

Document d'information : les pyréthrinoïdes, utilisés à la maison, mais non sans dangers

Au temps des guerres napoléoniennes, on connaissait déjà les propriétés insecticides d'extraits de fleurs de chrysanthèmes — les pyréthrines — qui servaient à soulager les soldats de leurs poux^{1, 2}. Toutefois, comme l'effet de ces extraits était de courte durée, les chimistes ont modifié les pyréthrines naturelles pour les rendre plus puissantes et persistantes (voir Figure 1). C'est ainsi que sont nés les pyréthrinoïdes de synthèse. Aujourd'hui, environ 614 pesticides contenant des pyréthrinoïdes sont homologués au Canada³, et plus de 3 500 aux États-Unis⁴.

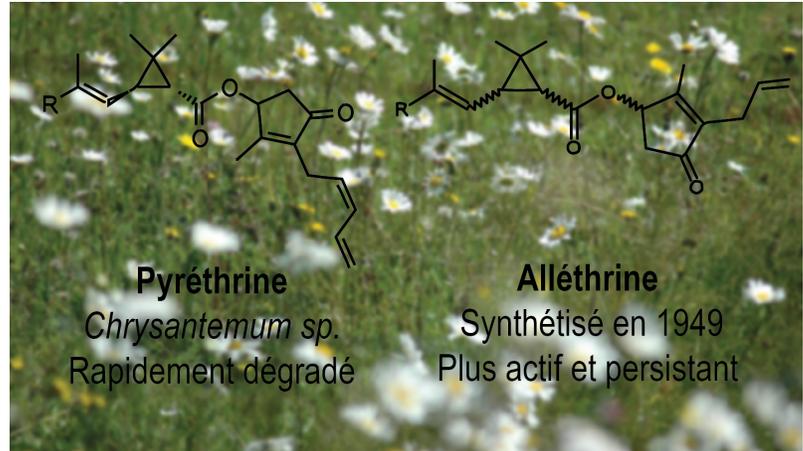


Figure 1 : Comparaison de la pyréthrine, extrait des fleurs de chrysanthèmes, et de l'alléthrine, le premier pyréthrinoïde de synthèse à avoir été fabriqué.

Utilisés en remplacement des organophosphorés — des insecticides jugés plus toxiques — les pyréthrinoïdes sont employés de manière croissante depuis les dernières années (voir Figure 2). De nos jours, les ventes de pyréthrinoïdes dominent alors qu'elles représentent 17 % du marché mondial des insecticides, pour une valeur de 7 milliards de dollars⁵. Parmi ceux-ci, on retrouve des marques familières telles que Raid ou certains produits OFF! Au Québec, ils constituent la classe la plus utilisée par les exterminateurs, et leur usage domestique a doublé entre 2004 et 2010⁶. On les utilise aussi pour des applications vétérinaires et médicales⁷, et dans les shampoings anti-poux et anti-puces. Certains sont en cours de réévaluation par l'Agence de réglementation de la lutte antiparasitaire du Canada (ARLA)⁸.

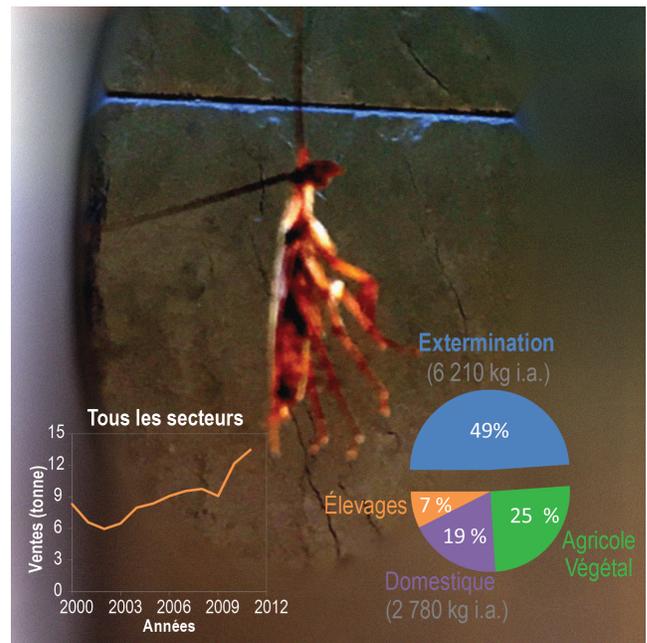


Figure 2 : Ventes de pyréthrinoïdes au Québec.

Immobilisent et tuent rapidement les insectes en agissant sur les neurones

Les pyréthriinoïdes sont des insecticides puissants qui immobilisent rapidement les organismes ciblés⁹. Les pyréthriinoïdes sont dits neurotoxiques parce qu'ils interfèrent avec la propagation des signaux neuronaux : en maintenant l'ouverture des canaux sodiques des neurones, ils permettent des influx nerveux à répétition, ou encore une dépolarisation, qui engendre différents symptômes comme des tremblements, des mouvements involontaires et la salivation chez les animaux (voir Figure 3). En plus de leurs ingrédients actifs, les formulations vendues sur le marché contiennent deux adjuvants courants, aussi appelés synergistes : le butoxyde de pipéronyle et le MGK-264. Chacun d'eux possède une toxicité intrinsèque et des caractéristiques physicochimiques particulières qui peuvent accroître la toxicité des pyréthriinoïdes en inhibant, par exemple, les enzymes normalement responsables de leur dégradation dans l'organisme⁴.

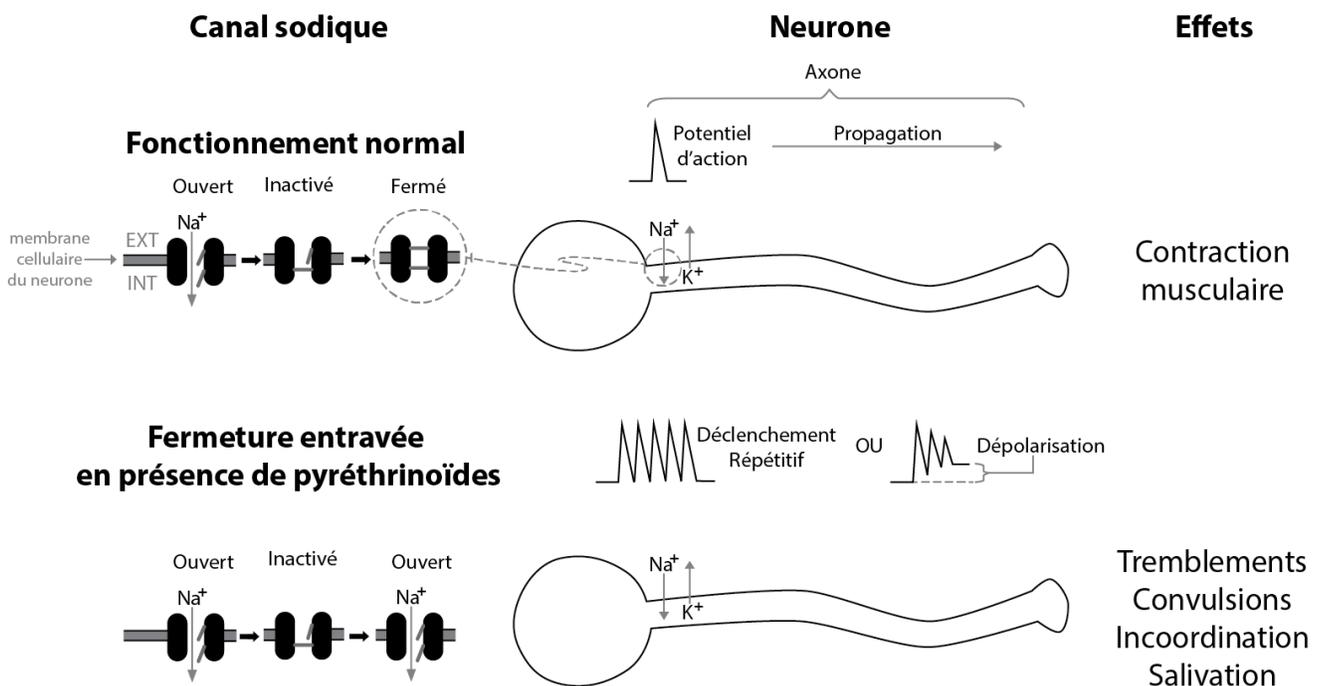


Figure 3 : Mode d'action des pyréthriinoïdes sur les neurones.

