

GLYPHOSATE ET SES PRINCIPAUX COMPOSES

L'objectif des fiches technico-économiques (FTE) est de décrire les enjeux posés en France par la réduction ou la suppression des émissions dans l'eau, et par la substitution de substances chimiques largement utilisées ou retrouvées dans les milieux aquatiques.

Elles présentent la réglementation de la substance, dressent un bilan de sa présence dans l'environnement, et de ses usages, dont elles situent l'importance économique.

Enfin, elles recensent les moyens de réduction des rejets (substitution, traitement...).

Ces fiches sont établies à partir de recherches bibliographiques et peuvent être complétées par des enquêtes auprès d'institutions techniques professionnelles, d'experts et d'acteurs industriels.

Responsable du programme : BRIGNON JEAN-MARC

Expert ayant participé à la rédaction : CHAPON VALENTIN, MARLIERE MARYSE

Veillez citer ce document de la manière suivante :

Institut national de l'environnement industriel et des risques, GLYPHOSATE ET SES PRINCIPAUX COMPOSES, Verneuil-en-Halatte : Ineris - 181229 - v2.0, 27/03/2020.

Résumé

Nom	C.A.S.	Usages principaux	Substance prioritaire dans le domaine de l'eau (DCE)	Substance soumise à autorisation dans REACH	Substance soumise à restriction dans REACH	Substance extrêmement préoccupante (SVHC)
Glyphosate	1071-83-6	<u>Usage</u> : utilisé comme herbicide en agriculture (grandes cultures, viticultures, arboriculture) et par la SNCF pour la gestion des voies ferrées, et par des professionnels pour la gestion des espaces fermés au public.	non	non	non	non
AMPA	1066-51-9	Principal métabolite du glyphosate.	non	non	non	non

Volume de production - France		Volume de production - UE		Volume de production - Monde		Volume de consommation - France		Part de la consommation dédiée à l'usage principal en France
Non disponible	t/an	Non disponible	t/an	1 065 000	t/an (2017)	Non disponible	t/an	Non disponible

Présence dans l'environnement - France	
Eaux de surface	<p>La présence dans les eaux de surface du glyphosate et de l'AMPA (son principal métabolite) est élevée : entre 2014 et 2018 plus de 100 000 mesures ont été réalisées et sont recensées dans la base de données Naïades. 43% des mesures pour le glyphosate ont relevé des concentrations supérieures à la limite de quantification (comprise entre 0,01 et 5µg/L), 66% des mesures pour l'AMPA ont relevé des concentrations supérieures à la limite de quantification (comprise entre 0,02 et 50µg/L). Selon l'INRA, l'AMPA était en 2017 le métabolite le plus retrouvé dans les cours d'eau français.</p> <p>Dans les sédiments, la proportion de mesures dont la concentration est supérieure à la limite de quantification est de 19% pour le glyphosate et de 65% pour l'AMPA.</p> <p>Les normes de qualité environnementale (NQE) à prendre en compte dans l'évaluation de l'état écologique des eaux de surfaces continentales métropolitaines à partir du 22 décembre 2015 sont de 28 µg/L pour le glyphosate et 452 µg/L pour l'AMPA selon l'arrêté du 27/07/15 modifiant l'arrêté du 25 janvier 2010 relatif aux méthodes et critères d'évaluation de l'état écologique, de l'état chimique et du potentiel écologique des eaux de surface.</p>
Eaux souterraines	<p>Le glyphosate et l'AMPA sont faiblement présents dans les eaux souterraines. Selon l'ANSES « le glyphosate et l'AMPA sont présents, dans 3 à 4 % des prélèvements effectués dans les eaux souterraines en 2017 avec des dépassements annuels de la norme de qualité de l'eau souterraine pour les pesticides (concentration maximale de 0,1 µg/L pour chaque substance) pour moins de 1% des points de prélèvements ».</p>
Air	<p>Peu d'études ont été menées sur la présence de glyphosate et d'AMPA dans l'air en France. Néanmoins en 2004 le glyphosate a été retrouvé pour 14% des 59 échantillons étudiés dans l'air au niveau de la région Hauts-de-France. La concentration maximum retrouvée était de : 0.19 ngm-3. Entre 2014 et 2016, le glyphosate a été retrouvé en moyenne à 7% dans la région PACA, la limite de détection du glyphosate était de 0,05 ng/m3. L'AMPA n'a pas été retrouvé (sa limite de détection était de 0,28 ng/m3).</p>
Sols	<p>L'étude : <i>Distribution of glyphosate and aminomethylphosphonic acid (AMPA) in agricultural topsoils of the European Union</i>, a analysé la présence de ces substances dans le sol superficiel (15-20 cm de profondeur) de sols agricoles européens (Silva, et al., 2018). 317 échantillons de sols de 10 pays européens dont la France supportant différents types de cultures (arboriculture, viticulture, grandes cultures, prairies temporaires...). La limite de quantification était de 0,05 mg/kg pour ces deux substances. Les résultats de cette étude ont montré une présence élevée de ces substances dans la partie superficielle des sols, avec une présence évaluée à de 42% pour l'AMPA et de 21% pour le glyphosate dans les échantillons étudiés (présences supérieures à la limite de quantification). Le taux maximum observé pour le glyphosate et l'AMPA était de 2 mg/kg.</p>

Le glyphosate est utilisé comme herbicide dans le domaine agricole pour contrôler la végétation d'adventices et les plantes toxiques pouvant poser des problèmes de santé publique en interculture ou avant un semis, détruire les couverts végétaux et les prairies. Il est utilisé en viticulture et en arboriculture pour réduire la végétation entre les rangs et aux pieds des plantes. Il est également utilisé par la SNCF pour la gestion de l'enherbement des voies ferrées. Les utilisations non agricoles de glyphosate ont été réduites depuis 2017. En effet pour les personnes publiques¹ il est interdit « d'utiliser ou de faire utiliser des produits phytosanitaires pour l'entretien des espaces verts, forêts, promenades et voiries (sauf pour des raisons de sécurité ...) accessibles ou ouverts au public » ainsi que pour les jardiniers amateurs depuis le 1er janvier 2019 (la loi n°2014-110 du 6 février 2014 (dite « loi Labbé »)).

Au niveau mondial, la production de glyphosate est en augmentation depuis la fin des années 1990 avec plus d'un million de tonnes de substance active produites en 2017, majoritairement en Chine. Les ventes de glyphosate en France recensées par la BNV-d, sont également en augmentation sur la période 2009-2018. En 2017, les ventes de glyphosate ont représenté environ 30 % du volume total d'herbicides vendus, une part relativement constante depuis 2013 (Assemblée Nationale, 2018).

Le glyphosate et l'AMPA sont fortement retrouvés dans les eaux de surfaces. En 2017 selon l'ANSES, l'AMPA était le métabolite le plus retrouvé dans les cours d'eau français. Le glyphosate et son métabolite sont en revanche peu retrouvés dans les eaux souterraines. Peu d'études ont été menées à ce jour sur l'étude de la présence du glyphosate dans l'air. Peu d'études ont également été menées concernant le compartiment sol, néanmoins l'étude publiée en 2018 (Silva, et al., 2018) a évalué respectivement à 42% et 21% la présence d'AMPA et de glyphosate dans les sols superficiels agricoles européens.

L'autorisation du glyphosate a été renouvelée en 2017 pour les cinq prochaines années par le règlement d'exécution (UE) 2017/2324 de la Commission Européenne du 12 décembre 2017. Néanmoins « *La France s'est engagée à sortir du glyphosate d'ici 2020 pour la plupart des usages, puis pour tous les usages d'ici à 5 ans (2022), en veillant toutefois à ne pas laisser les agriculteurs sans solution* » (Commissariat général au développement durable, 2019). Fin 2019, 36 autorisations d'autorisations de mises sur le marché de produits (36) contenant la substance active glyphosate ont été retirées (ANSES, 2019).

Afin de réduire ou de supprimer les émissions de glyphosate vers l'environnement, il faut réduire ou supprimer son utilisation et pour cela plusieurs solutions sont possibles. A ce jour il n'existe pas une substance pouvant remplacer tous les usages du glyphosate. Les méthodes envisagées portent sur :

- la substitution de certaines utilisations du glyphosate par d'autres substances chimiques en s'assurant que leur toxicité est plus faible que celle du glyphosate ;
- la substitution par des méthodes de désherbage thermique ou mécaniques ;
- l'utilisation de techniques d'application limitant les quantités utilisées et les émissions vers l'environnement ;
- modification des pratiques agricoles afin de réduire les usages du glyphosate ou de les supprimer.

A ce jour, il semblerait que le travail du sol soit une alternative efficace pour la gestion de la végétation adventice bien que nécessitant plus de main d'œuvre et ayant elle aussi des impacts environnementaux. Dans les cas où ce travail du sol est difficile ou impossible à mettre en place, la sortie du glyphosate s'avèrera compliquée. Ce qui est le cas pour certaines pratiques agricoles comme l'agriculture de conservation du sol, les cultures aux fortes contraintes techniques, et des cultures de niches comme par exemple le rouissage du lin et la culture du tabac (Reboud & al, 2017) ...

Le glyphosate est massivement utilisé en France, c'est la deuxième substance active la plus utilisée en France, avec 12 % du total des ventes sur la période 2015-2017 (Commissariat général au développement durable, 2019). Le glyphosate est un herbicide peu onéreux et efficace, dans le cadre agricole il a donc contribué au modelage d'un certain nombre de pratiques actuelles. Ainsi la fin de son utilisation engendrera au moins à court terme des besoins et des difficultés d'adaptation : pour la mise en œuvre de moyens mécaniques chimiques ou manuels pour entretenir la végétation, le développement et l'adaptation à des techniques culturales alternatives.

