, France, pp. 658–666.
- Bibard V, Thierry J, Marquet N, Tournayre JC. 2001. Produire et reconquérir la qualité de l'eau : le territoire de la Fontaine du Theil. *Perspectives Agricoles* 272: 34–39.
- Cael N. 2001. Le désherbage mixte du maïs. *Phytoma* 538: 18–21.
- Chauvel B, Guillemin 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. DOI: 10.1016/j.cropro.2012.07.011.
- Cellule d'animation nationale DEPHY. 2018. Le glyphosate dans le réseau DEPHY FERME. 42 p. [https://ecophytopic.fr/sites/default/files/Brochure%20Glyphosate%20DEPHY\\_vf\\_num\\_2.pdf](https://ecophytopic.fr/sites/default/files/Brochure%20Glyphosate%20DEPHY_vf_num_2.pdf).
- Commission européenne. 2004. Décision de la commission du 10 mars 2004 concernant la non-inscription de l'atrazine à l'annexe I de la directive 91/414/CEE du Conseil. *Journal officiel de l'Union européenne*, L 78/53, 16.03.2004. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/PDF/?uri=CELEX:32004D0248>.
- Commission européenne. 2009. Directive 2009/128/CE du 21 octobre 2009 instaurant un cadre d'action communautaire pour parvenir à une utilisation des pesticides compatible avec le développement durable. *Journal officiel de l'Union européenne*, pp. 71–86. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/PDF/?uri=CELEX:32009L0128>.
- Decoin M. 2016. Glyphosate : ce qu'en disent le Circ, l'Efsa et l'Anses. *Phytoma* 694: 10–14.
- 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. DOI: 10.1016/0045-6535(78)90096-6.
- Duke SO. 2018. The history and current status of glyphosate. *Pest Management Science* 74(5): 1027–1034. DOI: 10.1002/ps.4652.
- EFSA (European Food Safety Authority). 2015. Conclusion on the peer review of the pesticide risk assessment of the active substance glyphosate. *EFSA Journal* 13(11): 107. DOI: 10.2903/j.efsa.2015.4302.
- Favier T, Gauvrit C. 2007. Premier cas de résistance au glyphosate en France. In : 20<sup>e</sup> conférence du COLUMA, journées internationales sur la lutte contre les mauvaises herbes, Dijon, France, pp. 233–237.



- Farruggia FT, Rossmeisl CM, Hetrick JA, Biscoe M. 2016. Refined ecological risk assessment for atrazine. Washington, DC: US Environmental Protection Agency, 518 p. <https://www.epa.gov/ingredients-used-pesticide-products/draft-ecological-risk-assessments-triazines>.
- Fugit JL, Moreau JB. 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/115b2406\\_rapport-information](http://www.assemblee-nationale.fr/dyn/15/rapports/micglypho/115b2406_rapport-information).
- Gasquez J. 2018. Historique de la gestion de la flore adventice. In: *Gestion durable de la flore adventice des cultures*. Versailles (France): Éditions Quae, pp. 19–37.
- Gauvrit C. 1996. Efficacité et sélectivité des herbicides. Paris (France): Éditions INRA, 168 p.
- Giupponi C. 2001. The substitution of hazardous molecules in production processes: The atrazine case study in italian agriculture. *SSRN Electronic Journal*, 18. DOI: [10.2139/ssrn.278243](https://doi.org/10.2139/ssrn.278243).
- Hayes TB, Anderson LL, Beasley VR, De Solla SR, Iguchi T, Ingraham H, *et al.* 2011. Demasculinization and feminization of male gonads by atrazine: Consistent effects across vertebrate classes. *Journal of Steroid Biochemistry and Molecular Biology* 127(1-2): 64–73. DOI: [10.1016/j.jsbmb.2011.03.015](https://doi.org/10.1016/j.jsbmb.2011.03.015).
- Heap I. 2020. The international survey of herbicide resistant weeds. [2020/02/04]. <http://www.weedscience.org>.