Communément retrouvés dans les maisons et les aliments

Les pyréthriinoïdes sont surtout utilisés en extermination contre les insectes et les autres arthropodes rampants ou volants dans les maisons (blattes, guêpes, fourmis et araignées), les parasites s'attaquant aux animaux (puces et tiques) et aux humains (poux). Ils sont aussi utilisés par les services de santé publique pour contrôler les vecteurs de maladies infectieuses, comme le moustique qui transmet le virus du Nil occidental. Ils sont par ailleurs utilisés pour combattre les insectes ravageurs en agriculture (p. ex. pucerons et charançons), ou encore dans l'élevage animal (mouches). Plusieurs fruits (pomme, fraise et autres baies) et légumes (maïs sucré, pomme de terre, carotte, laitue, oignon, ciboule, et de nombreuses crucifères) produits au pays peuvent avoir été traités avec des pyréthriinoïdes homologués au Canada, et plusieurs produits importés peuvent l'avoir été avec des pyréthriinoïdes non homologués au Canada^{7, 10, 11}. Parmi les différents produits disponibles (poudres, gels,

trappes, solutions à pulvériser, spirales combustibles, etc.¹²), les produits aérosol (canettes ou bombes) sont les plus à risque d'entraîner des intoxications¹³.

Peu persistant, mais omniprésent

Les pyréthrine naturelles sont rapidement dégradées par la lumière du soleil, en présence d'humidité ou sous l'action des microorganismes¹⁴ (voir Figure 4). Les pyréthrinoïdes synthétiques sont cependant plus stables. À l'intérieur d'une maison¹⁵, à l'abri de l'eau et de la lumière, les pyréthrinoïdes peuvent être plus persistants qu'à l'extérieur. Lors des utilisations domestiques, ils peuvent être rejetés dans l'eau par les égouts, et les usines de traitement des eaux usées semblent peu efficaces pour les éliminer¹⁶. Après une application extérieure, les pyréthrinoïdes peuvent être lessivés par la pluie^{10, 17}, particulièrement en ville s'ils sont utilisés près ou sur des surfaces imperméables¹⁸.

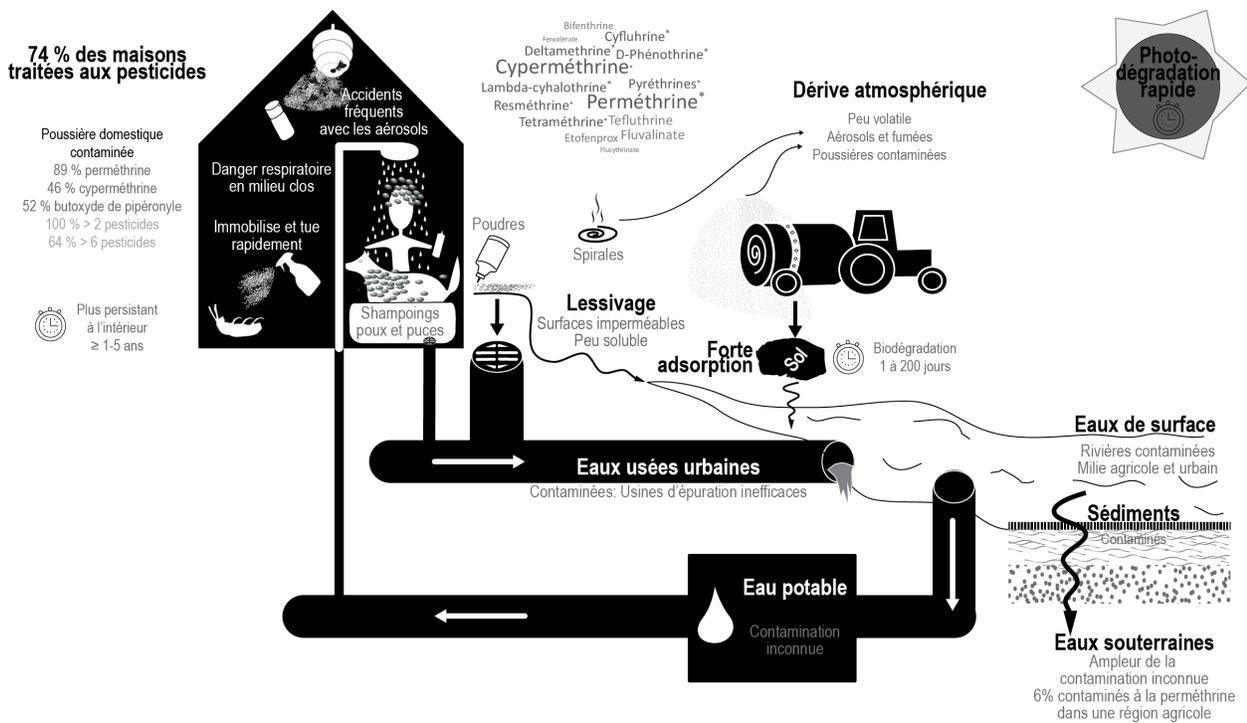


Figure 4 : Mouvement et persistance des pyréthrinoïdes à l'intérieur des bâtiments et dans l'environnement.

Les eaux de surface de certaines régions agricoles du Québec sont contaminées par les pyréthrinoïdes (c.-à-d. perméthrine, cyperméthrine, lambda-cyhalothrine^{10, 19}) à des concentrations qui surpassent parfois les critères pour la protection chronique de la vie aquatique¹⁰. Des études effectuées aux États-Unis suggèrent par ailleurs que les eaux de surface urbaines et leurs sédiments pourraient être encore plus contaminés par les pyréthrinoïdes que les eaux des zones agricoles¹⁸. Dans les aquifères du Québec, on a aussi retrouvé de la perméthrine et du butoxyde de pipéronyle, qui est fréquemment associé aux pyréthrinoïdes²⁰. Même si 20 % de la population québécoise – répartie sur 90 % du territoire habité – puisent leur eau potable dans le sous-sol, nos connaissances sur ces eaux restent fragmentaires²¹.

L'alimentation et l'eau sont les principales sources d'exposition de la population générale, mais les travailleurs sont aussi exposés par l'absorption cutanée et l'inhalation

Les pyréthriinoïdes sont principalement absorbés par ingestion, surtout par l'entremise d'aliments ou d'eau contaminés¹. Malheureusement, un simple trempage des fruits et des légumes dans l'eau ne suffit pas à éliminer complètement les résidus²². De plus, on ignore combien de pyréthriinoïdes sont présents dans notre eau potable, car cette classe d'insecticide d'usage répandu ne fait pas partie des 31 pesticides qui doivent être testés dans les grandes municipalités du Québec²³. Ceux-ci sont toutefois détectés dans l'eau de surface des zones d'agriculture maraîchères et fruitières du Québec^{10, 19}. De surcroît, on a détecté de la perméthrine et du butoxyde de pipéronyle dans des eaux souterraines au Québec en 2014 à une fréquence et à des concentrations qui suggèrent la nécessité de procéder à un meilleur suivi de nos eaux souterraines et de notre eau potable²⁰.

