

Document d'information : le glyphosate, omniprésent et inquiétant

Le glyphosate, mieux connu sous sa première appellation commerciale de RoundUp^{MD} (Monsanto), est un herbicide à large spectre souvent utilisé dans les cultures génétiquement modifiées pour résister à son application (RoundUp Ready^{MD}). Il est aussi utilisé comme désherbant total en agriculture ou pour l'entretien aux abords des routes.

C'est aujourd'hui l'herbicide le plus utilisé dans le monde¹⁻⁴, et le plus vendu au Québec^{5, 6} (voir Figure 1). L'essor des cultures génétiquement modifiées est associé à une augmentation de ses ventes⁷ et de la fréquence à laquelle il est détecté dans l'eau des rivières drainant les régions en culture de maïs et de soya faisant l'objet d'un suivi au Québec⁸. On le retrouvait dans la quasi-totalité — jusqu'à 97,5 % — des cours d'eau échantillonnés en 2014⁸.

Glyphosate, bactéries et santé humaine

Le glyphosate tue les végétaux en inhibant la synthèse d'acides aminés aromatiques essentiels aux plantes⁹ (voir Figure 2). On croyait initialement que ce mode d'action agissait seulement sur le métabolisme des végétaux, ce qui faisait apparemment du glyphosate un herbicide sécuritaire pour les autres organismes vivants⁹. Cependant, on sait maintenant que les champignons, les bactéries et les animaux peuvent aussi être affectés par le glyphosate¹⁰. En affectant les bactéries du sol, le glyphosate pourrait jouer un rôle dans les maladies des plantes ou nuire à leur nutrition¹⁰⁻¹⁴. En affectant les bactéries qui colonisent le système digestif, le glyphosate pourrait aussi engendrer des problèmes majeurs sur le plan de la santé humaine¹⁵. Monsanto détient d'ailleurs un brevet pour l'utilisation du glyphosate en tant qu'antibiotique à large spectre¹⁶.

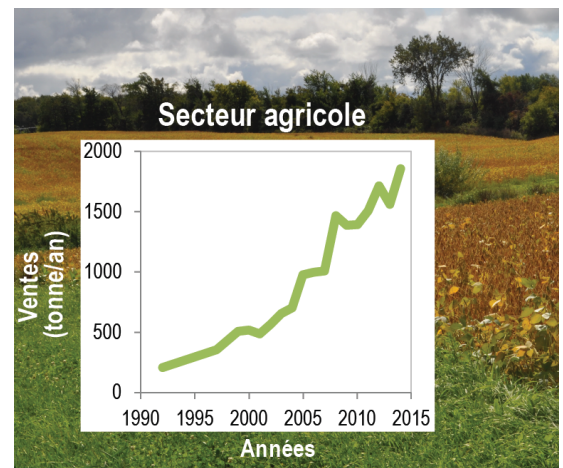


Figure 1 : Ventes de glyphosate au Québec.

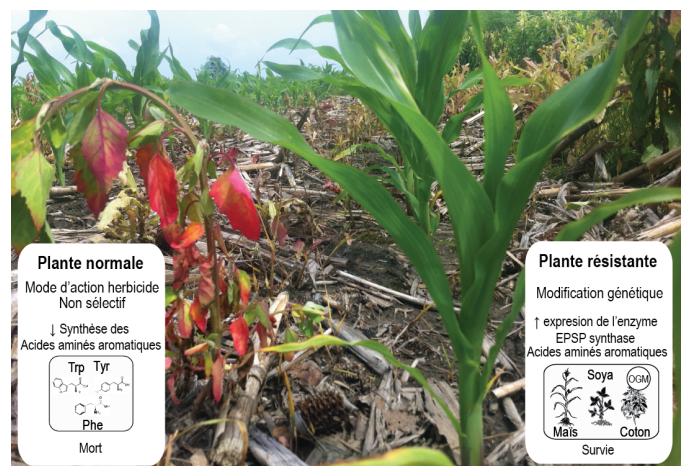


Figure 2 : Mode d'action du glyphosate chez les plantes normales et mécanisme de résistance chez les plantes génétiquement modifiées.

Des usages très répandus

Le glyphosate était initialement perçu comme une solution de rechange plus sécuritaire pour la santé et l'environnement par rapport aux herbicides qu'il remplaçait sur le marché^{17, 18}. Près de 200 formulations commerciales contenant différentes formes de glyphosate sont enregistrées au Canada¹⁹; aux États-Unis, plus de 400 formulations sont enregistrées pour utilisation sur plus de 100 cultures alimentaires²⁰. La majorité du maïs-grain (88 %) et du soya (59 %) semé au Québec est génétiquement modifiée, souvent pour résister au glyphosate; il s'agit d'une tendance toujours à la hausse²¹. Le glyphosate est utilisé comme desséchant préalablement à la récolte des céréales^{22, 23}. Il est aussi utilisé dans les cultures de pommes, de raisins, de bleuets, de canneberges, de fraises, de betterave à sucre et d'asperges²⁴. Aux États-Unis, 90 % des orangeries et 80 % des vergers de pistaches, d'amandes et de pamplemousses sont traités au glyphosate sur une base annuelle²⁰. Enfin, on utilise aussi le glyphosate pour une foule d'usages commerciaux, industriels ou résidentiels, par exemple pour désherber les bordures de routes et de chemins de fer, les plates-bandes, les terrains de golf, le tarmac et les pistes d'aéroports et même les cours d'école ou les parcs²⁴⁻²⁶.

Nuisances à la flore sauvage et aux cultures

Outre les plantes indésirables directement ciblées, le glyphosate affecte tous les types de plantes²⁷⁻²⁹. En deçà des doses permettant de tuer les plantes, le glyphosate peut affecter leur nutrition en immobilisant certains nutriments dans le sol (effet chélateur), en limitant la fixation d'azote par les racines du soya^{14, 30}, ou encore en limitant les associations entre les plantes et des champignons symbiotiques bénéfiques (mycorhizes)³¹. Par ailleurs, on suspecte un lien indirect entre le glyphosate et certaines maladies s'attaquant aux plantes, comme la fusariose chez le blé^{32, 33}.

Le glyphosate modifie aussi les écosystèmes agricoles : le déclin de l'asclépiade (*Asclepias syriaca*), une plante autrefois commune et dont le déclin est associé à l'usage du glyphosate, coïncide avec le déclin du papillon monarque (*Danaus plexippus*), qui en dépend³⁴.

