

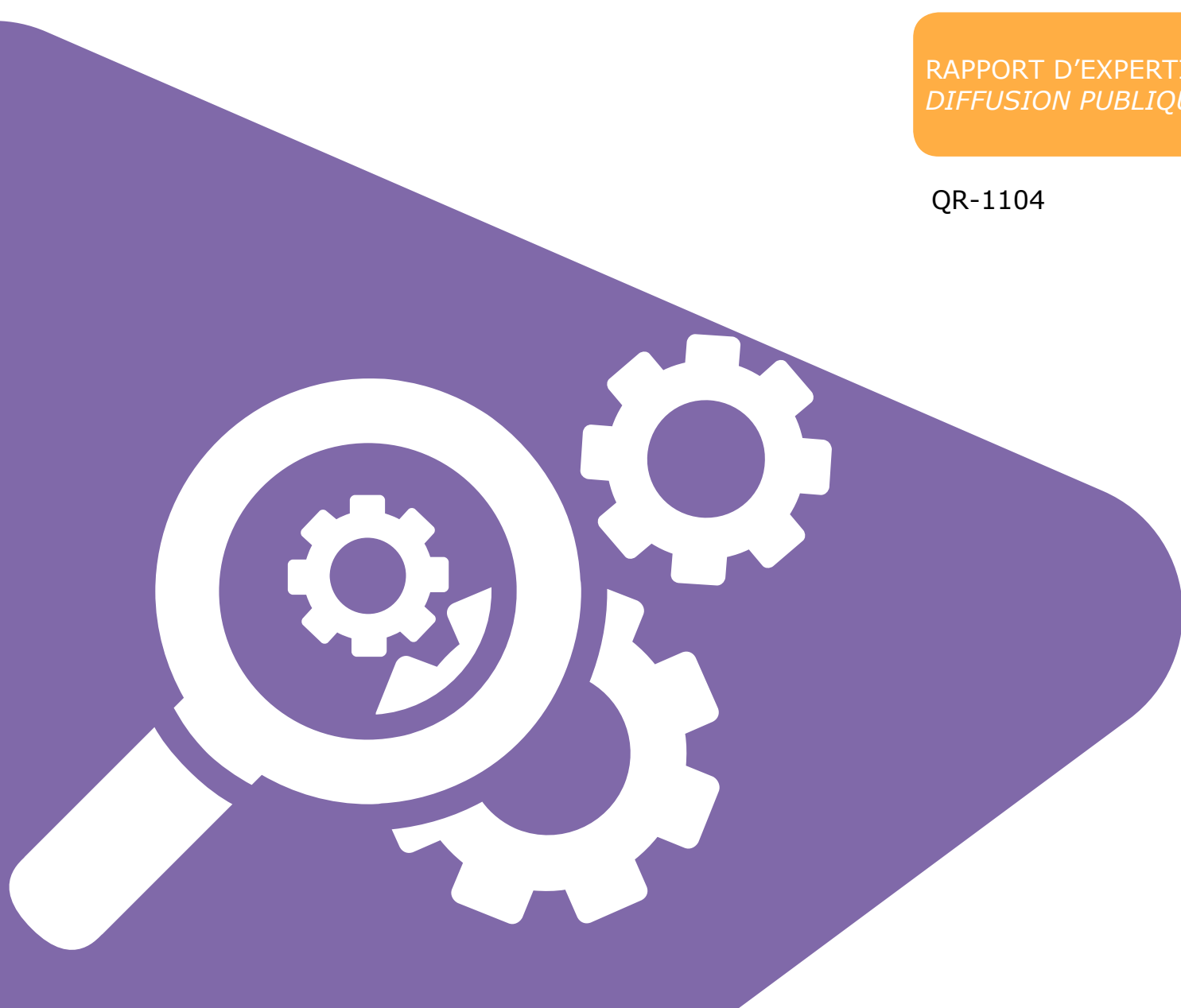
Effets sanitaires des pesticides agricoles les plus vendus au Québec

Version révisée

Pamela Prud'homme
France Labrèche
Annie Mathieu
Kannan Krishnan

RAPPORT D'EXPERTISE
DIFFUSION PUBLIQUE

QR-1104



NOS RECHERCHES travaillent pour vous !

Solidement implanté au Québec depuis 1980, l'Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail (IRSST) est un organisme de recherche scientifique reconnu internationalement pour la qualité de ses travaux.

Mission

Contribuer, par la recherche, à la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles ainsi qu'à la réadaptation des travailleurs qui en sont victimes;

Assurer la diffusion des connaissances et jouer un rôle de référence scientifique et d'expertise;

Offrir les services de laboratoires et l'expertise nécessaires à l'action du réseau public de prévention en santé et en sécurité du travail.

Doté d'un conseil d'administration paritaire où siègent en nombre égal des représentants des employeurs et des travailleurs, l'IRSST est financé par la Commission des normes, de l'équité, de la santé et de la sécurité du travail.

Pour en savoir plus

Visitez notre site Web ! Vous y trouverez une information complète et à jour. De plus, toutes les publications éditées par l'IRSST peuvent être téléchargées gratuitement. www.irsst.qc.ca

Pour connaître l'actualité de la recherche menée ou financée par l'IRSST, abonnez-vous gratuitement :

- au magazine *Prévention au travail*, publié conjointement par l'Institut et la CNESST (preventionautravail.com)
- au bulletin électronique [InfoIRSST](#)

Dépôt légal

Bibliothèque et Archives nationales du Québec
2020
ISBN : 978-2-89797-124-3
ISSN : 2563-0601

IRSST - Direction des communications
et de la valorisation de la recherche
505, boul. De Maisonneuve Ouest
Montréal (Québec) H3A 3C2
Téléphone : 514 288-1551
publications@irsst.qc.ca
www.irsst.qc.ca
© Institut de recherche Robert-Sauvé
en santé et en sécurité du travail
Juillet 2020

Effets sanitaires des pesticides agricoles les plus vendus au Québec

Version révisée

Pamela Prud'homme, France Labrèche, Annie Mathieu, Kannan Krishnan

IRSST

RAPPORT D'EXPERTISE
DIFFUSION PUBLIQUE

QR-1104



Avis de non-responsabilité

L'IRSST ne donne aucune garantie relative à l'exactitude, la fiabilité ou le caractère exhaustif de l'information contenue dans ce document.

En aucun cas l'IRSST ne saurait être tenu responsable pour tout dommage corporel, moral ou matériel résultant de l'utilisation de cette information.

Notez que les contenus des documents sont protégés par les législations canadiennes applicables en matière de propriété intellectuelle.

Cette publication est disponible en version PDF sur le site Web de l'IRSST.

Cette version révisée comprend les corrections suivantes :

Page i : Dans la section « Sommaire », les effets sanitaires avérés ou probables parmi les 25 pesticides ont été mis à jour.

Page 29 : Mise à jour du tableau 2.

Page 30 : Mise à jour de la figure 2.



NOTE AU LECTEUR

Les conclusions et recommandations sont celles des auteurs.
Les résultats des travaux publiés dans ce document n'ont pas fait l'objet d'une évaluation par les pairs.

QR-1104

Effets sanitaires des pesticides agricoles les plus vendus au Québec

Cette expertise été préparée à la demande de :

l'Union des producteurs agricoles (UPA)

Par :

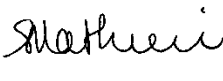
PAMELA PRUD'HOMME, M. Sc., professionnelle scientifique et coordonnatrice du champ
Prévention des risques chimiques et biologiques

Signature : 

FRANCE LABRÈCHE, Ph. D., chercheuse sénior, responsable par intérim du champ
Prévention des risques chimiques et biologiques

Signature : 

ANNIE MATHIEU, Ph. D., conseillère en valorisation de la recherche

Signature : 

KANNAN KRISHNAN, Ph. D., D.A.B.T., FATS, FCAHS, directeur scientifique

Signature : 

NOTE AU LECTEUR

Les conclusions et recommandations sont celles des auteurs.
Les résultats des travaux d'expertise présentés dans ce document n'ont pas fait l'objet
d'une évaluation par des pairs.

SOMMAIRE

Les pesticides ont démontré leur utilité en agriculture, mais leurs propriétés toxiques contre les organismes nuisibles en font des produits potentiellement dangereux pour d'autres organismes non visés, dont l'être humain. Les effets nuisibles qui se produisent rapidement à la suite d'une exposition professionnelle sont assez bien connus parce qu'il est plus facile de faire le lien de « cause à effet » lorsque l'effet suit de peu l'exposition. Il est toutefois beaucoup plus difficile de démontrer un effet nuisible se produisant des semaines ou des années après une exposition professionnelle aux pesticides.

Ce rapport d'expertise, préparé à la demande de l'Union des producteurs agricoles (UPA) a pour but de présenter, sous une forme abrégée, les connaissances actuelles quant aux effets nuisibles sur la santé humaine d'une exposition professionnelle aux pesticides (en termes d'ingrédients actifs) les plus vendus au Québec depuis les dernières années. Dans les pages suivantes, le terme « effet sanitaire » est utilisé pour nommer un problème ou dérèglement de l'état de santé survenant à la suite d'une exposition de l'humain ou de l'animal aux pesticides.

Le choix des 25 pesticides revus dans ce rapport a été effectué à partir des pesticides les plus vendus au Québec selon le bilan des ventes de pesticides en 2017 du ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC) (bilan le plus récent disponible en date du mois d'avril 2020), et de quelques pesticides additionnels suggérés par la coordonnatrice en phytoprotection et la coordonnatrice du Service de santé et de sécurité du travail de l'UPA. Les renseignements disponibles sur chaque ingrédient actif ont été recueillis dans la littérature toxicologique rassemblée par des organisations nationales et internationales spécialisées en santé et en sécurité du travail, en toxicologie et en épidémiologie. Ces informations ont été présentées sous forme de fiches, par ordre alphabétique des pesticides étudiés.

Parmi les 25 pesticides revus, voici le nombre pour lesquels des effets sanitaires avérés ou probables ont été identifiés :

- cinq ont un effet irritatif avéré et deux des effets probables, pour les yeux;
- quatre sont des irritants respiratoires avérés et un l'est probablement;
- trois sont des irritants avérés pour la peau et un est un irritant probable pour la peau;
- deux pesticides provoquent une sensibilisation avérée de la peau et du système respiratoire, un troisième cause une sensibilisation avérée et un quatrième, une sensibilisation probable de la peau;
- trois ont un effet neurotoxique avéré à court terme;
- trois sont des cancérigènes probables;
- un cause probablement des problèmes de développement des enfants à naître;
- un cause probablement des effets endocriniens.

Les fiches individuelles présentent les preuves disponibles d'effets sanitaires avérés ou probables associés à ces 25 pesticides utilisés par les travailleurs agricoles québécois. Soulignons que pour plusieurs de ces pesticides, en particulier ceux qui sont utilisés depuis moins longtemps, il n'y a pas suffisamment d'études solides pour conclure quant à l'existence d'un effet; cela ne veut pas dire qu'il n'y a pas d'effet ou encore que l'effet est négligeable. Les pesticides sont des substances toxiques : il est prudent d'agir préventivement afin de maintenir l'exposition à tout pesticide au minimum.

TABLE DES MATIÈRES

SOMMAIRE	i
LISTE DES TABLEAUX	v
LISTE DES FIGURES	vii
LEXIQUE	ix
LISTE DES SIGLES	xi
1. INTRODUCTION	1
2. MÉTHODOLOGIE	3
2.1 Sélection des pesticides	3
2.2 Sources d'information sur les effets sanitaires	5
2.3 Effets sanitaires évalués	5
2.4 Classement de la certitude des effets	5
3. FICHES	7
3.1 Acide 2,4-dichlorophénoxyacétique (2,4-D)	7
3.2 Atrazine	8
3.3 Bromoxynil.....	9
3.4 Captane	10
3.5 Carfentrazone-éthyle	11
3.6 Chlorantraniliprole.....	12
3.7 Chlorothalonil.....	13
3.8 Chlorpyrifos.....	14
3.9 Cyantraniliprole	15
3.10 Cyperméthrine	16
3.11 Dicamba (Sodium 3,6-dichloro-o-anisate).....	17
3.12 Glufosinate	18
3.13 Glyphosate	19
3.14 Hexazinone.....	20
3.15 Malathion.....	21
3.16 Mancozèbe et Métirame (polycarbazine)	22
3.17 Métam-sodium	23
3.18 Néonicotinoïdes (clothianidine, imidaclopride, thiaméthoxame)	24
3.19 Paraquat.....	25
3.20 Pyraclostrobine	26
3.21 S-Métolachlore.....	27
3.22 Spinosad.....	28

3.23	En résumé	29
4.	DISCUSSION	31
4.1	Interprétation des données présentées	32
4.1.1	Caractéristiques de l'exposition	32
4.1.2	Moyens de maîtrise de l'exposition	32
4.2	Pour aller plus loin : le cas du cancer et de la maladie de Parkinson	34
4.2.1	Cancers	34
4.2.2	Maladie de Parkinson et autres maladies neurodégénératives	34
5.	CONCLUSION.....	37
6.	RÉFÉRENCES	39

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1.	Sélection des pesticides les plus vendus au Québec (données de 2017)	4
Tableau 2.	Répartition des pesticides étudiés selon leur effet nuisible et le classement de la certitude de l'effet.....	29

LISTE DES FIGURES

Figure 1.	Classement de la certitude d'un effet sanitaire selon les éléments de preuve disponibles.....	6
Figure 2.	Systèmes du corps humain et organes, certainement, probablement ou possiblement touchés par les pesticides évalués.....	30

LEXIQUE

Allergie croisée

Allergie, respiratoire (asthme) ou cutanée (eczéma, urticaire) se développant pour des substances qui se ressemblent chimiquement.

Dermatite

Inflammation de la peau (généralement avec rougeur et enflure) qui peut résulter du contact avec une substance irritante ou allergène.

