

Impacts des insecticides pyréthriinoïdes sur la santé humaine et environnementale: *Ce que l'on sait, ce qu'on ignore et les recommandations qui s'y rapportent*

Résumé et Sommaire basés sur une revue de littérature

Auteure:

Louise Hénault-Ethier, MSc¹

Conseillers scientifiques:

Nicolas Soumis, PhD² et Maryse Bouchard, PhD³

Étude réalisée pour Équiterre*

¹Étudiante au doctorat à l'Institut des Sciences de l'Environnement, Département des Sciences de la Terre, UQAM; ²Consultant Indépendant pour Équiterre; ³Professeur, Département de santé environnementale et santé au travail, Université de Montréal.

*Correspondance: Équiterre, Maison du développement durable, 50 rue Sainte-Catherine Ouest, bureau 340, Montréal (Québec) H2X 3V4, CANADA

2016.01.18

Merci de citer le rapport original en anglais:

Hénault-Ethier, L. 2015. Health and environmental impacts of pyrethroid insecticides: What we know, what we don't know and what we should do about it. Executive summary and littérature review. Équiterre. Montréal, Canada. 68pp. <http://www.equiterre.org/publication/revue-de-litterature-sur-les-impacts-des-insecticides-pyrethrinoides-sur-la-sante-et-len>

Résumé

Bien que les instances réglementaires considèrent encore les pesticides homologués comme étant des outils essentiels à la lutte aux ravageurs dont les avantages compensent les risques sanitaires et environnementaux, l'histoire montre qu'aucun d'eux, les insecticides en particulier, n'est inoffensif. Le bannissement du DDT a ouvert la porte à l'utilisation d'une foule d'autres insecticides dont la toxicité varie grandement. Les organophosphorés font partie de ces insecticides de substitution, mais cette classe est actuellement graduellement remplacée par d'autres types d'insecticides parce que la mise à jour des protocoles d'évaluations réglementaires a révélé chez celle-ci un potentiel de toxicité jusqu'alors méconnu. La tendance courante consistant à remplacer les organophosphorés par les pyréthriinoïdes, une classe prétendument plus sûre, n'est toutefois pas exempte de risques. Les pyréthriinoïdes paralysent et tuent les insectes rapidement en agissant sur leur système nerveux. Bien que les doses de pyréthriinoïdes réputées létales chez l'humain demeurent assez substantielles, il est possible de suspecter l'existence d'effets neurotoxiques sublétaux chez ces derniers. La science réglementaire s'adapte parfois lentement aux nouvelles découvertes en recherche fondamentale. Récemment, des recherches indépendantes ont suggéré que certains pyréthriinoïdes sont potentiellement neurotoxiques, cancérigènes, reprotoxiques, et capables de perturber le système endocrinien. Or, de telles conclusions ont parfois été examinées et réfutées lors de la réévaluation réglementaire des homologations par les autorités nationales ou lors d'évaluations menées par les autorités internationales.

La sensibilité accrue des enfants aux pesticides est un fait largement reconnu, et les enfants peuvent être plus exposés aux pyréthriinoïdes de manière plus importante que les adultes. Malgré cette situation, l'évaluation réglementaire des pyréthriinoïdes se heurte à un manque de données se rapportant à la neurotoxicité développementale. Sur ce dernier point, la recherche universitaire au Canada et aux États-Unis confirme de plus en plus l'existence de liens possibles entre l'exposition aux pyréthriinoïdes et la présence d'effets neurotoxiques sublétaux chez l'enfant. Par exemple, une étude canadienne a révélé qu'il existait une relation significative entre les pyréthriinoïdes et certains troubles du comportement chez l'enfant. De plus, l'exposition aux pyréthriinoïdes et aux organophosphorés durant la grossesse a été associée à un risque accru de troubles du spectre de l'autisme et de retards du développement, et il existe une relation statistique entre l'exposition intra-utérine au butoxyde de pipéronyle (un synergiste couramment employé dans les formulations de pyréthriinoïdes) et le retard du développement cognitif chez les enfants de trois ans. À la lumière de ces nouvelles données épidémiologiques, il est crucial de parfaire notre compréhension des critères comportementaux et d'enrichir notre connaissance des mécanismes de neurotoxicité développementale – un mécanisme liant les pesticides à l'autisme a d'ores et déjà été décrit. Entre-temps toutefois, le principe de précaution devrait guider l'ensemble des usages qui pourrait mener à une exposition directe ou indirecte chez l'enfant.