- Lecomte S. 2008. Enquête Pratiques Culturelles Maïs 2006. *Agreste Aquitaine*, 4. [http://46.29.123.56/IMG/pdf\\_R7210A23.pdf](http://46.29.123.56/IMG/pdf_R7210A23.pdf).
- Maillet-Mezeray J, Thierry J, Marquet N. 2007. Bassin versant de la Fontaine du Theil. In: *20<sup>e</sup> conférence du COLUMA, journées internationales sur la lutte contre les mauvaises herbes*, Dijon, France, pp. 731–743.
- 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*. [2020/02/24]. [https://gouvernement.lu/fr/actualites/toutes\\_actualites/communiqués/2020/01-janvier/16-interdiction-glyphosate.html](https://gouvernement.lu/fr/actualites/toutes_actualites/communiqués/2020/01-janvier/16-interdiction-glyphosate.html).
- 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, pp. 136–139. <http://www.senat.fr/rap/102-215-2/102-215-21.pdf>.
- PHYTEAUVERGNE. 2016. Qualité des eaux en Auvergne. Synthèse des résultats du réseau régional de surveillance de la qualité des eaux vis-à-vis des pesticides 2015. 12 p. [http://www.fredon-auvergne.fr/phyteauvergne/pdf/Plaque\\_BSA\\_2016\\_web.pdf](http://www.fredon-auvergne.fr/phyteauvergne/pdf/Plaque_BSA_2016_web.pdf).
- Pierson P. 2009. Désherbage du maïs. Les fruits d'un réseau d'expérimentation lorrain. *Perspectives Agricoles* 358: 60–61.
- Rabaud V. 2003. L'utilisation des produits phytosanitaires sur blé et maïs en 2001. Davantage de traitements maïs réduction des doses. *Agreste Primeur* 137: 137–141.
- Reboud X, Blanck M, Aubertot JN, Jeuffroy MH, Munier-Jolain N, Thiollet-Scholtus M, *et al.* 2017. Usages et alternatives au glyphosate dans l'agriculture française. Rapport Inra à la saisine Ref TR507024. 85 p.
- Renoux J-P, Bibard V, Gautier X, Hébrard J-P. 2003. Maïs : réussir l'après atrazine. *Perspectives Agricoles* 286: 32.
- Rodriguez A, Bonin L, Buridant C, Duroueix F, Duval R, Gautellier-Vizioz L, *et al.* 2019. Retrait du glyphosate : analyse comparative de faisabilité et d'efficacité des pratiques agronomiques de remplacement. In: *24<sup>e</sup> conférence du COLUMA, journées internationales sur la lutte contre les mauvaises herbes*, Orléans, France, 13 p.
- Rohr JR, McCoy KA. 2010. A qualitative meta-analysis reveals consistent effects of atrazine on freshwater fish and amphibians. *Environmental Health Perspectives* 118(1): 20–32. DOI: [10.1289/ehp.0901164](https://doi.org/10.1289/ehp.0901164).
- Ryan GF. 1970. Resistance of common groundsel to simazine and atrazine. *Weed Science* 18(5): 614–616. DOI: [10.1017/S0043174500034330](https://doi.org/10.1017/S0043174500034330).
- Sall ED, Huang K, Pai N, Schapaugh AW, Honegger JL, Orr TB, *et al.* 2020. Quantifying dicamba volatility under field conditions: Part II, comparative analysis of 23 dicamba volatility field trials. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 68: 2286–2296. DOI: [10.1021/acs.jafc.9b06452](https://doi.org/10.1021/acs.jafc.9b06452).
- Wilson C, Tisdell C. 2001. Why farmers continue to use pesticides despite environmental, health and sustainability costs. *Ecological Economics* 39(3): 449–462. DOI: [10.1016/S0921-8009\(01\)00238-5](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(01)00238-5).

**Citation de l'article** : Mahé I, Gauvrit C, Angevin F, Chauvel B. 2020. Quels enseignements tirer du retrait de l'atrazine dans le cadre de l'interdiction prévue du glyphosate? *Cah. Agric.* 29: 29.