Développement

Période de croissance de l'humain, à partir de l'état d'embryon et de fœtus jusqu'à l'âge adulte, en passant par l'enfance et l'adolescence. Ici, seuls les effets sur le développement découlant de l'exposition des parents sont considérés.

Effets sanitaires

Problème ou dérèglement de l'état de santé survenant à la suite d'une exposition de l'humain ou de l'animal à une source de contamination (appelée aussi danger).

Étude expérimentale

Étude dans laquelle on expose volontairement des animaux (ou encore des cellules) en laboratoire pour identifier les effets sanitaires associés à l'exposition.

Étude épidémiologique

Étude dans laquelle on observe des humains afin d'identifier les facteurs associés à des problèmes de santé (facteurs causals ou favorisant l'apparition ou l'aggravation de la maladie).

Érythème

Rougeur superficielle de la peau.

Exposition professionnelle

Exposition aux pesticides dans le cadre de tâches agricoles.

Génotoxicité

Effet toxique sur le matériel génétique.

Hématologique

Relatif au sang et aux organes qui fabriquent les divers composants du sang.

Hépatique

Relatif au foie ou aux organes associés au foie.

Myosis

Contraction de la pupille de l'œil.

Niveau de certitude

Une estimation de la probabilité que l'effet sanitaire se produise après une utilisation du pesticide dans un contexte de travail.

Perturbation endocrinienne

Dérèglement du fonctionnement de certaines glandes comme les glandes thyroïde, parathyroïdes et surrénales, les ovaires, les testicules, l'hypophyse et l'épiphyse (dans le cerveau) et le pancréas.

Pesticide de contact

Pesticide dont l'effet se produit par simple contact avec la plante, le champignon ou l'insecte, sans qu'il soit nécessaire que le ravageur visé absorbe le pesticide.

Pesticide non sélectif

Pesticide qui contrôle plusieurs plantes, insectes ou autres ravageurs, sans distinction.

Pesticide systémique

Pesticide qui est absorbé par la plante ou l'insecte et se déplace à l'intérieur de leur organisme.

Photosensibilisation

Sensibilisation de la peau qui réagit de façon anormale à la lumière ou au soleil à la suite de l'absorption d'un agent chimique (ici un pesticide).

Preuves scientifiques

Des faits ou des résultats d'étude, obtenus selon des méthodes de qualité, vérifiables, servant à appuyer ou à réfuter l'hypothèse (ici d'un effet sanitaire des pesticides).

Reproduction

L'ensemble des fonctions assurant la reproduction humaine, de la synthèse des spermatozoïdes et des ovaires jusqu'à la naissance.

LISTE DES SIGLES

- ACGIH : *American Conference of Governmental Industrial Hygienists* (États Unis)
- Anses : Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (France)
- ARLA : Agence de réglementation de la lutte antiparasitaire (Gouvernement du Canada)
- CAPQ : Centre antipoison du Québec
- CIRC : Centre international de recherche sur le cancer
- CNESST : Commission des normes, de l'équité, de la santé et de la sécurité du travail
- EFSA : *European Food Safety Agency*
- EPA : *Environmental Protection Agency* (États Unis)
- EPI : Équipement de protection individuelle
- MELCC : Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques
- NIOSH : *National Institute for Occupational Safety and Health* (États-Unis)
- OSHA : *Occupational Safety and Health Administration* (États-Unis)

1. INTRODUCTION

En exerçant une action toxique sur les organismes nuisibles qu'ils sont destinés à combattre, les pesticides ont démontré leur utilité en agriculture [1]. Toutefois, d'autres organismes vivants non ciblés, dont l'être humain, peuvent subir les effets nuisibles d'une exposition en raison du peu de spécificité des mécanismes d'action de plusieurs pesticides [2].

D'une part, l'exposition à certains pesticides peut entraîner des effets à très court terme sur la santé. L'action toxique des ingrédients actifs des pesticides est assez bien connue. Plusieurs intoxications, pouvant même être graves, sont rapportées chez les utilisateurs de pesticides. Les données du Centre antipoison du Québec (CAPQ) font état de 200 intoxications réelles ou suspectées aux pesticides, s'étant produites en milieu de travail, parmi les 3 360 appels reçus au sujet de pesticides entre 2013 et 2015 [3]. Par ailleurs, entre 2006 et 2015, 35 cas indemnisés par la Commission des normes, de l'équité, de la santé et de la sécurité du travail du Québec (CNESST) avaient pour agent causal un produit agrochimique ou un pesticide. Les principales natures de ces lésions étaient des intoxications, des brûlures et des dermatites¹.

D'autre part, les effets à long terme d'une exposition professionnelle aux pesticides sont plus complexes à démontrer parce que plusieurs dizaines d'années peuvent s'écouler entre l'exposition et l'apparition de la maladie. Cela est donc particulièrement problématique pour les pesticides introduits plus récemment dans la production agricole. Selon la littérature scientifique, des troubles neurologiques, des perturbations des fonctions reproductives, des altérations du développement, des cancers ou d'autres effets figurent parmi les effets chroniques associés, avec des niveaux de certitude variés, à l'exposition à certains pesticides.

Ce rapport d'expertise a été préparé à la demande de l'Union des producteurs agricoles (UPA). Il a pour but de présenter, sous une forme abrégée, les connaissances actuelles quant aux effets sur la santé humaine d'une exposition professionnelle à vingt-cinq pesticides parmi les plus vendus au Québec depuis les dernières années ou pour lesquels l'utilisation augmente depuis quelques années.

Le rapport présente, sous forme de fiches et pour chacun des vingt-cinq pesticides sélectionnés, les conclusions faisant consensus sur l'étendue des effets sanitaires pouvant résulter d'une exposition subie dans le contexte du travail. À partir d'informations provenant de diverses organisations reconnues, il permet de dresser un portrait des connaissances généralement acceptées dans la communauté scientifique. De plus, ce rapport renseigne sur les moyens de maîtrise de l'exposition aux pesticides afin d'éviter les risques d'effets sanitaires présentés dans les fiches.

¹ Commission des normes de l'équité de la santé et de la sécurité du travail, Dépôt de données central et régional (DDCR). Traitement par l'IRSST des statistiques sur les lésions professionnelles acceptées survenues entre 2006 et 2015.

Portée et limites :

- Ce rapport d'expertise résume les conclusions des grands organismes scientifiques, internationaux et indépendants, quant aux effets sanitaires susceptibles de se produire à la suite d'exposition à ces pesticides; leurs conclusions ont été basées sur les données d'études expérimentales effectuées sur des animaux et sur les données d'études épidémiologiques. Ce rapport n'a pas considéré, sauf exception, les articles scientifiques individuels.
- Ce rapport présente une synthèse d'un sujet complexe, à partir d'une centaine de documents.
- Ce rapport considère des pesticides utilisés en production végétale, puisqu'il s'agit du secteur agricole utilisant la plus grande quantité de pesticides selon le ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC)[4].
- Les conclusions faisant consensus découlent, pour les vingt-cinq pesticides étudiés, de rapports ou de revues de littérature datant de quelques années à dix ans ou plus : ces pesticides, étant mieux connus, il y a moins d'études récentes portant sur les effets sanitaires à leur sujet. Pour les pesticides plus récents, moins d'information concluante est disponible, notamment à partir d'études épidémiologiques, et elle est plus récente.
- Les pesticides les plus vendus et utilisés au Québec ne sont pas nécessairement les plus dangereux et de plus, ils ne couvrent pas toutes les cultures agricoles.
- Les effets sanitaires associés à un pesticide donné ne reflètent pas toujours le même type d'exposition :
 - Les données expérimentales, obtenues sur des animaux ou en laboratoire, montrent généralement les effets associés à la substance active seulement, et rarement les effets associés à la formulation réellement utilisée (substance active et adjuvants) ou encore aux bouillies pulvérisées. Cependant, les études expérimentales effectuées sur des animaux introduisent des incertitudes par rapport à la pertinence pour les humains.
 - Les données épidémiologiques, recueillies lors d'études sur des travailleurs, montrent les effets de l'exposition en situation réelle aux formulations, aux bouillies et au mélange de pesticides utilisés par des travailleurs agricoles. Elles reflètent rarement l'exposition à un seul pesticide utilisé pendant toute la vie, compte tenu de la nature du travail agricole à effectuer.

2. MÉTHODOLOGIE

2.1 Sélection des pesticides

La quantité de pesticides utilisés au Québec a été estimée à partir de la quantité vendue annuellement, telle que colligée par le MELCC [5].

La superficie totale cultivée au Québec est de 1,8 million d'hectares, dont plus de la moitié (54,5 %) est occupée par les grandes cultures, notamment de soya (398 000 ha) et de maïs (380 000 ha) [5, 6]. À titre indicatif, les cultures de légumes de champs et de pomme de terre occupent 2,9% de la superficie cultivée alors que celles de petits fruits et de pommes se chiffrent à 2,3% [5]. En 2017, les principaux pesticides vendus dans le secteur de la production agricole végétale ont été des herbicides (69,3 % des ventes), des fongicides (13,2 %) et des insecticides (10,3 %). Les adjuvants, les stérilisants de sol et les autres types de pesticides (rodenticides, répulsifs à animaux vertébrés, régulateurs de croissance des plantes) totalisent 7,2 % des ventes. Le rapport des ventes de pesticides en 2018 vient tout juste d'être publié en mai 2020 et n'a donc pas été pris en compte pour la priorisation des pesticides dans le présent rapport.

La liste de pesticides revus dans les pages suivantes est présentée au tableau 1 et inclut les dix pesticides les plus vendus depuis les dernières années au Québec. Cette liste a été complétée par 15 autres pesticides choisis à cause de leur utilisation dans des cultures importantes (telles que celles des pommes et des petits fruits) et identifiés par l'UPA.

Parmi les pesticides ajoutés à la liste se trouvent les néonicotinoïdes, dont la quantité vendue est sous-estimée dans le bilan provincial de 2017, mais pour lesquels une modification au Règlement sur les permis et les certificats pour la vente et l'utilisation des pesticides oblige maintenant les agriculteurs à obtenir une recommandation agronomique pour l'application de pesticides contenant de l'atrazine, du chlorpyrifos ou des néonicotinoïdes [7]. L'entrée en vigueur de ces modifications entre mars 2018 et avril 2019 influencera probablement les volumes de vente de certains de ces pesticides pour les prochaines années [8].

Tableau 1. Sélection des pesticides les plus vendus au Québec (données de 2017)

Pesticide ^a (ingrédient actif)	Groupe chimique	Type	Échelle de vente (kilogrammes d'ingrédients actifs)			
			1000 à 10 000	10 000 à 100 000	100 000 à 1 million	Plus de 1 million
2,4-D et ses formes d'esters ou de sels d'amines	Acides aryloxy-carboxyliques et dérivés	Herbicide		X		
Atrazine	Chlorotriazines	Herbicide			X	
Bromoxynil	Benzonitriles	Herbicide		X		
Captane	Acides phtaliques et dérivés	Fongicide		X		
Carfentrazone-éthyle	Urées	Herbicide	Moins de 1000 kg i.a.			
Chlorantraniliprole	Benzamides	Insecticide	X			
Chlorothalonil	Benzonitriles	Fongicide		X		
Chlorpyrifos	Thiophosphates	Insecticide		X		
Cyantraniliprole	Benzamides	Insecticide	Moins de 1000 kg i.a.			
Cyperméthrine	Pyréthri-noïdes	Insecticide	Moins de 1000 kg i.a.			
Dicamba	Acides benzoïques et dérivés	Herbicide		X		
Glufosinate	Acides phosphoniques et dérivés	Herbicide		X		
Glyphosate	Acides phosphoniques et dérivés	Herbicide				X
Hexazinone	Acylurées	Herbicide		X		
Malathion	Dithiophosphates	Insecticide		X		
Mancozèbe et Métirame	Biscarbamates	Fongicide		X		
Métam-sodium	Dithiocarbamates	Biocide		X		
Néonicotinoïdes (clothianidine, imidaclopride, thiaméthoxame)	Guanidines	Insecticide	X			
Paraquat	Ammoniums quaternaires	Herbicide	X			
Pyraclostro-bine	B-méthoxyacrylates	Fongicide	X			
S-Métolachlore	Anilides	Herbicide			X	
Spinosad	Autres acides organiques et dérivés	Insecticide	X			

i.a., ingrédient actif.

^a. L'information a été regroupée pour deux groupes d'ingrédients, soient le mancozèbe et le métirame, dont le métabolisme est très semblable, et les néonicotinoïdes, dont les trois ingrédients actifs (clothianidine, imidaclopride, thiaméthoxame) sont étudiés ensemble.

2.2 Sources d'information sur les effets sanitaires

Les renseignements disponibles sur chaque ingrédient actif ont été recueillis dans la littérature toxicologique rassemblée par des organisations nationales et internationales spécialisées en santé et sécurité du travail, en toxicologie et en épidémiologie. Parmi elles, nommons l'Institut national de recherche et de sécurité pour la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles (INRS), l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (Anses), l'Autorité européenne de sécurité des aliments (EFSA), l'*Agency for Toxic Substances and Disease Registry* (ATSDR), l'*Environmental Protection Agency* (EPA), l'*American Conference of Governmental Industrial Hygienists* (ACGIH), le *National Toxicology Program* (NTP) du département américain de la santé et des services sociaux, le *Department of Agriculture* des États-Unis (USDA), CAREX Canada (*CARcinogen EXposure*), l'Institut national de santé publique du Québec (INSPQ), le Centre international de recherche sur le cancer (CIRC), le *Pesticide Properties DataBase* de l'Université de Hertfordshire (PPDB), le comité mixte de l'Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) et de l'Organisation mondiale de la santé (OMS) sur les résidus de pesticides (JMPR), puis la banque de données GESTIS de l'*Institute for Occupational Safety and Health of the German Social Accident Insurance* (IFA).