De nouvelles données suggèrent que les pyréthriinoïdes possèdent des effets reprotoxiques. Une étude étasunienne menée sur des hommes et par ailleurs corroborée par une étude chinoise a révélé que l'exposition aux pyréthriinoïdes (mesurée à partir des concentrations de métabolites dans l'urine) est liée à une diminution du nombre de spermatozoïdes et de leur mobilité, de même qu'à une augmentation des anomalies morphologiques et des dommages à leur ADN, ce qui peut mener à une baisse de la fertilité et du taux de grossesse. Chez la souris mâle, l'exposition à la *cis*-perméthrine engendre une diminution du nombre de spermatozoïdes qui a été reliée à une baisse des concentrations de testostérone. Les pyréthriinoïdes peuvent altérer les hormones mâles (activité antiandrogène) et femelles (effets œstrogéniques et lutéotropes). Nos sociétés sont confrontées à une tendance séculaire où s'observe une diminution de la concentration de testostérone et de la qualité du sperme. Les relations en apparence subtiles que révèlent les études épidémiologiques peuvent ainsi se traduire par de profonds changements

dans la capacité reproductive de l'espèce humaine, ou encore, par l'apparition d'autres maladies causées par des anomalies endocriniennes, ce qui constitue une grave préoccupation au sein de la population.

Au tournant du millénaire, l'Organisation mondiale de la santé (OMS) et l'Agence internationale de recherche sur le cancer (AIRC) ont conclu que la démonstration de la carcinogenèse chez l'animal ne constituait pas une preuve suffisante pour inférer l'existence d'un potentiel cancérigène chez l'humain. De son côté, l'Agency for Toxic Substances and Disease Registry aux États-Unis considère que certains pyréthriinoïdes sont possiblement cancérigènes chez l'humain. Devant de nouvelles données, dont l'observation de mutations au sein de cultures de cellules de hamster et d'humain, l'AIRC a fait du réexamen de la cancérigénicité de la perméthrine une haute priorité pour la période 2015-2019. Considérant le potentiel des pyréthriinoïdes à perturber le système endocrinien, d'aucuns suggèrent l'existence d'un lien entre ces insecticides et divers types de cancers – sein, testicule, prostate et thyroïde.

Bien que des pyréthriinoïdes aient été détectés dans plusieurs plans d'eau canadiens situés en zone agricole à des concentrations excédant parfois les critères légaux de protection de la vie aquatique, nous en savons très peu sur l'état des eaux souterraines et des réseaux d'aqueduc. La perméthrin a récemment été détectés dans des eaux souterraines au Québec (le synergiste piperonyl butoxide était quand à lui présent dans 24% des échantillons analysés en 2014). La contamination des eaux urbaines a été démontrée comme substantielle dans certaines villes des États-Unis. Puisque les pyréthriinoïdes ne font pas partie des 25 pesticides pour lesquels des analyses des sources d'eau potable sont exigées par la législation environnementale québécoise, nous en savons très peu sur cette voie d'exposition. De plus, la contamination de fruits et de légumes par les pyréthriinoïdes a été observée au Canada, même si la majorité des aliments était conforme aux tolérances permises. Une étude étasunienne suggère que les risques de contamination d'aliments couramment consommés par les enfants devraient être mieux caractérisés. Bien que plusieurs municipalités au Québec aient banni l'usage de pesticides à des fins esthétiques sur leur territoire, leurs citoyens ont toujours la possibilité de s'en procurer et de les pulvériser à l'intérieur et aux alentours de leur maison sans trop de restrictions. La majorité des formulations de pyréthriinoïdes homologuées sont conçues pour un usage domestique, dans un contexte où la population demeure peu informée des conséquences potentielles de telles applications sur la santé et l'environnement.

Le Code de gestion des pesticides restreint déjà l'utilisation des pyréthriinoïdes dans les garderies et les écoles. Alors que ce code est en cours de révision, les nouvelles données concernant la toxicité des pyréthriinoïdes chez l'enfant devraient être prises en compte dans l'évaluation des risques visant à restreindre leur usage dans d'autres endroits fréquentés par les enfants. Bien qu'une gamme de pyréthriinoïdes fasse actuellement l'objet d'un réexamen de leur homologation au Canada, des progrès restent à faire en matière de transparence procédurale et d'accès public à l'information. Soulignons que les Étasuniens peuvent plus facilement accéder aux documents d'homologation des pesticides, de l'étape initiale de l'appel de données jusqu'à la décision définitive, et qu'ils ont en outre instantanément accès, par l'entremise du site web www.regulations.gov, à l'ensemble des commentaires soumis par la population et les groupes d'intérêt. Pendant ce temps, les Canadiens n'ont pas un accès aussi aisé et transparent aux documents concernant les pyréthriinoïdes : plusieurs d'entre eux ne sont pas cohéremment archivés et regroupés par classes de pesticides; ils ne possèdent pas de numéro de dossier fixe ou d'hyperlien permanent sur le site web de l'Agence de réglementation de la lutte antiparasitaire de Santé Canada pour faciliter leur consultation; et plusieurs ne sont accessibles que par l'entremise de la lente procédure consistant à soumettre une requête personnelle.

