

**RÉSUMÉ** Découvert en 1970 et commercialisé sous l'appellation Roundup®, le glyphosate est le désherbant le plus vendu au monde. Susceptible de provoquer des lésions graves pour les organismes aquatiques, les poissons sont cependant relativement peu sensibles à cet herbicide organophosphoré. Chez ces derniers, la toxicité chronique du glyphosate se traduit par une diminution du métabolisme général, des lésions anatomo- et histopathologiques, un effet perturbateur endocrinien important et des dommages à l'ADN. En fait, la toxicité du glyphosate est due surtout à la présence d'un adjuvant, le polyoxyéthylène amine (ou POEA), un tensioactif qui amplifie l'activité des herbicides. Bien que l'utilisation du glyphosate soit désormais interdite en France, sa recherche dans les hydrosystèmes doit être poursuivie et une surveillance de ses effets sur les biocénoses aquatiques maintenue.

# Effets du glyphosate sur la santé des poissons

Cette synthèse démontre la diversité des effets nocifs d'un produit pourtant encore en vente libre récemment... Aussi devons-nous garder à l'esprit que toute substance chimique à usage phytosanitaire peut induire des effets délétères autres que toxiques pour l'environnement et les biocénoses.

## Un herbicide systémique au spectre total

Le glyphosate, ou N-phosphonométhyl glycine, est un herbicide organophosphoré, non sélectif, non inhibiteur des cholinestérases, dérivé d'un acide aminé, la glycine, et appartenant à la famille des aminophosphates. En bloquant la chaîne de synthèse des précurseurs d'acides aminés aromatiques essentiels, le glyphosate provoque une diminution du taux de synthèse protéique de la chlorophylle et de certaines hormones. La cessation de la croissance qui en découle est alors suivie de la nécrose des tissus qui aboutit à la mort de la plante. Utilisé pour détruire les vivaces à enracinement profond et les herbes annuelles ou bisannuelles, le glyphosate est un herbicide complet car il possède la propriété d'être total (tous les végétaux y compris aquatiques y sont sensibles à des degrés divers) et systémique (il atteint tous les tissus de la plante y compris le système racinaire). Les usages du glyphosate sont donc nombreux : désherbage des allées de parcs, des jardins et des trottoirs en zones non agricoles, désherbage des zones cultivées, des céréales et des jachères, des cultures légumières et florales, des vignes et vergers, des arbres et arbustes d'ornement et des forêts, dévitalisation des souches, broussailles et arbres et désherbage de plantes semi-aquatiques.

**D**ésherbant à large spectre le plus vendu au monde, le glyphosate figure parmi les herbicides les plus utilisés en agriculture. Les raisons en sont multiples : simplicité d'utilisation, coût modique, action sur certaines voies métaboliques de la croissance des végétaux qui n'existent pas chez les animaux. En France métropolitaine, plus de 9100 tonnes de matière active ont été consommées en 2016 (données Base Nationale des Ventes des Distributeurs : <https://bnvd.ineris.fr/>) et un champ de blé sur trois est traité au glyphosate. Le glyphosate fut découvert en 1970 par un groupe de scientifiques de l'entreprise Monsanto et a été commercialisé pour la première fois en 1974 sous l'appellation Roundup®. Depuis, d'autres glyphosates sont apparus (**Photo 1**), portant différents noms et répondant à diverses formules chimiques en fonction des adjuvants utilisés pour les élaborer.

Par **Patrick GIRARD**

Vétérinaire Ichtyologue, Secrétaire de l'Association « Santé Poissons Sauvages »

1, rue Lei Dindouletto - 13790 Peynier  
patagir@club-internet.fr

### Photo 1.

Le glyphosate fut découvert en 1970 par un groupe de scientifiques de l'entreprise Monsanto et a été commercialisé pour la première fois en 1974 sous l'appellation « Roundup ». Depuis, d'autres glyphosates sont apparus, portant différents noms et répondant à diverses formules chimiques en fonction des adjuvants utilisés pour les élaborer.