Résistance des indésirables

À long terme, l'utilisation répétée du glyphosate en agriculture³⁵⁻³⁹ comme en sylviculture⁴⁰ engendre une pression de sélection qui favorise le développement de la résistance chez les plantes que l'on désire éliminer. Ce phénomène pousse toutefois les agriculteurs à augmenter les doses ou à répéter les applications de glyphosate, parfois conjointement avec des herbicides plus toxiques délaissés auparavant^{8, 35-39}. Des plantes résistantes ont été répertoriées en Ontario et on anticipe leur présence à brève échéance au Québec⁸.

Persistance environnementale et lessivage vers les cours d'eau

Lors de l'utilisation du glyphosate, une fraction de la dose appliquée peut être entraînée par le vent (dérive atmosphérique), et une autre fraction rejoint directement les sols où il s'adsorbe fortement aux particules^{10, 41, 42} (voir Figure 3). Les bactéries qui dégradent le glyphosate produisent entre autres de l'acide aminométhylphosphonique (AMPA), un métabolite toxique⁴¹. Si le glyphosate se dégrade normalement rapidement (1 jour à 6 mois dans les sols^{10, 43}), un climat froid — comme celui du Québec — pourrait allonger le temps requis pour dégrader la moitié de la concentration présente (jusqu'à 9-24 mois⁴⁴⁻⁴⁸). Cette persistance

accrue dans les sols n'est cependant pas prise en compte dans le projet de réévaluation du glyphosate par Santé Canada⁴⁹.

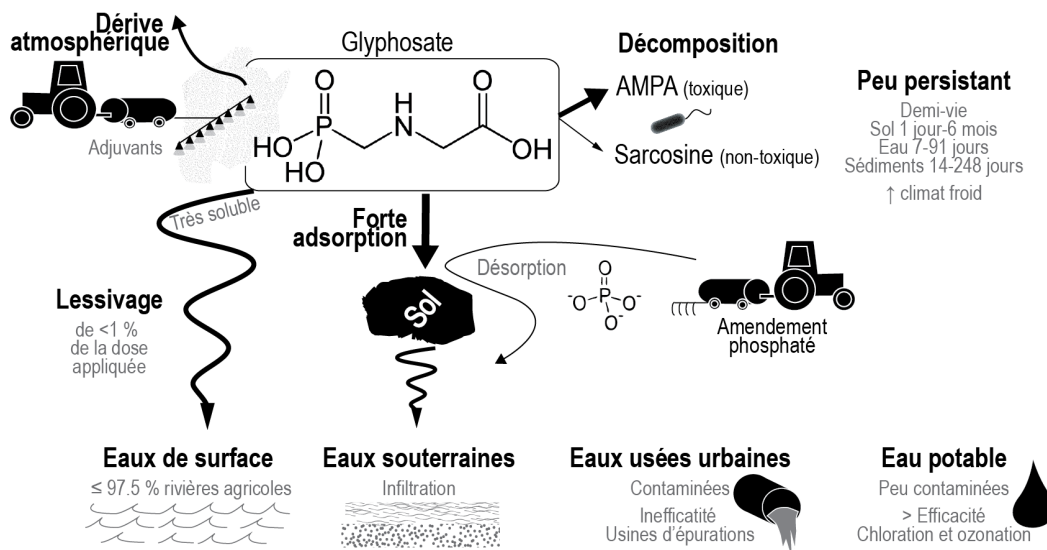


Figure 3 : Mouvement et persistance du glyphosate dans l'environnement.

Avec le temps, les sites d'adsorption dans le sol pourraient devenir saturés en glyphosate⁵⁰ et alors, une application de glyphosate ou un amendement de phosphore (qui rivalise pour les mêmes sites d'adsorption) pourrait induire la redissolution du glyphosate dans l'eau^{46, 51}. Parce qu'il est fortement soluble dans l'eau⁵², une fraction du glyphosate peut éventuellement être lessivée des sols par la pluie, et rejoindre les cours d'eau⁵³. Le glyphosate est d'ailleurs détecté dans 88 à 97,5 % des cours d'eau agricoles québécois faisant l'objet d'un suivi⁸. Parallèlement, des traces de cet herbicide ont été détectées dans les eaux souterraines partout dans le monde, y compris aux États-Unis et en Europe^{50, 54-59}, ce qui alimente les inquiétudes des chercheurs quant à d'éventuels effets adverses sur la santé humaine^{60, 61}. Contredisant l'état actuel des connaissances en la matière, Santé Canada soutient que l'infiltration de glyphosate jusque dans la nappe phréatique est peu probable⁴⁹.

Exposition de la population par l'entremise de l'eau potable

L'eau ou l'ingestion d'aliments contaminés seraient les principales voies d'exposition au glyphosate pour la population générale. L'exposition dermique et respiratoire constituent les scénarios les plus préoccupants en milieu de travail⁶².

Au Québec, les activités agricoles se concentrent dans la vallée du fleuve St-Laurent, ce dernier étant source d'eau potable pour 45 % des Québécois⁶³. Dans des tributaires du fleuve bordant des cultures intensives de maïs et de soya, des concentrations de glyphosate de 4,8 à 18 µg/l ont été mesurées⁸. Par ailleurs, les usines d'épuration ne parviennent pas à éliminer efficacement le glyphosate des effluents urbains⁶⁴. Heureusement toutefois, les usines de traitement d'eau potable utilisant la chloration ou l'ozonation semblent efficaces pour éliminer le glyphosate⁶⁵⁻⁶⁷. Ainsi, la concentration de glyphosate dans le réseau de distribution montréalais était sous les seuils de détection entre 2010 et 2014⁶⁸⁻⁷⁰; il a seulement été détecté en 2005 (concentration maximale de 2,1 µg/l) lors d'un suivi de 204 réseaux de distribution d'eau potable québécois mené entre 2005 et 2009⁷¹.

Rappelons que les normes québécoises et canadiennes pour le glyphosate dans l'eau potable sont de 280 µg/l^{65, 72}; le critère correspondant en Europe est établi à 0,1 µg/l⁷³. Sur la base de cette dernière norme européenne, des citoyens étasuniens ont revendiqué un meilleur suivi après avoir mesuré des concentrations de glyphosate pouvant atteindre jusqu'à 0,33 µg/l dans leur eau potable⁷⁴.