Selon des études étasuniennes, la poussière de la majorité des maisons contient des niveaux mesurables de pyréthriinoïdes ou de leurs adjuvants^{24, 25}. Puisque l'on passe jusqu'à 90 % de notre temps à l'intérieur, faut-il s'inquiéter que 74 % des maisons soient traitées avec différents pesticides, dont les pyréthriinoïdes¹²? L'absorption cutanée pendant les travaux d'application ou au contact de surfaces traitées est également possible, car les pyréthriinoïdes sont liposolubles¹. Du reste, l'inhalation de fines gouttelettes ou de particules de poussière en suspension dans l'air peut également survenir, particulièrement lorsque les pyréthriinoïdes sont employés dans des espaces clos^{1, 26}. Les travailleurs de l'industrie des pesticides, les exterminateurs et les agriculteurs sont des travailleurs qui risquent d'être exposés par inhalation et exposition cutanée²⁷.

Les enfants courent un plus grand risque d'exposition et d'intoxication

Les aliments régulièrement consommés par les enfants ne sont pas systématiquement ou régulièrement testés^{28, 29}, mais une étude menée aux États-Unis révèle que les pyréthriinoïdes peuvent se retrouver dans 5 % des aliments régulièrement consommés par les enfants²⁸. L'ingestion de sol, de poussière¹ ou encore d'aliments tombés au sol ou sur lesquels se sont déplacés des insectes contaminés peuvent être des sources d'exposition pour les enfants³⁰. Bien que les enfants soient surtout exposés aux pyréthriinoïdes par leur alimentation, l'absorption cutanée peut se révéler plus importante si la maison qu'ils habitent est fréquemment traitée³¹. Les enfants peuvent être plus sensibles aux pesticides que les adultes^{a 27, 32-35}.

Quelques risques associés aux usages domestiques des pyréthriinoïdes

Les pyréthriinoïdes sont parfois utilisés pour contrôler des insectes posant un risque pour la santé. Par exemple, les coquerelles peuvent déclencher des crises d'asthme chez les personnes sensibles. Cependant, les insecticides représentent eux aussi un certain risque pour la santé humaine. Par exemple, les pyréthriinoïdes peuvent eux aussi déclencher l'asthme chez les personnes sensibles³⁶, comme l'illustre le cas d'un enfant aux États-Unis décédé d'une crise d'asthme après avoir traité son chien avec un shampoing contenant de la pyréthrine^{13, 37}. Puisque les shampoings servant à tuer les poux (chez les humains) et ceux servant à tuer les puces (chez les

^a Les enfants peuvent être plus sensibles aux pyréthriinoïdes que les adultes parce qu'ils ont un poids corporel moindre, respirent et mangent proportionnellement plus, jouent souvent sur le sol et ont tendance à porter leurs mains à leur bouche. De plus, leur système de détoxification peut ne pas avoir atteint sa pleine maturité, et leur développement rapide peut donner lieu à des périodes de sensibilité particulière, par exemple durant le développement du cerveau.

animaux) contiennent des pyréthrinoïdes similaires, des parents utilisent parfois les shampoings destinés aux animaux sur la tête de leur enfant, dans l'espoir de réduire le coût des traitements, sans toutefois prendre en considération que cet usage représente un risque non-évalué par l'ARLA. Cet usage potentiellement dangereux et contraire aux informations fournies sur les étiquettes de ces produits, devrait être prévenu. Ceci démontre que les consignes de sécurité sur les étiquettes de pesticides ne sont malheureusement pas toujours lues ou respectées, possiblement à cause d'un manque de connaissance de la population générale quant aux risques reliés à l'usage des pesticides. En outre, les traitements répétés aux pyréthrinoïdes peuvent entraîner la résistance des insectes ciblés. Dans cette situation, des doses plus fortes, des traitements répétés ou des combinaisons avec des insecticides plus toxiques sont parfois nécessaires pour surmonter la résistance³⁸. Parallèlement, des spécialistes remettent en question la nécessité d'utiliser des produits chimiques pour traiter les problèmes de poux³⁹. Un peignage minutieux à l'aide d'un peigne fin et une surveillance attentive pourraient s'avérer suffisants.

Symptômes réversibles pour les intoxications aiguës, mais mal caractérisés et inquiétants dans le cas des expositions à long terme

Les symptômes d'intoxication aiguë aux pyréthrinoïdes (voir Figure 5) observés chez les animaux incluent les tremblements, la salivation excessive et la choréo-athétose (contractions musculaires irrégulières)⁴⁰. Des sensations faciales anormales (paresthésie) ont également été rapportées chez les travailleurs exposés⁴¹.

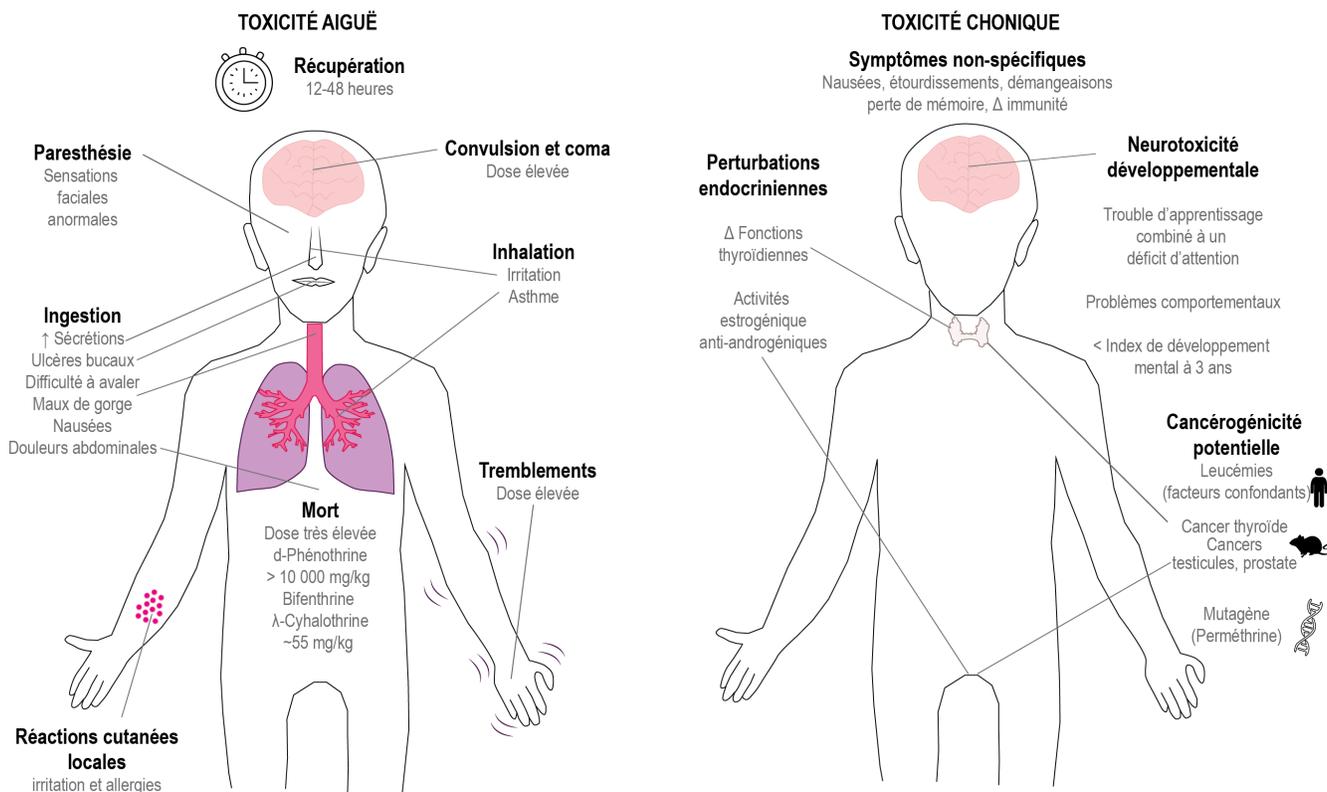


Figure 5 : Effets aigus et chroniques des pyréthrinoïdes.