Cliché : Patrick GIRARD

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 renferment le plus souvent un dérivé du glyphosate, le sel d'isopropylamine, très soluble dans l'eau. Dans certaines spécialités, d'autres herbicides peuvent être également présents. Parmi les nombreuses spécialités commerciales présentes sur le marché on note Amega® (CFPI Nufarm), Cargly® (Cardel), Cosmic® (Calliope), Tchao® (BHS), Nomix® (Monsanto), Rodeo® (Monsanto) et, bien sûr, Roundup® (Monsanto).

Les adjuvants utilisés dans les formulations de glyphosate sont des surfactants. Leur présence est toujours nécessaire afin de permettre la pénétration la molécule dans la plante. Sans eux, seulement 10 % de la quantité de glyphosate pénétrerait dans la plante. Ces surfactants sont donc indispensables afin d'optimiser l'activité biologique des sels de glyphosate. Les surfactants présents dans les formulations de cet herbicide sont principalement issus de deux familles très toxiques pour l'environnement : les amines grasses éthoxylées et les esters de phosphates. Le principal surfactant présent dans la gamme de produits Roundup® est un adjuvant cationique, le polyoxyéthylène amine (« Polyethoxylated tallow amine » ou POEA), dont la dénomination commerciale est Genamin® (11).

## Toxicité du glyphosate pour les poissons

Le glyphosate peut pénétrer dans les eaux de surface par ruissellement, lessivage, infiltrations ou percolation. Les études sur la question montrent que, dans l'environnement naturel, le glyphosate est non persistant à modérément persistant dans le sol et l'eau et donne lieu à un produit de transformation principal dans le sol et l'eau, l'acide aminométhylphosphonique (AMPA).

Le glyphosate est connu pour être l'un des contaminants terrestres et aquatiques les plus courants. Les formulations de glyphosate contenant des POEA peuvent poser un risque pour les plantes d'eau douce et les invertébrés d'eau douce et des milieux marins et estuariens dont se nourrissent de nombreuses espèces piscicoles. Les formulations de glyphosate sans POEA peuvent poser un risque seulement pour les algues d'eau douce. Par contre, l'ingrédient actif de qualité technique du glyphosate est toxique pour les poissons des milieux marins et estuariens. En outre, selon les instances françaises et internationales, le glyphosate est susceptible de provoquer des lésions graves et toxiques pour les organismes aquatiques et d'entraîner des effets néfastes à long terme pour l'environnement aquatique (10, 12). Le glyphosate et l'AMPA ne sont pas bioaccumulables dans les organismes aquatiques en raison de leurs faibles coefficients de partage octanol-eau. En revanche, certains surfactants que l'on retrouve dans les formulations de glyphosate et qui sont dérivés de composés POEA sont susceptibles d'être bioaccumulables. Cependant, comme les constituants de ces composés se dégradent facilement et qu'ils ne sont pas persistants dans le sol et dans l'eau, il est peu probable qu'une bioaccumulation importante se produise dans des conditions réelles. Ni lipophile, ni liposoluble, le glyphosate est cependant soluble dans l'eau (12g/l à 25°C). De ce fait, il est peu, voire pas du tout métabolisé et ne s'accumule pas chez l'animal. Le facteur de bioconcentration (BCF) est de 0,52 pour le crapet arlequin (*Lepomis macrochirus*), un poisson de la famille des Centrarchidés. Ce résultat indique que la bioconcentration du glyphosate dans les organismes aquatiques est très faible. Il n'est donc pas bio-accumulé dans le muscle des poissons ou dans d'autres organes (9, 12).

## Toxicité aiguë

La toxicité aiguë d'un produit chimique s'évalue à l'aide de deux indicateurs quantitatifs, la dose létale 50 (DL50) et la concentration létale 50

(CL50). Ces indicateurs mesurent la dose d'une substance causant la mort à court terme, généralement en 24 à 96 heures, de 50% d'individus dans une population animale donnée dans des conditions d'expérimentation précises et par administration unique. Ils s'expriment en milligrammes de matière active par kilogramme d'animal (5).