Exposition de la population par les aliments

Le glyphosate peut se retrouver sous forme de traces dans nos aliments⁷⁵. Des études menées par l'Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) ont rapporté la présence de résidus de glyphosate dans le blé, l'orge, les lentilles, le soja, les pois, les betteraves à sucre, le maïs, et des produits à base de céréales (comme la bière)⁷⁶⁻⁷⁸. Le glyphosate peut aussi être présent dans certains poissons et certaines viandes⁶². Cependant, au Canada, le programme de suivi de l'Agence canadienne d'inspection des aliments (ACIA) ne procède pas à un suivi régulier ni ponctuel du glyphosate dans les analyses spécifiques au café, thé et jus de fruits⁷⁹, aux légumes frais vendus dans le commerce interprovincial⁸⁰, ni même dans les aliments destinés aux enfants⁸¹ qui sont pourtant reconnus pour leur sensibilité accrue aux pesticides⁸²⁻⁸⁴. Cette absence de suivi est étonnante et inquiétante si l'on considère que le glyphosate peut être utilisé dans plusieurs vergers ou cultures maraîchères destinés à l'alimentation humaine, ou dans les grandes cultures destinées aux animaux d'élevage.

Des sources non alimentaires peuvent également exposer certains groupes de la population. On retrouve du glyphosate dans la poussière des maisons des agriculteurs⁸⁵, ce qui peut accroître les risques d'exposition des enfants qui jouent au sol ou ingèrent ce qui y est tombé⁸⁴. Le glyphosate serait aussi parfois présent en faible concentration dans les produits médicaux ou les serviettes hygiéniques féminines faites de coton⁸⁶.

Effets sournois chez les animaux, même à de faibles doses

Le glyphosate est considéré comme faiblement toxique pour les mammifères, les oiseaux et les animaux aquatiques⁵² (voir Figure 4). Par contre, on lui connaît une très forte toxicité chez la truite arc-en-ciel⁵². Des recherches indépendantes ont en outre démontré sa toxicité chez les amphibiens et le phytoplancton à des concentrations inférieures aux normes en vigueur pour les eaux de surface^{87, 88}. Par exemple, le glyphosate induit un changement au niveau des communautés de phytoplancton à des concentrations inférieures au

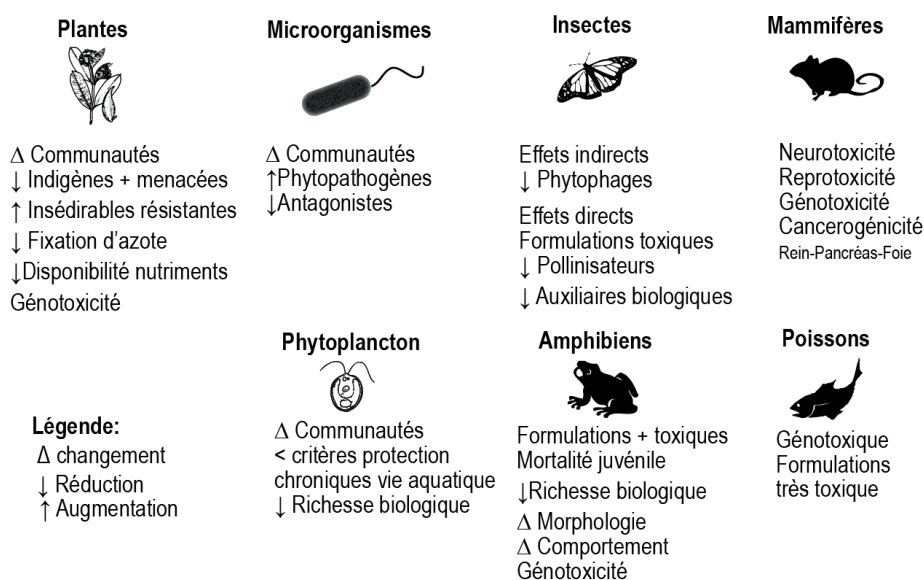


Figure 4 : Écotoxicité du glyphosate.

critère de qualité pour la protection de la vie aquatique contre la toxicité chronique du Québec (65 µg/l)⁸⁹. Ce critère pour la protection de la vie aquatique a d'ailleurs récemment été revu à la hausse par le Conseil canadien des ministres de l'Environnement (800 µg/l²⁶), lors d'une procédure qui ne semble pas convaincre d'emblée les spécialistes québécois⁸. Parmi les critiques émises par les spécialistes, notons le fait que seule la concentration de la substance active isolée est évaluée par ce critère — et non l'ensemble des ingrédients qui composent les formulations commerciales de glyphosate, incluant leurs adjuvants⁹⁰. Il est connu que les adjuvants contenus dans les formulations de glyphosate peuvent augmenter la toxicité de la substance active; par exemple, le Roundup^{MD} serait 125 fois plus toxique pour les cellules humaines que le glyphosate⁹¹.

Effets toxiques suspectés chez l'humain

Chez l'humain, des chercheurs universitaires soupçonnent que le glyphosate perturbe le système endocrinien^{92, 93}, provoque le cancer⁹⁴⁻⁹⁸, augmente le risque d'avortement spontané^{92, 99}, cause des malformations congénitales¹⁰⁰ et affecte le système nerveux^{101, 102}. D'autres scientifiques s'inquiètent de sa toxicité chez le fœtus¹⁰³ (voir Figure 5). En se basant sur des preuves limitées de lymphome non hodgkinien chez l'humain, des preuves suffisantes chez l'animal (cancer des reins, du pancréas et de la peau), et un mécanisme de cancérogenèse possiblement lié à la génotoxicité et au stress oxydatif, le Centre international de recherche sur le cancer (CIRC) a statué en 2015 que le glyphosate était un cancérigène probable chez l'humain^{97, 104}.

Une étude suggère une forte corrélation entre l'utilisation du glyphosate et plusieurs problèmes de santé humaine (hypertension, crises cardiaques, diabète, obésité, Alzheimer, démence sénile, Parkinson, sclérose en plaques, autisme, maladies inflammatoires du système digestif, infections intestinales, maladies rénales, cancers de la thyroïde, du foie, de la vessie, du pancréas, des reins et leucémies)¹⁰⁵. Ces corrélations ne prouvent pas à elles seules que le glyphosate induise ces effets, mais une autre étude a mis en lumière une série de mécanismes métaboliques pouvant expliquer le rôle potentiel du glyphosate dans certaines pathologies¹⁵.