Sommaire¹

Historique et homologation

Les pyréthrinoïdes rassemblent diverses substances actives employées pour leurs propriétés insecticides. Les pyréthrines, qui constituent le premier groupe de pyréthrinoïdes, ont été extraites à partir des fleurs du chrysanthème. Par la suite, les pyréthrinoïdes de synthèse ont été créés dans le but d'accroître l'activité et la persistance de cette classe d'insecticides; les alléthrines, qui en sont les tout premiers représentants, sont apparus en 1949. De nos jours, les pyréthrinoïdes dominent le marché mondial des insecticides. Il existe environ 614 produits homologués appartenant à cette classe au Canada, et plus de 3 500 aux États-Unis. Les pyréthrinoïdes servent des fins domestiques, commerciales, industrielles, agricoles, vétérinaires et médicales. Ils sont employés pour combattre les insectes ravageurs en agriculture (ex. pucerons et charançons), les insectes rampants ou volants dans les maisons (blattes, guêpes, fourmis et araignées), les parasites s'attaquant aux animaux (puces et tiques) et aux humains (poux), de même que les vecteurs de maladies infectieuses contrôlés par les services de santé publique (moustiques). Au Québec, et contrairement aux autres pesticides, les ventes de pyréthrinoïdes ont augmenté entre 2004 et 2010, pour totaliser 12 tonnes d'ingrédients actifs, tous secteurs d'utilisation confondus. Durant cette même période, les ventes aux fins domestiques ont presque doublé, pour atteindre 2 780 kg d'ingrédients actifs (kg IA) en 2010, alors que les ventes aux services d'extermination atteignaient 6 210 kg IA cette même année. La cyperméthrine et la perméthrine comptent parmi les pyréthrinoïdes les plus vendus au Québec à raison de plus de 1 000 kg par année chacune. L'usage des pyréthrinoïdes a augmenté au cours des dernières années, car ceux-ci sont massivement employés pour remplacer les organophosphorés plus toxiques.

Caractéristiques physicochimiques

Le nom des pyréthrinoïdes se termine souvent par le suffixe *-thrine*. Les pyréthrinoïdes couramment employés au Canada comprennent les alléthrines, la cyfluthrine, la cyperméthrine, la deltaméthrine, la *d*-phénothrine, la lambda-cyhalothrine, la perméthrine, les pyréthrines, la resméthrine et la tétraméthrine. Cette classe d'insecticides est divisée en deux grands groupes en fonction de l'absence (type I) ou de la présence (type II) d'un groupement nitrile (composé d'un atome de carbone et d'un atome d'azote) sur le carbone alpha. (c.-à-d. le carbone en première position liée au groupement fonctionnel) de la molécule. Chaque substance active peut être vendue sous la forme d'un mélange d'isomères, soit de molécules de même formule brute (même nombre d'atomes des mêmes éléments) possédant toutefois des configurations spatiales distinctes. En plus de leurs ingrédients actifs, les formulations vendues sur le marché contiennent également des adjuvants aussi appelés synergistes. Le butoxyde de pipéronyle et le MGK-264 sont deux synergistes courants; chacun d'eux possède une toxicité intrinsèque et des caractéristiques physicochimiques particulières qui peuvent accroître la toxicité des pyréthrinoïdes.

¹ La documentation étayant les propos de ce sommaire est donnée en référence dans le corps du rapport technique. Les observations, conclusions et recommandations énumérées dans cette revue de littérature sont celles exprimées par les auteurs des articles et rapports cités. Le seul et unique but de fournir des exemples de noms de produits commerciaux est pour que le public puisse reconnaître des produits domestiques ou d'usage professionnel communs, en référant aux noms qui leur sont familiers. D'autres marques et produits sont homologués par Santé Canada. Aucune allégation à propos des produits de marque n'est fait dans cette revue de littérature.

Les pyréthrinoïdes sont plus solubles dans les lipides que dans l'eau, bien qu'ils puissent être lessivés des surfaces par la pluie. Leur volatilité demeure faible, et une fois dans l'air, ils ont fortement tendance à s'associer aux particules de poussière. Les pyréthrines naturelles sont rapidement dégradées par la lumière du soleil (photodégradation) et en présence d'humidité (hydrolyse). Les pyréthrinoïdes synthétiques sont cependant plus stables, quoique généralement considérés comme étant plus rapidement dégradables dans l'environnement que certains autres insecticides.

Mode d'action

Les pyréthrinoïdes sont dits neurotoxiques parce qu'ils interfèrent avec la propagation des signaux neuronaux. Plus précisément, ils agissent sur les canaux sodiques situés le long de la membrane cellulaire de la queue des neurones (axones). En maintenant ces canaux ouverts, les pyréthrinoïdes déclenchent une série d'influx électriques chez les neurones qui cause leur dépolarisation, ce qui engendre différents symptômes comme des tremblements, des mouvements involontaires et la salivation.