Chez l'humain, les symptômes non spécifiques tels que des nausées, des étourdissements, des douleurs respiratoires, des éruptions cutanées, des pertes de mémoire ou des perturbations du système immunitaire^{26, 42} sont difficilement attribuables à une cause unique, et peuvent ainsi être erronément associés à d'autres syndromes (p. ex. fatigue chronique)^{26, 43}. Si les effets de l'exposition cutanée à court terme aux pyréthriinoïdes et ceux découlant de leur ingestion sont bien documentés, les effets d'une exposition à long terme aux pyréthriinoïdes sont mal connus, car rares sont les études épidémiologiques chez l'humain²⁷. Les symptômes d'intoxication aiguë disparaissent souvent en 12 à 48 heures parce que les pyréthriinoïdes sont rapidement métabolisés et excrétés⁴⁴, ce qui rend complexe les études sur la présence de pyréthriinoïdes et leurs effets à long terme. Les effets sublétaux (ne menant pas à la mort) découlant d'une exposition à long terme chez l'animal sont variés^{27, 45}. En général, des inquiétudes ont été exprimées au sujet de la toxicité neuronale⁴⁶, neurodéveloppementale^{44, 47, 48}, reproductive^{27, 36, 49, 50} ou endocriniennes^{27, 51-56, 27, 57-59} des pyréthriinoïdes (voir Figure 5).

Effets sur le neurodéveloppement des enfants

Une importante revue de littérature a catégorisé les pyréthriinoïdes comme des substances entraînant une toxicité sur le système nerveux durant le développement embryonnaire⁴⁷. Certains pyréthriinoïdes sont toxiques pour des cellules liées au développement et au maintien du cerveau^{47, 60}, ce qui pourrait expliquer pourquoi des rongeurs nouveau-nés sont plus sensibles que les adultes^{44, 46, 47}.

Une étude menée par des chercheurs du *Columbia Center for Children's Environmental Health* sur 230 enfants dans la ville de New York montre que ceux ayant été plus fortement exposés au butoxyde de pipéronyle ont un score de 3,9 points inférieur sur l'échelle de développement mental (le score normal étant de 85 et plus)⁶¹. Une autre étude épidémiologique associe la bifenthrine à des troubles du spectre de l'autisme chez des enfants⁶². Une troisième étude montre que les enfants qui présentaient, dans leur urine, des concentrations supérieures à la normale de divers métabolites associés aux pyréthriinoïdes semblent plus à risque de développer des troubles comportementaux, et ils ont plus de chance d'avoir une combinaison de troubles d'apprentissage et de déficit d'attention⁶³. Selon une quatrième étude, 97 % des enfants canadiens auraient au moins un résidu de métabolite de pyréthriinoïdes détectable dans leur urine, et plus les concentrations sont élevées, plus les parents sont susceptibles de rapporter des problèmes de comportement chez leurs enfants³⁴. Selon des études animales, enfin, une exposition juvénile peut avoir des conséquences à l'âge adulte⁴⁸.

La fertilité humaine affectée par un dérèglement hormonal

De récentes recherches faisant appel à des expériences chez l'animal et à des études épidémiologiques chez l'humain révèlent l'existence d'effets potentiellement nuisibles pour la fertilité et la grossesse chez l'humain, comme des modifications du système reproducteur mâle, une baisse du nombre de spermatozoïdes et de leur mobilité de même que des dommages à leur ADN^{27, 49, 50}.

Les pyréthriinoïdes perturbent le système endocrinien, notamment en faisant diminuer les concentrations de testostérone (une importante hormone mâle), en interférant avec l'hormone lutéinisante (impliquée dans la spermatogenèse et l'ovogenèse)^{51, 56}, et en altérant la fonction thyroïdienne⁵⁷⁻⁵⁹. Des expériences menées sur les animaux de laboratoire ou sur des cultures cellulaires (*in vitro*) avec de la cyperméthrine et du fenvalérate

montrent que les pyréthriinoïdes peuvent perturber les hormones mâles et femelles (effets œstrogéniques et antiandrogènes)⁵¹⁻⁵⁴.

Les pyréthriinoïdes sont peut-être cancérigènes

La perméthrine induit des mutations au sein de cultures de cellules de hamster et d'humain⁵¹. Aux États-Unis, l'Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR) considère la deltaméthrine, le fenvalérate et la perméthrine comme possiblement cancérigènes chez l'humain¹. Le Centre international de recherche sur le cancer (CIRC) a d'ailleurs désigné la réévaluation du potentiel de cancérigénicité de la perméthrine comme hautement prioritaire pour la période 2015-2019.

Les insectes nuisibles ne sont pas les seules victimes des pyréthriinoïdes

Certains insectes bénéfiques comme les abeilles peuvent être tués ou affectés par les pyréthriinoïdes^{14, 64} avec lesquels elles entrent en contact durant les applications ou lorsqu'elles visitent ou butinent des plantes traitées⁶⁵ (voir Figure 6). En deçà des concentrations létales, les insecticides, dont les pyréthriinoïdes, sont suspectés de jouer un rôle dans le déclin mondial des populations d'abeilles, conjointement avec plusieurs autres facteurs environnementaux^{64, 66}. D'autres invertébrés comme les lombrics, qui jouent un rôle crucial dans le recyclage de la matière organique⁶⁷, peuvent également subir les effets d'une exposition à long terme aux pyréthriinoïdes⁶⁸.