Les poissons sont relativement peu sensibles au glyphosate. La CL50/96h de ce dés herbant se situant entre 24 et 140 mg/l pour les poissons d'eau douce (Tableau 1), celle du sel de triméthylsulfonium du glyphosate est de 5,7 mg/L pour la truite arc-en-ciel (6), alors que chez des juvéniles de tilapias du Nil (*Oreochromis niloticus*) de 15 ± 1,0 g exposés expérimentalement pendant 96 h à différentes concentrations de glyphosate, la CL50 moyenne était de 1,05 mg/l (3). Le tableau ci-dessous récapitule différentes valeurs de CL50 pour cinq espèces de poissons.

En revanche, la dose sans effet observable (« no observed effect concentration » en anglais, NOEC), est un acronyme qui désigne la dose sans aucun effet, c'est-à-dire la dose la plus élevée d'une substance qui ne provoque pas de modifications distinctes de celles observées chez les animaux contrôlés à plus ou moins long terme (généralement plusieurs semaines). Elle s'exprime en µg ou mg/l. Ainsi, la NOEC (21 j) est estimée à 150 mg/l pour la truite arc-en-ciel *Oncorhynchus mykiss* (1) et la NOEC (254 j) à 25,7 mg/l pour le vairon tête de boule *Pimephales promelas* (13).

## Toxicité chronique

La toxicité chronique du glyphosate a été étudiée chez plusieurs espèces de poissons, mettant en évidence des effets à différents niveaux d'organisation.

D'une façon générale, les glyphosates provoquent une diminution du métabolisme général et induisent des dommages à l'ADN.

Plusieurs études ont mis l'accent chez le tilapia du Nil et la carpe *Cyprinus carpio* sur les effets anatomo- et histopathologiques au niveau de différents organes, le foie, le rein et les branchies étant les organes les plus touchés. Ainsi, des foies de carpes exposées 14 jours à des concentrations sublétales de glyphosate ont montré une dégénérescence du cytoplasme, une infiltration des leucocytes, une nécrose, une augmentation de la taille et une vasodilatation sévère des hépatocytes avec présence de noyaux pycnotiques. En parallèle, une augmentation significative de certaines transaminases hépatiques, telles que l'aspartate

**Tableau 1. Toxicité du Glyphosate pour les poissons. D'après (7)**

Ecotoxicité aquatique aiguë			
Espèce	Critère d'effet	Valeur [mg/L]	Source
<i>Lepomis macrochirus</i>	CL50 (48 h)	> 24	US-EPA, 1993 (13)
		120	US-EPA, 1993 (13)
		140	US-EPA, 1993 (13)
		<b>130</b>	<b>Moyenne géométrique</b>
<i>Pimephales promelas</i>	CL50 (48 h)	45	US-EPA, 1993 (13)
		84,9	US-EPA, 1993 (13)
		97	US-EPA, 1993 (13)
		<b>91</b>	<b>Moyenne géométrique</b>
<i>Cyprinus carpio</i>	CL50 (96 h)	115	AGRITOX, 2013 (1)
<i>Oncorhynchus mykiss</i>	CL50 (96 h)	38	AGRITOX, 2013 (1)
		134	US-EPA, 1993 (13)
		<b>71</b>	<b>Moyenne géométrique</b>
	CL50 (48 h)	86	US-EPA, 1993 (13)
		140	US-EPA, 1993 (13)
		<b>110</b>	<b>Moyenne géométrique</b>
<i>Ictalurus punctatus</i>	CL50 (48 h)	130	US-EPA, 1993 (13)

amino-transférase (AST) et l'alanine amino-transférase (ALT), une diminution de la teneur en protéines et en lipides ont été observées chez des alevins de carpes (4). Une autre étude, réalisée sur les carpes, a mis en évidence que le Roundup provoque l'apparition de structures pathologiques au niveau des hépatocytes et notamment au niveau des mitochondries, et ceci à des concentrations 20 à 40 fois plus faibles que celles utilisées en pratique (10).