Usages domestiques

Notre style de vie moderne nous contraint à rester à l'intérieur pendant de longues heures. Or, puisque la majorité des habitations ont déjà été traitées avec des pesticides depuis leur construction, nous nous trouvons exposés à un cocktail de polluants chimiques. Il y a 478 produits pesticides homologués au Canada, parmi lesquels se retrouvent des noms familiers tels que Raid ou OFF! Ces produits sont vendus sous différentes formes comprenant des poudres, des solutions à pulvériser et des spirales insectifuges. Les cannettes sous-pression et les bombes aérosol constituent de loin les modes d'application causant le plus grand nombre de cas d'intoxication rapportés. La perméthrine, la cyperméthrine et le butoxyde de pipéronyle sont couramment détectés dans la poussière domestique. Malheureusement, en tentant d'éradiquer les insectes domestiques nuisibles comme les blattes qui peuvent causer de l'asthme chez l'humain, nous utilisons des pyréthrinoïdes, qui peuvent eux aussi causer de l'asthme. Outre les problèmes de santé reliés à l'exposition chez l'enfant, le contrôle des poux à l'aide de pyréthrinoïdes peut stimuler le développement d'une résistance chez ces insectes, ce qui les rend de plus en plus difficiles à éradiquer, en plus de favoriser l'utilisation de doses accrues et de mélanges d'insecticides. L'utilisation de shampoings à base de pyréthrinoïdes pour contrôler les puces a été associée à des cas d'intoxication infantile. Pourtant, d'autres moyens moins toxiques de contrôler les poux, tels qu'un peignage soigneux et une surveillance attentive, pourraient s'avérer suffisants. Par ailleurs, les pyréthrinoïdes en aérosol sont particulièrement dangereux lorsqu'employés à l'intérieur puisque la circulation restreinte d'air engendre une exposition accrue par inhalation (la section abordant l'exposition ci-dessous fournit plus de détails sur les manières dont les pyréthrinoïdes pénètrent dans le corps à la suite d'usages domestiques). Les options permettant d'éviter l'utilisation de pesticides sont donc préférables. Si, toutefois, leur utilisation devient incontournable, elle devrait s'en tenir au minimum requis, et toujours s'effectuer selon les recommandations du fabricant retrouvées sur l'étiquette. Avant d'y pénétrer, les pièces ayant été traitées devraient préalablement être ventilées. Les produits inutilisés devraient être rangés de façon sécuritaire, en les gardant sous clé et hors de la portée des enfants.

Usages agricoles

Au Québec, le niveau de risque environnemental et sanitaire relié à l'agriculture a diminué au cours des dix dernières années. Les travailleurs agricoles sont fréquemment exposés aux pyréthrinoïdes, ce qui peut poser problème, particulièrement lorsque les bonnes pratiques de travail ne sont pas observées. Les

pyréthrinoïdes sont couramment utilisés pour l'élevage animal et la production alimentaire. Plusieurs fruits (pomme, fraise et autres baies) et légumes (maïs sucré, pomme de terre, carotte, laitue, oignon, ciboule, et de nombreuses crucifères) peuvent avoir été traités avec des pyréthrinoïdes homologués au Canada, et plusieurs produits importés peuvent l'avoir été avec des pyréthrinoïdes non homologués. L'utilisation agricole de ces insecticides laissera des résidus chez les aliments traités, et leur ingestion constitue une source d'exposition. Bien qu'il existe des normes quant à la présence de résidus de pesticides dans les aliments, et que la majorité des aliments s'y conforment, certaines denrées retrouvées sur le marché ne les respectent pas.

Exposition

Les pyréthrinoïdes sont principalement absorbés par ingestion, surtout par l'entremise d'aliments ou d'eau contaminés, mais également par l'ingestion de sol ou de poussière, notamment chez l'enfant. Bien que plus lente, l'absorption cutanée pendant les travaux d'application ou au contact de surfaces traitées reste également possible, car les pyréthrinoïdes sont liposolubles – or, la membrane des cellules, comme celles de la peau, est constituée d'une double couche de lipides. Ainsi, l'emploi d'un shampoing contre les puces engendre une absorption limitée par la peau. Du reste, l'inhalation de fines gouttelettes ou de particules de poussière en suspension dans l'air peut également survenir, particulièrement lorsque les pyréthrinoïdes sont employés dans des espaces clos. Une fois entrés dans l'organisme, les pyréthrinoïdes sont convertis en produits de dégradation (métabolites) puis excrétés dans l'urine. Plusieurs pyréthrinoïdes sont métabolisés en *cis*-DCCA et en *trans*-DCCA (acides *cis*- et *trans*-3-[2,2-dichlorovinyl]-2,2-diméthylcyclopropane-1-carboxyliques); une vingtaine d'entre eux peuvent être convertis en 3BPA (acide 3-phénoxybenzoïque); et la cyfluthrine peut se transformer en 4F3PBA (acide 4-fluoro-3-phénoxybenzoïque). En conséquence, les métabolites détectés dans les fluides corporels permettent difficilement de déterminer à quels pyréthrinoïdes un sujet a été exposé. Qui plus est, les métabolites ne peuvent être détectables dans le sang ou l'urine que pendant quelques heures ou quelques jours. Voilà donc pourquoi l'établissement d'un lien direct entre l'exposition aux pyréthrinoïdes et l'observation de symptômes cliniques demeure si compliqué.