Lorsque trop peu d'information était disponible sur le pesticide étudié auprès de ces organisations, les publications dans des journaux scientifiques sur les effets sanitaires de ces pesticides ont été revues afin de compléter l'information nécessaire. Les revues de littérature ont été retracées dans des bases de données documentaires de littérature scientifique *PubMed*, *Toxline* et *Google Scholar*, à l'aide de mots-clés tels que le nom de l'ingrédient actif, associé à des termes comme « pesticide », « occupational exposure », « health effects », et des combinaisons de ces mots-clés, sans restriction de date.

2.3 Effets sanitaires évalués

Les évaluations toxicologiques des pesticides passent généralement en revue les grands systèmes de la physiologie du corps humain et se séparent selon que les effets toxiques se manifestent à court ou moyen terme (rapidement, en quelques heures ou quelques jours) ou encore à long terme (après une plus longue période, de quelques semaines à de nombreuses années).

Les effets sanitaires évalués sont présentés ici. Pour chaque pesticide, sont donc abordés les effets toxiques à court ou moyen terme (irritation et sensibilisation ou allergie) et les effets toxiques à plus long terme (sur le système nerveux, les gènes, la reproduction et le développement – depuis la conception jusqu'à l'adolescence –, la cancérogénicité et d'autres effets).

2.4 Classement de la certitude des effets

Les éléments de preuve quant aux effets sanitaires ont été établis en suivant un algorithme utilisé par l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (Anses) [9], résumé à la figure 1.

Les conclusions sont tirées à partir de deux sources de preuves : les études épidémiologiques (effectuées en milieu de travail) et les études expérimentales en laboratoire (effectuées sur des volontaires ou sur des animaux). Cinq conclusions peuvent être formulées sur l'existence d'un effet toxique à partir des preuves produites par les informations scientifiques :

- effet avéré : les preuves sont solides;
- effet probable : il y a plus de preuves indiquant la présence d'effets que leur absence;
- effet possible : quelques cas ont été reliés clairement à l'exposition;
- probablement pas d'effet : plusieurs renseignements montrent l'absence d'effet;
- preuves limitées : les données disponibles ne permettent pas de conclure à l'existence ou non de l'effet étudié (manque d'études, études avec des limites méthodologiques importantes, données de laboratoire sans études chez des travailleurs, pas ou très peu d'études chez l'humain, etc.).

		Éléments de preuve provenant d'études expérimentales chez l'humain ou chez l'animal	
		Éléments en faveur de l'existence d'un effet	Pas d'éléments en faveur de l'existence d'un effet
Éléments de preuve provenant d'études épidémiologiques	Éléments de preuve suffisants pour conclure à l'existence d'un effet	<i>Effet avéré</i>	
	Éléments de preuve limités en faveur de l'existence d'un effet	<i>Effet probable</i>	<i>Effet possible</i>
	Éléments de preuve ne permettent pas de conclure à l'existence ou non d'un effet	<i>Effet possible</i>	<i>Preuves limitées</i>
	Absence de données de qualité		
	Les données disponibles ne montrent pas d'effet	<i>Preuves limitées</i>	<i>Probablement pas d'effet</i>

Figure 1. Classement de la certitude d'un effet sanitaire selon les éléments de preuve disponibles.

Les conclusions quant aux effets sanitaires des pesticides étudiés sont présentées sous forme de fiches. Pour connaître les effets à court ou à moyen terme d'un pesticide donné et les types d'effets sanitaires lui étant associés, il suffit de rechercher, par ordre alphabétique, le nom du pesticide d'intérêt. Quant à la certitude des preuves disponibles, elle est illustrée par le code de couleur présenté dans la figure 1.

3. FICHES

3.1 Acide 2,4-dichlorophénoxyacétique (2,4-D)

Agents actifs : Acide 2,4-dichlorophénoxyacétique et ses formes d'esters ou de sels d'amines

Herbicide

	Effet sanitaire	Certitude des preuves disponibles	Références
Toxicité à court/moyen terme	Irritation	Yeux : probable	[10-12]
		Cutanée : Preuves limitées	
	Sensibilisation	Plusieurs cas rapportés – rhinite allergique et eczéma	[11, 13]
Toxicité à long terme	Neurotoxique	Preuves limitées	[11, 14, 15]
	Génotoxique	N'est pas considéré génotoxique	[11, 14, 15]
	Cancérogène	CIRC : Agent possiblement cancérogène pour l'humain (groupe 2B, lymphome non hodgkinien, myélome multiple, leucémie lymphoïde)	[16]
	Sur la reproduction et le développement	Preuves limitées	[11, 14]
	Autres effets	Preuves limitées pour les systèmes respiratoire, gastro-intestinal, cardiovasculaire, endocrinien, immunitaire, rénal, hépatique	[14]
Limite exposition en milieu de travail^a			10 mg/m ³ (Québec) [17]

CIRC, Centre international de recherche sur le cancer

^a Exposition 8 h/jour, 40 h/semaine, pendant une vie de travail (mg/m³, milligrammes par mètre cube)

Code de couleurs :

	Effet avéré (certain)
	Effet probable
	Effet possible
	Pas d'effet concluant, preuve limitée ou aucune donnée

Le 2,4-D est un désherbant sélectif utilisé depuis la fin des années 1940. Il est considéré comme irritant probable pour les yeux. Le CIRC classe cet herbicide comme possiblement cancérogène. Il n'existe que des preuves limitées pour les autres effets sanitaires associés à l'exposition à cet herbicide selon les données accessibles actuellement.





3.2 Atrazine

Herbicide

	Effet sanitaire	Certitude des preuves disponibles	Références
Toxicité à court/moyen terme	Irritation	N'est pas considéré irritant (yeux et cutané)	[18]
	Sensibilisation	N'est pas considéré sensibilisant	[18]
Toxicité à long terme	Neurotoxique	Preuves limitées	[19]
	Génotoxique	Preuves limitées	[19, 20]
	Cancérogène	CIRC : agent ne pouvant être classé quant à sa cancérogénicité (groupe 3) Études récentes : pas d'association claire entre l'atrazine et le cancer	[21] [20, 22, 23]
	Sur la reproduction et le développement	Effets possibles de perturbation endocrinienne affectant la reproduction	[16-19]
	Autres effets	Preuves limitées pour les systèmes cardiovasculaire, immunitaire, rénal, hépatique	[19]
Limite exposition en milieu de travail^a		5 mg/m ³ (Québec)	[17]

CIRC : Centre international de recherche sur le cancer

^a Exposition 8 h/jour, 40 h/semaine, pendant une vie de travail (mg/m³, milligrammes par mètre cube)

Code de couleurs :		Effet avéré (certain)
		Effet probable
		Effet possible
		Pas d'effet concluant, preuve limitée ou aucune donnée

L'atrazine est utilisé depuis les années 1960 au Québec. Le seul effet sanitaire pertinent identifié (selon les voies d'exposition rencontrées en milieu de travail) est une possible perturbation endocrinienne qui toucherait particulièrement le développement des glandes sexuelles chez l'enfant à naître et chez les jeunes enfants. Une justification agronomique est requise depuis 2018 pour l'utilisation de l'atrazine étant donné les risques qu'il pose notamment pour l'environnement. Il n'existe que des preuves limitées pour les autres effets sanitaires associés à l'exposition à cet herbicide selon les données accessibles actuellement.

3.3 Bromoxynil

Herbicide

	Effet sanitaire	Certitude des preuves disponibles	Références
Toxicité à court/moyen terme	Irritation	Yeux : preuves limitées Cutanée : preuves limitées	[10, 24, 25]
	Sensibilisation	Preuves limitées	[10, 24, 25]
Toxicité à long terme	Neurotoxique	Aucun potentiel neurotoxique observé	[24, 25]
	Génotoxique	Peu probable d'être génotoxique	[24, 25]
	Cancérogène	EPA : cancérogène possible (groupe C) – foie. EFSA : potentiel cancérogène pour le foie CIRC : cancérogénicité non évaluée	[24, 25]
	Sur la reproduction et le développement	Effets possibles sur le développement du fœtus et de l'embryon par une perturbation endocrinienne	[24, 25]
	Autres effets	Preuves limitées pour le système endocrinien (glande thyroïde)	[25]
Limite exposition en milieu de travail		Aucune valeur limite au Québec ou ailleurs	[17, 26]

CIRC : Centre international de recherche sur le cancer; EFSA, *European Food Safety Authority*; EPA, *Environmental Protection Agency*

Code de couleurs :

	Effet avéré (certain)
	Effet probable
	Effet possible
	Pas d'effet concluant, preuve limitée ou aucune donnée

Le bromoxynil a fait l'objet d'une révision par l'ARLA en 2019² pour ajouter certaines précautions lors de son utilisation. Ce pesticide a été classé possiblement cancérogène par l'EPA et par l'EFSA (pour le foie). Le seul autre effet identifié est une possible perturbation endocrinienne qui pourrait affecter la grossesse et le développement; cependant, les données ne proviennent que d'expériences effectuées par voie digestive sur des animaux. Il n'existe que des preuves limitées pour les autres effets sanitaires associés à l'exposition à cet herbicide selon les données accessibles actuellement.

² <https://www.canada.ca/fr/sante-canada/services/securite-produits-consommation/rapports-publications/pesticides-lutte-antiparasitaire/decisions-mises-jour/bromoxynil.html>

3.4 Captane

Fongicide

	Effet sanitaire	Certitude des preuves disponibles	Références
Toxicité à court/moyen terme	Irritation	Yeux : avéré, opacité cornéenne, et conjonctivite Cutanée : avérée, érythème persistant, dermatite	[10, 27-29]
	Sensibilisation	ACGIH : probable, urticaire, eczéma et quelques cas rapportés de photosensibilisation	[10, 29]
Toxicité à long terme	Neurotoxique	Aucune donnée	
	Génotoxique	Preuves limitées	[29]
	Cancérogène	CIRC : agent ne pouvant être classé quant à sa cancérogénicité (groupe 3)	[30]
	Sur la reproduction et le développement	Preuves limitées	[29-31]
	Autres effets	Aucune donnée	
Limite exposition en milieu de travail^a		5 mg/m ³ (Québec)	[17]

CIRC : Centre international de recherche sur le cancer

^a Exposition 8 h/jour, 40h/semaine, pendant une vie de travail (mg/m³, milligrammes par mètre cube)

Code de couleurs :

	Effet avéré (certain)
	Effet probable
	Effet possible
	Pas d'effet concluant, preuve limitée ou aucune donnée

Le captane est un fongicide de contact utilisé sur plusieurs cultures. Il a fait l'objet d'une révision par l'ARLA en 2018 qui a augmenté les exigences de protection des préposés au mélange, au chargement et à l'application, des personnes devant entrer dans des endroits traités et de travailleurs participant aux activités de traitement des semences³. Le captane est un irritant avéré, causant des opacités cornéennes et des rougeurs et des dermatites. Il est également considéré comme un sensibilisant probable, associé essentiellement à des allergies cutanées. Il n'existe que des preuves limitées pour les autres effets sanitaires associés à l'exposition à ce fongicide selon les données accessibles actuellement.

³ <https://www.canada.ca/fr/sante-canada/services/securite-produits-consommation/rapports-publications/pesticides-lutte-antiparasitaire/decisions-mises-jour/decision-reevaluation/2018/captane.html#a3>

3.5 Carfentrazone-éthyle

Herbicide

	Effet sanitaire	Certitude des preuves disponibles	Références
Toxicité à court/moyen terme	Irritation	Preuves limitées. Certaines formulations semblent légèrement irritantes (yeux et peau), contrairement à l'ingrédient actif seul	[32-35]
	Sensibilisation	N'est pas considéré sensibilisant	[32-35]
Toxicité à long terme	Neurotoxique	Aucun potentiel neurotoxique n'a été observé	[32, 33, 35]
	Génotoxique	Aucun potentiel génotoxique n'a été observé	[32-35]
	Cancérogène	Preuves limitées CIRC : cancérogénicité non évaluée	[33, 35]
	Sur la reproduction et le développement	Preuves limitées	[32-34]
	Autres effets	Preuves limitées pour les systèmes hépatique, rénal et hématologique	[33-35]
Limite exposition en milieu de travail	Pas de valeur limite au Québec ou ailleurs		[17, 26]

CIRC, Centre international de recherche sur le cancer

Code de couleurs :

	Effet avéré (certain)
	Effet probable
	Effet possible
	Pas d'effet concluant, preuve limitée ou aucune donnée

Le carfentrazone-éthyle est un herbicide de contact non sélectif utilisé comme agent de contrôle de la végétation, comme défanant pour assécher certaines récoltes de céréales ou comme défoliant (défanage chimique dans les cultures de pomme de terre, par exemple)⁴. Il n'existe que des preuves limitées d'effets sanitaires associés à l'exposition à cet herbicide selon les données accessibles actuellement.

⁴ <http://www.agchemaccess.com/Carfentrazone-ethyl>

3.6 Chlorantraniliprole

Insecticide

	Effet sanitaire	Certitude des preuves disponibles	Références
Toxicité à court/moyen terme	Irritation	Yeux : preuves limitées Cutanée : n'est pas considéré comme un irritant cutané	[36-39]
	Sensibilisation	N'est pas considéré sensibilisant	[36, 37, 39]
Toxicité à long terme	Neurotoxique	Aucun potentiel neurotoxique n'a été observé	[36, 37, 39]
	Génotoxique	Aucun potentiel génotoxique n'a été observé	[36, 37, 39]
	Cancérogène	EPA : classé comme « peu probable d'être cancérogènes » CIRC : cancérogénicité non évaluée	[40]
	Sur la reproduction et le développement	Preuves limitées	[36, 37, 39]
	Autres effets	Preuves limitées pour les systèmes hépatique, rénal et thyroïdien	[36, 37]
Limite exposition en milieu de travail	Pas de valeur limite au Québec ou ailleurs		

CIRC, Centre international de recherche sur le cancer; EPA, *Environmental Protection Agency*

Code de couleurs :

	Effet avéré (certain)
	Effet probable
	Effet possible
	Pas d'effet concluant, preuve limitée ou aucune donnée

Le chlorantraniliprole est un insecticide qui interfère avec le système nerveux et la contraction musculaire en induisant une paralysie et éventuellement la mort des insectes. Il n'existe que des preuves limitées d'effets sanitaires associés à l'exposition à cet insecticide selon les données accessibles actuellement.