¹ État, régions, communes, départements, groupements et établissements publics propriétaires d'un domaine public ou privé

Abstract

Glyphosate is used as an agricultural herbicide to control weed vegetation and toxic plants that can cause public health problems in cultivation or before seeding, and to destroy plant cover and grasslands. It is used in viticulture and arboriculture to reduce vegetation in inter-rows and at the foot of the plants. It is also used by SNCF to manage the grassing of railways. Non-agricultural uses of glyphosate have been reduced since 2017. Indeed, for public persons² it is prohibited to "use or have used phytosanitary products for the maintenance of green spaces, forests, promenades and roads (except for safety reasons...) accessible or open to the public" as well as for amateur gardeners since 1 January 2019 (la loi n°2014-110 du 6 février 2014 (dite « loi Labbé »)).

Worldwide, glyphosate production has been increasing since the late 1990s with more than one million active substances produced in 2017, mainly in China. Glyphosate sales in France, recorded by the BNV-d, are also increasing over the 2009-2018 period. In 2017, glyphosate sales represented about 30% of the total volume of herbicides sold, a relatively constant share since 2013 (National Assembly, 2018).

Glyphosate and AMPA are strongly found in surface waters. In 2017, according to ANSES, AMPA was the most common metabolite found in French rivers. Glyphosate and its metabolite, on the other hand, are rarely found in groundwater. Few studies have been conducted to date on the study of glyphosate in air. Few studies have also been conducted on the soil compartment, but the study published in 2018 (Silva, et al., 2018) estimated the presence of AMPA and glyphosate in European agricultural surface soils at 42% and 21% respectively.

The authorisation of glyphosate was renewed in 2017 for the next five years by Commission Implementing Regulation (EU) 2017/2324 of 12 December 2017. Nevertheless, "France has undertaken to phase out glyphosate by 2020 for most uses, and then for all uses within 5 years (2022), while taking care not to leave farmers without a solution" (Commissariat général au développement durable, 2019). By the end of 2019, several marketing authorisations for products (36) containing the active substance glyphosate have not been renewed (ANSES, 2019).

In order to reduce or eliminate glyphosate emissions to the environment, its use must be reduced or eliminated and for this purpose several solutions are possible; substitution by other chemical substances by ensuring that their toxicity is lower than that of glyphosate, substitution by thermal or mechanical weeding methods, the use of application techniques limiting the quantities used and emissions to the environment and the modification of agricultural practices to reduce or eliminate glyphosate uses.

To date, soil tillage is an effective alternative for weed vegetation management, although economically constraining because it is costly in terms of labour and has environmental impacts. In cases where this tillage is difficult or even impossible to implement, the glyphosate output will be complicated. This is the case for certain agricultural practices such as soil conservation agriculture, crops with high technical constraints, and niche crops such as flax retting and tobacco cultivation....

Glyphosate is used on a massive scale in France, it is the second most widely used active substance in France, accounting for 12% of total sales over the period 2015-2017 (Commissariat général au développement durable, 2019). Glyphosate is a low-cost and effective herbicide and has therefore contributed to the modelling of several current agricultural practices in agriculture. Thus, the end of its use will generate at least in the short-term needs and difficulties of adaptation: for the implementation of chemical or manual mechanical means to maintain vegetation, development and adaptation to alternative farming techniques.

² State, regions, municipalities, departments, groups and public institutions owning public or private property

Table des matières

1	GENERALITES	7
1.1	Définition et caractéristiques chimiques	7
1.2	Réglementations.....	9
1.2.1	Textes généraux.....	9
1.2.2	Réglementations d'usages	9
1.3	Valeurs et normes appliquées en France.....	10
1.3.1	Seuils de rejets pour les installations classées et les stations de traitement des eaux usées	10
1.3.2	Normes de Qualité Environnementale (NQE) et Valeur Guide environnementale (VGE).....	10
1.3.3	Valeurs appliquées pour la qualité des eaux de consommation	11
1.3.4	Valeurs appliquées en milieu professionnel	11
1.4	Autres textes.....	11
1.4.1	Eaux de rejet	11
1.4.2	Eaux souterraines.....	11
1.4.3	Contact alimentaire.....	11
1.5	Classification et étiquetage.....	11
1.6	Sources naturelles de glyphosate	12
1.7	Sources non-intentionnelles de glyphosate.....	12
2	PRODUCTION ET UTILISATIONS	13
2.1	Production et vente.....	13
2.1.1	Données économiques.....	13
2.1.2	Procédé de production	14
2.2	Utilisations	14
3	REJETS DANS L'ENVIRONNEMENT	15
4	DEVENIR ET PRESENCE DANS L'ENVIRONNEMENT.....	16
4.1	Comportement dans l'environnement.....	16
4.1.1	Dans l'atmosphère.....	16
4.1.2	Dans le milieu aquatique	16
4.1.3	Dans le milieu terrestre.....	16
4.2	Présence dans l'environnement	17
4.2.1	Généralités sur la présence dans l'environnement de glyphosate et d'ampa	17
4.2.2	Dans le milieu aquatique	17
4.2.3	Milieu Terrestre.....	19
4.2.4	Dans l'atmosphère.....	19
5	PERSPECTIVES DE RÉDUCTION DES EMISSIONS	20
5.1	Réduction des émissions et alternatives aux usages de Glyphosate.....	20
5.2	Coûts de la substitution	22
6	CONCLUSION.....	23
7	REFERENCES	24
7.1	Sites internet consultés.....	24
7.2	Bibliographie	24

1 GENERALITES

1.1 Définition et caractéristiques chimiques

Le glyphosate est un herbicide systémique, non sélectif qui se présente sous forme de poudre cristalline blanche et inodore. C'est un organophosphoré non inhibiteur des cholinestérases. Il est utilisé pour détruire les vivaces à enracinement profond et les herbes annuelles ou bisannuelles dans certaines zones cultivées.

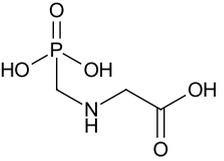
Les spécialités commerciales homologuées en France se présentent sous forme solide (granulés dispersables dans l'eau) ou liquide (solutions aqueuses ou concentrés solubles contenant aussi des agents tensio-actifs). Les produits liquides sont le plus souvent à base de sel d'isopropylamine de glyphosate.

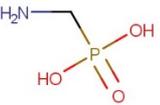
L'AMPA (Acide aminométhylphosphonique) est le principal produit de dégradation du glyphosate dans les plantes, le sol et l'eau.

Le glyphosate et l'AMPA contribuent tous deux à la dégradation de la chlorophylle, altérant ainsi les activités de photosynthèse des végétaux traités. Néanmoins ce n'est pas le même mécanisme qui est responsable de la dégradation de la chlorophylle dans chacun des cas : la molécule de glyphosate a un effet de dégradation de la chlorophylle alors que l'AMPA perturbe sa synthèse (Gomes & al, 2015).

- Solubilité : le glyphosate est modérément soluble dans l'eau (10 à 12 g/L à 20°C et pH 2) et insoluble dans la plupart des solvants organiques. Le sel d'isopropylamine est très soluble dans l'eau : 1050 g/L à 25 °C
- Réactivité : le glyphosate et son sel d'isopropylamine sont des produits stables, toutefois le glyphosate peut réagir vivement avec les bases fortes ; la réaction est exothermique. Il attaque le fer et l'acier galvanisé en libérant de l'hydrogène.
- Décomposition : par combustion, le glyphosate se décompose en dégageant des fumées toxiques contenant notamment des oxydes d'azote, des oxydes de phosphore et des oxydes de carbone.

Tableau 1 : Caractéristiques générales du glyphosate, de ses principaux sels et de l'AMPA d'après INRS, ECHA et ChemIDplus.

Substances chimiques	N°CAS	N°EINECS	Synonymes	Formes physiques
<p>Glyphosate</p>  <p>$C_3H_8NO_5P$</p>	1071-83-6	213-997-4	<p>N-(phosphonomethyl)glycine Phosphonomethyliminoacetic acid (phosphonomethyl-amino)-acetic acid N-(phosphonomethyl)-glycin N-(phosphonomethyl)glicine</p>	Solide
<p>Glyphosate sel d'isopropylamine $C_3H_9N C_3H_8NO_5P$</p>	38641-94-0	254-056-8	<p>Isopropylamine salt of glyphosate; N-(phosphonomethyl)glycine, compound with 2-propylamine (1:1); 2-(phosphonomethylamino)acetic acid ; Glyphosate-isopropylammonium</p>	Solide
<p>Glyphosate trimesium $C_3H_9S.C_3H_7NO_5P$</p>	81591-81-3	617-243-9	<p>Glyphosate mono(trimethylsulfonium) salt ; Trimethylsulfonium glyphosate; Glycine, N-(phosphonomethyl)-, ion(1-), trimethylsulfonium</p>	Solide
<p>Glyphosate sel monosodium $C_3H_8NO_5P.Na$</p>	34494-03-6	608-996-4	<p>Glycine, N-(phosphonomethyl)-, sodium salt (1:1); glyphosate-sodium ; Glyphosate monosodium salt ; N-Phosphonomethylglycine sodium salt</p>	Solide
<p>Glyphosate sel de potassium $C_3H_8N-O_5-P.K$</p>	39600-42-5	687-795-3	<p>Glyphosate-potassium ; N-phosphonomethylglycine monopotassium salt ; potassium 2- [(phosphonomethyl)amino]acetate</p>	Solide

Substances chimiques	N°CAS	N°EINECS	Synonymes	Formes physiques
Glyphosate sel de diméthylamine	34494-04-7	696-134-8	Glyphosate DMA salt; Glyphosate-diméthylammonium [ISO] ; Glyphosate diméthylamine salt ; Glycine, N-(phosphonométhyl)-, compd. with N-méthylméthanamine (1:1)	Solide
AMPA  CH ₆ NO ₃ P	1066-51-9	623-325-5	Acide aminométhylphosphonique; (aminométhyl)phosphonic acid	Solide

Les codes Sandre du glyphosate et de l'AMPA sont respectivement 1506 et 1907.