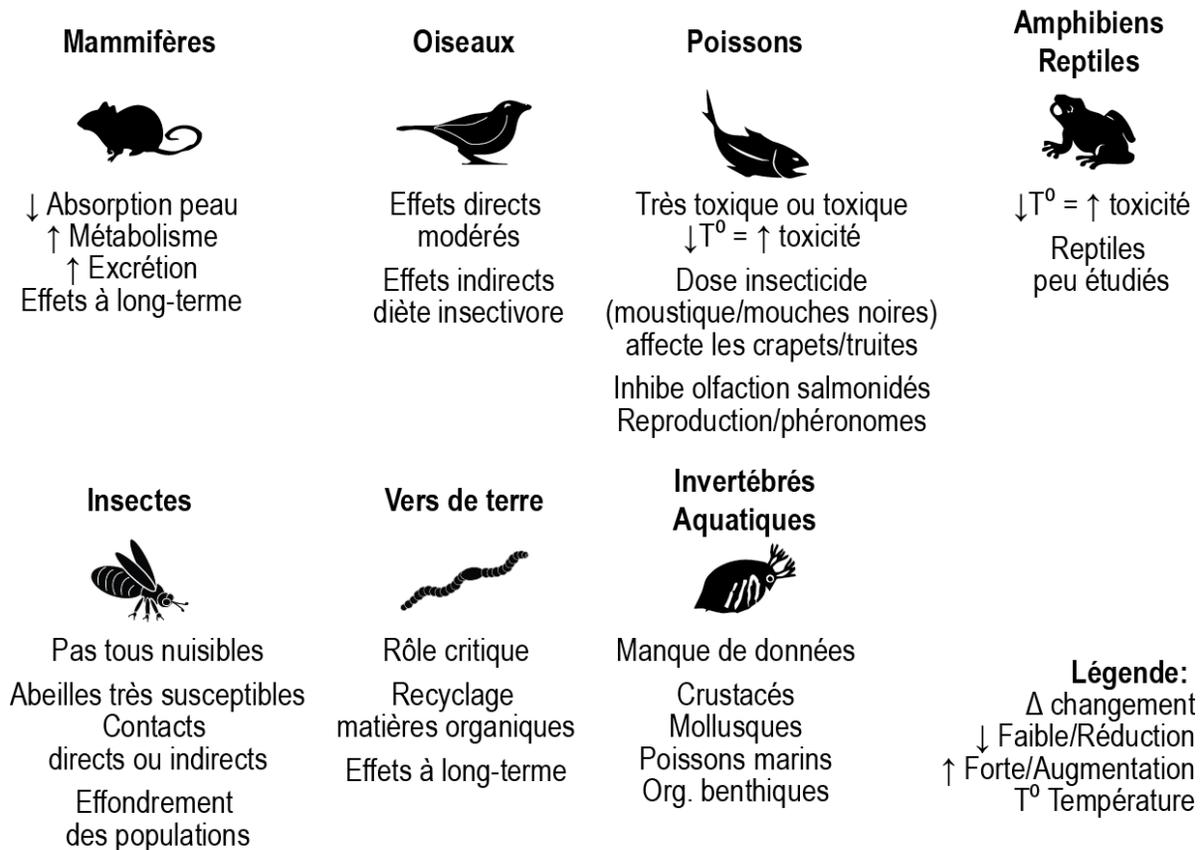


Figure 6 : Écotoxicité des pyréthriinoïdes.

Même si seulement 1 % des quantités appliquées atteignent les plans d'eau, cela peut être suffisant pour porter préjudice aux organismes aquatiques¹⁷. Tous les pyréthriinoïdes testés sont toxiques, voire hautement toxiques, pour les poissons^{14, 69}. Malheureusement, l'évaluation de la toxicité des pyréthriinoïdes chez les crustacés, les mollusques, les poissons marins et estuariens, de même que les organismes benthiques, accuse d'importantes lacunes^{70, 71 72}. Les poissons et les grenouilles⁶⁹ (ainsi que les reptiles⁷³) sont plus affectés par les pyréthriinoïdes lorsque la température décline.

Bien que les mammifères puissent être sensibles à une exposition à long terme aux pyréthriinoïdes, ils en sont partiellement protégés en raison de leur lente absorption cutanée, de leur métabolisation rapide et de l'excrétion de leurs métabolites⁴¹. Cependant, des coformulants comme le butoxyde de pipéronyle ralentissent le métabolisme des pyréthriinoïdes. De plus, la capacité de détoxification peut aussi varier d'un individu à l'autre, laissant certains à risque plus élevé. Les oiseaux sont présumés être modérément sensibles aux pyréthriinoïdes, bien que cette supposition ne tienne pas compte des effets indirects de la restriction de leur régime due à la réduction du nombre d'insectes dans les zones traitées. La toxicité pour les reptiles est rarement étudiée lors des décisions en matière d'homologation⁷⁴.

Les cocktails environnementaux représentent un risque mal caractérisé

Au Canada et aux États-Unis, il a été montré que les eaux de surface et les sédiments dans des zones agricoles ou urbaines contiennent un mélange de pesticides qui comprend plusieurs pyréthriinoïdes^{18, 19}. La recherche a montré que chez le poisson, un mélange d'organophosphorés et de pyréthriinoïdes peut être de 140 à 170 % plus toxique que la simple addition de la toxicité de ces deux substances, un phénomène dû à l'inhibition du système de détoxification des animaux par les organophosphorés⁷⁵. Une toxicité synergique a aussi été observée chez les abeilles exposées simultanément aux pyréthriinoïdes et aux néonicotinoïdes, deux insecticides fréquemment retrouvés ensemble dans les plans d'eau du Québec¹⁹. La poussière domestique aussi peut contenir un cocktail complexe de pesticides alors que 64 % des frottis de plancher de cuisine révèlent la présence simultanée de six pesticides¹². De telles combinaisons peuvent survenir accidentellement, mais également de manière délibérée, comme c'est le cas du mélange d'organophosphorés et de pyréthriinoïdes utilisé pour pallier la résistance que certains insectes ont développée à l'une ou l'autre des substances⁷⁶. De plus, des données épidémiologiques suggèrent que cette combinaison est associée à une réduction du nombre de spermatozoïdes chez l'homme⁷⁶. Il est donc nécessaire d'user de prudence et de poursuivre la recherche sur les effets des mélanges de pesticides⁷⁶.

Réexamen actuel des homologations et encadrement provincial

Plusieurs pyréthriinoïdes subissent actuellement un réexamen de leur homologation au Canada⁸ et aux États-Unis⁴. Les décisions doivent être rendues en 2016⁸. Il est inquiétant de constater que le processus d'homologation des pyréthriinoïdes — qui présentent des effets sur les neurotransmetteurs ou les récepteurs et qui induisent des changements comportementaux en raison de leur mode d'action qui engendre des perturbations du fonctionnement neuronal — n'exige pas d'emblée des tests avancés de neurotoxicité^{4, 9, 44}. Pour ce qui est du Québec, selon le *Règlement sur la qualité de l'eau potable* découlant de la *Loi sur la protection de l'environnement*, les concentrations de pesticides mesurées dans l'eau potable doivent faire l'objet d'un suivi régulier pour les usines qui approvisionnent plus de 5 000 personnes. Or, les pyréthriinoïdes sont actuellement

exclus de ce suivi. En 2003, le Code de gestion des pesticides, un règlement sous l'égide de la *Loi sur les pesticides* du Québec, était adopté⁷⁷. Ce dernier visait à atténuer les impacts sanitaires et environnementaux découlant de l'usage de pesticides, sans toutefois restreindre l'utilisation des pyréthriinoïdes, sauf dans les endroits fréquentés par les enfants (centres de la petite enfance, écoles primaires et secondaires)⁷⁸. Parallèlement, l'impact environnemental de l'usage des pyréthriinoïdes en milieu agricole s'est accru dans les dernières années, ce qui est contraire aux orientations politiques⁶.

Solutions de rechange aux pyréthriinoïdes

Il existe plusieurs solutions de rechange aux pyréthriinoïdes. Celles-ci peuvent prendre la forme de traitements physiques, biologiques ou de produits chimiques de remplacement moins toxiques. Par exemple, la chaleur peut tuer les punaises de lit et les poux; le froid peut tuer les punaises de lits, les poux et les coquerelles⁷⁸⁻⁸³. Un suivi régulier, une intervention hâtive, parfois avec l'assistance d'un exterminateur professionnel ou d'un professionnel de la santé peut contribuer à la réussite des opérations d'extermination lorsque des solutions de rechange non chimiques aux pyréthriinoïdes sont utilisées. Un peignage minutieux à l'aide d'un peigne fin (répété aux jours 1, 5, 9 et 13 après la découverte de l'infestation) pourrait même être plus efficace que certains traitements avec des shampoings anti-poux³⁹. En agriculture, la lutte biologique peut aussi être envisagée. Celle-ci implique notamment l'usage d'insectes prédateurs ou parasites pour contrôler les populations d'insectes indésirables.