3.7 Chlorothalonil

Fongicide

	Effet sanitaire	Certitude des preuves disponibles	Références
Toxicité à court/moyen terme	Irritation	Yeux : avéré, opacité cornéenne, lésions irréversibles	[10, 41, 42]
		Cutanée : Quelques cas rapportés	
	Respiratoire : irritant sévère des voies respiratoires, oppression thoracique, sifflement, douleurs oropharyngées		
	Sensibilisation	Sensibilisant cutané avéré (rash, dermatite, eczéma) et plusieurs cas de sensibilisation respiratoire rapportés	[10, 41, 42]
Toxicité à long terme	Neurotoxique	Aucune donnée	[41-43]
	Génotoxique	Peu probable d'être génotoxique	
	Cancérogène	CIRC : agent possiblement cancérogène pour l'humain (groupe 2B, tumeurs rénales chez l'animal)	[41, 42, 44]
	Sur la reproduction et le développement	Preuves limitées	[41, 42]
	Autres effets	Preuves limitées pour les systèmes digestif et rénal	[41]
Limite exposition en milieu de travail ^a		Pas de valeur limite au Québec 1 mg/m ³ (Chine, valeur plafond)	[17, 26]

CIRC, Centre international de recherche sur le cancer

^a Valeur plafond, à ne jamais dépasser (mg/m³, milligrammes par mètre cube)

Code de couleurs :

	Effet avéré (certain)
	Effet probable
	Effet possible
	Pas d'effet concluant, preuve limitée ou aucune donnée

Le chlorothalonil est un fongicide de contact non sélectif utilisé sur un grand nombre de cultures en champ et au verger, les légumes de serre, les plantes ornementales, etc. Il est appliqué par pulvérisation aérienne et par application au sol⁵. Le chlorothalonil est un irritant avéré et sévère pour les yeux et les voies respiratoires et un sensibilisant avéré des voies respiratoires. De plus il est considéré possiblement cancérogène (tumeurs rénales chez l'animal). L'ARLA a ajouté des mesures supplémentaires à respecter pour l'usage de ce fongicide en 2018.

⁵ <https://www.canada.ca/en/health-canada/services/consumer-product-safety/reports-publications/pesticides-pest-management/decisions-updates/reevaluation-decision/2018/chlorothalonil.html>




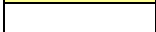
3.8 Chlorpyrifos

Insecticide

	Effet sanitaire	Certitude des preuves disponibles	Références
Toxicité à court/moyen terme	Irritation	Yeux : preuves limitées Cutanée : preuves limitées	[10, 45]
	Sensibilisation	Preuves limitées	[46]
Toxicité à long terme	Neurotoxique	Avéré : inhibition de l'acétylcholinestérase (effet aigu).	[45-47]
	Génotoxique	Preuves limitées	[47, 48]
	Cancérogène	EPA et ACGIH : non classable pour la cancérogénicité chez l'humain (EPA groupe D en 1997 et ACGIH groupe A4 en 2003) CIRC : non évalué, mais le sera bientôt	[46, 47] [49]
	Sur la reproduction et le développement	Effets possibles de toxicité neuro-développementale chez les nouveau-nés et les enfants	[48, 50]
	Autres effets	Preuves limitées pour les systèmes cardiovasculaire, gastro-intestinal, hématologique, musculosquelettique, hépatique, rénal, endocrinien, immunitaire	[47]
Limite exposition en milieu de travail^a		0,2 mg/m ³ (Québec)	[17]

ACGIH, *American Conference of Governmental Industrial Hygienists*; EPA, *Environmental Protection Agency*; CIRC, *Centre international de recherche sur le cancer*; NIOSH, *National Institute for Occupational Safety and Health* (États-Unis)

^a Exposition 8h/jour, 40h/semaine, pendant une vie de travail (mg/m³, milligrammes par mètre cube)

Code de couleurs :		Effet avéré (certain)
		Effet probable
		Effet possible
		Pas d'effet concluant, preuve limitée ou aucune donnée

Le chlorpyrifos est un insecticide non sélectif utilisé pour lutter contre les insectes dans la production de fruits, de légumes, de céréales, de légumineuses, etc.⁶ Il fait partie des 10 ingrédients actifs qui contribuent le plus aux indicateurs de risque pour la santé et l'environnement depuis plusieurs années au Québec⁷ et son utilisation requiert une justification agronomique depuis 2019. Le chlorpyrifos est un neurotoxique reconnu à la suite d'une exposition aiguë. Des effets de toxicité neuro-développementale sont possibles chez les nouveau-nés et les enfants. Il n'existe que des preuves limitées pour les autres effets sanitaires associés à l'exposition à cet insecticide selon les données accessibles actuellement.

⁶ <https://www.canada.ca/en/health-canada/services/consumer-product-safety/pesticides-pest-management/public/consultations/proposed-re-evaluation-decisions/2019/chlorpyrifos.html>

⁷ <http://www.environnement.gouv.qc.ca/pesticides/bilan/bilan-ventes-pesticides-2018.pdf> et http://www.environnement.gouv.qc.ca/pesticides/permis/modif-reglements2017/avis_circulaire_modif_agronome.pdf

3.9 Cyantraniliprole

Insecticide

	Effet sanitaire	Certitude des preuves disponibles	Références
Toxicité à court/moyen terme	Irritation	N'est pas considéré irritant (yeux et peau)	[51-53]
	Sensibilisation	Preuves limitées	[51-53]
Toxicité à long terme	Neurotoxique	Aucun potentiel neurotoxique n'a été observé	[51, 53]
	Génotoxique	Aucun potentiel génotoxique n'a été observé	[51, 53]
	Cancérogène	OMS : peu probable d'être cancérigène CIRC : cancérogénicité non évaluée	[53]
	Sur la reproduction et le développement	Preuves limitées	[51, 53]
	Autres effets	Preuves limitées pour les systèmes hépatique, rénal et thyroïdien	[51-53]
Limite exposition en milieu de travail	Pas de valeur limite au Québec ou ailleurs		[17, 26]

CIRC, Centre international de recherche sur le cancer; OMS, Organisation mondiale de la santé

Code de couleurs :

	Effet avéré (certain)
	Effet probable
	Effet possible
	Pas d'effet concluant, preuve limitée ou aucune donnée

Le cyantraniliprole est un insecticide qui provoque une paralysie des muscles chez les insectes, puis la mort⁸. Il est utilisé sur différentes cultures, dont les légumes, certaines baies, les oléagineux, etc⁹. Il n'existe que des preuves limitées d'effets sanitaires associés à l'exposition à cet insecticide selon les données accessibles actuellement.

⁸ <https://www.canada.ca/fr/sante-canada/services/securite-produits-consommation/pesticides-lutte-antiparasitaire/public/consultations/cyantraniliprole-insecticide-ference/document.html>

⁹ <https://www.mda.state.mn.us/sites/default/files/inline-files/nair-cyantraniliprole.pdf>





3.10 Cyperméthrine

Insecticide

	Effet sanitaire	Certitude des preuves disponibles	Références
Toxicité à court/moyen terme	Irritation	Yeux et peau : preuves limitées	[10, 54-57]
		Respiratoire : irritation probable, nocif par inhalation	
Toxicité à long terme	Sensibilisation	Preuves limitées	[54-57]
	Neurotoxique	Avéré, toxique pour le système nerveux central (effet aigu)	[54-56]
		Possible pour système nerveux central (effet chronique)	
	Génotoxique	Peu probable d'être génotoxique	[54, 55]
	Cancérogène	EPA : cancérogène possible (groupe C), cependant ni l'EFSA ni l'Anses ne l'ont classé comme cancérogène CIRC : cancérogénicité non évaluée	[56]
	Sur la reproduction et le développement	Preuves limitées	[54-57]
Autres effets	Preuves limitées pour les systèmes hépatique, rénal et endocrinien	[54]	
Limite exposition en milieu de travail ^a		Pas de valeur limite au Québec 1 mg/m ³ (Pologne)	[17, 26]

Anses, Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail; CIRC, Centre international de recherche sur le cancer; EFSA, European Food Safety Authority; EPA, *Environmental Protection Agency*.

^a Exposition 8 h/jour, 40 h/semaine, pendant une vie de travail (mg/m³, milligrammes par mètre cube)

Code de couleurs :		Effet avéré (certain)
		Effet probable
		Effet possible
		Pas d'effet concluant, preuve limitée ou aucune donnée

La cyperméthrine est un insecticide de la famille des pyréthriinoïdes dont les usages sont très variés. La cyperméthrine est toxique pour le système nerveux central, de façon certaine après une exposition par ingestion, mais un effet neurotoxique est aussi possible après l'inhalation d'où sa classification de « nocif par inhalation ». La cyperméthrine est irritante pour les voies respiratoires. Selon les données accessibles actuellement, il n'existe que des preuves limitées d'effets sur les autres systèmes associés à l'exposition à cet insecticide.

3.11 Dicamba (Sodium 3,6-dichloro-o-anisate)

Herbicide

	Effet sanitaire	Certitude des preuves disponibles	Références
Toxicité à court/moyen terme	Irritation	Yeux : avéré Cutané : avéré, irritation légère	[58-60]
	Sensibilisation	N'est pas considéré sensibilisant	[58, 59]
Toxicité à long terme	Neurotoxique	N'est pas considéré comme neurotoxique	[58-60]
	Génotoxique	Peu probable d'être génotoxique	[58, 60]
	Cancérogène	Peu probable d'être cancérogène CIRC : cancérogénicité non évaluée	[58-61]
	Sur la reproduction et le développement	Peu probable d'avoir des effets sur la reproduction ou le développement	[58, 59]
	Autres effets	Preuves limitées sur les systèmes hépatique et hématologique	[58, 60]
Limite exposition en milieu de travail		Pas de valeur limite au Québec ou ailleurs	[17, 26]

CIRC, Centre international de recherche sur le cancer

Code de couleurs :

	Effet avéré (certain)
	Effet probable
	Effet possible
	Pas d'effet concluant, preuve limitée ou aucune donnée

Le dicamba est un herbicide non sélectif utilisé en grandes quantités (entre 100 000 et 1 million de kg vendus en 2017 au Québec) pour lutter d'une façon générale contre les mauvaises herbes qui parasitent les cultures des grains, notamment le maïs et le soya, les pâturages et les surfaces non cultivées¹⁰. Les effets sanitaires avérés du dicamba sont l'irritation des yeux et de la peau. Il n'existe que des preuves limitées pour d'autres effets sanitaires associés à l'exposition à cet herbicide selon les données accessibles actuellement.

¹⁰ <https://www.canada.ca/fr/sante-canada/services/publications/vie-saine/recommandations-pour-qualite-eau-potable-canada-document-technique-dicamba.html>

3.12 Glufosinate

Herbicide

	Effet sanitaire	Certitude des preuves disponibles	Références
Toxicité à court/moyen terme	Irritation	Preuves limitées irritation cutanée et des yeux	[62-64]
	Sensibilisation	N'est pas considéré sensibilisant	[62, 64]
Toxicité à long terme	Neurotoxique	Preuves limitées. Effets dus au mode d'action du glufosinate. Effets chez l'animal après exposition prolongée par inhalation (hyperactivité, convulsions)	[62-64]
	Génotoxique	Peu probable d'être génotoxique	[62, 64]
	Cancérogène	EPA : peu probable d'être cancérigène CIRC : cancérogénicité non évaluée	[65]
	Sur la reproduction et le développement	Effets possibles sur la reproduction Effets probables sur le développement	[62, 64]
	Autres effets	Preuves limitées sur les systèmes hépatique et rénal dues au mode d'action du glufosinate	[62]
Limite exposition en milieu de travail ^p		Pas de valeur limite au Québec ou ailleurs	[17, 26]

CIRC, Centre international de recherche sur le cancer; EPA, *Environmental Protection Agency*

Code de couleurs :

	Effet avéré (certain)
	Effet probable
	Effet possible
	Pas d'effet concluant, preuve limitée ou aucune donnée

Le glufosinate est un herbicide non sélectif, souvent utilisé en combinaison avec des plants génétiquement modifiés qui le tolèrent mieux¹¹. Le glufosinate aurait des effets possibles sur la reproduction et il aurait des effets probables sur le développement. Il n'existe que des preuves limitées pour d'autres effets sanitaires associés à l'exposition à cet herbicide selon les données accessibles actuellement.

¹¹ <https://www.inspection.gc.ca/plant-health/plants-with-novel-traits/approved-under-review/decision-documents/dd1999-30/eng/1312572563343/1312572838075>

3.13 Glyphosate

Agents actifs : glyphosate (sel de potassium), glyphosate (sel d'amine), glyphosate (sel d'ammonium)

Herbicide

	Effet sanitaire	Certitude des preuves disponibles	Références
Toxicité à court/moyen terme	Irritation	Yeux : avéré, lésions non réversibles Cutanée: preuves limitées	[10, 66]
	Sensibilisation	N'est pas considéré comme un sensibilisant	[10, 66, 67]
Toxicité à long terme	Neurotoxique	Preuves limitées	[68]
	Génotoxique	Preuves limitées	[66, 68, 69]
	Cancérogène	CIRC : agent probablement cancérogène pour l'humain (groupe 2A) – Lymphome non hodgkinien	[70]
	Sur la reproduction et le développement	Preuves limitées	[68]
	Autres effets	Preuves limitées pour les systèmes respiratoire, gastro-intestinal, cardiovasculaire, endocrinien, immunitaire, rénal, hépatique, musculosquelettique, hématologique	[68]
Limite exposition en milieu de travail	Pas de valeur limite au Québec ou ailleurs		[17, 26]

CIRC, Centre international de recherche sur le cancer

Code de couleurs :

	Effet avéré (certain)
	Effet probable
	Effet possible
	Pas d'effet concluant, preuve limitée ou aucune donnée

Le glyphosate est un herbicide systémique non sélectif. En raison de son profil d'emploi étendu et souple, ce désherbant est le pesticide le plus utilisé au Québec, particulièrement en grandes cultures où son application va de pair avec les cultures génétiquement modifiées pour le tolérer [68]. L'irritation oculaire a été démontrée chez des travailleurs, particulièrement lorsque le glyphosate se trouve sous sa forme acide (comparativement au sel de glyphosate) [68]. Quelques études concernant le lymphome non hodgkinien (LNH) sont contradictoires, mais l'analyse du CIRC classe le glyphosate comme cancérogène probable pour l'humain [70]. Il n'existe que des preuves limitées pour d'autres effets sanitaires associés à l'exposition à cet herbicide selon les données accessibles actuellement.