1.2 Réglementations

Les paragraphes ci-après présentent les principaux textes en vigueur à la date de la rédaction de cette fiche encadrant la fabrication, les usages et les émissions du glyphosate. Cet inventaire n'est pas exhaustif.

1.2.1 Textes généraux

1.2.1.1 REACH

Le glyphosate et l'AMPA ne sont pas classés CMR selon le règlement CLP mais font partie de l'inventaire établi par l'ECHA regroupant les substances pouvant répondre aux critères de l'Annexe III de REACH. Le glyphosate et l'AMPA sont susceptibles de remplir les critères de cancérogénicité, de mutagénicité ou de toxicité pour la reproduction des catégories 1A ou 1B.

Le glyphosate est classé potentiellement cancérogène pour les humains (groupe 2A) par l'IARC.

1.2.1.2 Directive Cadre Eau (DCE)

Le glyphosate et l'AMPA ne font pas partie des substances prioritaires listées au niveau européen pour la politique dans le domaine de l'eau citées dans la directive 2013/39/UE du 12/08/2013 modifiant les directives 2000/60/CE et 2008/105/CE.

En revanche, au niveau national, le glyphosate et l'AMPA font partie des substances spécifiques de l'état écologique des eaux de surfaces, annexe II de l'arrêté du 25 janvier 2010 établissant le programme de surveillance de l'état des eaux en application de l'article R. 212-22 du code de l'environnement.

1.2.2 Réglementations d'usages

1.2.2.1 Produits phytopharmaceutiques

Le règlement (CE) n° 1107/2009 du Parlement européen et du Conseil du 21 octobre 2009 concernant la mise sur le marché des produits phytopharmaceutiques et abrogeant les directives 79/117/CEE et 91/414/CEE du Conseil approuve le glyphosate et le règlement d'exécution (UE) n°540/2011 autorise son utilisation en tant qu'herbicide.

Cette autorisation a été renouvelée en 2017 pour les cinq prochaines années par le règlement d'exécution (UE) 2017/2324 de la Commission Européenne du 12 décembre 2017. Cette autorisation ne mentionne pas les autres formes de glyphosate que la forme principale (CAS n°1071-83-6).

Selon e-phy³ (le catalogue des produits phytopharmaceutiques et de leurs usages des matières fertilisantes et des supports de culture homologués en France) le glyphosate est présent et autorisé sur le marché français sous les formes chimiques suivantes : glyphosate sel d'isopropylamine, glyphosate sel d'ammonium, glyphosate sel de diammonium, glyphosate sel de diméthylamine. Aucun produit contenant du glyphosate trimesium, glyphosate sel monosodium, glyphosate de potassium ne dispose d'une AMM selon e-phy (consulté le 12/12/2019).

En France, afin de réduire les risques liés à l'utilisation des pesticides pour le grand public, la loi n°2014-110 du 6 février 2014 (dite « loi Labbé ») visant à mieux encadrer l'utilisation des produits phytosanitaires sur le territoire national a interdit, à partir du 1^{er} janvier 2022, la vente aux particuliers ainsi que la détention et l'utilisation par ces derniers, de tous les produits phytopharmaceutiques, à l'exception des produits de biocontrôle, des produits à faible risque et des produits dont l'usage est autorisé dans le cadre de l'agriculture biologique. Cette loi interdit également aux personnes publiques d'utiliser ou de faire utiliser des produits phytosanitaires pour l'entretien des espaces verts, forêts, promenades et voiries accessibles ou ouverts au public.

Cependant, la Loi n° 2015-992 du 17 août 2015 relative à la transition énergétique pour la croissance verte en a avancé les dates d'application. C'est ainsi, que l'utilisation des pesticides chimiques de synthèse dans les espaces publics (parcs et jardins, forêts, voiries...) est interdite depuis le 1er janvier 2017 ainsi que la vente de pesticides pour les amateurs depuis le 1er janvier 2019.

1.2.2.2 Biocides

Le glyphosate n'est pas utilisé comme biocide au titre du règlement sur les produits biocides (RPB, règlement (UE) n° 528/2012) concernant la mise sur le marché et l'utilisation des produits biocides, qui sont utilisés pour protéger l'homme, les animaux, les matériaux ou les articles contre les organismes nuisibles, tels que les animaux nuisibles et les bactéries, par l'action des substances actives contenues dans le produit biocide.

1.3 Valeurs et normes appliquées en France

1.3.1 Seuils de rejets pour les installations classées et les stations de traitement des eaux usées

Les substances glyphosate et AMPA sont visées par la réglementation des installations classées pour la protection de l'environnement. En règle générale les installations relevant du régime d'autorisation ou d'enregistrement doivent respecter une valeur limite de rejet de 28 µg/l pour le glyphosate et de 450 µg/l pour l'AMPA pour les eaux résiduaires rejetées au milieu naturel si le rejet dépasse 1 g/jour (Article 32 de l'arrêté du 2 février 1998 au sein de l'arrêté du 24/08/17 modifiant dans une série d'arrêtés ministériels les dispositions relatives aux rejets de substances dangereuses dans l'eau en provenance des installations classées pour la protection de l'environnement).

Ils ne font pas partie des substances à surveiller de l'arrêté du 31 janvier 2008 relatif au registre et à la déclaration annuelle des émissions polluantes et des déchets.

1.3.2 Normes de Qualité Environnementale (NQE) et Valeur Guide environnementale (VGE)

Les normes de qualité environnementale (NQE) à prendre en compte dans l'évaluation de l'état écologique des eaux de surfaces continentales métropolitaines à partir du 22 décembre 2015 sont de 28 µg/L pour le glyphosate et 452 µg/L pour l'AMPA (Arrêté du 27/07/15 modifiant l'arrêté du 25 janvier 2010 relatif aux méthodes et critères d'évaluation de l'état écologique, de l'état chimique et du potentiel écologique des eaux de surface).

³ <https://ephy.anses.fr/>

Ces normes visent la protection des écosystèmes (exposition directe des organismes aquatiques et prédateurs aquatiques ou terrestres qui en dépendent).

1.3.3 Valeurs appliquées pour la qualité des eaux de consommation

La Directive n° 98/83/CE du 03/11/98 relative à la qualité des eaux destinées à la consommation humaine indique que la valeur paramétrique qui se réfère à la concentration résiduelle en monomères dans l'eau est de 0.5 µg/L pour la totalité des pesticides.

L'arrêté du 11 janvier 2007 relatif aux limites et références de qualité des eaux brutes et des eaux destinées à la consommation humaine (EDCH) transposant la directive 98/83/CE relative à la qualité des EDCH, fixe la limite de qualité pour chaque pesticide à 0.1 µg.L⁻¹.

1.3.4 Valeurs appliquées en milieu professionnel

Aucune VLEP spécifique au glyphosate ou à l'AMPA n'a été établie.

1.4 Autres textes

1.4.1 Eaux de rejet

Le glyphosate et l'AMPA sont cités dans l'annexe III de la note technique du 12/08/16 relative à la recherche de micropolluants dans les eaux brutes et dans les eaux usées traitées de stations de traitement des eaux usées et à leur réduction (STEU).

Le glyphosate et l'AMPA font partie des substances recherchées en amont et en aval des stations traitées par l'action RSDE STEU réalisée depuis 2018 (Ministère de l'environnement, 2015). Les résultats de cette étude ne sont en 2019, pas disponibles car l'étude est toujours en cours. La précédente action RSDE STEU menée entre 2011 et 2013 n'avait pas pris en compte ni le glyphosate ni l'AMPA.

1.4.2 Eaux souterraines

Le glyphosate et l'AMPA sont cités dans la liste des micropolluants de l'analyse régulière du contrôle de surveillance de l'état chimique des eaux souterraines : arrêté du 25 janvier 2010 établissant le programme de surveillance de l'état des eaux.

1.4.3 Contact alimentaire

Les limites maximales pour les résidus (LMR) de glyphosate présent dans ou sur les denrées alimentaires sont reportés dans l'annexe II du règlement (CE) n° 396/2005 du Parlement européen et du Conseil du 23 février 2005. Certaines LMR de l'annexe II ont été modifiées par le règlement (UE) N° 441/2012 et par le règlement (UE) N°293/2013. Les teneurs en glyphosate par produit alimentaire sont comprises entre 0,05 mg/kg (viande, miel, escargots...) et 50mg/kg (champignons sauvages).

1.5 Classification et étiquetage

Le glyphosate a une classification et un étiquetage harmonisé au regard du règlement 1272/2008 dit règlement CLP :

*Tableau 2 : Classification CLP harmonisée du glyphosate selon l'ECHA
([https://echa.europa.eu/fr/information-on-chemicals/cl-inventory-database/-/discli/details/119564-](https://echa.europa.eu/fr/information-on-chemicals/cl-inventory-database/-/discli/details/119564)
consulté en novembre 2019)*

Classification		Etiquetage	
Classes et catégories de dangers	Codes des mentions de danger	Code des pictogrammes mention d'avertissement	Code des mentions des dangers
Eye Dam. 1 Aquatic Chronic 2	H318 H411	GHS05 GHS09 Dgr 	H318 H411

Le Tableau , ci-après, détaille les codes de danger associé au glyphosate.