Au niveau des branchies, une étude histopathologique conduite chez des tilapias du Nil exposés à des concentrations sublétales de glyphosate, a montré que les principaux changements ont été des œdèmes, une prolifération des cellules filamenteuses, une hyperplasie de l'épithélium lamellaire primaire et la fusion des lamelles secondaires. Ces altérations se sont traduites par un détresse respiratoire et la mort rapide des poissons exposés (3). Au cours de cette même étude, les reins ont présenté une dilatation de l'espace de Bowman

et une accumulation de gouttelettes hyalines dans les cellules épithéliales tubulaires du premier tubule proximal et de la pcynose (3). L'effet néfaste du glyphosate au niveau du cerveau s'est manifesté par une dégénérescence neuronale généralisée, une spongiose et une altération des activités acétylcholinestérase, provoquant une nage irrégulière et des troubles du comportement des poissons pouvant être accompagnés par des hyperstimulations des muscles aboutissant à des tétanies et la mort. Le glyphosate possède également un effet spinal, c'est-à-dire que ce polluant peut provoquer des déformations de la colonne vertébrale chez les poissons, en particulier chez les juvéniles, à des doses de l'ordre de 0,36 mg/l. D'importantes perturbations des paramètres sanguins (hématocrite, globules rouges et blancs) existent également chez des poissons soumis à des doses sublétales de Roundup. Enfin, le glyphosate est un perturbateur endocrinien. Présent dans l'environnement à des doses sublétales, il peut provoquer l'altération des profils hormonaux des individus et avoir aussi un effet direct sur les possibilités de reproduction de certaines espèces en diminuant la viabilité des œufs ou (et) des larves (6). Le glyphosate à faible concentration dans l'eau (3,6 mg/L) altère la reproduction du poisson-chat argenté *Rhamdia quelen*, le profil de ses hormones stéroïdes et la viabilité de ses œufs (5).

Dans le cadre d'une enquête à l'échelle des bassins versants sur les effets d'un herbicide à base de glyphosate appliqué sur une forêt côtière dans l'ouest du Canada, des effets de stress temporaires et un faible taux de mortalité (2,6 %) ont été observés sur les alevins de saumon coho maintenus en cage dans un affluent pulvérisé dans un but expérimental.

De plus, certains travaux ont montré que le glyphosate pouvait agir en synergie avec certains parasites trématodes et qu'il pouvait aggraver les effets de ces derniers en particulier chez les alevins.

Du côté des poissons marins, même s'ils sont moins concernés que les espèces d'eau douce, de nombreuses études ont rapporté que le glyphosate avait provoqué des lésions du foie et des reins, comme chez le tilapia du Nil ; après 96 heures d'exposition à des doses relativement élevées, une mortalité accrue a été observée.

Le niveau de toxicité de tout pesticide dépend des facteurs environnementaux tels que la température, le pH, la nature et la structure

du sol, ainsi que les sédiments en suspension, de sa concentration dans le milieu, du composé, de sa bioaccumulation dans les organismes vivants, des espèces-cible, de l'âge, des réactions des organismes recevant le toxique et des différentes formulations. A ce propos, il a été démontré que les poissons sont plus sensibles aux polluants aquatiques au cours de leurs premiers stades biologiques.

Il existe donc un impact des autres substances accompagnant le glyphosate dans les produits commercialisés (principalement les surfactants tensioactifs), certaines formulations pouvant être nettement toxiques pour les poissons. Cette toxicité est due à la présence dans les préparations de l'agent mouillant polyoxyéthylène amine (POEA), un tensioactif non ionique qui amplifie l'activité des herbicides. D'ailleurs, diverses études montrent que le POEA est plus toxique que le glyphosate. La CL50 déterminée pour la truite arc-en-ciel est ainsi de 140 mg/l pour le glyphosate seul et de 8,3 mg/l pour la spécialité commerciale (Roundup®), ce qui représente une toxicité presque 20 fois plus élevée (10).