3.14 Hexazinone

Herbicide

	Effet sanitaire	Certitude des preuves disponibles	Références
Toxicité à court/moyen terme	Irritation	Yeux : avéré, irritation très sévère Cutanée : preuves limitées	[10, 71-73]
	Sensibilisation	N'est pas considéré comme un sensibilisant (selon l'EPA)	[71-73]
Toxicité à long terme	Neurotoxique	Preuves limitées	[73, 74]
	Génotoxique	Preuves limitées	[71, 72]
	Cancérogène	EPA: non classable pour la cancérogénicité chez l'humain (groupe D en 1994) CIRC : cancérogénicité non évaluée	[71]
	Sur la reproduction et le développement	Preuves limitées	[71-73]
	Autres effets	Preuves limitées pour le système hépatique	[71, 73, 74]
Limite exposition en milieu de travail		Pas de valeur limite au Québec ou ailleurs	[17, 26]

CIRC, Centre international de recherche sur le cancer; EPA, *Environmental Protection Agency*

Code de couleurs :

	Effet avéré (certain)
	Effet probable
	Effet possible
	Pas d'effet concluant, preuve limitée ou aucune donnée

L'hexazinone est un herbicide systémique généralement utilisé pour contrôler la végétation compétitrice dans les bleuetières en régénération. Il est aussi utilisé dans des zones qui seront reboisées, dans les pâturages ou sur la luzerne [73, 75]. Peu de littérature est disponible concernant les effets sur la santé, mais cet agent actif est un irritant très sévère pour les yeux. Pour les autres systèmes, il n'existe que des preuves limitées d'effets sanitaires associés à l'exposition à cet herbicide selon les données accessibles actuellement.

3.15 Malathion

Insecticide

	Effet sanitaire	Certitude des preuves disponibles	Références
Toxicité à court/moyen terme	Irritation	Yeux : preuves limitées Cutanée : preuves limitées	[10, 76]
	Sensibilisation	Quelques cas rapportés de sensibilisation : dermatites et réactions positives aux tests épicutanés	[10, 76-78]
Toxicité à long terme	Neurotoxique	Avéré : inhibition de l'acétylcholinestérase (effet aigu)	[76-78]
	Génotoxique	Preuves limitées	[10, 76-78]
	Cancérogène	CIRC : agent probablement cancérogène pour l'humain (groupe 2A, lymphome non hodgkinien, prostate)	[70]
	Sur la reproduction et le développement	Preuves limitées	[77]
	Autres effets	Preuves limitées pour le système immunitaire	[77]
Limite exposition en milieu de travail ^a		10 mg/m ³ (Québec)	[17]

CIRC, Centre international de recherche sur le cancer

^a Exposition 8 h/jour, 40 h/semaine, pendant une vie de travail (mg/m³, milligrammes par mètre cube)

Code de couleurs :

	Effet avéré (certain)
	Effet probable
	Effet possible
	Pas d'effet concluant, preuve limitée ou aucune donnée

Le malathion est un insecticide non sélectif de la famille des organophosphorés. Il est utilisé principalement en agriculture pour lutter contre les insectes, mais il peut aussi être utilisé pour le contrôle des moustiques à l'extérieur ou pour un usage domestique¹². Le malathion agit directement sur le système nerveux et une exposition à cet insecticide peut produire des effets aigus neurotoxiques tels que des maux de tête, des nausées, une vision trouble, une myosis oculaire, une paresthésie, de la salivation, des crampes musculaires, etc. Le malathion est aussi classé comme agent probablement cancérogène pour l'humain selon le CIRC notamment pour le lymphome non hodgkinien et le cancer de la prostate¹³. Il n'existe que des preuves limitées pour d'autres effets sanitaires associés à l'exposition à cet insecticide selon les données accessibles actuellement.

¹² <https://healthycanadians.gc.ca/recall-alert-rappel-avis/hc-sc/2016/59926a-eng.php>

¹³ <https://publications.iarc.fr/Book-And-Report-Series/Iarc-Monographs-On-The-Identification-Of-Carcinogenic-Hazards-To-Humans/Some-Organophosphate-Insecticides-And-Herbicides-2017>

3.16 Mancozèbe et Métirame (polycarbazine)

Fongicides

	Effet sanitaire	Certitude des preuves disponibles	Références
Toxicité à court/moyen terme	Irritation	Yeux : irritation possible de sévérité variable pour le mancozèbe et le métirame. Cas de conjonctivites et de kératites sont rapportés.	[79-85]
		Cutanée : quelques cas rapportés si contact prolongé (mancozèbe), mais généralement pas un irritant cutané.	
		Respiratoire : irritation possible de sévérité variable pour le mancozèbe. Cas de rhinite, toux, douleurs oro-pharyngées sont rapportés.	
Toxicité à long terme	Sensibilisation	Sensibilisant modéré avéré : dermatite, eczéma, risque d'allergie croisée. Preuves limitées de photosensibilisation	[10, 79-85]
	Neurotoxique	Preuves limitées de maladies neurodégénératives de type parkinsonien	[79-81, 83, 84]
Toxicité à long terme	Génotoxique	Preuves limitées	[80, 81, 83, 84]
	Cancérogène	CIRC : cancérogénicité non évaluée	[82, 85, 86]
	Sur la reproduction et le développement	Effets possibles sur le développement (anomalies du système nerveux dues à un métabolite et à la suite d'atteinte thyroïdienne)	[10, 79-81, 83, 87]
	Autres effets	Effets probables sur la thyroïde observés Preuves limitées sur les systèmes endocrinien, hépatique, immunitaire et hématologique.	[79-81, 83, 84]
Limite exposition en milieu de travail ^a		Mancozèbe : 5 mg/m ³ (en manganèse) Métirame : pas de valeur limite	Voir note ¹⁴ [26]

CIRC, Centre international de recherche sur le cancer.

^a Exposition 8 h/jour, 40 h/semaine, pendant une vie de travail (mg/m³, milligrammes par mètre cube)

Code de couleurs :

	Effet avéré (certain)
	Effet probable
	Effet possible
	Pas d'effet concluant, preuve limitée ou aucune donnée

Le mancozèbe et le métirame sont deux fongicides de contact à action préventive homologués pour lutter contre un large éventail de maladies végétales. Depuis 2014, l'ARLA a beaucoup restreint les utilisations de ces fongicides en raison des risques jugés inacceptables pour la santé et l'environnement. Les effets sur la santé incluent une possible irritation des yeux et des voies respiratoires (mancozèbe) et un effet sensibilisant avéré pour la peau (les deux fongicides). Des effets sont possibles sur le développement, particulièrement des anomalies du système nerveux et possiblement dues au métabolite éthylène thio-urée (ETU) et à une altération des fonctions de la thyroïde. Ces fongicides auraient un effet probable sur le fonctionnement de la thyroïde. Les preuves sont limitées pour les effets sur les autres systèmes.

¹⁴ Répertoire toxicologique, CNESST, Mancozèbe (https://www.csst.qc.ca/prevention/reptox/Pages/fiche-complete.aspx?no_produit=656926#ref_1_6)

3.17 Métam-sodium

Biocide

	Effet sanitaire	Certitude des preuves disponibles	Références
Toxicité à court/moyen terme	Irritation	Yeux : irritation possible surtout en conditions acide et humide (transpiration)	[10, 88-91]
		Cutané : avéré, dermatite, œdème, quelquefois corrosif avec ulcération (formulations stabilisées à l'hydroxyde de sodium) Respiratoire : avéré, irritation des muqueuses	
	Sensibilisation	Avéré : dermatose cutanée, eczéma, cas rapportés de dermatite aéroportée (travailleurs agricoles) Respiratoire : syndrome de dysfonctionnement réactif des voies aériennes (RADS en anglais) ^a , pouvant induire de l'asthme ou l'exacerber	[10, 88-92]
Toxicité à long terme	Neurotoxique	Preuves limitées	[88, 91]
	Génotoxique	Preuves limitées	[88, 91, 93]
	Cancérogène	EPA : probablement cancérogène (groupe B2) en 2004 – foie CIRC : cancérogénicité non évaluée	[94]
	Sur la reproduction et le développement	Preuves limitées	[88, 91-93]
	Autres effets	Preuves limitées pour les systèmes hépatique, immunologique, urinaire et hématologique	[88, 91, 93]
Limite exposition en milieu de travail		Aucune limite trouvée au Québec ou ailleurs	[17, 26]

CIRC, Centre international de recherche sur le cancer; EPA, *Environmental Protection Agency*

^a Maladie asthmatique se développant après exposition à un irritant puissant

Code de couleurs :

	Effet avéré (certain)
	Effet probable
	Effet possible
	Pas d'effet concluant, preuve limitée ou aucune donnée

Le métam-sodium est un fumigant non sélectif utilisé pour préparer le sol avant les plantations. Il agit sur différents pathogènes, dont des insectes, des nématodes, des bactéries, des champignons et des mauvaises herbes¹⁵. C'est un irritant possible des yeux, et un irritant avéré de la peau et des voies respiratoires. Il cause aussi des réactions allergiques cutanées et respiratoires, particulièrement de l'eczéma en plus d'induire de l'asthme et d'exacerber les symptômes chez les asthmatiques. Le métam-sodium est probablement cancérogène pour le foie selon l'EPA.

¹⁵ <https://www.canada.ca/en/health-canada/services/consumer-product-safety/pesticides-pest-management/public/consultations/proposed-re-evaluation-decisions/2017/metam/document.html>

3.18 Néonicotinoïdes (clothianidine, imidaclopride, thiaméthoxame)

Insecticides

	Effet sanitaire	Certitude des preuves disponibles	Références
Toxicité à court/moyen terme	Irritation	Quelques cas rapportés d'irritation des muqueuses, des yeux et de la peau (thiaméthoxame, imidaclopride). Aucun cas rapporté pour la clothianidine	[95, 96]
	Sensibilisation	Quelques cas rapportés de sensibilisation (asthme, eczéma) pour le thiaméthoxame et l'imidaclopride. Clothianidine non considéré sensibilisant	[95, 96]
Toxicité à long terme	Neurotoxique	Preuves limitées pour les trois néonicotinoïdes	[95-98]
	Génotoxique	Les trois néonicotinoïdes ne sont pas considérés génotoxiques	[95]
	Cancérogène	EPA : ces néonicotinoïdes sont classés « peu probables d'être cancérogènes » CIRC : cancérogénicité non évaluée	[97, 98]
	Sur la reproduction et le développement	Preuves limitées pour les trois néonicotinoïdes	[95-98]
	Autres effets	Preuves limitées pour les systèmes endocrinien (trois néonicotinoïdes), immunitaire (imidaclopride), rénal (thiaméthoxame) et hépatique (thiaméthoxame, imidaclopride)	[95, 96]
Limite exposition en milieu de travail	Aucune limite trouvée au Québec ou ailleurs		[17, 26]

CIRC, Centre international de recherche sur le cancer; EPA, *Environmental Protection Agency*

Code de couleurs :

	Effet avéré (certain)
	Effet probable
	Effet possible
	Pas d'effet concluant, preuve limitée ou aucune donnée

Les néonicotinoïdes sont des insecticides utilisés depuis les années 1990 et malgré leur faible toxicité humaine, ils ont fait l'objet d'une révision par l'ARLA à cause de leurs effets néfastes sur les pollinisateurs. Selon les données accessibles actuellement, il n'existe que des preuves limitées d'effets sur les autres systèmes associés à l'exposition professionnelle à ces insecticides.

3.19 Paraquat

Herbicide

	Effet sanitaire	Certitude des preuves disponibles	Références
Toxicité à court/moyen terme	Irritation	Yeux : probable (effet persistant) Cutanée : probable (effet persistant)	[10, 99-102]
		Système respiratoire : Avéré (effet persistant)	
	Sensibilisation	Preuves limitées	[10, 99-102]
Toxicité à long terme	Neurotoxique	Preuves limitées pour le développement du syndrome parkinsonien chez l'humain (études animales effectuées par des voies non pertinentes en milieu de travail)	[10, 99, 102]
	Génotoxique	Preuves limitées	[99, 102]
	Cancérogène	ACGIH : non classable quant à la cancérogénicité chez l'humain (groupe A4) CIRC : cancérogénicité non évaluée	[102]
	Sur la reproduction et le développement	Preuves limitées	[10, 99, 102]
	Autres effets	Preuves limitées pour les systèmes rénaux et hépatiques	[10, 99, 102]
Limite exposition en milieu de travail ^a		0,1 mg/m ³ (Québec)	[17]

ACGIH, American Conference of Governmental Industrial Hygienists; CIRC : Centre international de recherche sur le cancer

^a Exposition 8 h/jour, 40 h/semaine, pendant une vie de travail (mg/m³, milligrammes par mètre cube)

Code de couleurs :

	Effet avéré (certain)
	Effet probable
	Effet possible
	Pas d'effet concluant, preuve limitée ou aucune donnée

Le paraquat est un herbicide de contact non sélectif utilisé pour la suppression des graminées et des mauvaises herbes à feuilles larges¹⁶. Il est un irritant probable pour les yeux et la peau et un irritant avéré pour les voies respiratoires, avec des effets très persistants. Selon les voies d'exposition rencontrées en milieu de travail, il n'existe que des preuves limitées d'effets pertinents identifiés sur les autres systèmes associés à l'exposition à cet herbicide.