Tableau 3 : Mentions de danger du glyphosate, d'après le règlement CLP.

Code de danger	
Liste des classifications et des étiquetages harmonisés des substances dangereuses ; annexe VI, tableau 3.1 du règlement CLP	
H318	Cause des dommages oculaires sévères
H411	Toxique pour les milieux aquatiques avec des effets à long terme

L'AMPA ne dispose pas d'une classification et un étiquetage harmonisé au regard du règlement 1272/2008 dit règlement CLP.

1.6 Sources naturelles de glyphosate

Le glyphosate est une substance d'origine anthropique, il n'existe donc pas de source naturelle.

1.7 Sources non-intentionnelles de glyphosate

Au vu des documents consultés il n'y a pas de source non-intentionnelles de glyphosate et d'AMPA (en dehors d'émissions liées à sa fabrication, son transport et son utilisation).

2 PRODUCTION ET UTILISATIONS

2.1 Production et vente

Le glyphosate était produit en 2015 par plus de 91 industriels dans une vingtaine de pays (53 producteurs en Chine, 9 en Inde, 5 aux Etats-Unis d'Amérique...). La Chine est le plus gros producteur de glyphosate au monde, en 2017 environ 60% de la demande mondiale était fournie par ce pays avec 685 000 tonnes produites. En Europe cette substance était produite en Espagne, au Royaume Uni et en Hongrie. Au vu des données consultées il ne semblait pas y avoir de site de production en France en 2017. Au niveau mondial sa production a cru durant le début du XXIème siècle comme le montre le Tableau 4 (Research and Market, 2018) (IARC, 2015).

Tableau 4 : Production mondiale de glyphosate (source : (IARC, 2015) et (Research and Market, 2018))

Années	2008	2011	2012	2017
Volume de glyphosate produit (tonnes)	600 000	650 000	720 000	1 065 000

Selon la Base Nationale des Ventes de produits phytosanitaires (BNV-d)⁴, les ventes de glyphosate ont progressé en France entre 2011 et 2018, (Tableau 5). Elles étaient d'environ 6 tonnes en 2009 pour s'établir entre 8,5 tonnes et 9,7 tonnes entre 2011 et 2018. C'est en 2018 que les ventes les plus fortes ont été enregistrées.

Tableau 5 : Ventes de glyphosate en France entre 2009 et 2018 recensées dans la BNV-d (en tonnes)⁵

Année	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Tonnes de glyphosate vendues	6 292	7 182	8 463	9 062	8 673	9 487	8 466	8 787	8 859	9723

En 2017, les ventes de glyphosate ont représenté environ 30 % du volume total d'herbicides vendus, une part relativement constante depuis 2013. (Assemblée Nationale, 2018)

2.1.1 Données économiques

Jusqu'aux années 2000, le glyphosate était uniquement commercialisé par Monsanto, sous le nom commercial de Roundup. Puis il est tombé dans le domaine public, et est désormais fabriqué et commercialisé par un grand nombre de sociétés dans le monde.

Aujourd'hui 33 produits contenant la substance active glyphosate détiennent une autorisation de commercialisation en France selon <https://ephy.anses.fr/substance/glyphosate> (consulté le

⁴ Mise en place en 2009, la BNV-d (Banque nationale des ventes de produits phytosanitaires pour les distributeurs <https://bnvd.ineris.fr/>) est la base de données qui rassemble les informations déclarées par les distributeurs de produits phytosanitaires suite à la mise en place de la redevance pour pollutions diffuses. Cette redevance répond aux exigences de la loi sur l'eau de décembre 2006. Les données utilisées ici ont été extraites en octobre 2018.

⁵ Les ventes de glyphosate sont issues du tableau de bord de la BNV-D, lui-même basé sur les déclarations des distributeurs sous forme de bilans ou de registres obligatoires. Les quantités mentionnées ne sont définitives que lorsque 3 années se sont écoulées après l'année de vente (rectification des versements de bilans et registres possible pendant 3 ans par les déclarants).

16/12/2019). On peut citer par exemple les produits suivants : Gibson, Freeway, Kyleo, Credit, Helosate plus, Roundup 3 plus, Roundup 6h, Roundup GT max....

En Novembre 2019 l'ANSES a annoncé le retrait de 29 autorisations de mise sur le marché et 7 permis de commerce parallèle de produits phytopharmaceutiques à base de la substance active glyphosate, dans le cadre de l'examen du renouvellement des autorisations de ces produits⁶. Ces produits ont perdu leurs autorisations en raison de l'insuffisance ou de l'absence de données scientifiques permettant d'écarter tout risque génotoxique. En 2018 ces produits représentaient $\frac{3}{4}$ des produits à base de glyphosate vendus en France. (Anses, 2019) et (ANSES, 2019).

Un des avantages de cet herbicide est son faible coût. Un rapport allemand de l'institut agronomique Allemand (Julius Kühn-Institut) (Kehlenbeck, Saltzmann, Schwarz, Zwerger, & al, 2015) mentionne un prix du glyphosate autour de 10 euros le litre pour le produit « Roundup Power Flex »⁷. Selon deux agriculteurs enquêtés lors de cette étude, en région PACA et en Dordogne le prix du glyphosate acheté en coopérative en 2019 se situerait entre 4 euros 12 euros le litre. Le prix variant en fonction du produit notamment de sa concentration en substance active et des adjuvants qu'il peut contenir. Les prix peuvent également varier entre coopérative.

2.1.2 Procédé de production

Le glyphosate est synthétisé par mélange de glycine, d'acide chlorométhylphosphonique, une solution aqueuse d'hydroxyde de sodium et d'eau qui est ajoutée pour maintenir le pH entre 10 et 12, après quoi le mélange est chauffé puis filtré après ajout d'acide chlorhydrique concentré (RISCPT, 1991 cité par le site internet INCHEM (ICHEM, s.d.)).

2.2 Utilisations

En agriculture, le glyphosate est utilisé comme herbicide pour contrôler la végétation adventice :

- En grande culture pour : la destruction d'adventices vivaces et plantes toxiques pouvant poser des problèmes de santé publique en interculture, destruction des couverts végétaux ;
- En maraîchage pour la destruction des adventices pouvant nuire à la croissance des plantes cultivées et pour la destruction de plantes toxiques pouvant poser des problèmes de santé publique ;
- En viticulture pour la destruction de la flore adventice au pieds des plantes ou au niveau des inter-rangs ;
- En arboriculture pour la destruction de la flore adventice au pied des plantes ou au niveau des inter-rangs, ainsi que pour la destruction des zones refuges pour les bio-agresseurs ;
- Pour la destruction des prairies⁸ .

En France, un délai d'utilisation « avant récolte de 30 jours pour les cultures potagères et de 21 jours pour les cultures fruitières est recommandé. Ce délai est porté à 90 jours pour le kiwi et ramené à 7 jours pour l'olive ainsi que pour les grandes cultures » (ephy.anses.fr, 2019)).

La quantité utilisée par hectare pour une utilisation agricole varie selon le type de végétation à détruire. Par hectare c'est l'arboriculture et la viticulture qui semblent en consommer le plus ainsi que les cultures conduites en agriculture de conservation des sols⁹. Néanmoins les quantités utilisées par hectare et par type de culture varient en fonction des sources. En grande culture environ 1,5 à 2kg de glyphosate sont appliquées par hectare selon le rapport (IARC, 2015) citant (Tomlin, 2000) alors que le rapport

⁶ La fin de vente et de distribution est fixée au 29/05/2020.

⁷ Produits non autorisés à ce jour en France

⁸ Une prairie n'est pas une « culture » en soi, mais fait partie intégrante des rotations de différents types de cultures précédemment citées.

⁹ Technique agricole qui bannit ou limite le plus possible le travail du sol (appelée également « sans labour » ou « semis direct »

parlementaire (Fugit & Moreau, 2019) citant les enquêtes Service de la Statistique et de la Prospective mentionne 50 gr/ha à 250 gr/ha¹⁰.

Les utilisations non agricoles du glyphosate représentaient 22% du tonnage de matières actives en 2011 et 16% en 2016. Cependant ces utilisations ont été réduites car selon la réglementation en vigueur en France l'utilisation du glyphosate n'est plus autorisée pour les collectivités pour la gestion des espaces ouverts au public¹¹. L'utilisation par les jardiniers amateurs du glyphosate devrait également se réduire fortement dans les années à venir car la vente de glyphosate n'est plus autorisée depuis le 1^{er} janvier 2019.

Le glyphosate est utilisé par la SNCF pour l'entretien de la végétation sur les voies. En 2017, selon des données de l'Inra, la SNCF avait acheté 38,5 tonnes de glyphosate, soit environ moins de 0,4% des ventes totales de glyphosate en France selon (Commissariat général au développement durable, 2019).

En France les données de ventes issues de la BNV-d permettent de fournir des indications sur les tendances d'utilisation de cette substance (Tableau 5 ci-avant).

3 REJETS DANS L'ENVIRONNEMENT

Aucune source naturelle de glyphosate n'a été identifiée dans cette étude. Le glyphosate étant un herbicide pulvérisé sur les cultures, les rejets dans l'environnement sont donc localisés aux zones d'utilisation de cette substance. Il n'existe pas de base de données publiques sur l'utilisation de cette substance, seulement des données sur les ventes de cette substance active en France. Néanmoins des travaux de recherche sont en cours pour établir une corrélation entre les ventes et l'utilisation des produits phytosanitaires

Des rejets dans l'environnement, dans une bien moindre mesure, pourraient également exister sur les sites d'emballage et/ou de stockage, et lors du transport de ces produits.