Enfin, des travaux récents ont démontré une potentialisation des antibiotiques présents dans les milieux aquatiques par les biocides (tels que les désinfectants), les métaux et les produits phytosanitaires. Ainsi, des chercheurs ont constaté que la réaction des bactéries *Escherichia coli* et *Salmonella enterica* serovar Typhimurium aux antibiotiques – notamment à l'ampicilline, à la ciprofloxacine et à la tétracycline – était différente selon qu'elles étaient ou non exposées à trois herbicides très courants – le glyphosate, le 2,4-D et un désherbant organochloré, le dicamba. Aux concentrations appliquées, la survie des bactéries n'est pas atteinte par les herbicides mais elles mettent en action des pompes dites à efflux pour expulser les toxines. Or ce mécanisme peut favoriser radicalement leur résistance aux antibiotiques (8).

## Conclusion

Sans être exhaustive et bien que la littérature sur les effets du glyphosate sur la santé des poissons soit relativement frustrante, cette analyse bibliographique montre que cet herbicide organophosphoré peut être relativement toxique pour les poissons, surtout en présence d'adjuvants, notamment le polyoxyéthylène amine (ou POEA), principal surfactant de la gamme de produits Roundup®.

Toutefois, nous avons vu que pour cinq espèces de poissons les CL50 dépassaient lar-

gement le mg/l et que les "doses sans effet observable"(NOEC) étaient bien plus élevées encore. Or les concentrations moyennes relevées dans les eaux de surface en France sur la période 2007-2017 sont comprises entre 2,4 µg/l et 70,2 µg/l, donc très nettement inférieures à ces concentrations létales (2). Qui plus est, la DDASS des Côtes d'Armor avait détecté en 2005 la présence du glyphosate dans 82% de 26 captages d'eau superficielle surveillés, dont 75% à des concentrations légèrement supérieures à 0,1 µg/l (limite pour qu'une eau soit potabilisable).

L'importance de la toxicité chronique de ce polluant pour les poissons apparaît donc limitée, notamment dans le temps, car non seulement le glyphosate est non persistant à modérément persistant dans le sol et l'eau mais, en outre, il n'est que très peu bioaccumulable dans les organismes aquatiques en raison de son faible coefficient de partage octanol-eau.

De plus, en raison des risques probables pour la faune et la flore et, surtout, pour la santé humaine, l'utilisation en France du glyphosate par les collectivités dans les espaces ouverts au public est interdite depuis le 1er janvier 2017 et son usage banni depuis le 1er janvier 2019 pour tous les usages non professionnels, en particulier pour les jardiniers amateurs. De même, le Roundup n'a jamais été autorisé dans l'Union Européenne pour désherber des mares et des étangs de pêche en eau.

Malgré tout, la recherche du glyphosate et molécules apparentées dans les hydrosystèmes doit être poursuivie et une surveillance de leurs effets sur les biocénoses aquatiques maintenue.

#### REMERCIEMENTS

Je tiens à exprimer toute ma gratitude à monsieur Pierre ELIE, Directeur de Recherches, Consultant en Eco-ichtyologie et Président de l'Association « Santé Poissons Sauvages » pour ses recherches documentaires approfondies.