Les travailleurs qui fabriquent, emballent, manipulent, ou appliquent des pesticides sont particulièrement sujets à l'exposition cutanée. Toutefois, certains cas d'empoisonnement en milieu de travail ne sont pas reliés à la manipulation directe de ces substances. Par exemple, les pesticides peuvent être inhalés si les milieux de travail ne sont pas adéquatement ventilés; ils peuvent en outre être absorbés par la peau lors de contacts avec des surfaces traitées, une situation qui a déjà été observée chez des agents de bord travaillant à bord d'avions ayant été désinsectisés. Depuis les années 1930, les pyréthrinoïdes sont employés avant les vols ou même pendant ceux-ci afin d'éviter le transport de vecteurs de maladies ou d'insectes nuisibles d'un pays à l'autre. Bien que cette pratique ait cessé en 1979 aux États-Unis, elle est toujours en vigueur dans d'autres pays.

Niveau d'exposition acceptable

L'exposition alimentaire aux pyréthrinoïdes peut être réduite en lavant les aliments puisque la majeure partie de ces pesticides ne traversent pas la peau des fruits et des légumes. Toutefois, un simple trempage dans l'eau ne suffit pas; peler et cuire les aliments permet d'éliminer plus efficacement les résidus. Afin d'éviter les effets non désirables sur la santé, la quantité de résidus de pesticides présents dans les aliments et l'eau est réglementée. Les quantités de résidus de pyréthrinoïdes tolérés par l'Environmental Protection Agency des États-Unis varient entre 0,01 et 75 ppm selon la molécule en jeu.

Il est également possible de déterminer une dose journalière admissible (DJA) sur la base du poids corporel moyen de l'humain. Selon la réglementation en vigueur et la molécule en jeu, ces DJA varient entre 0,002 et 0,07 mg de résidus par kg de poids corporel par jour pour les pyréthriinoïdes. Selon l'OMS, la concentration de perméthrine dans l'eau potable ne devrait pas excéder 20 µ/l. Toutefois, au Québec, le Règlement sur la qualité de l'eau potable ne considère pas les pyréthriinoïdes parmi les 25 pesticides pour lesquels des tests réguliers sont exigés aux usines de traitement d'eau. Les risques de contamination de l'eau ne sont donc pas surveillés au Québec malgré l'existence connue de problèmes de contamination d'eau de surface dans les zones agricoles.

Sensibilité accrue des enfants

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. Normalement, les enfants sont surtout exposés aux pyréthriinoïdes par leur alimentation; toutefois, si la maison qu'ils habitent a été récemment traitée, l'absorption cutanée peut devenir plus importante. Les pyréthriinoïdes peuvent se retrouver dans 5 % des aliments régulièrement consommés par les enfants, bien que tous les aliments ne soient pas systématiquement ou régulièrement analysés. La manière de manger des enfants peut accroître leur exposition, par exemple lorsqu'ils laissent tomber leurs aliments sur des surfaces traitées et la consomment ensuite. Une étude menée à Montréal³ a révélé qu'en comparaison des adultes, les enfants excrétaient plus de métabolites de pyréthriinoïdes couramment utilisés dans les opérations d'extermination domestique ou commerciale, même si l'étude rapporte peu de traitements de maisons aux pyréthriinoïdes. Par ailleurs, les enfants sont plus sujets aux infestations par les poux et donc plus susceptibles d'être traités à l'aide d'un shampoing à base de pyréthriinoïdes. Les forums en ligne abondent de questionnements et de témoignages liés à l'utilisation de shampoing canin pour traiter à moindres coûts les infestations par les poux chez les enfants. De tels usages, qui n'ont été soumis à aucune évaluation lors de l'homologation de ces produits, et qui ne respectent pas les conditions d'utilisation normale mentionnées sur l'étiquette, devraient être empêchés. Or, devant de tels usages inappropriés motivés par des problèmes sanitaires et économiques, de simples consignes recommandant de lire les instructions sur l'étiquette et de s'y conformer peuvent se révéler insuffisantes.

Symptômes d'intoxication

L'exposition cutanée à court terme aux pyréthriinoïdes peut mener à des sensations anormales au visage (paresthésie). Leur ingestion peut causer des maux de gorge, des nausées, des vomissements et des crampes abdominales, des ulcères buccaux, une augmentation des sécrétions et une déglutition difficile. La plupart des sujets atteints récupèrent en 12 à 48 heures. Les doses létales varient d'environ 55 mg/kg de poids corporel dans le cas de la bifenthrine et de la lambda-cyhalothrine jusqu'à plus de 10 000 mg/kg de poids corporel (dose extrêmement élevée) dans le cas de la *d*-phénothrine. Conséquemment, il est rare qu'une exposition aux pyréthriinoïdes mène au décès, bien que de fortes doses causent des tremblements, le coma et des convulsions.

Les effets d'une exposition à long terme aux pyréthriinoïdes sont mal connus. Les données concernant la toxicité des pyréthriinoïdes proviennent surtout d'études chez l'animal; rares sont les études épidémiologiques chez l'humain. Les effets sublétaux découlant d'une exposition à long terme chez

l'animal comprennent des perturbations sur le plan du comportement, du développement et de l'équilibre hormonal. Chez l'humain, les symptômes non spécifiques tels que les nausées, les étourdissements, les douleurs respiratoires, les éruptions cutanées, les pertes de mémoire ou les perturbations du système immunitaire sont difficilement attribuables à une cause unique et peuvent ainsi être erronément associés à d'autres syndromes (ex. syndrome de fatigue chronique).