Le glyphosate, un sujet d'actualité

À l'instar des États-Unis et de l'Union européenne, le Canada procède actuellement à une révision de l'homologation du glyphosate. L'année en cours verra donc apparaître plusieurs publications scientifiques et débats législatifs présentant les avantages du glyphosate, mais aussi ses inconvénients. Notamment, on s'attend à ce que les effets neurotoxiques et immunotoxicologiques, de même que les effets croisés et cumulatifs

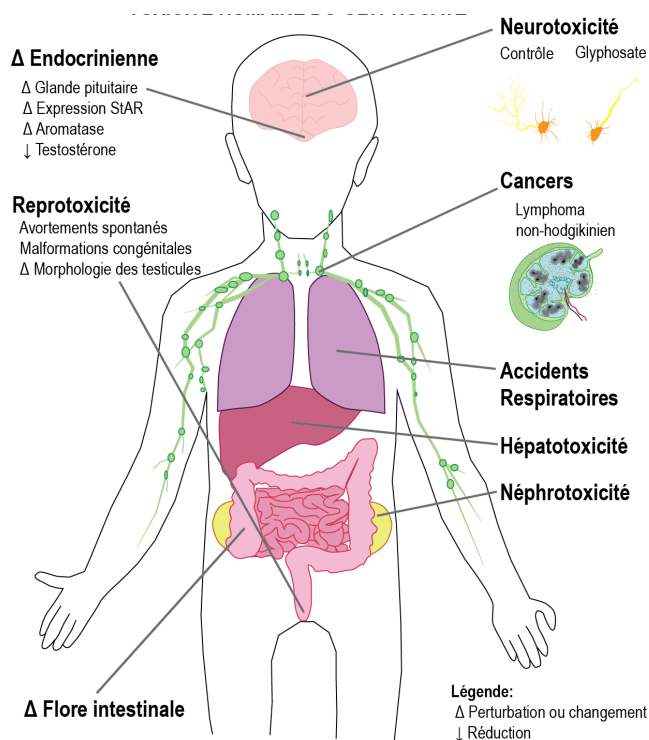


Figure 5 : Toxicité du glyphosate chez l'humain.

(interactions avec d'autres pesticides ou produits chimiques) soient mieux circonscrits dans les nouvelles études en vue de la ré-homologation du glyphosate^{106, 107}.

Le processus de ré-homologation par les agences réglementaires repose grandement sur un dossier d'information fourni par l'entreprise qui fabrique le pesticide en cause. Cela laisse malheureusement planer un doute quant à l'objectivité des études de toxicité¹⁰⁸. Les études universitaires indépendantes publiées dans des revues avec comité de relecture sont quant à elles souvent écartées des dossiers d'homologation, restreignant leur capacité à influencer les prises de décision publiques¹⁰⁹.

Conclusions

Parce que le glyphosate est l'herbicide le plus utilisé au monde, il est impératif d'être attentif à ses nombreux impacts sur la santé humaine et environnementale que les recherches scientifiques ont relevés. Le glyphosate ne semble pas être un herbicide hautement toxique, ni hautement mobile ou fortement persistant dans l'environnement. Mais il n'en demeure pas moins qu'il est omniprésent dans notre environnement, et qu'il est parfois plus mobilisé par l'eau et persistant que prévu. On soupçonne de plus en plus d'effets toxiques chroniques chez l'humain (cancérogénicité, perturbations endocriniennes, neurotoxicité, fœtotoxicité, etc.), ainsi qu'une panoplie d'effets environnementaux adverses (effets sur des plantes et animaux menacés, altération des communautés animales et végétales aquatiques ou du microbiote dans le sol, altération de la nutrition et de la résistance aux maladies chez les plantes, etc.).

À la lumière des connaissances scientifiques actuelles, il est essentiel que Santé Canada prenne en considération les éléments liés à la persistance du glyphosate en climat froid et à son infiltration potentielle vers la nappe phréatique lors du processus de ré-homologation. Ce dernier doit impérativement se fonder sur le principe de précaution; il doit également tenir compte de la cancérogénicité probable du glyphosate récemment établie par le Centre international de recherche sur le cancer^{97, 104}; et il doit également mieux prendre en considération les effets négatifs de divers coformulants. De son côté, Québec reconnaît l'importance de prendre en compte la cancérogénicité probable du glyphosate parce qu'il contamine la quasi-totalité des eaux de surface de la plaine du Saint-Laurent⁸. Le gouvernement fédéral mise sur l'aménagement de zones tampons - où l'épandage est interdit - pour protéger les cours d'eau. Pour sa part, le gouvernement provincial promeut également, par l'entremise d'une politique, l'implantation d'une bande riveraine végétale étroite, bien que celle-ci ne semble pas suffire pour freiner la contamination des eaux de surface par le glyphosate¹¹⁰. Bien que plusieurs municipalités québécoises restreignent l'utilisation des pesticides à des fins esthétiques, il demeure que ce produit est toujours en vente libre sur leur territoire et qu'il peut être utilisé sur des terrains de résidences privées ou d'établissements publics. Les municipalités pourraient donc imposer des contraintes réglementaires supplémentaires dans le but de mieux prévenir d'éventuels problèmes de santé humaine et environnementale liés au glyphosate.

Rédaction et illustrations : Louise Hénault-Ethier, Ph. D., sciences de l'environnement, Université du Québec à Montréal