¹⁶ <https://www.canada.ca/en/health-canada/services/consumer-product-safety/pesticides-pest-management/public-consultations/re-evaluation-note/2015/special-review-paraquat/document.html>

3.20 Pyraclostrobine

Fongicide

	Effet sanitaire	Certitude des preuves disponibles	Références
Toxicité à court/moyen terme	Irritation	Yeux et peau : quelques cas rapportés avec les formulations (pas avec l'ingrédient actif)	[10, 103-105]
		Voies respiratoires : irritation fréquemment rapportée chez travailleurs agricoles, avec douleurs thoraciques à l'inhalation	
	Sensibilisation	N'est pas considéré comme un sensibilisant	[103-105]
Toxicité à long terme	Neurotoxique	Preuves limitées	[103, 104]
	Génotoxique	Preuves limitées	[103, 104, 106]
	Cancérogène	EPA : peu probable d'être cancérogène CIRC : cancérogénicité non évaluée	[106]
	Sur la reproduction et le développement	Preuves limitées	[103-107]
	Autres effets	Preuves limitées pour le système digestif, particulièrement le duodénum. Mécanisme pertinent chez l'humain, effets observés avec d'autres pesticides de type « strobine »	[104]
Preuves limitées pour le système immunologique		[103, 104]	
Limite exposition en milieu de travail	Aucune limite trouvée au Québec ou ailleurs		[17, 26]

CIRC, Centre international de recherche sur le cancer; EPA, *Environmental Protection Agency*

Code de couleurs :

	Effet avéré (certain)
	Effet probable
	Effet possible
	Pas d'effet concluant, preuve limitée ou aucune donnée

La pyraclostrobine est un fongicide qui inhibe la croissance des champignons sur les plantes et agit aussi sur les spores. Elle est utilisée dans différentes formulations et dans des formulations mixtes sur des cultures très variées¹⁷. L'irritation des voies respiratoires est avérée et fréquemment rapportée chez les travailleurs agricoles, en plus de douleurs thoraciques suite à l'inhalation. Les formulations de pyraclostrobine sont possiblement irritantes pour les yeux et la peau. Selon les données accessibles actuellement, il n'existe que des preuves limitées d'effets sur les autres systèmes associés à l'exposition à ce fongicide.

¹⁷ <https://www.canada.ca/en/health-canada/services/consumer-product-safety/pesticides-pest-management/public/consultations/pyraclostrobin-seed-treatment-proposed-registration-decision-prd2011-15-health-canada-consultation-document.html>

3.21 S-Métolachlore

Herbicide

	Effet sanitaire	Certitude des preuves disponibles	Références
Toxicité à court/moyen terme	Irritation	Preuves limitées pour les yeux	[108, 109]
	Sensibilisation	Quelques cas d'allergie cutanée rapportés	[110]
Toxicité à long terme	Neurotoxique	Aucune donnée	
	Génotoxique	Preuves limitées	[108, 111]
	Cancérogène	EPA : cancérogène possible (groupe C), risque très faible selon données récentes) Études récentes : pas d'association claire entre S-métolachlore et cancer CIRC : cancérogénicité non évaluée	[108] [112, 113]
	Sur la reproduction et le développement	Preuves limitées	[114-115]
	Autres effets	Preuves limitées pour le système hépatique	[108, 111]
Limite exposition en milieu de travail	Aucune limite trouvée au Québec ou ailleurs		[17, 26]

CIRC, Centre international de recherche sur le cancer; EPA, *Environmental Protection Agency*

Code de couleurs :

	Effet avéré (certain)
	Effet probable
	Effet possible
	Pas d'effet concluant, preuve limitée ou aucune donnée

Le S-métolachlore est un herbicide non sélectif utilisé sur de nombreuses cultures agricoles comme le maïs, le soya, les betteraves, le millet, les haricots, mais aussi pour les forêts, les terres à bois et les plantes ornementales [116, 117]. Le faible nombre d'études scientifiques (épidémiologiques, animales ou sur des cellules) ne permet pas d'évaluer ni de conclure quant à des effets sanitaires pour le S-métolachlore.

3.22 Spinosad

Insecticide

	Effet sanitaire	Certitude des preuves disponibles	Références
Toxicité à court/moyen terme	Irritation	Généralement pas considéré irritant pour les yeux, la peau ou les voies respiratoires	[118-120]
	Sensibilisation	N'est pas considéré sensibilisant	[118-120]
Toxicité à long terme	Neurotoxique	Preuves limitées	[120]
	Génotoxique	Preuves limitées	[118, 119]
	Cancérogène	EPA : classé comme «peu probables d'être cancérogènes» EFSA : résultats équivoques CIRC : cancérogénicité non évaluée	[118, 120]
	Sur la reproduction et le développement	Preuves limitées sur la reproduction	[118-120]
	Autres effets	Preuves limitées pour les systèmes endocrinien, immunologique et hématologique.	[118, 120]
Limite exposition en milieu de travail		Aucune limite trouvée au Québec ou ailleurs	[17, 26]

CIRC, Centre international de recherche sur le cancer; EFSA, *European Food Safety Agency*; EPA, *Environmental Protection Agency*

Code de couleurs :

	Effet avéré (certain)
	Effet probable
	Effet possible
	Pas d'effet concluant, preuve limitée ou aucune donnée

Le spinosad est un produit de fermentation de la bactérie *Saccharopolyspora spinosa*. À la suite de son ingestion par les insectes, telles les mouches à fruits et les fourmis entre autres, il agit sur leur système nerveux, et provoque une paralysie et la mort¹⁸. Selon les données accessibles actuellement, il n'existe que des preuves limitées d'effets sanitaires associés à l'exposition à cet insecticide.

¹⁸ <https://www.canada.ca/en/health-canada/services/consumer-product-safety/reports-publications/pesticides-pest-management/decisions-updates/registration-decision/2015/spinosad-rd2015-11.html>

3.23 En résumé

Le tableau 2 présente les systèmes du corps humain où peuvent apparaître des problèmes associés à l'utilisation des pesticides revus dans ce rapport avec leur niveau de certitude, selon la classification utilisée dans les fiches du rapport, soit les types d'effet : irritation, sensibilisation, neurotoxicité, cancérogénicité, effet sur la reproduction ou le développement et effet endocrinien (thyroïde).

Tableau 2. Répartition des pesticides étudiés selon leur effet nuisible et le classement de la certitude de l'effet

Effet sanitaire	Niveau de certitude		
	Effet avéré	Effet probable	Effet possible
Irritation yeux et/ou respiratoire	Captane Chlorothalonil Dicamba Glyphosate Hexazinone Métam-sodium Paraquat Pyraclostrobine	2,4-D Cyperméthrine Paraquat	Mancozèbe/Métirame Métam-sodium Pyraclostrobine
Irritation peau	Captane Dicamba Métam-sodium	Paraquat	Pyraclostrobine
Sensibilisation peau	Chlorothalonil Mancozèbe/Métirame Métam-sodium	Captane	
Sensibilisation respiratoire	Chlorothalonil Métam-sodium		
Neurotoxique	Chlorpyrifos (effet aigu) Cyperméthrine (effet aigu) Malathion (effet aigu)		Cyperméthrine (effet chronique)
Génotoxique			
Cancérogène		Glyphosate [<i>H</i> ; LNH] Malathion [<i>I</i> ; LNH, prostate] Métam-sodium [<i>B</i> ; foie]	2,4-D [<i>H</i> ; LNH, MM, LL] Bromoxynil [<i>H</i> ; foie] Chlorothalonil [<i>F</i> ; Animal : Rein]
Effet sur la reproduction			Atrazine Glufosinate
Effet sur le développement		Glufosinate	Bromoxynil Chlorpyrifos Mancozèbe/Métirame
Effets endocriniens		Mancozèbe/Métirame (thyroïde)	Atrazine Bromoxynil

B, biocide; *F*, fongicide; *H*, herbicide; *I*, insecticide; LL, leucémie lymphoïde; LNH, lymphome non hodgkinien; MM, myélome multiple;

La figure 2 résume les systèmes du corps humain où peuvent apparaître des problèmes associés à l'utilisation des mêmes pesticides avec leur niveau de certitude illustré par les couleurs.

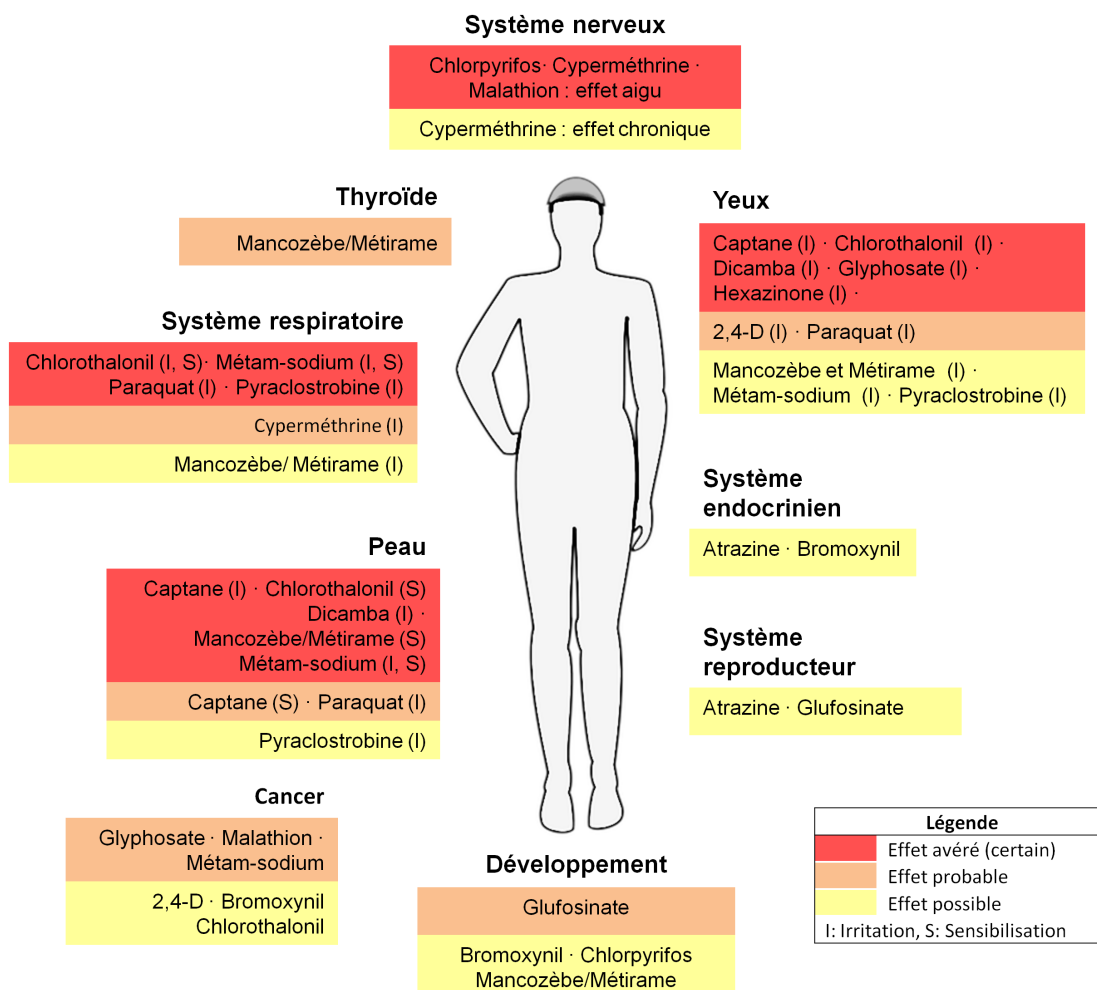


Figure 2. Systèmes du corps humain et organes, certainement, probablement ou possiblement touchés par les pesticides évalués.

Rappel : L'irritation des yeux ou de la peau ainsi que la sensibilisation cutanée ou respiratoire sont des effets se manifestant plus rapidement que les effets sur les systèmes physiologiques et le développement humain, le cancer ou l'atteinte d'organes comme la thyroïde.

Note : Dans les fiches les effets sur le système reproducteur (fertilité chez les parents) et le développement (du fœtus à l'adolescence) sont regroupés dans la même catégorie. Ici, ils sont séparés pour en faciliter la visualisation.

4. DISCUSSION

La démarche scientifique pour établir si une exposition professionnelle aux pesticides cause des effets nuisibles sur la santé doit être systématique et rigoureuse, en considérant des renseignements qui proviennent d'études animales et humaines.

Pour chaque pesticide homologué, des renseignements précis sont requis sur leurs ingrédients actifs. Ces renseignements, établis selon des critères reconnus en toxicologie, nécessitent des tests effectués sur des animaux de laboratoire : tests de mortalité (exposition par inhalation, par ingestion et par contact cutané), d'irritation des yeux et de la peau, de sensibilisation de la peau, de toxicité sur le système nerveux, sur le matériel génétique et le système reproducteur (fertilité), sur le développement du fœtus (malformations congénitales), sur le système nerveux des enfants (après exposition des parents) et sur l'apparition de cancers. De plus, les résultats d'études de toxicité à la suite d'expositions à diverses doses sont nécessaires pour des durées d'exposition variant de deux à quatre semaines, de 3 mois, et de six mois à deux ans. Les conclusions de ces résultats d'expériences effectuées sur les animaux sont rapportées dans la base de données SAgE pesticides¹⁹.

En conséquence, ces données toxicologiques proviennent d'études faites sur des animaux. Elles permettent de conclure sur les effets d'un ingrédient actif à la fois et non sur les effets de la formulation ou de la bouillie utilisée par les travailleurs. Il est donc possible que des effets sanitaires non répertoriés dans ce rapport d'expertise se produisent à la suite de l'utilisation des formulations et des bouillies en conditions réelles.