Conclusion

Les données toxicologiques sur les animaux et épidémiologiques sur les humains suggèrent que les pyréthriinoïdes sont neurotoxiques pour le développement, affectent le comportement, la fertilité, l'équilibre hormonal, et peuvent être cancérigènes. S'appuyant sur les connaissances récentes quant aux problèmes sanitaires et environnementaux qui peuvent être générés par l'usage des pyréthriinoïdes, l'organisme Équiterre réclamait en janvier 2016 que le gouvernement du Québec et le gouvernement du Canada interdisent l'usage des insecticides pyréthriinoïdes à des fins domestiques, et qu'ils en restreignent l'usage à des fins agricoles.

Rédaction et illustrations : Louise Hénault-Ethier

Références

1. ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry), Toxicological Profile for Pyrethrins and Pyrethroids. In U.S. Public Health Service. U.S. Department of Health and Human Services 2003; p 328.
2. Khater, H. F., Ecosmart Biorational Insecticides: Alternative Insect Control Strategies, Insecticides. In *Advances in Integrated Pest Management*, Perveen, D. F., Ed. 2012.
3. Health Canada Pesticides & Pest Management - Search product label. <http://pr-rp.hc-sc.gc.ca/lr-re/index-eng.php> (2015-03-06)
4. EPA Pyrethroids and Pyrethrins. <http://www.epa.gov/oppsrrd1/reevaluation/pyrethroids-pyrethrins.html> (2014-08-18)
5. Biotechnological Sciences Research Council Pyrethroids - Global Food Security. <http://www.foodsecurity.ac.uk/research/impact/pyrethroids.html> (2015-03-06)
6. 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. In Gouvernement du Québec. 60p.: 2014; p 60.
7. Canada, H. Recherche dans les étiquettes de pesticides. <http://pr-rp.hc-sc.gc.ca/lr-re/index-fra.php> (2015-02-23)
8. Health Canada, Réévaluation des pyréthroïdes, des pyrétrines et des matières actives apparentées. In Agence de réglementation de la lutte antiparasitaire, Ed. Gouvernement du Canada: 2011; p 4.
9. WHO (World Health Organisation) *Safety of Pyrethroids for Public Health Use*; WHO/CDS/WHOPES/GCDPP/2005.10; Communicable Disease Control (CDC) - Prevention and Eradication World Health Organisation Pesticide Evaluation Scheme (WHOPES) - Protection of the Human Environment Programme on Chemical Safety (PCS), Geneva, 2005; p 77.
10. Giroux, I.; Fortin, I., Pesticides dans l'eau de surface d'une zone maraîchère - Ruisseau Guibeault-Delisle dans les "terres noires" du bassin versant de la rivière Châteauguay de 2005 à 2007. Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs - Direction du suivi de l'état de l'environnement et Université Laval - Département des sols et de génie agroalimentaire. 2010; p 28.
11. ACIA (Agence Canadienne d'inspection des aliments), *Programme national de surveillance des résidus chimiques. 2010-2012 Rapport*; Ottawa, Canada, 2014; p 779.
12. Julien, R.; Adamkiewicz, G.; Levy, J. I.; Bennett, D.; Nishioka, M.; Spengler, J. D., Pesticide loadings of select organophosphate and pyrethroid pesticides in urban public housing. *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology* **2007**, *18*, (2), 167-174.
13. Walters, J. K.; Boswell, L. E.; Green, M. K.; Heumann, M. A.; Karam, L. E.; Morrissey, B. F.; Waltz, J. E., Pyrethrin and pyrethroid illnesses in the Pacific Northwest: a five-year review. *Public Health Reports* **2009**, *124*, (1), 149.
14. Thatheyus, A. J.; Selvam, A. D. G., Synthetic Pyrethroids: Toxicity and Biodegradation. *Applied Ecology and Environmental Sciences* **2013**, *1*, (3), 33-36.
15. Berger-preieß, E.; Preieß, A.; Sielaff, K.; Raabe, M.; Ilgen, B.; Levsen, K., The Behaviour of Pyrethroids Indoors: A Model Study. *Indoor Air* **1997**, *7*, (4), 248-262.
16. Weston, D. P.; Lydy, M. J., Urban and agricultural sources of pyrethroid insecticides to the Sacramento-San Joaquin Delta of California. *Environmental science & technology* **2010**, *44*, (5), 1833-1840.
17. Oros, D. R.; Werner, I., *Pyrethroid Insecticides: An analysis of use patterns, distributions, potential toxicity and fate in the Sacramento-San Joaquin Delta and Central Valley*. San Francisco Estuary Institute Oakland, CA: 2005.
18. Kuivila, K. M.; Hladik, M. L.; Ingersoll, C. G.; Kemble, N. E.; Moran, P. W.; Calhoun, D. L.; Nowell, L. H.; Gilliom, R. J., Occurrence and potential sources of pyrethroid insecticides in stream sediments from seven US metropolitan areas. *Environmental science & technology* **2012**, *46*, (8), 4297-4303.
19. Giroux, I. *Présence de pesticides dans l'eau au Québec - Zone de vergers et de pommes de terre 2010 à 2012*; Québec, 2014; p 84.
20. Larocque, M.; Gagné, S.; Barnette, D.; Meyzonnat, G.; Graveline, M.-H.; Ouellet, M.-A. *Projet de connaissance des eaux souterraines de la zone Nicolet et de la partie basse de la zone Saint-François RAPPORT FINAL. Rapport déposé au Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques*; Université du Québec à Montréal. Département des sciences de la Terre et de l'atmosphère: Montréal, Canada, 2015; p 258 p.