Références

1. Health Canada, Rapport concernant les ventes de produits antiparasitaires en 2007 et 2008. *In* Agence de réglementation de la lutte antiparasitaire (ARLA). Santé Canada. Gouvernement du Canada. 33p.: 2011; p 33.
2. Environment Canada Presence and levels of priority pesticides in selected canadian aquatic ecosystems. Water science and technology directorate. Ottawa, Canada. 102p.
<http://www.ec.gc.ca/Publications/FAFE8474-C360-46CC-81AB-30565982E897/PresenceAndLevelsOfPriorityPesticidesInSelectedCanadianAquaticEcosystems.pdf> (2015-04-03)
3. EPA Pesticide Industry Sales and Usage 2006 and 2007 Market Estimates. Office of Pesticide Programs. 41p.
http://www.epa.gov/pesticides/pestsales/07pestsales/market_estimates2007.pdf (2015-02-17)
4. Eurostat and European Commission The Use of Plant Protection Products in the European Union Data 1992-2003. Nadin, P. *In* Eurostat Statistical Books. http://epp.eurostat.ec.europa.eu/cache/ITY_OFFPUB/KS-76-06-669/EN/KS-76-06-669-EN.PDF (Accessed 2013-11-15; p215)
5. Giroux, I.; Pelletier, L., Présence de pesticides dans l'eau au Québec - Bilan des quatre cours d'eau de zones en culture de maïs et de soya en 2008, 2009 et 2010. *In* Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, Direction du suivi de l'état de l'environnement - Gouvernement du Québec: 2012; pp ISBN 978-2-550-64159-9 (PDF), 46 p. et 3 annexes.
6. Gorse, I.; Balg, C., Bilan des ventes de pesticides au Québec pour l'année 2009 *In* Ministère du Développement durable de l'Environnement et des Parcs - Direction du suivi de l'état de l'environnement. Gouvernement du Québec. 82p.: 2012; p 82.
7. Gorse, I.; Balg, C., Bilan des ventes de pesticides au Québec pour l'année 2011 *In* Ministère du Développement durable de l'Environnement et des Parcs - Direction des politiques agricoles et des pesticides. Gouvernement du Québec. 60p.: 2014; p 60.
8. Giroux, I. Présence de pesticides dans l'eau au Québec - Portrait et tendances dans les zones de maïs et de soya 2011 à 2014.
<http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/eau/flrivlac/pesticides.htm> (2015-09-12)
9. Boocock, M. R.; Coggins, J. R., Kinetics of 5-enolpyruvylshikimate-3-phosphate synthase inhibition by glyphosate. *FEBS Letters* **1983**, *154*, (1), 127-133.
10. Duke, S. O.; Lydon, J.; Koskinen, W. C.; Moorman, T. B.; Chaney, R. L.; Hammerschmidt, R., Glyphosate effects on plant mineral nutrition, crop rhizosphere microbiota, and plant disease in glyphosate-resistant crops. *J Agr & Food Chem* **2012**, *60*, (42), 10375-10397.
11. Newman, M. M.; Hoilett, N.; Lorenz, N.; Dick, R. P.; Liles, M. R.; Ramsier, C.; Kloepper, J. W., Glyphosate effects on soil rhizosphere-associated bacterial communities. *Science of The Total Environment* **2016**, *543*, Part A, 155-160.
12. Johal, G. S.; Huber, D. M., Glyphosate effects on diseases of plants. *European Journal of Agronomy* **2009**, *31*, (3), 144-152.
13. Yamada, T.; Kremer, R. J.; de Camargo e Castro, P. R.; Wood, B. W., Glyphosate interactions with physiology, nutrition, and diseases of plants: Threat to agricultural sustainability? *European Journal of Agronomy* **2009**, *31*, (3), 111-113.
14. Kremer, R. J.; Means, N. E., Glyphosate and glyphosate-resistant crop interactions with rhizosphere microorganisms. *Eu J Agron* **2009**, *31*, (3), 153-161.
15. Samsel, A.; Seneff, S., Glyphosate's suppression of cytochrome P450 enzymes and amino acid biosynthesis by the gut microbiome: pathways to modern diseases. *Entropy* **2013**, *15*, (4), 1416-1463.
16. Abraham, W. Glyphosate formulations and their use for the inhibition of 5-enolpyruvylshikimate-3-phosphate synthase. US 7771736 B2, 2010.
17. Duke, S. O.; Powles, S. B., Glyphosate: a once-in-a-century herbicide. *Pest Management Science* **2008**, *64*, (4), 319-325.
18. Québec SAgE pesticides - Traitements phytosanitaires et risques associés.
<http://www.sagepesticides.qc.ca/Recherche/RechercheTraitements.aspx> (Access date 2013-12-15),
19. Health Canada Pesticides & Pest Management - Search product label. <http://pr-rp.hc-sc.gc.ca/lr-re/index-eng.php> (2015-03-06)
20. EPA Update Screening Level Usage Analysis (SLUA) Report in Support of Registration Review of Glyphosate. Office of Pesticide Programs, Environmental Protection Agency, 4p.
<http://www.regulations.gov/#!documentDetail;D=EPA-HQ-OPP-2009-0361-0045> (2015-07-15),

21. Institut de la statistique du Québec Superficie des grandes cultures génétiquement modifiées, rendement à l'hectare et production, par région administrative, Québec, 2015.
<http://www.stat.gouv.qc.ca/docs-hmi/statistiques/agriculture/grandes-cultures/index.html> (Consulté en ligne le 2014-08-26)
22. Nader, S.; E., B. R.; H., G. R.; L., G. C.; Christy, S.; H., S. P., Desiccation in dry edible beans with various herbicides. *Canadian Journal of Plant Science* **2013**, *93*, (5), 871-877.
23. Jaskulski, D.; Jaskulska, I., The effect of pre-harvest glyphosate application on grain quality and volunteer winter wheat. *Romanian Agricultural Research* **2014**, *31*, 283-289.
24. Monsanto Canada Inc., Roundup Original Liquid Herbicide Label. In Health Canada, Pest Management Regulatory Agency. 2007.
25. Ramwell, C. T.; Kah, M.; Johnson, P. D., Contribution of household herbicide usage to glyphosate and its degradate aminomethylphosphonic acid in surface water drains. *Pest Management Science* **2014**, *70*, (12), 1823-1830.
26. CCME (Canadian Council of Ministers of the Environment), Canadian water quality guidelines for the protection of aquatic life: Glyphosate. In *Canadian environmental quality guidelines*, Environment. Winnipeg, 2012.
27. Gomes, M. P.; Smedbol, E.; Chalifour, A.; Hénault-Ethier, L.; Labrecque, M.; Lepage, L.; Lucotte, M.; Juneau, P., Alteration of plant physiology by glyphosate and its by-product aminomethylphosphonic acid: an overview. *Journal of experimental botany* **2014**, *65*, (17), 4691-4703.
28. Heard, M. S.; Hawes, C.; Champion, G. T.; Clark, S. J.; Firbank, L. G.; Haughton, A. J.; Parish, A. M.; Perry, J. N.; Rothery, P.; Scott, R. J.; Skellern, M. P.; Squire, G. R.; Hill, M. O., Weeds in fields with contrasting conventional and genetically modified herbicide-tolerant crops. I. Effects on abundance and diversity. *Phil Trans Roy Soc London. Series B: Biol Sc* **2003**, *358*, (1439), 1819-1832.
29. Matarczyk, J. A.; Willis, A. J.; Vranjic, J. A.; Ash, J. E., Herbicides, weeds and endangered species: management of bitou bush (*Chrysanthemoides monilifera* ssp. *rotundata*) with glyphosate and impacts on the endangered shrub, *Pimelea spicata*. *Biol Cons* **2002**, *108*, (2), 133-141.
30. Bohm, G. M. B.; Alves, B. J. R.; Urquiaga, S.; Boddey, R. M.; Xavier, G. R.; Hax, F.; Rombaldi, C. V., Short communication: Glyphosate- and imazethapyr-induced effects on yield, nodule mass and biological nitrogen fixation in field-grown glyphosate-resistant soybean *Soil Biol & Biochem* **2009**, *41*, (2), 420-422.
31. Cerdeira, A. L.; Duke, S. O., Effects of glyphosate-resistant crop cultivation on soil and water quality. *GM crops* **2010**, *1*, (1), 16-24.
32. Bérubé, M.-È. Effet du glyphosate sur la fusariose de l'épi chez le blé et l'orge selon différents travaux du sol. Université Laval, Québec, Québec, 2010.
33. Powell, J. R.; Swanton, C. J., A critique of studies evaluating glyphosate effects on diseases associated with *Fusarium* spp. *Weed Res* **2008**, *48*, (4), 307-318.
34. Pleasants, J. M.; Oberhauser, K. S., Milkweed loss in agricultural fields because of herbicide use: effect on the monarch butterfly population. *Insect Conservation and Diversity* **2013**, *6*, (2), 135-144.
35. Benbrook, C. M. *Genetically Engineered Crops and Pesticide Use in the United States: The First Nine Years*; BioTech InfoNet: October 2004, 2004; p 53.
36. Benbrook, C. M. *Genetically Engineered Crops and Pesticide Use in the United States: The First Thirteen Years*; BioTech InfoNet: November 2009; p 61.
37. Beckie, H. J., Herbicide-Resistant Weeds: Management Tactics and Practices 1. *Weed Technology* **2006**, *20*, (3), 793-814.
38. Green, J. M.; Hazel, C. B.; Forney, D. R.; Pugh, L. M., New multiple-herbicide crop resistance and formulation technology to augment the utility of glyphosate. *Pest Management Science* **2008**, *64*, (4), 332-339.
39. Powles, S. B., Evolved glyphosate-resistant weeds around the world: lessons to be learnt. *Pest Management Science* **2008**, *64*, (4), 360-365.
40. Freedman, B.; Morash, R.; MacKinnon, D., Short-term changes in vegetation after the silvicultural spraying of glyphosate herbicide onto regenerating clearcuts in Nova Scotia, Canada. *Canadian Journal of Forest Research* **1993**, *23*, (10), 2300-2311.
41. Borggaard, O. K.; Gimsing, A. L., Fate of glyphosate in soil and the possibility of leaching to ground and surface waters: a review. *Pest Man Sc* **2008**, *64*, (4), 441-456.
42. Sprankle, P.; Meggitt, W. F.; Penner, D., Adsorption, mobility, and microbial degradation of glyphosate in the soil. *Weed Science* **1975**, *23*, (3), 229-234.
43. Wauchope, R. D.; Estes, T. L.; Allen, R.; Baker, J. L.; Hornsby, A. G.; Jones, R. L.; Richards, R. P.; Gustafson, D. I., Predicted impact of transgenic, herbicide-tolerant corn on drinking water quality in vulnerable watersheds of the mid-western USA. *Pest Man Sc* **2002**, *58*, (2), 146-160.
44. Bergström, L.; Börjesson, E.; Stenström, J., Laboratory and lysimeter studies of glyphosate and