En raison de la rapidité des processus de métabolisation et d'excrétion de la plupart des pyréthrinoïdes, seuls des effets passagers (non permanents) peuvent se manifester chez l'humain. Le principal mode d'action des pyréthrinoïdes réside dans leur effet sur le système nerveux et leur neurotoxicité développementale, cette dernière ayant été démontrée chez l'animal. Par exemple, il a été démontré que la cyfluthrine affecte la croissance, le taux de survie et le fonctionnement de cellules spécifiques du cerveau et de la moelle épinière appelées astrocytes. Malgré cela, les autorités réglementaires estiment que cette preuve est équivoque, et n'exigent conséquemment des études de neurotoxicité que pour l'homologation de pesticides qui sont présumés avoir un impact sur le système nerveux. Ainsi, plutôt que de mener des tests toxicologiques spécifiques portant sur le développement neurologique, les fabricants de pesticides peuvent invoquer des résultats obtenus sur des ingrédients actifs similaires, nonobstant le fait qu'ils n'engendrent pas tous les mêmes effets. Par ailleurs, les protocoles réglementaires conventionnels pourraient ne pas avoir la sensibilité nécessaire pour détecter certains effets toxiques, alors que les recherches universitaires faisant usage de nouveaux protocoles peuvent révéler des effets toxiques qui, jusqu'à présent, étaient restés insoupçonnés ou passés inaperçus. Les nouveau-nés peuvent également être plus sensibles que les adultes, et les modifications du comportement neurologique observées chez les jeunes ayant été exposés peuvent persister jusqu'à l'âge adulte. Le lien entre les concentrations de butoxyde de pipéronyle retrouvées dans des échantillons d'air et la perturbation du développement mental chez les enfants de trois ans suggère l'existence d'une relation entre l'exposition prénatale aux pyréthrinoïdes et la présence d'effets nuisibles sur le développement neurologique. Plusieurs autres études semblent soutenir l'existence d'un tel lien entre les pesticides et la perturbation du développement neurologique de l'enfant, de même qu'entre l'exposition aux pesticides et la présence de troubles du spectre de l'autisme ou de retards du développement. Selon des recherches récentes, les enfants étasuniens et canadiens sont couramment exposés aux pyréthrinoïdes, et cette situation semble engendrer la présence de troubles comportementaux et cognitifs chez ceux-ci. Notamment, des enfants présentant des concentrations urinaires de *cis*-DCCA dix fois supérieures à la moyenne étaient deux fois plus enclins à présenter des troubles comportementaux selon les observations de leurs parents. Les enfants fortement exposés avaient également plus de chances de manifester simultanément des difficultés d'apprentissage et un trouble de déficit de l'attention.

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 à la fertilité humaine comme des modifications du système reproducteur mâle, une baisse du nombre de spermatozoïdes et de leur mobilité ainsi que des dommages à leur ADN, qui mènent tous à une baisse de la fertilité et du taux de grossesse. Il a été montré que les pyréthrinoïdes 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), et en altérant la fonction thyroïdienne. Des expériences *in vitro* sur la cyperméthrine et le fenvalérate montrent que les pyréthrinoïdes peuvent perturber les hormones mâles et femelles (effets œstrogéniques et antiandrogènes). L'OMS reconnaît que des tumeurs sont apparues chez des rongeurs exposés à des pyréthrinoïdes durant leur vie entière, mais en 2001, cette organisation a conclu que rien n'indiquait clairement la pertinence de considérer la cancérogénicité des pyréthrinoïdes dans le cadre de l'évaluation

des risques pour l'humain. Il a été montré que la perméthrine induit des mutations au sein de cultures de cellules de hamster et d'humain.

Présence et persistance dans l'environnement

Lorsque les pyréthrinoïdes sont employés, leurs aérosols peuvent être dispersés par le vent, la pluie peut les faire ruisseler vers les plans d'eau, et ils peuvent en outre être disséminés par les eaux souterraines ou les réseaux d'égouts. En raison de leur forte affinité pour les particules, les pyréthrinoïdes tendent à s'accumuler dans les sédiments plutôt qu'à se disperser dans la colonne d'eau, leur redissolution (désorption) restant toutefois possible. Même si seulement 1 % des quantités appliquées atteint les plans d'eau, cette quantité peut être suffisante pour porter préjudice aux organismes aquatiques. Au Québec, la contamination des cours d'eau (par la lambda-cyhalothrine, la perméthrine et la cyperméthrine) situés à proximité des zones de production maraîchère ou des vergers est un phénomène connu. Les pics de concentration de perméthrine mesurés lors de ces suivis environnementaux excédaient de 32 à 350 fois les critères de toxicité aiguë et chronique pour la vie aquatique, et entre 14 et 33 % des échantillons analysés recélaient des concentrations excédant ces critères. Malheureusement, le Québec ne procède à aucun suivi des concentrations de pyréthrinoïdes dans les eaux souterraines. Un rapport de 2015 indique que la perméthrine a été détectée dans 6% des échantillons d'eau souterraine du Bas Saint-François analysés en 2014. Aux États-Unis, les pyréthrinoïdes ont également été détectés dans les eaux et les sédiments des milieux aquatiques situés en zone agricole, celles mesurées en zones urbaines étant encore plus élevées. Des études ont révélé la présence de différents pyréthrinoïdes dans les eaux étasuniennes (lambda-cyhalothrine, cyperméthrine, perméthrine, resméthrine, etc.), la bifenthrine étant le composé le plus abondant. Toutefois, en raison de restrictions budgétaires, la perméthrine demeure le seul pyréthrinoïde à être suivi de manière routinière dans les eaux de surface et souterraines.