21. MDELCC Programme d'acquisition de connaissances sur les eaux souterraines. <http://www.mdelcc.gouv.qc.ca/eau/souterraines/programmes/acquisition-connaissance.htm> (2016-02-02)
22. Zafar, S.; Ahmed, A.; Ahmad, R.; Randhawa, M. A.; Gulfraz, M.; Ahmad, A.; Siddique, F., Chemical Residues of some Pyrethroid Insecticides in Egg plant and Okra Fruits: Effect of Processing and Chemical Solutions. *Journal of the chemical society of pakistan* **2012**, *34*, (5), 1169-1175.
23. Québec, Règlement sur la Qualité de l'eau potable. In *Loi sur la Qualité de l'environnement*, 2002; Vol. Chapitre Q-2, r.40.
24. Stout li, D. M.; Bradham, K. D.; Egeghy, P. P.; Jones, P. A.; Croghan, C. W.; Ashley, P. A.; Pinzer, E.; Friedman, W.; Brinkman, M. C.; Nishioka, M. G.; Cox, D. C., American Healthy Homes Survey: A National Study of Residential Pesticides Measured from Floor Wipes. *Environmental Science & Technology* **2009**, *43*, (12), 4294-4300.
25. Adgate, J. L.; Kukowski, A.; Stroebel, C.; Shubat, P. J.; Morrell, S.; Quakenboss, J. J.; Whitmore, R. W.; Sexton, K., Pesticide storage and use patterns in Minnesota households with children. *Journal of exposure analysis and environmental epidemiology* **2000**, *10*, (2), 159-167.
26. Kolaczinski, J. H.; Curtis, C. F., Chronic illness as a result of low-level exposure to synthetic pyrethroid insecticides: a review of the debate. *Food and Chemical Toxicology* **2004**, *42*, (5), 697-706.
27. Koureas, M.; Tsakalof, A.; Tsatsakis, A.; Hadjichristodoulou, C., Systematic review of biomonitoring studies to determine the association between exposure to organophosphorus and pyrethroid insecticides and human health outcomes. *Toxicology letters* **2012**, *210*, (2), 155-168.
28. Lu, C.; Schenck, F. J.; Pearson, M. A.; Wong, J. W., Assessing children's dietary pesticide exposure: direct measurement of pesticide residues in 24-hr duplicate food samples. *Environmental health perspectives* **2010**, *118*, (1), 1625-1630.
29. ACIA *Projet sur les aliments destinés aux enfants-Rapport sur l'échantillonnage 2013-2014*; Canada, 2010-2011; p 34.
30. Melnyk, L. J.; Hieber, T. E.; Turbeville, T.; Vonderheide, A. P.; Morgan, J. N., Influences on transfer of selected synthetic pyrethroids from treated Formica to foods. *J Expos Sci Environ Epidemiol* **2011**, *21*, (2), 186-196.
31. Morgan, M. K., Childrens exposures to pyrethroid insecticides at home: a review of data collected in published exposure measurement studies conducted in the United States. *International journal of environmental research and public health* **2012**, *9*, (8), 2964-2985.
32. Roberts, J. R.; Karr, C. J.; Paulson, J. A.; Brock-Utne, A. C.; Brumberg, H. L.; Campbell, C. C.; Lanphear, B. P.; Osterhoudt, K. C.; Sandel, M. T.; Trasande, L., Pesticide exposure in children. *Pediatrics* **2012**, *130*, (6), e1765-e1788.
33. Huen, K.; Harley, K.; Brooks, J.; Hubbard, A.; Bradman, A.; Eskenazi, B.; Holland, N., Developmental changes in PON1 enzyme activity in young children and effects of PON1 polymorphisms. *Environ Health Perspect* **2009**, *117*, (10), 1632-1638.
34. Oulhote, Y.; Bouchard, M. F., Urinary metabolites of organophosphate and pyrethroid pesticides and behavioral problems in Canadian children. *Environmental health perspectives* **2013**, *121*, (11-12), 1378-1384.
35. Landrigan, P. J.; Goldman, L. R., Childrens Vulnerability To Toxic Chemicals: A Challenge And Opportunity To Strengthen Health And Environmental Policy. *Health Affairs* **2011**, *30*, (5), 842-850.
36. Sanborn, M.; Bassil, K.; Vakil, C.; Kerr, K.; Ragan, K., *2012 Systematic Review of Pesticide Health Effects*. Ontario College of Family Physicians: 2012; p 112.
37. Wagner, S. L., Fatal asthma in a child after use of an animal shampoo containing pyrethrin. *Western Journal of Medicine* **2000**, *173*, (2), 86.
38. Chosidow, O.; Brue, C.; Chastang, C.; Bouvet, E.; Izri, M. A.; Rousset, J. J.; Monteny, N.; Bastuji-Garin, S.; Revuz, J., Controlled study of malathion and d-phenothrin lotions for *Pediculus humanus var capitis*-infested schoolchildren. *The Lancet* **1994**, *344*, (8939), 1724-1727.
39. Downs, A. R., Managing Head Lice in an Era of Increasing Resistance to Insecticides. *American Journal of Clinical Dermatology* **2004**, *5*, (3), 169-177.
40. Soderlund, D. M.; Clark, J. M.; Sheets, L. P.; Mullin, L. S.; Piccirillo, V. J.; Sargent, D.; Stevens, J. T.; Weiner, M. L., Mechanisms of pyrethroid neurotoxicity: implications for cumulative risk assessment. *Toxicology* **2002**, *171*, (1), 3-59.
41. Bradberry, S.; Cage, S.; Proudfoot, A.; Vale, J. A., Poisoning due to Pyrethroids. *Toxicological Reviews* **2005**, *24*, (2), 93-106.
42. Haas, M., Der Gift-Detektiv (The poison detective). *Natur* **1992**, *11*, 26-32.
43. Altenkirch, H.; Hopmann, D.; Brockmeier, B.; Walter, G., Neurological investigations in 23 cases of pyrethroid intoxication reported to the German Federal Health Office. *Neurotoxicology* **1995**, *17*, (3-4), 645-651.