- aminomethylphosphonic acid in a sand and a clay Soil. *J Env Qual* **2011**, 40, 207-216.
45. Laitinen, P.; Siimes, K.; Eronen, L.; Rämö, S.; Welling, L.; Oinonen, S.; Mattsoff, L.; Ruohonen-Lehto, M., Fate of the herbicides glyphosate, glufosinate-ammonium, phenmedipham, ethofumesate and metamitron in two Finnish arable soils. *Pest Management Science* **2006**, 62, (6), 473-491.
 46. Simonsen, L.; Fomsgaard, I.; Svensmark, B.; Spliid, N. H., Fate and availability of glyphosate and AMPA in agricultural soil. *J Env Sc & Health, Part B* **2008**, 43, (5), 365-375.
 47. Fomsgaard, I. S.; Spliid, N. H. H.; Felding, G., Leaching of pesticides through normal-tillage and low-tillage soil—A lysimeter study. II. Glyphosate. *Journal of Environmental Science and Health, Part B* **2003**, 38, (1), 19-35.
 48. Laitinen, P.; Rämö, S.; Nikunen, U.; Jauhiainen, L.; Siimes, K.; Turtola, E., Glyphosate and phosphorus leaching and residues in boreal sandy soil. *Plant and soil* **2009**, 323, (1-2), 267-283.
 49. Health Canada Proposed Re-evaluation Decision PRVD2015-01, Glyphosate. Pest Management Regulatory Agency. http://www.hc-sc.gc.ca/cps-spc/pest/part/consultations/_prvd2015-01/prvd2015-01-eng.php (2015-08-28),
 50. Litz, N.; Weigert, A.; Krause, B.; Heise, S.; Grützmacher, G., Comparative studies on the retardation and reduction of glyphosate during subsurface passage. *Water research* **2011**, 45, (10), 3047-3054.
 51. Borggaard, O. K., Does phosphate affect soil sorption and degradation of glyphosate?—A review. *Trends in Soil Sc & Plant Nut* **2011**, 2, (1), 16-27.
 52. EPA Registration Review - Preliminary Problem Formulation for the Ecological Risk and Drinking Water Exposure Assessments for Glyphosate and Its Salts EPA-HQ-2009-0361-0007. 46p. <http://www.regulations.gov/#!documentDetail;D=EPA-HQ-OPP-2009-0361-0007>
 53. Haney, R.; Senseman, S.; Krutz, L.; Hons, F., Soil carbon and nitrogen mineralization as affected by atrazine and glyphosate. *Biology and Fertility of Soils* **2002**, 35, (1), 35-40.
 54. Kjaer, J., Leaching of glyphosate and aminomethylphosphonic acid from Danish agricultural field sites. *J Env Qual* **2005**, 34, (2), 608.
 55. Scribner, E. A.; Battaglin, W. A.; Gilliom, R. J.; Meyer, M. T. *Concentrations of glyphosate, its degradation product, aminomethylphosphonic acid, and glufosinate in ground-and surface-water, rainfall, and soil samples collected in the United States, 2001-06*; USGS, 111p.: USA, 2007.
 56. Aparicio, V. C.; De Gerónimo, E.; Marino, D.; Primost, J.; Carriquiriborde, P.; Costa, J. L., Environmental fate of glyphosate and aminomethylphosphonic acid in surface waters and soil of agricultural basins. *Chemosphere* **2013**, 93, (9), 1866-1873.
 57. GEUS *Grundvandsovervågning 1989-2012. [Groundwater Monitoring 1989-2012]*; Geological Survey of Denmark and Greenland Ministry of Environment. Copenhagen, Denmark. 157p., 2013.
 58. Horth, H.; Blackmore, K. Survey of Glyphosate and AMPA in groundwaters and surface waters in Europe. Final Report. WRC Ref: UC8073.02. <http://www.egeis.org/cd-info/WRC-report-UC8073-02-December-2009-Glyphosate-monitoring-in-water.pdf> (2015-03-05)
 59. Struger, J.; Thompson, D.; Staznik, B.; Martin, P.; McDaniel, T.; Marvin, C., Occurrence of glyphosate in surface waters of southern Ontario. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* **2008**, 80, (4), 378-384.
 60. Krutz, L. J.; Senseman, S. A.; Zablotowicz, R. M.; Matocha, M. A., Reducing herbicide runoff from agricultural fields with vegetative filter strips: a review. *Weed Science* **2005**, 53, (3), 353-367.
 61. Lupi, L.; Miglioranza, K. S.; Aparicio, V. C.; Marino, D.; Bedmar, F.; Wunderlin, D. A., Occurrence of glyphosate and AMPA in an agricultural watershed from the southeastern region of Argentina. *Science of the Total Environment* **2015**, 536, 687-694.
 62. WHO (World Health Organisation), Glyphosate and AMPA in drinking-water - Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality. **2005**, 19.
 63. Hébert, S.; Belley, J., Le Saint-Laurent-La qualité des eaux du fleuve 1990-2003. In Ministère de l'Environnement-Département du suivi de l'état de l'environnement, Ed. Québec: 2005; p 25.
 64. Botta, F.; Lavison, G.; Couturier, G.; Alliot, F.; Moreau-Guigon, E.; Fauchon, N.; Guery, B.; Chevreuil, M.; Blanchoud, H., Transfer of glyphosate and its degradate AMPA to surface waters through urban sewerage systems. *Chemosphere* **2009**, 77, (1), 133-139.
 65. Health Canada, *Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada - Tableau Sommaire*. Bureau de l'eau, de l'air et des changements climatiques, Direction générale de la santé environnementale et de la sécurité des consommateurs, Comité fédéral-provincial-territorial sur l'eau potable du Comité fédéral-