Pour avoir une meilleure connaissance des effets des formulations (incluant les adjuvants) et des mélanges de plusieurs pesticides, tels qu'utilisés par les travailleurs, il faudrait disposer de plusieurs études épidémiologiques à partir desquelles la causalité est établie à l'aide de critères reconnus. En effet, il existe les critères de causalité de Hill, qui tiennent compte, entre autres, de la force de l'association, de sa constance dans différentes études et dans divers endroits, du moment où se produisent les effets, (différentes personnes, circonstances, lieux...) et de l'existence d'une relation dose-effet (plus l'exposition est élevée, plus l'effet sera évident). Ce type d'études ou d'analyse n'est pas disponible pour tous les pesticides dont il est question dans ce rapport.

Dans ce travail, nous avons synthétisé les avis scientifiques publiés par des organisations internationalement reconnues qui elles-mêmes ont tenu compte des études expérimentales effectuées sur des animaux et des données d'études épidémiologiques.

Les effets sanitaires rapportés ont été classés selon un degré de certitude (selon un code de couleurs) établi d'après le type et la quantité de données animales et humaines disponibles (niveau de preuve). Cela explique la forme abrégée des résultats, qui ont été présentés sous forme de fiches par ordre alphabétique d'ingrédient actif, et dont les effets avérés ou probables sont résumés dans un tableau et une figure, par système atteint.

Ce rapport met l'accent sur la dangerosité des pesticides quant à la santé, il ne permet pas d'orienter le choix des meilleurs pesticides à utiliser, quant à leur efficacité, leur facilité d'utilisation ou leur innocuité pour l'environnement pour une tâche agricole donnée. Rappelons aussi que le risque de subir un effet sanitaire dépend de deux grands facteurs : l'existence d'un

¹⁹ <https://www.sagepesticides.qc.ca/>

danger (ici les pesticides) et l'exposition à ces dangers. Un danger auquel on n'est pas exposé ne pose pas de risque.

4.1 Interprétation des données présentées

L'interprétation des effets des pesticides doit prendre en compte plusieurs facteurs, dont les caractéristiques d'exposition et les moyens de maîtrise de l'exposition.

4.1.1 Caractéristiques de l'exposition

Les pesticides peuvent être absorbés par contact sur la peau, en respirant leurs poussières, leurs vapeurs ou leurs brouillards, et par contamination autour ou dans la bouche. La peau constitue souvent la principale voie d'exposition lors de travaux agricoles. La voie orale peut aussi devenir prédominante si les règles d'hygiène de base ne sont pas respectées (ne pas se laver les mains avant de manger ou fumer, par exemple), si les pratiques de travail sont dangereuses (siphonner un tuyau contaminé ou déboucher une buse de pulvérisation en soufflant dedans, par exemple), ou en cas d'accident. La voie respiratoire peut être importante également si le pesticide est très volatile et s'il est appliqué par pulvérisation, brumisation ou poudrage.

Les travailleurs agricoles sont exposés, simultanément ou successivement durant une saison, à plusieurs types de pesticides et à divers autres produits chimiques (engrais, essence, émissions de moteurs diesel, peinture, etc.). Il est donc possible que certains effets sanitaires apparaissent lorsque plus d'un produit chimique, pesticide ou autre, sont combinés (multiexposition). À l'heure actuelle, peu d'information scientifique est disponible sur le risque sanitaire qui découle de l'exposition professionnelle à plusieurs pesticides, ou même pour différentes voies d'exposition.

Il existe une grande variabilité d'utilisation des pesticides et l'exposition des travailleurs agricoles peut être directe ou indirecte, de courte ou de longue durée, lors de l'entreposage, de la préparation de la bouillie ou lors de l'application. Certaines de ces situations exposent à de faibles concentrations, mais répétées fréquemment, et elles peuvent, à tort, devenir banales, presque invisibles.

Peu importe le type d'effet sanitaire associé aux pesticides, il ne faut pas oublier que « la dose fait le poison » : plus l'exposition est fréquente, plus les niveaux d'expositions sont élevés, plus le risque de problèmes de santé augmente.

4.1.2 Moyens de maîtrise de l'exposition

Les fiches présentées précédemment mettent l'accent sur les risques d'effets sanitaires associés à l'exposition aux pesticides (qui constituent donc un danger). Tel que mentionné plus haut, un danger auquel on n'est pas exposé ne pose pas de risque et ce qui suit présente les façons reconnues en santé au travail pour éviter l'exposition au danger que posent les pesticides.

L'approche générale en santé et en sécurité du travail (SST) suit le modèle de la hiérarchie de maîtrise des dangers préconisée par le NIOSH²⁰ en privilégiant d'abord la prévention à la

²⁰ <https://www.canada.ca/fr/sante-canada/organisation/a-propos-sante-canada/directions-generales-agences/agence-reglementation-lutte-antiparasitaire.html>

source par l'élimination ou la substitution, puis la prévention secondaire par différents moyens d'ingénierie ou de mesures administratives, pour recourir en dernier lieu au port d'équipements de protection individuelle (EPI) [121]. Pour maximiser l'effet protecteur des EPI, leur utilisation doit être intégrée dans un ensemble de mesures administratives (formation, tests d'ajustement, procédures de maintenance et d'entretien...).

Voici quelques éléments clefs de ces moyens de maîtrise :

- Élimination/substitution. Outre l'homologation par l'ARLA, qui élimine les substances les plus toxiques pour la santé humaine et l'environnement, les politiques gouvernementales peuvent aussi contribuer à la réduction de l'exposition en visant une réduction de leur utilisation (comme la Stratégie phytosanitaire québécoise en agriculture du gouvernement du Québec²¹).

Divers modes de gestion agricole peuvent aussi contribuer à éliminer l'utilisation des pesticides les plus toxiques, telles l'optimisation de la préparation du sol, l'utilisation de cultures de couverture et d'engrais à base de compost, ainsi que de méthodes de contrôle biologiques.

- Mesures techniques et administratives. Plusieurs méthodes tirées de l'ingénierie peuvent aider à réduire l'exposition professionnelle. Les lieux d'entreposage des pesticides et de préparation des mélanges et des bouillies devraient bénéficier d'une ventilation suffisante et être organisés de manière à réduire le risque de déversements et à limiter le nombre de manipulations. Par exemple, il est possible d'utiliser un système de transfert fermé entre le contenant commercial du pesticide et le réservoir du pulvérisateur. Chaque type d'appareil d'application (pulvérisateurs au sol ou aériens, d'épandeurs de granulés, poudreuses et équipements de brumisation, de fumigation ou de chimigation) a ses particularités.

Parmi les méthodes administratives à respecter se trouve la formation des travailleurs : outre le certificat nécessaire pour l'utilisation de pesticides, les applicateurs de pesticides doivent être formés sur l'opération des appareils utilisés et sur les façons d'éviter leur exposition lors de l'application des divers produits. Le respect strict des délais de sécurité (délais de réentrée au champ) est primordial pour réduire l'exposition indirecte des travailleurs pour tout travail sur le terrain.

- EPI. Malgré les moyens de maîtrise abordés plus haut, des EPI sont requis lors de l'utilisation de la majorité des pesticides en agriculture, tel qu'inscrit sur les étiquettes des produits homologués par l'ARLA, et leur respect est présumé garant d'un risque acceptable pour la santé de l'utilisateur.

Parmi les vêtements de protection, un chapeau, des gants, des chaussures, un vêtement à manches longues et des pantalons longs, ainsi que lunettes de sécurité, tous résistants aux produits chimiques peuvent être recommandés²². Pour la protection des

²¹ <https://www.mapaq.gouv.qc.ca/fr/Pages/Details-Publication.aspx?guid=%7Bef205915-94c8-487f-9abf-42fa84b1a0f7%7D>

²² L'IRSST a produit une fiche sur les pratiques sécuritaires et les équipements de protection individuelle à utiliser lors de travail avec des pesticides : <https://www.irsst.qc.ca/publications-et-outils/publication/i/100965/n/pesticides-pratiques-securitaires-equipements-protection-individuelle>

voies respiratoires, le port d'un masque filtrant, d'un demi-masque, d'un masque complet ou d'un casque de type cagoule approuvé par le NIOSH est souvent indiqué.

4.2 Pour aller plus loin : le cas du cancer et de la maladie de Parkinson

Dans le cadre d'un mandat d'initiative de la Commission de l'agriculture, des pêcheries, de l'énergie et des ressources naturelles (CAPERN)²³, deux grands types d'effets sanitaires ont été particulièrement abordés, soit certains cancers et la maladie de Parkinson. Voici quelques remarques particulières à leur sujet.

4.2.1 Cancers

Parmi les vingt-cinq pesticides étudiés ici, les données scientifiques quant à la possibilité d'effets cancérigènes ne sont pas encore concluantes, mais certaines associations ont tout de même été trouvées avec les herbicides phénoxy et les insecticides carbamates et organophosphorés [23, 122]. À ce jour, le CIRC a classé comme cancérigènes probables (groupe 2A) pour l'humain le glyphosate (herbicide), les insecticides malathion, diazinon, aldrine et dieldrine. L'EPA a aussi classé le biocide métam-sodium comme probablement cancérigène. Les insecticides tétrachlorvinphos et parathion et le fongicide 2,4,6-trichlorophénol (TCP) et le fongicide chlorothalonil ont été classés cancérigènes possibles (groupe 2B)²⁴. De plus, les avis provenant d'autres organisations portant sur le potentiel cancérigène des pesticides ont été pris en compte dans ce rapport et identifient le bromoxynil comme possiblement cancérigène (il n'a pas encore été évalué par le CIRC). Parmi les pesticides revus dans ce rapport, le malathion, le glyphosate et le métam-sodium sont considérés être des cancérigènes probables, et le 2,4-D, le bromoxynil et le chlorothalonil, des cancérigènes possibles par le CIRC ou l'EPA. Il ne manque, pour ces pesticides considérés probablement ou possiblement cancérigènes, que quelques études épidémiologiques de grandeur et de qualité satisfaisantes qui montreraient une association positive avec l'exposition à ces pesticides pour les reclasser comme cancérigènes avérés. La prudence s'impose donc.

4.2.2 Maladie de Parkinson et autres maladies neurodégénératives

Il est connu depuis des décennies que les pesticides ont des effets neurotoxiques selon divers mécanismes qui affectent particulièrement les insectes, mais également les humains. Ces insecticides font notamment partie de la famille des organochlorés (DDT, Dieldrin, endosulfan), des organophosphorés et des pyréthrinoïdes. Quelques herbicides (paraquat, glyphosate), des fongicides (manèbe) et des inhibiteurs du complexe mitochondrial (pyridabène) pourraient aussi avoir des effets neurotoxiques d'après leur formulation chimique ou encore leur mode d'action [123]. Quelques revues de littérature sur le lien entre les pesticides et la maladie de Parkinson parmi les travailleurs agricoles rapportent une augmentation significative du risque de développer la maladie de Parkinson, mais d'autres n'en rapportent pas [122, 124, 125-127]. De plus, la qualité des études n'est pas homogène et une de leurs faiblesses principales est une évaluation insatisfaisante de l'exposition professionnelle antérieure : il n'est pas possible d'estimer l'exposition à des pesticides spécifiques et de calculer avec précision les durées et l'intensité de l'exposition, informations nécessaires pour conclure à l'existence d'un lien causal entre les pesticides individuels et la maladie. Les mêmes remarques s'appliquent aux autres maladies neurodégénératives (maladie d'Alzheimer, sclérose latérale amyotrophique) [128].

²³ <http://www.assnat.qc.ca/fr/travaux-parlementaires/commissions/capern/mandats/Mandat-40773/index.html>

²⁴ <https://monographs.iarc.fr/list-of-classifications>

Parmi les pesticides revus dans ce rapport, le paraquat et le mancozèbe ont été associés à la maladie de Parkinson, mais les preuves disponibles ont été jugées limitées par les organisations scientifiques consultées. Il est donc important de poursuivre des études sur les effets de l'exposition à ces pesticides et à leur co-exposition avec d'autres pesticides (manèbe, par exemple). Les connaissances évoluent dans le temps : elles se construisent en considérant l'ensemble de toutes les études de qualité publiées, positives et négatives. Les conclusions sur l'association entre le développement de la maladie de Parkinson et l'utilisation professionnelle des pesticides, individuels ou en mélange, doivent s'appuyer sur l'ensemble des preuves disponibles et non, de façon isolée, sur quelques études dès qu'elles sont publiées.

5. CONCLUSION

Plusieurs pesticides présentent des modes d'action qui pourraient affecter la santé des travailleurs agricoles. Les renseignements présentés dans ce rapport reflètent les connaissances établies au moment où les organismes internationaux ont émis leurs conclusions; les connaissances et le niveau de la preuve concernant certains effets nuisibles évoluent à mesure que de nouvelles études sont publiées. Il est donc recommandé de considérer tout pesticide comme potentiellement dangereux et d'agir préventivement afin de maintenir l'exposition au minimum.

Des études supplémentaires, effectuées sur de longues périodes avec des travailleurs exposés, sont nécessaires et souhaitables. Cependant, les plus gros défis dans ce genre d'étude sont de 1) bien mesurer l'exposition des travailleurs aux pesticides, et 2) d'estimer quels sont les ingrédients ou formulations responsables d'effets sanitaires parmi tous les produits chimiques auxquels les travailleurs ont été exposés, souvent pendant plusieurs années.

Afin de réduire ou d'éliminer le risque pour la santé relié à l'utilisation des pesticides, il est recommandé :

- D'encourager le développement et la mise en application des approches innovatrices en agriculture qui élimineraient l'utilisation des pesticides à base chimique ou biologique.
- De développer et d'évaluer des mesures administratives (gestion, encadrement, formation, par exemple) et d'ingénierie (conception de matériels, de véhicules, par exemple) visant à limiter les situations d'exposition.
- De favoriser la conception, l'adoption et le port des EPI qui tiennent compte des conditions réelles du travail et des caractéristiques liées à leur confort et à leur performance.
- De demander que les étiquettes des pesticides contiennent une désignation claire ainsi qu'une meilleure caractérisation de la performance des EPI recommandés.