44. EPA Pyrethroids: Evaluation of Data from Developmental Neurotoxicity Studies and Consideration of Comparative Sensitivity. <http://www.regulations.gov/#!documentDetail;D=EP-A-HQ-OPP-2008-0331-0028> (2014-08-18)
45. Wolansky, M. J.; Harrill, J. A., Neurobehavioral toxicology of pyrethroid insecticides in adult animals: A critical review. *Neurotoxicology and Teratology* **2008**, *30*, (2), 55-78.
46. Ray, D. E.; Fry, J. R., A reassessment of the neurotoxicity of pyrethroid insecticides. *Pharmacology & therapeutics* **2006**, *111*, (1), 174-193.
47. Shafer, T. J.; Meyer, D. A.; Crofton, K. M., Developmental neurotoxicity of pyrethroid insecticides: critical review and future research needs. *Environmental health perspectives* **2005**, *113*, (2), 123.
48. Talts, U.; Fredriksson, A.; Eriksson, P., Changes in behavior and muscarinic receptor density after neonatal and adult exposure to bioallethrin. *Neurobiology of aging* **1998**, *19*, (6), 545-552.
49. Elbetieha, A.; Da'as, S. I.; Khamas, W.; Darmani, H., Evaluation of the Toxic Potentials of Cypermethrin Pesticide on Some Reproductive and Fertility Parameters in the Male Rats. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* **2001**, *41*, (4), 522-528.
50. Meeker, J. D.; Barr, D. B.; Hauser, R., Human semen quality and sperm DNA damage in relation to urinary metabolites of pyrethroid insecticides. *Human Reproduction* **2008**, *23*, (8), 1932-1940.
51. Zhang, S.-Y.; Ito, Y.; Yamanoshita, O.; Yanagiba, Y.; Kobayashi, M.; Taya, K.; Li, C.; Okamura, A.; Miyata, M.; Ueyama, J.; Lee, C.-H.; Kamijima, M.; Nakajima, T., Permethrin May Disrupt Testosterone Biosynthesis via Mitochondrial Membrane Damage of Leydig Cells in Adult Male Mouse. *Endocrinology* **2007**, *148*, (8), 3941-3949.
52. Xu, L.-C.; Sun, H.; Chen, J.-F.; Bian, Q.; Song, L.; Wang, X.-R., Androgen receptor activities of *p,p'*-DDE, fenvalerate and phoxim detected by androgen receptor reporter gene assay. *Toxicology letters* **2006**, *160*, (2), 151-157.
53. Chen, J.-F.; Chen, H. Y.; Liu, R.; He, J.; Song, L.; Bian, Q.; Xu, L. C.; Zhou, J. W.; Xiao, H.; Dai, G. D., Effects of fenvalerate on steroidogenesis in cultured rat granulosa cells. *Biomed. Environ. Sci* **2005**, *18*, 108-116.
54. Go, V.; Garey, J.; Wolff, M. S.; Pogo, B. G., Estrogenic potential of certain pyrethroid compounds in the MCF-7 human breast carcinoma cell line. *Environmental health perspectives* **1999**, *107*, (3), 173.
55. Meeker, J. D.; Barr, D. B.; Hauser, R., Pyrethroid insecticide metabolites are associated with serum hormone levels in adult men. *Reproductive Toxicology* **2009**, *27*, (2), 155-160.
56. Han, Y.; Xia, Y.; Han, J.; Zhou, J.; Wang, S.; Zhu, P.; Zhao, R.; Jin, N.; Song, L.; Wang, X., The relationship of 3-PBA pyrethroids metabolite and male reproductive hormones among non-occupational exposure males. *Chemosphere* **2008**, *72*, (5), 785-790.
57. Wang, S.; Shi, N.; Ji, Z.; Pinna, G., [Effects of pyrethroids on the concentrations of thyroid hormones in the rat serum and brain]. *Zhonghua lao dong wei sheng zhi ye bing za zhi = Chinese journal of industrial hygiene and occupational diseases* **2002**, *20*, (3), 173-176.
58. Akhtar, N.; Kayani, S. A.; Ahmad, M. M.; Shahab, M., Insecticide-induced changes in secretory activity of the thyroid gland in rats. *J Appl Toxicol* **1996**, *16*, (5), 397-400.
59. Kaul, P. P.; Rastogi, A.; Hans, R. K.; Seth, T. D.; Seth, P. K.; Srimal, R. C., Fenvalerate-induced alterations in circulatory thyroid hormones and calcium stores in rat brain. *Toxicology Letters* **1996**, *89*, (1), 29-33.
60. Mense, S. M.; Sengupta, A.; Lan, C.; Zhou, M.; Bentsman, G.; Volsky, D. J.; Whyatt, R. M.; Perera, F. P.; Zhang, L., The Common Insecticides Cyfluthrin and Chlorpyrifos Alter the Expression of a Subset of Genes with Diverse Functions in Primary Human Astrocytes. *Toxicological Sciences* **2006**, *93*, (1), 125-135.
61. Horton, M. K.; Rundle, A.; Camann, D. E.; Barr, D. B.; Rauh, V. A.; Whyatt, R. M., Impact of prenatal exposure to piperonyl butoxide and permethrin on 36-month neurodevelopment. *Pediatrics* **2011**, *127*, (3), e699-e706.
62. Roberts, E. M.; English, P. B.; Grether, J. K.; Windham, G. C.; Somberg, L.; Wolff, C., Maternal Residence near Agricultural Pesticide Applications and Autism Spectrum Disorders among Children in the California Central Valley. *Environmental Health Perspectives* **2007**, *115*, (10), 1482-1489.
63. Quiros-Alcala, L.; Mehta, S.; Eskenazi, B. In *Pyrethroid exposure and Neurodevelopment in U.S. Children*, Environment and Health, Bridging South, North, East and West, Basel, Switzerland, 19-23 August 2013, 2013; Basel, Switzerland, 2013.
64. vanEngelsdorp, D.; Evans, J. D.; Saegerman, C.; Mullin, C.; Haubruge, E.; Nguyen, B. K.; Frazier, M.; Frazier, J.; Cox-Foster, D.; Chen, Y.; Underwood, R.;

- Tarpy, D. R.; Pettis, J. S., Colony Collapse Disorder: A Descriptive Study. *PLoS ONE* **2009**, *4*, (8), e6481.
65. Goulson, D.; Lye, G. C.; Darvill, B., The decline and conservation of bumblebees. *Annual Review of Entomology* **2008**, *53*, 191-208.
<http://dx.doi.org/10.1146/annurev.ento.53.103106.093454>.
 66. Potts, S. G.; Biesmeijer, J. C.; Kremen, C.; Neumann, P.; Schweiger, O.; Kunin, W. E., Global pollinator declines: trends, impacts and drivers. *Trends in ecology & evolution* **2010**, *25*, (6), 345-353.
 67. Stork, N. E.; Eggleton, P., Invertebrates as determinants and indicators of soil quality. *American Journal of Alternative Agriculture* **1992**, *7*, (Special Issue 1-2), 38-47.
 68. EC (European Commission), Commission Decision of 30 November 2009 concerning the non-inclusion of bifenthrin in Annex I to Council Directive 91/414/EEC and the withdrawal of authorisations for plant protection products containing that substance. In Official Journal of the European Union: 2009; Vol. 2009/887/EC, p 41.
 69. Moore, A.; Waring, C. P., The effects of a synthetic pyrethroid pesticide on some aspects of reproduction in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Aquatic Toxicology* **2001**, *52*, (1), 1-12.
 70. EPA, Registration Eligibility Decision for Allethrin. Prevention, Pesticides and Toxic Substances. 2009; p 172.
 71. EPA, Registration Eligibility Decision for Cypermethrin. Prevention, Pesticides and Toxic Substances. 2009; p 113.
 72. Beyond Pesticides Synthetic Pyrethroids.
<http://www.beyondpesticides.org/mosquito/documents/SyntheticPyrethroids.pdf> (2014-08-18)
 73. Harris, C. R.; Kinoshita, G. B., Influence of Posttreatment Temperature on the Toxicity of Pyrethroid Insecticides. *Journal of Economic Entomology* **1977**, *70*, (2), 215-218.
 74. Talent, L. G., Effect of temperature on toxicity of a natural pyrethrin pesticide to green anole lizards (*Anolis carolinensis*). *Environmental Toxicology and Chemistry* **2005**, *24*, (12), 3113-3116.
 75. Gilliom, R. J.; Barbash, J. E.; Crawford, C. G.; Hamilton, P. A.; Martin, J. D.; Nakagaki, N.; Nowell, L. H.; Scott, J. C.; Stackelberg, P. E.; Thelin, G. P.; Wolock, D. M. *The Quality of Our Nation's Waters - Pesticides in the Nation's Streams and Ground Water*; 2006; p 172.
 76. Perry, M. J.; Venners, S. A.; Barr, D. B.; Xu, X., Environmental pyrethroid and organophosphorus insecticide exposures and sperm concentration. *Reproductive Toxicology* **2007**, *23*, (1), 113-118.
 77. Gouvernement du Québec, Code de Gestion des Pesticides. In *Chapitre P-9.3, r. 1 de la Loi sur les pesticides*, Éditeur officiel du Gouvernement du Québec: Québec, Canada, 2003.
 78. MDDELCC, Noms commerciaux des pesticides de classe 3 autorisés dans les garderies et les écoles (Ingrédients actifs mentionnés à l'annexe II du Code de gestion des pesticides) Novembre 2015. In Gouvernement du Québec: 2015; p 2.
 79. Shu, J., How should I treat my daughter's lice? In *CNN Health*, 2011
<http://thechart.blogs.cnn.com/2011/03/28/how-should-i-treat-my-daughters-lice/>. Accessed online 2016/01/06.
 80. MDDEP, Protéger l'environnement et la santé dans les centres de la petite enfance et les écoles - Les organismes indésirables : comment les contrôler efficacement - Blatte. In Gouvernement du Québec: 2005; p 4.
 81. Santé Canada, Blattes - Feuillet de renseignements sur les organismes nuisibles. In Gouvernement du Canada: 2010; p 2.
 82. Olson, J. F.; Eaton, M.; Kells, S. A.; Morin, V.; Wang, C., Cold tolerance of bed bugs and practical recommendations for control. *Journal of economic entomology* **2013**, *106*, (6), 2433-2441.
 83. Santé Canada. Bedbugs - How do I get rid of them? **2015**.