- provincial-territorial sur la santé et l'environnement. Santé Canada. Gouvernement du Canada. : Ottawa, 2012; p 24.
66. Hall, T.; Camm, R. *Removal of glyphosate by water treatment*. ; Monsanto: Wiltshire, UK. 39p., 2007; p 39.
 67. Jönsson, J.; Camm, R.; Hall, T., Removal and degradation of glyphosate in water treatment: A review. *Journal of Water Supply: Research and Technology—AQUA* **2013**, 62, (7), 395-408.
 68. Montréal, Qualité de l'eau potable produite par les usines Atwater et Charles-J.-des-Baillets et distribuée en réseau. Division de l'expertise Technique. In Ville de Montréal: Montréal, Canada, 2012; p 4.
 69. Montréal, Qualité de l'eau potable produite par les usines Atwater et Charles-J.-des-Baillets et distribuée en réseau. Division de l'expertise Technique. In Ville de Montréal: Montréal, Canada, 2010; p 4.
 70. Montréal, Qualité de l'eau potable produite par les usines Atwater et Charles-J.-des-Baillets et distribuée en réseau. Division de l'expertise Technique. In Ville de Montréal: Montréal, Canada, 2014; p 4.
 71. Robert, C.; Bolduc, A., Bilan de la qualité de l'eau potable au Québec 2005-2009. Direction des politiques de l'eau. Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs. In Gouvernement du Québec.: 2012; p 71.
 72. MDDEP, Critères de qualité de l'eau de surface. In Direction du suivi de l'état de l'environnement, Ministère du développement durable, de l'Environnement et des Parcs, Ed. Québec: 2009; p 506.
 73. European Community Council, Council Directive 98/83/EC of 3 November 1998 on the quality of water intended for human consumption. In Official Journal of the European Communities: 1998; p 23.
 74. Honeycutt, Z.; Rowlands, H. Glyphosate Testing Full Report: Findings in American Mothers' Breast Milk, Urine and Water. http://www.momsacrossamerica.com/glyphosate_testing_results (2015-12-02)
 75. Cox, C.; Sorgan, M., Unidentified inert ingredients in pesticides: implications for human and environmental health. *Environmental Health Perspectives* **2006**, 114, (12), 1803.
 76. WHO; FAO; JMPR *Pesticide residue in food - Glyphosate (158) and metabolites*; FAO plant production and protection paper 223; Geneva, Switzerland, 2011; p 16.
 77. WHO; FAO *Pesticide residue in food 1986 Report of the Joint Meeting of the FAO Panel of Experts on Pesticide Residues*; FAO plant production and protection paper 223; Rome, Italy, 1986; p 30.
 78. WHO; FAO *Pesticide residue in food Evaluations 1986 Part 1: Residues. Joint Meeting of the FAO Panel of Experts on Pesticide Residues*; FAO plant production and protection paper 223; Rome, Italy, 1987; p 71.
 79. ACIA *Plan d'action pour assurer la sécurité des produits alimentaires. 2010-2011 Études ciblées. Pesticides dans le café, le jus de fruit et le thé*; Canada, 2010-2011; p 30.
 80. ACIA *Plan d'action pour assurer la sécurité des produits alimentaires. 2010-2011 Études ciblées. Pesticides dans les légumes frais vendus dans le commerce intraprovincial*; Canada, 2010-2011; p 34.
 81. ACIA *Projet sur les aliments destinés aux enfants-Rapport sur l'échantillonnage 2013-2014*; Canada, 2010-2011; p 34.
 82. Faustman, E. M.; Silbernagel, S. M.; Fenske, R. A.; Burbacher, T. M.; Ponce, R. A., Mechanisms underlying Children's susceptibility to environmental toxicants. *Environmental Health Perspectives* **2000**, 108, (Suppl 1), 13.
 83. Goldman, L. R., Chemicals and children's environment: what we don't know about risks. *Environmental health perspectives* **1998**, 106, (Suppl 3), 875.
 84. Garry, V. F., Pesticides and children. *Toxicology and Applied Pharmacology* **2004**, 198, (2), 152-163.
 85. Curwin, B. D.; Hein, M. J.; Sanderson, W. T.; Nishioka, M. G.; Reynolds, S. J.; Ward, E. M.; Alavanja, M. C., Pesticide contamination inside farm and nonfarm homes. *J Occ & Env Hygiene* **2005**, 2, (7), 357-367.
 86. Marino, D. In *Agrotóxicos en su mesa: Glifosato en gases esteriles, algodón, tampones*, 3er. Congreso Nac.de Médicos de Pueblos Fumigados, Buenos Aires, Argentina, 2015-10-17, 2015; Facultad de Medicina, Universidad de Buenos Aires: Buenos Aires, Argentina, 2015.
 87. Relyea, R. A., The lethal impact of Roundup on aquatic and terrestrial amphibians. *Ecol Appl* **2005**, 15, (4), 1118-1124.
 88. Pérez, G. L.; Torremorell, A.; Mugni, H.; Rodriguez, P.; Vera, M. S.; Nascimento, M. d.; Allende, L.; Bustingorry, J.; Escaray, R.; Ferraro, M.; Izaguirre, I.; Pizarro, H.; Bonetto, C.; Morris, D. P.; Zagarese, H., Effects of the herbicide Roundup on freshwater microbial communities: A mesocosm study. *Ecol Appl* **2007**, 17, (8), 2310-2322.