Dans l'environnement, les pyréthrinoïdes sont éventuellement dégradés par la lumière du soleil (photolyse), les réactions chimiques en présence d'eau (hydrolyse) et l'action des microorganismes (biodégradation). Certains facteurs tels que la température, le pH, la présence d'oxygène et l'adsorption aux particules de sol ou de sédiments influencent le temps nécessaire à leur dégradation complète. Par exemple, les températures froides ralentiront la dégradation des pyréthrinoïdes, en plus d'accroître leur toxicité chez l'animal. Toutefois, un composé qui se dégraderait en quelques jours à l'extérieur peut demeurer actif pendant des années à l'intérieur d'un bâtiment, où il sera à l'abri des éléments. Il faut en moyenne entre 30 et 100 jours à la plupart des pyréthrinoïdes pour se décomposer dans un sol en présence d'oxygène. À l'intérieur d'un élévateur à grain ou d'un tunnel de métro, toutefois, ce délai peut se prolonger jusqu'à un an, et certaines formulations dotées d'effets résiduels (comme celles servant à protéger le bois des termites) peuvent persister jusqu'à cinq ans. En général, les pyréthrinoïdes se dégraderont plus rapidement dans les milieux alcalins; ainsi, l'utilisation d'eau additionnée de bicarbonate de sodium (soda à pâte) peut contribuer à nettoyer les surfaces à la suite d'applications intérieures.

Toxicité chez les organismes non ciblés

Bien que les mammifères puissent être sensibles à une exposition à long terme aux pyréthrinoïdes, ils en sont partiellement protégés en raison de leur lente absorption cutanée, de leur métabolisation rapide et de l'excrétion de leurs métabolites. Les oiseaux sont présumés être modérément sensibles aux pyréthrinoïdes, 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. Il a été démontré que les

reptiles, les poissons et les amphibiens sont plus affectés par les pyréthriinoïdes lorsque la température décline, mais les reptiles sont rarement étudiés lors des décisions en matière d'homologation. Les insecticides affectent évidemment les insectes, non seulement ceux qui sont considérés comme nuisibles, mais également ceux qui ne sont pas ciblés. Les pyréthriinoïdes posent un risque particulièrement élevé pour les abeilles. Si une pulvérisation directe ne leur cause pas de préjudices, les contacts subséquents alors qu'elles butinent des fleurs sauvages ou cultivées les exposent à un « cocktail » qui peut contenir jusqu'à neuf substances actives. Soixante-quinze pour cent des cultures destinées à l'alimentation humaine dépendent de la pollinisation qui, la plupart du temps, est effectuée par les abeilles. Il s'agit d'un service écosystémique qui, mondialement, a été évalué à 153 milliards d'euros (214 milliards de dollars canadiens) pour l'année 2005 seulement. Le déclin massif des populations d'abeilles a été documenté aux États-Unis et en Europe, et les pesticides constituent l'un des nombreux facteurs à l'origine de cette hécatombe complexe. Les lombrics, qui jouent un rôle crucial dans le recyclage de la matière organique, peuvent également subir les effets d'une exposition à long terme aux pyréthriinoïdes. Tous les pyréthriinoïdes testés sont toxiques, voire hautement toxiques, pour les poissons. Malheureusement, l'évaluation de la toxicité des pyréthriinoïdes pour les crustacés, les mollusques, les poissons marins et estuariens de même que les organismes benthiques accuse d'importantes lacunes. Les concentrations employées pour tuer les larves de moustiques ou de mouches noires dans les plans d'eau sont suffisamment élevées pour nuire au crapet arlequin et à la truite grise. Les effets sublétaux peuvent inclure l'inhibition de l'olfaction, ce qui pourrait affecter la reproduction chez le saumon, le poisson-arc-en-ciel ou le crapet arlequin, qui utilisent des phéromones pour synchroniser la ponte des œufs par la femelle et leur fécondation par le mâle.