Les produits agricoles, agro-alimentaires (notamment importés depuis des zones hors l'Union Européenne) et forestiers peuvent aussi être de faibles sources d'émission dans l'environnement de glyphosate. Toutefois il existe des limites maximales de teneurs en glyphosate s'appliquant à un certain nombre de denrées alimentaires et aliments pour animaux dans l'Union Européenne.

Un modèle d'émission de pesticides a été développé pour l'Europe afin d'estimer les quantités de substances actives dont le glyphosate émises vers l'air (Sarigiannis & al, 2013). Ce modèle a pris en compte les phénomènes de dérive, de volatilisation lors de l'application et depuis les surfaces traitées. Pour le glyphosate il a été estimé, en utilisant la base de données Eurostat et des enquêtes, pour l'année 2000, que 73 tonnes avaient été émises dans l'air en France sur 390 tonnes utilisées. Dans ce modèle seules les quantités de substances actives utilisées pour les cultures suivantes ont été étudiées : maïs, céréales, oléagineux, vignes, vergers.

Dans le cadre de cette étude, nous n'avons trouvé aucune donnée sur les rejets de glyphosate, vers les eaux ou vers les sols.

Pour l'AMPA, aucune source naturelle n'a été identifiée. Les sources de rejets se limitent donc à la dégradation dans l'environnement du glyphosate et des phosphonates. Les phosphonates sont des agents anti-tartre que l'on trouve dans les produits d'entretien domestiques ainsi que dans les détergents.

¹⁰ Selon le rapport parlementaire (Fugit & Moreau, 2019) « le volume total des usages déclarés par chaque filière de production reprend les données des statistiques agricoles du ministère de l'agriculture mais n'atteint qu'à peine 50 % des volumes de glyphosate achetés nationalement et disponibles dans la BNV-D »

¹¹ Cf partie 1.3 de ce rapport

4 DEVENIR ET PRESENCE DANS L'ENVIRONNEMENT

4.1 Comportement dans l'environnement

4.1.1 Dans l'atmosphère

La faible pression de vapeur saturante du glyphosate ($< 10^{-5}$ Pa à 25 °C) le rend peu soluble dans l'air. Mais il peut y être présent sous forme d'aérosol ou fixé sur des poussières issues de sols traités. Dans certaines conditions il peut aussi y être pour partie dégradé par photodécomposition sous l'effet des ultraviolets solaires (Centre de Référence en Agriculture et Agroalimentaire du Québec, s.d.).

Des émissions atmosphériques de glyphosate peuvent se produire lors de la pulvérisation de l'herbicide. Une partie de la substance peut être transférée dans l'atmosphère lors du traitement par vaporisation des gouttelettes entre la rampe d'application et le sol (atmosud, 2017). Les quantités émises dépendent des conditions météorologiques et du matériel utilisé lors de la pulvérisation de l'herbicide. La volatilisation du glyphosate depuis les surfaces traitées est négligeable en raison de sa faible pression de vapeur saturante (National Pesticides Information Center, 2019).

4.1.2 Dans le milieu aquatique

Le glyphosate est soluble dans l'eau douce à raison de 12 g/L à 20 °C mais il est aussi fortement adsorbé sur les particules du sol sec et alors peu mobilisable par l'eau. Les formes acides du glyphosate et l'AMPA sont de faiblement persistantes à persistantes dans l'eau en condition aérobie et en condition anaérobie. Le glyphosate est stable à l'hydrolyse aux pH normalement rencontrés dans l'environnement.

La phototransformation dans l'eau n'est pas une voie de transformation importante (Centre de Référence en Agriculture et Agroalimentaire du Québec, s.d.).

Le glyphosate et l'AMPA dissout dans les eaux de surfaces peuvent s'absorber aux sédiments, leurs dégradations devient plus longue que dans les eaux (Van Bruggen & al, 2018).

4.1.3 Dans le milieu terrestre

Les formes acides du glyphosate et l'AMPA sont de faiblement persistantes à persistantes dans les sols en condition aérobie et en condition anaérobie. La phototransformation dans le sol n'est pas une voie de transformation importante.

Le glyphosate et l'AMPA sont légèrement mobiles à immobiles dans les sols et leur potentiel de lessivage est faible (Centre de Référence en Agriculture et Agroalimentaire du Québec, s.d.).

Le glyphosate et son métabolite l'AMPA peuvent persister plus d'un an dans les sols argileux, alors que leur présence dans les sols sableux est éphémère. L'absorption du glyphosate sur l'argile et la matière organique du sol ralentit sa dégradation par les microorganismes du sol et contribue à son accumulation dans le sol (Van Bruggen & al, 2018).

Les propriétés du glyphosate et de l'AMPA ne laissent pas penser qu'ils pourraient être significativement entraînés jusque dans les eaux souterraines, néanmoins, l'utilisation extrêmement généralisée du glyphosate font qu'on retrouve ces 2 composés dans les eaux souterraines. Cette présence bien que significative reste faible (cf. section 4.2.2). Des conditions climatiques, telles que de fortes pluies conduisent également à leur transfert vers les eaux souterraines.

Le glyphosate contenu dans le sol, peut avec les phénomènes d'érosion et de pluie être transféré vers les eaux de surfaces.

4.2 Présence dans l'environnement

4.2.1 Généralités sur la présence dans l'environnement de glyphosate et d'ampa

Le glyphosate et l'AMPA sont très fréquemment retrouvés dans les eaux ; entre 2009 et 2013 le glyphosate était la substance active la plus détectée dans les eaux, en 2017 les analyses réalisées dans les eaux de surfaces en France montrent la présence du glyphosate dans 50% des prélèvements et 74% pour l'AMPA qui est le métabolite le plus fréquemment détecté dans les cours d'eau français (INRA, 2018), (Commissariat général au développement durable, 2015). Néanmoins en onze années de surveillance « un seul dépassement de valeurs toxicologiques de référence a été analysé » selon l'ANSES (ANSES, 2019).

Contrairement au sol où la minéralisation du glyphosate est bonne, dans l'eau la biodégradation du glyphosate est souvent incomplète, ce qui conduit à une accumulation d'AMPA (métabolite intermédiaire) dans ce milieu (INRA, 2018). Néanmoins la présence d'AMPA dans les cours d'eau n'est pas uniquement due à la dégradation du glyphosate. Comme expliqué plus haut l'AMPA est aussi un des métabolites des phosphonates qui sont utilisés comme agents anti-tartre dans de nombreuses applications industrielles et domestiques. Selon (Jarowska, 2002), l'AMPA est un métabolite de certains phosphonates présents dans les lessives : ATMP, EDTMP et DTPMP. Selon (RIVM, 2004), ATMP peut être employé dans des liquides de refroidissement et des détergents industriels, EDTMP dans des détergents industriels et domestiques, et DTPMP dans des détergents domestiques.

Selon (Delabays & Bohren, 2007) « sa présence [de l'AMPA] souvent associée au glyphosate, de même que sa détection dans des bassins versants peu urbanisés, ne permettent cependant pas d'exclure la responsabilité de l'agriculture ». Une étude réalisée au Canada (Struger, Van Stempvoort, & Brown, 2015) a étudié la corrélation de la présence d'AMPA dans les eaux de surface avec la présence de glyphosate ainsi que la corrélation avec une substance spécifique¹² des eaux usées. Au vu des résultats obtenus pour la région Ontario, il semble que l'AMPA retrouvé dans les eaux de surfaces soit fortement lié à l'utilisation de glyphosate. Selon (Jaworska & al, 2002) le glyphosate serait aux Pays-Bas une source d'AMPA dans les eaux de surface dix fois plus importante que les phosphonates. La co-occurrence de l'AMPA et du glyphosate a été étudiée dans les eaux en France à partir de 50 000 mesures réalisées entre 2013 et 2017 dans les eaux. Le glyphosate a été retrouvé sans l'AMPA dans 3% des échantillons (Carles, Gardon, & al, 2019), ce qui conforte les résultats de l'étude Canadienne et le lien entre l'agriculture et la présence d'AMPA dans les eaux de surfaces.

Mis à part les sources précédemment citées « la contribution domestique d'AMPA via les phosphonates est peu documentée dans la littérature » (Piel & al, 2019). Il apparaît donc que même si la responsabilité de l'agriculture quant à la présence d'AMPA dans les eaux de surface est indéniable, les connaissances actuelles ne permettent pas d'estimer avec précision la part provenant de la dégradation du glyphosate de celle des phosphonates,

Peu de travaux à ce jour ont été réalisés pour investiguer sur la présence de glyphosate et l'AMPA dans l'air en France mais des études sont en cours de développement au niveau national et les résultats seront disponibles l'année prochaine.

4.2.2 Dans le milieu aquatique

4.2.2.1 Eaux de surfaces

Les résultats de mesures du glyphosate et de l'AMPA dans les eaux de surface en France sont recensés dans la base de données sur la qualité des Eaux de surface (Naiades)¹³ (Tableau 6).

La proportion de mesures dans les eaux de surface pour lesquelles la concentration est supérieure à la limite de quantification est de 43% pour le glyphosate et de 66% pour l'AMPA.

Parmi ces valeurs mesurées dans les eaux de surface pour le glyphosate 14 mesures sont supérieures à la NQE (28µg/l). Aucune n'est supérieure à la NQE pour l'AMPA.