89. Smedbol, É.; Gomes, M. P.; Paquet, S.; Labrecque, M.; Lepage, L.; Lucotte, M.; Juneau, P., Low concentrations of glyphosate-based herbicides have deleterious effects on a freshwater phytoplankton community from an agricultural stream. *IN Toxicité d'un herbicide à base de glyphosate sue des cellules et des communautés d'algues et de cyanobactéries. MSc thesis. Biology department. Université du Québec à Montréal. 2013*, 100p.
90. Hénault-Ethier, L.; Lucotte, M.; Labrecque, M. *Defining (eco)toxicity of pesticides: Key concepts, hot topics and current controverses over Atrazine and Glyphosate*; Université du Québec à Montréal, 2014; p 49.
91. Mesnage, R.; Defarge, N.; Spiroux de Vendômois, J.; Séralini, G.-E., Major pesticides are more toxic to human cells than their declared active principles. *BioMed Research International* **2014**, 2014, <http://dx.doi.org/10.1155/2014/179691>.
92. Benachour, N.; Séralini, G.-E., Glyphosate Formulations Induce Apoptosis and Necrosis in Human Umbilical, Embryonic, and Placental Cells. *Chem Res Toxicol* **2008**, 22, (1), 97-105.
93. Romano, R.; Romano, M.; Bernardi, M.; Furtado, P.; Oliveira, C., Prepubertal exposure to commercial formulation of the herbicide glyphosate alters testosterone levels and testicular morphology. *Archives of Toxicology* **2010**, 84, (4), 309-317.
94. Bellé, R.; Le Bouffant, R.; Morales, J.; Cosson, B.; Cormier, P.; Mulner-Lorillon, O., L'embryon d'oursin, le point de surveillance de l'ADN endommagée de la division cellulaire et les mécanismes à l'origine de la cancérisation. *J. Soc. Biol.* **2007**, 201, (3), 317-327.
95. Bolognesi, C.; Bonatti, S.; Degan, P.; Gallerani, E.; Peluso, M.; Rabboni, R.; Roggieri, P.; Abbondandolo, A., Genotoxic Activity of Glyphosate and Its Technical Formulation Roundup. *J Agr & Food Chem* **1997**, 45, (5), 1957-1962.
96. Cavalcante, D. G. S. M.; Martinez, C. B. R.; Sofia, S. H., Genotoxic effects of Roundup® on the fish *Prochilodus lineatus*. *Mutation Res/Gen Toxicol & Env Mutagenesis* **2008**, 655, (1-2), 41-46.
97. Guyton, K. Z.; Loomis, D.; Grosse, Y.; El Ghissassi, F.; Benbrahim-Tallaa, L.; Guha, N.; Scoccianti, C.; Mattock, H.; Straif, K., Carcinogenicity of tetrachlorvinphos, parathion, malathion, diazinon, and glyphosate (International Agency for Research on Cancer). *Lancet Oncology* **2015**, S1470-2045, (15).
98. IARC Report of the Advisory Group to Recommend Priorities for IARC Monographs during 2015-2019; Internal Report 14/002; International Agency for Research on Cancer: Lyon, France. 60p., 2014; p 60.
99. Arbuckle, T.; Lin, Z.; Mery, L., An exploratory analysis of the effect of pesticide exposure on the risk of spontaneous abortion in an Ontario farm population. *Environ Health Perspect* **2001**, (109), 851-57.
100. Paganelli, A.; Gnazzo, V.; Acosta, H.; Loïpez, S. L.; Carrasco, A. s. E., Glyphosate-Based Herbicides Produce Teratogenic Effects on Vertebrates by Impairing Retinoic Acid Signaling. *Chem Res Toxicol* **2010**, 23, (10), 1586-1595.
101. Anadon, A.; Del Pino, J.; Martinez, M.; Cabalero, V.; Ares, I.; Nieto, I.; Martinez-Marranaga, M., Neurotoxicological effects of the herbicide glyphosate. *Toxicol Letters* **2008**, (180S), S164.
102. Coullery, R. P.; Ferrari, M. E.; Rosso, S. B., Neuronal development and axon growth are altered by glyphosate through a WNT non-canonical signaling pathway. *NeuroToxicology* **2016**, 52, 150-161.
103. Antoniou, M.; Habib, M. E. E.-D. M.; Howard, C. V.; Jennings, R. C.; Leifert, C.; Onofre Nodari, R.; Robinson, C.; Fagan, J., *Roundup and birth defects - Is the public being kept in the dark?* Earth Open Source: 2011; p 52.
104. IARC Glyphosate; Internal Report 14/002; International Agency for Research on Cancer: Lyon, France, 2015; p 60.
105. Swanson, N. L.; Leu, A.; Abrahamson, J.; Wallet, B., Genetically engineered crops, glyphosate and the deterioration of health in the United States of America. *Journal of Organic Systems* **2014**, 9, (2), 6-37.
106. EPA, Glyphosate Registration Review Human-Health Assessment Scoping Document. In Office of Pesticide Programs, Ed. regulations.gov: 2009; p 82.
107. EPA Glyphosate Final Work Plan (FWP) Registration Review Case No. 0178. Office of Pesticide Programs, Environmental Protection Agency. <http://www.regulations.gov/#!documentDetail;D=EPA-HQ-OPP-2009-0361-0042;oldLink=false>
108. Gee, D.; Grandjean, P.; Hansen, S. F.; van denHove, S.; MacGarvin, M.; Martin, J.; Nielsen, G.; Quist, D.; Stanners, D. *Late lessons from early warnings: science, precaution, innovation*; European Environment Agency. Copenhagen, Denmark, 2013.
109. Bardocz, S.; Clark, A.; Ewen, S.; Hansen, M.; Heinemann, J.; Latham, J.; Pusztai, A.; Schubert, D.; Wilson, A. Seralini and Science: an Open Letter. <http://www.ask-force.org/web/Seralini/Seralini-Independent-Science-News-Open-Letter-20121002.pdf> (Accessed 2013-12-03)

110. Hénault-Ethier, L. Usage de bandes riveraines composées de saules arbustifs pour limiter les flux agro-chimiques des grandes cultures vers les cours

d'eau et produire de la biomasse dans la plaine agricole du Saint-Laurent. Université du Québec à Montréal, Montréal, QC, Canada, 2015.