#### BIBLIOGRAPHIE

- 1 - AGRITOX, 2013. Base de données sur les substances actives phytopharmaceutiques. Disponible en ligne : <http://www.dive.afssa.fr/agritox/php/fiches.php>
- 2 - ANSES. Synthèse des données de surveillance. Appui scientifique et technique n°2017-04. 2017
- 3 - AYOOLA SO. Toxicity of glyphosate herbicide on Nile tilapia. African Journal of Agricultural Research. 2008;3(12):825-834
- 4 - BAWA V, KONDAL JK, HUNDAL SS, KAUR H. Biochemical and Histological Effects of Glyphosate on the Liver of Cyprinus carpio (Linn.). American Journal of Life Sciences. Special Issue: Environmental Toxicology. 2017;5(3-1):71-80.
- 5 - BENCK SOSO AB, BARCELLOS LJJ, RANZANI-PAIVA MJ, KREUTZ LC *et al.* Chronic exposure to sub-lethal concentration of a glyphosate-based herbicide alters hormone profiles and affects reproduction of female Jundiá (*Rhamdia quelen*). Environmental Toxicology and Pharmacology, 2007;23(3):308-313.
- 6 - INERIS. Portail substances chimiques. Fiche Glyphosate Disponible en ligne : <https://substances.ineris.fr/fr/substance/nom/glyphosate>
- 7 - INERIS, 2014. Fiche technique. GLYPHOSATE - n° CAS : 1071-83-6
- 8 - Kurenbach B, Marjoshi D, Amabile-Cuevas CF, Ferguson GC, Godsoe W, Gibson P, Heinemann JA. Sublethal Exposure to Commercial Formulations of the Herbicides Dicamba, 2,4-Dichlorophenoxyacetic Acid, and Glyphosate Cause Changes in Antibiotic Susceptibility in *Escherichia coli* and *Salmonella enterica* serovar Typhimurium. mBio. 2015;6(2):e00009-15
- 9 - INRS. Glyphosate Fiche toxicologique n° 273 Disponible en ligne : [www.inrs.fr/publications/bdd/fichetox/fiche.html?refINRS=FICHETOX\\_273](http://www.inrs.fr/publications/bdd/fichetox/fiche.html?refINRS=FICHETOX_273)
- 10 - MARC J. Effets toxiques d'herbicides à base de glyphosate sur la régulation du cycle cellulaire et le développement précoce en utilisant l'embryon d'oursin. Th. Doc. Toxicologie. Rennes 1. 2004:165p.
- 11 - REBOUT X, BLANCK M, AUBERTOT J-N, JEUFFROY M-H, MUNIER-JOLAIN N, THIOULET-SCHOLTUS M. Usages et alternatives au glyphosate dans l'agriculture française. Rapport INRA à la saisine. Ref TR507024. 2017:85 p.
- 12 - RITTER L. Le glyphosate. Résumé du Projet de décision de réévaluation de l'Agence de réglementation de la lutte antiparasitaire. 2015:18 p. Disponible en ligne : [http://www.hc-sc.gc.ca/cps-spc/pest/part/consultations/\\_prvd201501/prvd2015-01-fra.php](http://www.hc-sc.gc.ca/cps-spc/pest/part/consultations/_prvd201501/prvd2015-01-fra.php)
- 13 - US-EPA. Registration Eligibility Decision (RED) - Glyphosate. US-EPA, EPA 738-R-93-014. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Prevention, Pesticides, and Toxic Substances, Office of Pesticide Programs, U.S. Government Printing Office : Washington, DC 1993
- 14 - WIKIPEDIA. Dose létale médiane Disponible en ligne : [https://fr.wikipedia.org/wiki/Dose\\_l%C3%A9tale\\_m%C3%A9diane](https://fr.wikipedia.org/wiki/Dose_l%C3%A9tale_m%C3%A9diane)
- 15 - WIKIPEDIA. Glyphosate Disponible en ligne : <https://fr.wikipedia.org/wiki/Glyphosate>



Pour leur donner  
un bon départ  
dans la vie !



## TVM, UNE GAMME COMPLÈTE DE LAITS D'ALLAITEMENT

- › Lait Maternisé tvn Optima pour chiots, chatons, rongeurs, lapins...
- › Herbimilk pour veaux, agneaux, chevreaux.

**tvm** INNOVATIVE  
ANIMAL HEALTH