¹² acesulfame

¹³ <http://naiades.eaufrance.fr/>

Tableau 6 : Résultats de mesures dans les eaux de surface recensées dans la base de données Naiades entre le 1^{er} janvier 2014 et le 20 novembre 2018

	Glyphosate	AMPA
Limites de quantification*	0,01 à 5 µg/l	0,02 à 50 µg/l
Nb. de points de mesures	6243	6250
Nb. de mesures validées	108 449	107 708
Dont Nb. de mesures supérieures ou à la limite de Quantification	47 313	71 516
Min	0,01 µg/l	0,006 µg/l
Max	558 µg/l	164 µg/l
Médiane	0,076 µg/l	0,149 µg/l
Moyenne	0,22 µg/l	0,45 µg/l
NQE	28 µg/l	452 µg/l

Le glyphosate fait partie des substances recherchées en amont et en aval des stations traitées par l'action RSDE STEU réalisée en 2018 (Ministère de l'environnement, 2015). Les données de cette étude ne sont, en 2019, pas disponibles car l'étude est toujours en cours. La précédente action RSDE STEU menée entre 2011 et 2013 n'avait pris en compte ni le glyphosate ni l'AMPA.

4.2.2.2 Sédiments des eaux de surface

La base de données Naiades recense également les résultats de mesures de substances dans les sédiments. Ces résultats sont présentés dans le Tableau . La proportion de mesures dont la concentration est supérieure à la limite de quantification est de 19% pour le glyphosate et de 65% pour l'AMPA.

Tableau 7 : Résultats de mesures dans les sédiments des eaux de surface recensées dans la base de données Naiades entre le 1^{er} janvier 2014 et le 20 novembre 2018

	Glyphosate	AMPA
Limites de quantification*	10 à 360 µg/kg	10 à 100 µg/kg
Nb. de points de mesures	110	110
Nb. de mesures validées	164	164
Dont Nb. de mesures supérieures à la limite de quantification	27	112
Min	10 µg/kg	11 µg/kg
Max	470 µg/kg	390 µg/kg
Médiane	24,5 µg/kg	230 µg/kg
Moyenne	56,5 µg/kg	460,87 µg/kg

Dans les eaux interstitielles des sédiments sur les 38 mesures validées pour le glyphosate, 11 sont supérieures au seuil de quantification (les valeurs sont comprises entre 0,04 et 0,80 µg/kg). Pour le glyphosate pour 38 mesures réalisées 21 sont supérieures au seuil de quantification (les valeurs sont comprises entre 0,05 et 2,58 µg/kg).

4.2.2.3 Eaux souterraines

Entre 2007 et 2017 des mesures ont été réalisées pour le glyphosate et l'AMPA dans les eaux souterraines en France métropolitaine et dans les Département et Région d'Outre-Mer. Les seuils de quantifications sont compris entre 0,01 et 0,5 µg/L. Le seuil de dépassement auquel sont comparées les mesures quantifiées est de 0,1 µg/L, correspondant à la limite réglementaire pour les substances actives phytopharmaceutiques relative à la qualité des eaux destinées à la consommation humaine (EDCH) (ANSES, 2019).

En France métropolitaine le glyphosate est quantifié sur cette période avec un taux de quantification entre 0,5% et 3,4%. Le taux de quantification le plus élevé a été relevé pour l'année 2017. Le pourcentage des points de mesures où la moyenne par an est supérieure au seuil de 0,1 µg/L est compris entre 0,4% et 1,5%. L'AMPA a été quantifiée sur cette même période avec un taux compris entre 0,9% et 4,7%. Le pourcentage des points de mesures où la moyenne annuelle est supérieure au seuil de 0,1 µg/L est compris entre 0,5% et 1,4%.

Dans les DROM le glyphosate est quantifié sur cette période avec un taux de quantification entre 0,0% et 4,2%. Le pourcentage des points de mesures où la moyenne annuelle est supérieure au seuil de 0,1 µg/L est compris entre 0,0% et 7,4%. L'AMPA sur cette même période a été quantifiée avec un taux compris entre 0,0% et 9,2%. Le pourcentage des points de mesures où la moyenne annuelle est supérieure au seuil de 0,1 µg/L est compris entre 0,0% et 17,0%. Notons que pour ces deux substances les valeurs maximales ont été observées pour l'année 2007.

4.2.3 Milieu Terrestre

Peu d'études ont été menées en Europe sur la présence de glyphosate et d'AMPA dans les sols agricoles. Pour combler une partie de ce manque d'information l'étude : *Distribution of glyphosate and aminomethylphosphonic acid (AMPA) in agricultural topsoils of the European Union*, a analysé la présence de ces substances dans le sol superficiel (15-20 cm de profondeur) de sols agricoles européens (Silva, et al., 2018). 317 échantillons de sols de 10 pays européens dont la France supportant différents types de cultures (arboriculture, viticulture, grandes cultures, prairies temporaires...) La limite de quantification était de 0,05 mg/kg pour ces deux substances. Les résultats de cette étude ont montré une présence élevée de ces substances dans la partie superficielle des sols, avec une présence évaluée à de 42% pour l'AMPA et de 21% pour le glyphosate (fréquence des valeurs supérieures à la limite de quantification). La teneur maximum observée pour le glyphosate et l'AMPA était dans cette étude de 2 mg/kg.

4.2.4 Dans l'atmosphère

En 2004 le Glyphosate a été recherché dans l'air au niveau de la région Hauts-de-France. La substance a été retrouvée pour 14% des 59 échantillons étudiés. La concentration maximale retrouvée était de : 0.19 ng.m⁻³ (Prouvost & Declercq, 2005).

Dans le cadre de la surveillance des pesticides dans l'air, une campagne de mesure du glyphosate a été réalisée par Air PACA entre 2014 et 2016 pour le glyphosate et l'AMPA. Sur les 83 analyses réalisées sur 5 sites (Nice, Toulon, Port de bouc, Avignon et Cavaillon) le glyphosate n'a été retrouvé que 5 fois. La limite de détection du glyphosate est de 0,05 ng/m³ (Armengaud & Quivet, 2017). L'AMPA n'a été retrouvé dans aucun de ces prélèvements (avec une limite de détection de 0,28 ng/m³).

Une campagne exploratoire de surveillance des résidus de pesticides dans l'air au niveau national entre juin 2018 et juin 2019 a été mise en place par l'Anses, l'Ineris et la Fédération ATMO France. Cette campagne d'un an analyse d'environ 80 substances dont le glyphosate et l'AMPA, sur 50 sites de mesures, en France métropolitaine et dans les Départements et Régions d'outre-mer pour un total d'environ 1500 échantillons sur la durée de la campagne (ANSES, 2018). Les résultats de cette étude seront disponibles au deuxième semestre 2020.

5 PERSPECTIVES DE RÉDUCTION DES ÉMISSIONS

5.1 Réduction des émissions et alternatives aux usages de Glyphosate

Différentes stratégies sont possibles pour réduire l'utilisation de glyphosate en agriculture :

- Substitution de la substance herbicide par une autre substance chimique¹⁴ (il conviendrait alors de s'assurer que l'alternative présente des nuisances moindres sur la santé humaine et sur l'environnement que le glyphosate),
- Utiliser des techniques d'application qui limitent les quantités utilisées et les émissions vers l'environnement,
- Modification des pratiques agricoles afin de réduire les usages du glyphosate ou de les supprimer, ou encore de limiter les pertes vers l'environnement

Alternatives chimiques

Le glyphosate est un herbicide systémique non sélectif, c'est-à-dire qu'il est efficace contre toutes les mauvaises herbes, même si des phénomènes de résistance de certaines plantes ont été observés (Inra, 2013). Le fait qu'il soit systémique¹⁵ le rend efficace sur les adventices vivaces¹⁶ et les mauvaises herbes annuelles¹⁷ (Neal & Senesac, 2019). A ce jour, il n'existe pas d'herbicide non sélectif autorisé sur le marché pouvant substituer toutes les utilisations pour lesquelles le glyphosate est utilisé. Néanmoins il existe des herbicides pouvant substituer certains « usages du glyphosate » mais il n'existe pas de substituts chimiques au glyphosate pour d'autres usages, comme par exemple en interculture¹⁸. Aucune substance alternative n'est également mentionnée dans le guide l'ACTA (acta, 2019). Avant semis pour le nettoyage de la parcelle il est possible d'utiliser du dicamba mais exclusivement pour la culture du maïs (Reboud & al, 2017).

Concernant le désherbage chimique en culture, des herbicides sélectifs pourraient substituer le glyphosate : sur le charbon des champs des produits à base de clopyralid ou de metsulfuron-méthyl ou d'hormones auxiniques pour de nombreuses cultures céréalières, sur le chiendent des produits à base de sulfosulfuron ou propoxycarbazone sont autorisés pour la culture du colza, du pois, du tournesol ou du maïs, sur rumex des produits à base de fluroxypyr ou de metsulfuron ou thifensulfuron sont autorisés pour les cultures céréalières, sur les liserons le fluroxypyr (en céréale et maïs) et le dicamba (en maïs) peuvent être utilisés (Reboud & al, 2017).

Les bioherbicides, herbicides à base de substances naturelles, de micro-organismes, de macro-organismes ou de médiateurs chimiques pourraient constituer des alternatives au glyphosate. Ces bioherbicides seraient probablement biodégradables et peu toxiques mais cela reste à étudier au cas par cas » (Triolet, Cordeau, & Steinb, 2018). C'est par exemple le cas des herbicides à base d'acide pélargonique, qui sont des défoliants de contact pouvant être utilisés en viticulture ou pour la culture de pommes de terre notamment (Reboud & al, 2017). Se basant sur des ressources naturelles, ces bioherbicides pourraient s'avérer être une voie de substitution au glyphosate dans les années à venir mais à ce jour leur disponibilité (peu de produits disposent d'une AMM sur le marché français), leurs efficacités et leurs coûts peuvent limiter leur utilisation.