Évaluation des risques cumulatifs

Aux États-Unis et au Canada, il a été montré que l'eau et les sédiments contiennent un mélange de pesticides qui comprend plusieurs pyréthriinoïdes. Il peut exister entre les pesticides des interactions additives ou antagonistes qui demeurent difficiles à quantifier ou à prédire. La loi exige néanmoins que de telles interactions soient évaluées au sein des mélanges de pesticides, mais il est difficile de tester l'ensemble des combinaisons possibles parmi les milliers de produits chimiques auxquels nous sommes exposés quotidiennement. La recherche a montré qu'un mélange d'organophosphorés et de pyréthriinoïdes peut faire augmenter de 140 à 170 fois la toxicité chez le poisson en raison des impacts sur le système de détoxification des animaux exposés à de multiples composés. Les pyréthriinoïdes et les néonicotinoïdes sont tous deux retrouvés dans les plans d'eau du Québec, et des études en laboratoire ont démontré que ces pesticides affectent les abeilles selon un mode synergique. La poussière domestique peut contenir un cocktail assez complexe de pesticides, 64 % des frottis de plancher de cuisine révélant la présence simultanée de six pesticides. 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 le phénomène de résistance aux pesticides chez les insectes. Ces deux classes d'insecticides sont reconnues pour accroître la sensibilité des animaux de laboratoire, et des données épidémiologiques démontrent que leur combinaison réduit le nombre de spermatozoïdes chez l'homme. Il est donc nécessaire de poursuivre la recherche sur les effets des mélanges de pesticides.

Réexamen des homologations

Plusieurs pyréthriinoïdes subissent actuellement un réexamen de leur homologation au Canada et aux États-Unis. Les décisions doivent être rendues avant 2016, et il est possible que le processus d'homologation soit harmonisé entre ces deux voisins nord-américains. Au Canada, l'Agence de réglementation de la lutte antiparasitaire de Santé Canada a la responsabilité de superviser le processus d'homologation. Bien que les lois fédérales aient préséance, les gouvernements provinciaux jouent également un rôle dans la gestion des pesticides. Par exemple, le ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques a la responsabilité de faire appliquer la Loi sur les pesticides et la Loi sur la qualité de l'environnement, qui exigent la tenue d'un registre où sont entre autres consignés les ventes de pesticides, les émissions de certificats d'autorisation, les formations et les permis détenus par les exterminateurs et les détaillants. En vertu de la Loi canadienne sur la protection de l'environnement, les concentrations de pesticides retrouvés dans l'eau potable doivent faire l'objet d'un suivi régulier, mais les pyréthriinoïdes sont actuellement exclus de ce suivi. En 2003, le Québec a lancé son Code de gestion des pesticides, conçu pour atténuer les impacts sanitaires et environnementaux découlant de l'usage de pesticides. Cette version du code ne restreignait toutefois pas l'utilisation des pyréthriinoïdes, sauf dans les endroits fréquentés par les enfants (centres de la petite enfance, écoles primaires et secondaires). En 2015, le gouvernement entend réviser ce code, d'où l'importance de porter à son attention les récents problèmes sanitaires et environnementaux reliés à l'usage des pyréthriinoïdes, avec le souhait de réduire davantage leurs impacts sur la nature et la population. Outre les réglementations fédérale et provinciale, quelque 131 municipalités du Québec ont instauré d'autres restrictions, concernant par exemple l'utilisation de pesticides à des fins esthétiques sur leur territoire. Par exemple, la Ville de Montréal interdit l'usage de pesticides à l'extérieur, sauf pour ceux à faible impact ou sous octroi d'une licence temporaire, les contrevenants étant sujets à des amendes. Cependant, cette réglementation ne s'applique qu'aux usages extérieurs des pesticides, et non pas aux usages dans les maisons.

Plusieurs alternatives aux pyréthriinoïdes existent. Afin de contrer la résistance croissante des insectes aux pyréthriinoïdes, nous devrions envisager d'autres solutions moins toxiques comme les interventions physiques (chaleur ou gel), les actions biologiques, les pesticides à faible impact ou les extraits complexes de plantes naturelles. Des pesticides à faible impact comme la terre de diatomée fonctionne sur le principe de la déshydratation des insectes ciblés, comme les coquerelles. Par exemple, la lutte biologique contre les insectes s'est révélée efficace contre une vaste gamme d'insectes nuisibles à l'agriculture sans employer de pesticides de synthèse. Un sondage mené aux États-Unis a révélé que la majorité des gens préféreraient avoir recours à des solutions sans pesticides pour éliminer les insectes de leur maison. Il est possible d'éradiquer les punaises de lit avec des moyens de détection avancés (comme les chiens renifleurs) de façon conjointe à un traitement à la chaleur (offert par des exterminateurs). Il est aussi possible d'éradiquer les poux à l'aide d'un peigne et d'une pincette en respectant un horaire strict. Mais il n'est pas toujours facile de bien former les gens et de changer leurs habitudes – un shampoing à la pyréthrine semble si facile à employer pour plusieurs parmi ceux qui ne sont pas sensibilisés au phénomène de résistance chez les poux ou aux effets sur la santé de l'enfant traité. Les études sur les solutions de rechange plus sûres que les pesticides doivent donc être poursuivies. Par exemple, les huiles essentielles peuvent avoir un potentiel intéressant. Nous devons toutefois bien connaître leurs caractéristiques et leur degré d'efficacité, car même les substances naturelles ne sont pas dénuées de risques : n'oublions pas que les pyréthriinoïdes proviennent originalement d'un extrait de fleur. Les molécules naturelles non modifiées peuvent en effet comporter certains risques, que les altérations chimiques viennent souvent amplifier.