Modification des pratiques agricoles

En ce qui concerne la modification des pratiques agricoles, les leviers identifiés par le rapport de l'INRA « usages et alternatives dans l'agriculture française » faisant suite à une saisine des Ministères de l'Agriculture et de l'Alimentation, de la Transition Ecologique et Solidaire et de l'Enseignement Supérieur et de la recherche (Reboud & al, 2017) varient en fonction notamment des cultures, des conditions pédoclimatiques de l'exploitation, des pratiques agricoles passées influençant le stock de graines

¹⁴ Le dicamba, le 2.4D, les sulfonilurées pourraient substituer l'utilisation du glyphosate d'un point de vue fonctionnel mais avec un impact environnemental non négligeable selon l'ACTA

¹⁵ La substance active migre de la surface foliaire aux racines

¹⁶ Plantes qui peuvent vivre plus de deux ans

¹⁷ Plantes qui ne vivent qu'un an et font tout leur cycle à partir d'une graine

¹⁸ Le rapport de l'INRA (Reboud & al, 2017) ne mentionne aucune alternative chimique à l'utilisation du glyphosate pour la destruction des couverts

adventices plus ou moins important dans les sols. Pour les grandes cultures ont été identifiées : la diversification des successions culturales (implantation de prairies temporaires pour épuiser les réserves souterraines des vivaces par exemple), le recours au labour, le décalage des semis, le choix des variétés, la fertilisation modérée, le recouvrement du sol... En viticulture les alternatives à l'utilisation de glyphosate pour gérer le sol des parcelles sont multiples et diverses. Les pratiques varient du désherbage mécanique du sol à l'enherbement permanent ou temporaire des parcelles avec pour objectif d'intégrer le rôle positif que peut jouer la flore adventice. L'utilisation de substances biocontrôle est également mentionnée... En arboriculture le rapport conseille essentiellement du désherbage mécanique pour gérer la flore adventice, en combinaison avec d'autres opérations pour limiter le nombre de passages. Les pratiques alternatives proposées dans ce rapport, se sont appuyées sur les pratiques développées dans réseau des fermes DEPHY¹⁹, dispositif du plan Ecophyto.

Des techniques de désherbage mécanique notamment développées par l'IRSTEA comme par exemple le désherbage électromécanique, le désherbage électrique et la robotisation ont un impact moindre sur le sol (biodiversité, stockage du carbone, consommation énergétique...) par rapport au labour classique. La robotisation est à ce jour une solution efficace mais seulement réservées aux cultures à forte valeur comme la viticulture.

Le rapport parlementaire du 12 novembre 2019 concernant le suivi de la stratégie de sortie du glyphosate (Fugit & Moreau, 2019) met en avant certaines pratiques agricoles pour lesquelles la substitution du glyphosate est plus compliquée à mettre en place ; l'agriculture de conservation du sol, les cultures aux fortes contraintes techniques (exemple culture en coteaux), cultures destinées à des marchés spécifiques qui leur imposent des cahiers des charges très contraignants pour lesquelles la présence d'adventices est très dommageable (exemple production de semences) et des cultures de niches comme par exemple le rouissage du lin et la culture du tabac.

En grandes cultures, l'INRA constatait en 2017 que l'utilisation du glyphosate est d'autant plus importante que le travail du sol est réduit. De manière générale, les possibilités de sortie du glyphosate dépendent des possibilités de développer le travail du sol, qui est une alternative efficace pour la gestion de la végétation, mais plus intensive en main d'œuvre.

Le développement des connaissances agronomiques et des pratiques agricoles innovantes comme par exemple le perfectionnement des couverts, l'allongement des rotations, avec alternance de cultures d'hiver et de printemps pour casser le cycle des adventices pourrait permettre de réduire la dépendance de l'agriculture de conservation aux herbicides et donc au glyphosate²⁰. (Pour gérer la présence d'adventices, l'agriculture biologique s'appuie sur des rotations longues (7 à 8 ans) faisant varier les familles de plantes. L'inclusion de prairies dans les rotations permet également de diminuer la flore adventice (OSAE, s.d.).

Limitation des émissions

Des bonnes pratiques permettent de limiter les dérives d'épandage ou de limiter les quantités appliquées, mais leur efficacité demeure marginale par rapport à la substitution.

Usages non agricoles

La SNCF a décidé de ne plus utiliser de glyphosate pour l'entretien des voies à partir de 2021 selon (Fugit & Moreau, 2019) citant l'audition de M. Jean-Pierre Farandou par la commission du développement durable et de l'aménagement du territoire le 2 octobre 2019. Des solutions sont donc actuellement en développement afin de substituer cet herbicide utilisé pour l'entretien des voies :

¹⁹ Le réseau FERME DEPHY rassemble plus de 3 000 exploitations agricoles engagées dans une démarche volontaire de réduction de l'usage de pesticides. Le réseau EXPE DEPHY réunit 41 porteurs de projets répartis sur environ 170 sites expérimentaux, et permet de concevoir, tester et évaluer des systèmes de culture visant une forte réduction de l'usage de produits phytosanitaires (<https://agriculture.gouv.fr/fermes-dephy>).

²⁰ <http://www.inra.fr/Chercheurs-etudiants/Systemes-agricoles/Tous-les-magazines/Pionnier-en-agriculture-de-conservation-des-sols>

l'utilisation de robots pour faucher les adventices (VivaTech 2019 : la révolution digitale est sur les rails, 2019), l'encensement²¹ sur les voies (SNCF réseau, 2019) ...

5.2 Coûts de la substitution

Diverses études ont été réalisées sur le coût de la sortie du glyphosate dans l'agriculture en Allemagne (Kehlenbeck, Saltzmann, Schwarz, Zwerger, & al, 2015) et en Autriche (Andres & al, 2019). Les résultats de ces études sont difficilement transférables à l'agriculture française. En effet les conditions pédoclimatiques et les pratiques agricoles propres à chaque territoire impactent le coût du changement des pratiques agricoles pour substituer l'utilisation du glyphosate. L'étude autrichienne a comptabilisé les surcoûts des herbicides substituant le glyphosate et de la main d'œuvre supplémentaire pour différents types de cultures et en fonction des conditions de substitution. Le coût de la sortie serait estimé entre 0 et 200 euros de perte de revenu marginal par hectare (Andres & al, 2019). Néanmoins dans ce rapport l'ensemble des impacts environnementaux et sanitaires associés à la sortie de l'herbicide n'ont pas été pris en compte.

Le rapport parlementaire de novembre 2019 sur la sortie du glyphosate (Fugit & Moreau, 2019), mentionne qu'une étude économique réalisée par un cabinet extérieur a estimé le coût à une multiplication par 16 des coûts d'entretien des voies ferrées si la SNCF ne pouvait plus utiliser de glyphosate²². Aujourd'hui les coûts d'entretien de la végétation sont chiffrés à 30 millions d'euros.

Les surcoûts de la sortie du glyphosate dans la viticulture ont été estimés par l'INRA (cité par (Fugit & Moreau, 2019)) entre 210 et 408 euros par hectare en fonction des caractéristiques des parcelles de vignes et des méthodes de substitution utilisées pour le désherbage (mécaniques ou chimiques).

Le glyphosate est depuis longtemps utilisé de façon massive en France ; c'est la deuxième substance active la plus utilisée en France, avec 12 % du total des ventes sur la période 2015-2017 (Commissariat général au développement durable, 2019). Le glyphosate est un herbicide peu onéreux et efficace, il a donc contribué au modelage d'un certain nombre de pratiques agricoles actuelles et au système agricole en général. Ainsi la fin de son utilisation engendrera au moins à court terme des coûts : pour la mise en œuvre de moyens mécaniques chimiques ou manuels pour entretenir la végétation, le développement et l'adaptation à des techniques culturales alternatives...

²¹ « L'encensement est une technique consistant à implanter un mélange d'espèces végétales permettant d'entrer en concurrence avec la flore existante » (SNCF réseau, 2019). A terme cela a pour but de simplifier l'entretien des voies.

²² Ce coût a été estimé en se basant sur une substitution du désherbage chimique par thermique. Néanmoins il semblerait que la SNCF travaille actuellement sur d'autres solutions comme l'encensement ou l'utilisation de robot qui pourrait faire baisser ce coût de transition.

6 CONCLUSION

Le glyphosate est utilisé comme herbicide dans le domaine agricole pour contrôler la végétation d'adventices et les plantes toxiques pouvant poser des problèmes de santé publique en interculture ou avant un semis, détruire les couverts végétaux et les prairies. Il est utilisé en viticulture et en arboriculture pour réduire la végétation entre les rangs et aux pieds des plantes. Il est également utilisé par la SNCF pour la gestion de l'enherbement des voies ferrées. Les utilisations non agricoles de glyphosate ont été réduites depuis 2017. En effet pour les personnes publiques²³ il est interdit « d'utiliser ou de faire utiliser des produits phytosanitaires pour l'entretien des espaces verts, forêts, promenades et voiries (sauf pour des raisons de sécurité ...) accessibles ou ouverts au public » ainsi que pour les jardiniers amateurs depuis le 1er janvier 2019 (la loi n°2014-110 du 6 février 2014 (dite « loi Labbé »)).

Au niveau mondial, la production de glyphosate est en augmentation depuis la fin des années 1990 avec plus d'un million de tonnes substances actives produites en 2017, majoritairement en Chine. Les ventes de glyphosate en France recensées par la BNV-d, sont également en augmentation sur la période 2009-2018. En 2017, les ventes de glyphosate ont représenté environ 30 % du volume total d'herbicides vendus, une part relativement constante depuis 2013 (Assemblée Nationale, 2018). Le glyphosate et l'AMPA sont fortement retrouvés dans les eaux de surfaces. En 2017 selon l'ANSES, l'AMPA était le métabolite le plus retrouvé dans les cours d'eau Français. Le glyphosate et son métabolite sont en revanche peu retrouvés dans les eaux souterraines. Peu d'études ont été menées à ce jour sur l'étude de la présence du glyphosate dans l'air et dans le compartiment sol. Néanmoins une étude publiée en 2018 (Silva, et al., 2018) a évalué que l'AMPA et glyphosate sont présents dans respectivement 42% et 21% des sols superficiels agricoles en Europe.

L'autorisation du glyphosate a été renouvelée en 2017 pour les cinq prochaines années par le règlement d'exécution (UE) 2017/2324 de la commission du 12 décembre 2017. Néanmoins « La France s'est engagée à sortir du glyphosate d'ici 2020 pour la plupart des usages, puis pour tous les usages d'ici à 5 ans (2022), en veillant toutefois à ne pas laisser les agriculteurs sans solution ». (Commissariat général au développement durable, 2019). Fin 2019, 36 autorisations de mises sur le marché de produits contenant la substance active glyphosate ont été retirées (ANSES, 2019).

Afin de réduire ou de supprimer les émissions de glyphosate vers l'environnement, il faut réduire ou supprimer son utilisation et pour cela plusieurs solutions sont possibles ; la substitution de certaines utilisations du glyphosate par d'autres substances chimiques en s'assurant que leur toxicité est plus faible que celle du glyphosate. A ce jour il n'existe pas une substance pouvant remplacer tous les usages du glyphosate. On peut également citer la substitution par des méthodes de désherbage thermique ou mécaniques, l'utilisation de techniques d'application limitant les quantités utilisées et les émissions vers l'environnement et la modification des pratiques agricoles afin de réduire les usages du glyphosate ou de les supprimer.

A ce jour, il semblerait que le travail du sol soit une alternative efficace pour la gestion de la végétation adventice bien que nécessitant plus de main d'œuvre et ayant elle aussi des impacts environnementaux. Dans les cas où ce travail du sol est difficile ou impossible à mettre en place, la sortie du glyphosate s'avèrera compliquée. Ce qui est le cas pour certaines pratiques agricoles comme l'agriculture de conservation du sol, les cultures aux fortes contraintes techniques, et des cultures de niches comme par exemple le rouissage du lin et la culture du tabac...

Le glyphosate est utilisé de façon massive en France, c'est la deuxième substance active la plus utilisée en France, avec 12 % du total des ventes sur la période 2015-2017 (Commissariat général au développement durable, 2019). Le glyphosate est un herbicide peu onéreux et efficace, dans le cadre agricole il a donc contribué au modelage d'un certain nombre de pratiques agricoles actuelles. Ainsi la fin de son utilisation engendrera au moins à court terme des besoins et des difficultés d'adaptation pour : la mise en œuvre de moyens mécaniques chimiques ou manuels pour gérer la végétation, le développement et l'adaptation à des techniques culturales alternatives.

²³ État, régions, communes, départements, groupements et établissements publics propriétaires d'un domaine public ou privé

7 REFERENCES

7.1 Sites internet consultés

ADES <http://www.ades.eaufrance.fr/>
AIDA https://aida.ineris.fr/recherche_xml
Assemblée Nationale <http://www2.assemblee-nationale.fr>
BASOL <https://basol.developpement-durable.gouv.fr>
BNVD <https://bnvd.ineris.fr>
ECHA <http://echa.europa.eu>
E-Phy <https://ephy.anses.fr>
INRA <http://www.inra.fr>
Naiades <http://naiades.eaufrance.fr/>
OSAE <https://osez-agroecologie.org>
Portail substances Chimiques <http://www.ineris.fr/substances/fr/>
SIMMBAD <https://simmbad.fr/public/servlet/accueilGrandPublic.html>

7.2 Bibliographie

Assemblée Nationale. (2018). *SYNTHÈSE DU RAPPORT D'ÉTAPE DE LA MISSION D'INFORMATION COMMUNE SUR LE SUIVI DE LA STRATÉGIE DE SORTIE DU GLYPHOSATE*. Récupéré sur http://www2.assemblee-nationale.fr/content/download/181507/1818392/version/1/file/MIC_Sortie_glyphosate-Synt.pdf

acta. (2019). *Index acta phytosanitaire*. acta éditions.

Agri Lisa. (s.d.). Consulté le novembre 27, 2019, sur [agrilisa.com: https://www.agrilisa.com/Catalogue/Fiche/catid/6527/eid/105/glifonet-erla-360](http://www.agrilisa.com/Catalogue/Fiche/catid/6527/eid/105/glifonet-erla-360)

alibaba. (s.d.). *french.alibaba.com*. Consulté le novembre 27, 2019, sur <https://french.alibaba.com/g/glyphosate.html>

Andres, L., & al. (2019). *NATIONALE MACHBARKEITSSTUDIE ZUM GLYPHOSATAUSSTIEG*. Wien.

ANSES. (2018). *Lancement de la campagne exploratoire nationale de mesure des résidus de pesticides dans l'air*. Récupéré sur <https://www.anses.fr/fr/content/lancement-de-la-campagne-exploratoire-nationale-de-mesure-des-r%C3%A9sidus-de-pesticides-dans>

ANSES. (2019). *Glyphosate : l'Anses fait le point sur les données de surveillance*. Récupéré sur <https://www.anses.fr/fr/content/glyphosate-l%E2%80%99anses-fait-le-point-sur-les-donn%C3%A9es-de-surveillance>

ANSES. (2019). *L'Anses annonce le retrait de 36 produits à base de glyphosate*. Récupéré sur <https://www.anses.fr: https://www.anses.fr/fr/content/l%E2%80%99anses-annonce-le-retrait-de-36-produits-%C3%A0-base-de-glyphosate>

ANSES. (2019). *Phytopharmacovigilance Synthèse des données de surveillance Appui scientifique et technique n°2017-04 Glyphosate*.

Anses. (2019, novembre). *retraits de produits à base de glyphosate*. Récupéré sur <https://ephy.anses.fr: https://ephy.anses.fr/actualites/retrait-produits-base-glyphosate>

Armengaud, A., & Quivet, E. (2017). *Mesures du Glyphosate dans l'air : étude exploratoire en région PACA*.

atmosud. (2017). *Le glyphosate est-il présent dans l'air de la région PACA?* . Récupéré sur <https://www.atmosud.org/actualite/le-glyphosate-est-il-present-dans-lair-de-la-region-paca>

- Ministère de l'agriculture et de l'alimentation. (2019, mars). Consulté le novembre 2019, sur alim'agri: <https://agriculture.gouv.fr/plan-de-sortie-du-glyphosate-le-dispositif>
- Ministère de l'environnement, d. l. (2015). Note technique du 12 août 2015 relative à la recherche de micropolluants dans les eaux brutes et dans les eaux traitées de stations de traitement des eaux usées et à leur réduction.
- National Pesticides Information Center. (2019, mars). *Glyphosate Technical Fact Sheet*. Récupéré sur <http://npic.orst.edu/factsheets/archive/glyphotech.html>
- Neal, J., & Senesac, A. (2019). *Are there alternatives to glyphosate for weed control in landscapes*. Récupéré sur <http://rocklandcce.org/resources/glyphosate-alternatives-in-landscapes>
- OSAE. (s.d.). *osez-agroecologie.org/*. Consulté le novembre 23, 2019, sur OSAE: <https://osez-agroecologie.org/kirchner-allongement-de-la-rotation-et-diversification-de-l-assolement>
- Piel, & al. (2019). L'acide aminométhylphosphonique (AMPA) dans les eaux naturelles et les filières de traitement : origine, comportement et devenir. *TSM*, 45-56.
- Prouvost, H., & Declercq, C. (2005). Exposition de la population aux pesticides dans la région Nord-Pas-de-Calais : apports du programme PHYTO AIR . 78.
- Reboud, X., & al. (2017). *Usages et alternatives au glyphosate dans l'agriculture française. Rapport Inra à la saisine Ref TR507024*. Inra.
- Research and Market. (2018). *Research Report on China's Glyphosate Industry - 2018-2022*. Récupéré sur https://www.researchandmarkets.com/research/kj7vhw/research_report?w=5
- Sarigiannis, D., & al. (2013). Inventory of pesticide emissions into the air in Europe. *Atmospheric Environment*, 6-14.
- Silva, V., Montanarella, L., Jones, A., Fernández-Ugalde, Mol, H., Ritsema, C., & al. (2018). Distribution of glyphosate and aminomethylphosphonic acid (AMPA) in agricultural topsoils of the European Union. *Science of the Total Environment*.
- SNCF réseau. (2019). communiqué de presse du 22 octobre 2019.
- Struger, J., Van Stempvoort, D., & Brown, S. (2015). Sources of aminomethylphosphonic acid (AMPA) in urban and rural catchments in Ontario, Canada: Glyphosate or phosphonate in wastewater? *Environmental Pollution*, 289-297.
- Tomlin. (2000). *The pesticide manual: a world compendium*. British Crop Protection Council .
- Triolet, M., Cordeau, S., & Steinb, C. (2018). *Bioherbicides*. Récupéré sur <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01604035/document>
- UIPP. (pas d'année précisée dans le document). *plaquelette glyphosate*. Récupéré sur http://www.monsantoglobal.com/global/fr/produits/documents/plaquelette_glyphosate.pdf
- Van Bruggen , & al. (2018). Environment and health effects of the herbicide glyphosate. *Science of the total environment* , 255-268.
- VivaTech 2019 : la révolution digitale est sur les rails. (2019). Consulté le novembre 2019, sur <https://www.sncf-reseau.com/>: <https://www.sncf-reseau.com/fr/entreprise/newsroom/actualite/vivatech-2019-revolution-digitale>