6. RÉFÉRENCES

1. Bonner, M. R. et Alavanja, M. C. R. (2017). Pesticides, human health, and food security. *Food and Energy Security*, 6, 89-93.
2. Institut national de la santé et de la recherche médicale. (2013). *Pesticides : effets sur la santé*. Paris, France: Éditions Inserm.
3. Fryer, V., Beaudoin, S., Lebel, G., Bélair, G., St-Onge, M., Cambron-Goulet, É. et Dao, H. H. (2019). *Portrait des appels au Centre antipoison du Québec de 2013 à 2015 par catégorie de pesticides : pertinence et implications*. Québec, QC: INSPQ.
4. Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques. (2019).. *Bilan des ventes de pesticides au Québec 2017*. Tiré de <http://www.environnement.gouv.qc.ca/pesticides/bilan/index.htm>
5. Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques. *Bilan des ventes de pesticides au Québec 2017 : milieu agricole*. Tiré de <http://www.environnement.gouv.qc.ca/pesticides/bilan/2017/milieu-agricole.pdf>
6. Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques. *Bilan des ventes de pesticides au Québec 2017 : annexes*. Tiré de <http://www.environnement.gouv.qc.ca/pesticides/bilan/2017/Annexes.pdf>
7. Ministère du Développement durable, Environnement et Lutte contre les changements climatiques. (2018). *Nouvelles responsabilités pour les agronomes*. Québec, QC: MDELCC.
8. Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques. (2020). *Bilan des ventes de pesticides au Québec : année 2018*. Québec, QC: MELCC.
9. Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation de l'environnement et du travail. (2016). *Évaluation des risques sanitaires liés au travail de nuit*. Maisons-Alfort, France: Anses.
10. Institute for Occupational Safety and Health of the German Social Accident Insurance. (2020). *GESTIS substance database*. Tiré de <https://www.dguv.de/ifa/gestis/gestis-stoffdatenbank/index-2.jsp>
11. Institut national de recherche et de sécurité. (2011). *2,4-D, ses sels et esters : fiche toxicologique n° 208*. Paris, France: INRS.
12. Pesticide Properties Database. (2020). *2,4-D*. Tiré de <https://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/en/Reports/4.htm>
13. Patel, O., Syamlal, G., Henneberger, P. K., Alarcon, W. A. et Mazurek, J. M. (2018). Pesticide use, allergic rhinitis, and asthma among US farm operators. *Journal of Agromedicine*, 2018. 23(4), 327-335.
14. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. (2017). *Toxicological profile for 2,4-dichlorophenoxyacetic acid (2,4-D)*. Atlanta, GA: ATSDR.
15. American Conference of Governmental Industrial Hygienists. (2017). *2,4-D*. Cincinnati, OH: ACGIH.
16. International Agency for Research on Cancer. (2015). *DDT, lindane and 2,4-D*. Lyon, France: IARC.
17. *Règlement sur la santé et la sécurité du travail, c. S-2.1, r. 13, annexe I : notes et définitions LSST*.

18. American Conference of Governmental Industrial Hygienists. (2014). *Atrazine*. Cincinnati, OH: ACGIH.
19. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. (2003). *Toxicological profile for atrazine*. Atlanta, GA: ATSDR.
20. Jowa, L. et Howd, R. (2011). Should atrazine and related chlorotriazines be considered carcinogenic for human health risk assessment? *Journal of Environmental Science and Health, Part C*, 29(2), 91-144.
21. International Agency for Research on Cancer. (1999). Atrazine. Dans *Some chemicals that cause tumours of the kidney or urinary bladder in rodents and some other substances* (p. 59-113). Lyon, France: IARC.
22. Beane-Freeman, L. E., Rusiecki, J. A., hoppin, J. A., Lubin, J. H., Koutros, S., Andreotti, G., . . . Alavanja, M. C. R. (2011). Atrazine and cancer incidence among pesticide applicators in the agricultural health study (1994–2007). *Environmental Health Perspectives*, 119(9), 1253-1259.
23. Schinasi, L. et Leon, M. E. (2014). Non-Hodgkin lymphoma and occupational exposure to agricultural pesticide chemical groups and active ingredients: A systematic review and meta-analysis. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 11(4), 4449-4527.
24. United States Environmental Protection Agency. (1998). *Bromoxynil reregistration eligibility decision (R.E.D.) facts*. Washington, DC: EPA.
25. European Food Safety Authority. (2017). *Peer review of the pesticide risk assessment of the active substance bromoxynil (variant evaluated bromoxynil octanoate)*. Parme, Italie: EFSA.
26. Institute for Occupational Safety and Health of the German Social Accident Insurance. (2020). *GESTIS international limit values*. Tiré de <https://limitvalue.ifa.dguv.de/>
27. United States Environmental Protection Agency. (1999). *Captan reregistration eligibility decision (R.E.D.) facts*. Washington, DC: EPA.
28. Pesticide Properties Database. (2019). *Captan*. Tiré de <https://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/en/Reports/114.htm>
29. American Conference of Governmental Industrial Hygienists. (2014). *Captan*. Cincinnati, OH: ACGIH.
30. International Agency for Research on Cancer. (1983). *Miscellaneous pesticides*. Lyon, France: IARC.
31. United States Environmental Protection Agency. (2000). *Captan*. Tiré de <https://www.epa.gov/sites/production/files/2016-09/documents/captan.pdf>
32. Agence de réglementation de la lutte antiparasitaire. (2008). *Evaluation report: Carfentrazone-ethyl*. Ottawa, ON: Santé Canada.
33. European Food Safety Authority. (2016). Peer review of the pesticide risk assessment of the active substance carfentrazone-ethyl. *EFSA Journal*, 14(8). doi: 10.2903/j.efsa.2016.4569
34. National Registration Authority for Agricultural and Veterinary Chemicals. (2000). *Evaluation of the new active carfentrazone-ethyl in the product Affinity 400 df herbicide*. Canberra, Australie: NRA.
35. Pesticide Properties Database. (2019). *Carfentrazone-ethyl*. Tiré de <https://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/en/Reports/123.htm>.

36. European Food Safety Authority. (2013). Conclusion on the peer review of the pesticide risk assessment of the active substance chlorantraniliprole. *EFSA Journal*, 11(6). doi: 10.2903/j.efsa.2013.3143
37. Norwegian Food Safety Authority. (2010). *Evaluation of the plant protection product Coragen 20 SC – chlorantraniliprole regarding application for authorisation*. Brumunddal, Norvège: Norwegian Food Safety Authority.
38. Pesticide Properties Database. (2019). *Chlorantraniliprole*. Tiré de <https://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/en/Reports/1138.htm>
39. Wolterink, G. et Dellarco, V. (2008). Chlorantraniliprole. Dans *Pesticide residues in food 2008: Joint FAO/WHO meeting on pesticides residues* (p. 105-133). Rome, Italie: FAO.
40. United States Environmental Protection Agency. (2008). *Pesticide fact sheet: Chlorantraniliprole*. Tiré de https://www3.epa.gov/pesticides/chem_search/reg_actions/registration/fs_PC-090100_01-Apr-08.pdf
41. Institut national de recherche et de sécurité. (2010). *Chlorothalonil : fiche toxicologique n° 278*. Tiré de http://www.inrs.fr/publications/bdd/fichetox/fiche.html?refINRS=FICHETOX_278
42. European Food Safety Authority. (2017). Peer review of the pesticide risk assessment of the active substance chlorothalonil. *EFSA Journal*, 16(1). doi: 10.2903/j.efsa.2018.5126
43. Pesticide Properties Database. (2018). *Chlorothalonil*. Tiré de <https://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/en/Reports/150.htm>
44. International Agency for Research on Cancer. (1999). *Some chemicals that cause tumours of the kidney or urinary bladder in rodents and some other substances*. Lyon, France: IARC.
45. Pesticide Properties Database. (2019). *Chlorpyrifos*. Tiré de <https://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/en/Reports/154.htm>
46. American Conference of Governmental Industrial Hygienists. (2003). *Chlorpyrifos*. Cincinnati, OH: ACGIH.
47. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. (1997). *Toxicological profile for chlorpyrifos*. Atlanta, GA: ATSDR.
48. European Food Safety Authority. (2019). *Statement on the available outcomes of the human health assessment in the context of the pesticides peer review of the active substance chlorpyrifos*. Parme, Italie: EFSA.
49. International Agency for Research on Cancer. (2019). *Report of the Advisory Group to Recommend Priorities for the IARC Monographs during 2020–2024*. Tiré de https://monographs.iarc.fr/wp-content/uploads/2019/10/IARCMonographs-AGReport-Priorities_2020-2024.pdf
50. United States Environmental Protection Agency. (2016). *Chlorpyrifos: Revised human health risk assessment for registration review*. Washington, DC: EPA.
51. European Food Safety Authority. (2014). Conclusion on the peer review of the pesticide risk assessment of the active substance cyantraniliprole. *EFSA Journal*, 12(9). doi: 10.2903/j.efsa.2014.3814
52. Pesticide Properties Database. (2019). *Cyantraniliprole*. Tiré de <https://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/en/Reports/1662.htm>
53. Yoshida, M. et McGregor, D. (2013). *Cyantraniliprole*. Tiré de <https://apps.who.int/pesticide-residues-jmpr-database/pesticide?name=Cyantraniliprole>

54. European Food Safety Authority. (2018). Peer review of the pesticide risk assessment of the active substance alpha-cypermethrin. *EFSA Journal*, 16(9). doi: 10.2903/j.efsa.2018.5403
55. Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation de l'environnement et du travail. (2013). *Avis relatif à la demande de dérogation au titre de l'article 15 de la Directive 98/8/CE pour l'utilisation du dioxyde de soufre (SO2) en France pour un usage antiparasitaire*. Maisons-Alfort, France: Anses.
56. United States Environmental Protection Agency. (2006). *Cypermethrin reregistration eligibility decision (R.E.D.) facts*. Washington, DC: EPA.
57. Pesticide Properties Database. (2020). *Cypermethrin*. Tiré de <https://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/en/Reports/197.htm>
58. European Food Safety Authority. (2011). Conclusion on the peer review of the pesticide risk assessment of the active substance dicamba. *EFSA Journal*, 9(1).
59. United States Environmental Protection Agency. (2006). *Dicamba reregistration eligibility decision (R.E.D.) facts*. Washington, DC: EPA.
60. Pesticide Properties Database. (2019). *Dicamba*. Tiré de <https://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/en/Reports/213.htm>
61. Samanic, C., Rusiecki, J., Dosemeci, M., Hou, L., Hoppin, J. A., Sandler, D. P., . . . Alavanja, M. C. R. (2006). Cancer incidence among pesticide applicators exposed to dicamba in the agricultural health study. *Environmental Health Perspectives*, 114(10), 1521-1526.
62. European Food Safety Authority. (2005). Conclusion regarding the peer review of the pesticide risk assessment of the active substance glufosinate. *EFSA Journal*, 3(4). doi: 10.2903/j.efsa.2005.27r
63. Pesticide Properties Database. (2020). *Glufosinate*. Tiré de <https://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/en/Reports/1540.htm>
64. Wolterink, G., Mahieu, C. M. et Davies, L. (2012). Glufosinate-ammonium. Dans *Pesticide residues in food 2012: Joint FAO/WHO meeting on pesticide residues* (p. 547-652). Rome, Italie: FAO.
65. National Center for Biotechnology Information. (2020). *Glufosinate*. Tiré de <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Glufosinate>
66. Institut national de recherche et de sécurité. (2019). *Glyphosate : fiche toxicologique 273*. Tiré de http://www.inrs.fr/publications/bdd/fichetox/fiche.html?refINRS=FICHETOX_273
67. Pesticide Properties Database. (2018). *Glyphosate*. Tiré de <https://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/en/Reports/2396.htm>
68. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. (2019). *Toxicological profile for glyphosate (draft for public comment)*. Atlanta, GA: ATSDR.
69. Swartz, C. D., Christy, N. C., Sly, J. E., Witt, K. L. et Smith-Roe, S. L. (2019). *Comparison of the genotoxicity of glyphosate, (aminomethyl)phosphonic acid, and glyphosate-based formulations using in vitro approaches*. Tiré de <https://ntp.niehs.nih.gov/whatwestudy/topics/glyphosate/index.html>
70. International Agency for Research on Cancer. (2015). *Some organophosphate insecticides and herbicides*. Lyon, France: IARC.
71. United States Environmental Protection Agency. (1994). *Hexazinone reregistration eligibility decision (R.E.D.) facts*. Tiré de <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi/20000E0B.PDF?Dockey=20000E0B.PDF>

72. Pesticide Properties Database. (2019). *Hexazinone*. Tiré de <http://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/en/Reports/384.htm>
73. Samuel, O., Leblanc, A., Guillot, J.-G., Phaneuf, D. et Weber, J.-P. (1991). *Étude de l'exposition professionnelle des travailleurs forestiers à l'hexazinone*. Québec, QC: INSPQ.
74. Durkin, P. et Diamond, G. (2002). *Neurotoxicity, immunotoxicity, and endocrine disruption with specific commentary on glyphosate, triclopyr, and hexazinone: Final report*. Fayetteville, NY: SERA.
75. Ministère de l'Environnement. (2003). *Concentrations d'hexazinone dans des prises d'eau potable près de bleuetières du Saguenay–Lac-Saint-Jean*. Québec, QC: Ministère de l'Environnement.
76. Pesticide Properties Database. (2019). *Malathion*. Tiré de <https://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/en/Reports/421.htm>
77. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. (2003). *Toxicological profile for malathion*. Atlanta, GA: ATSDR.
78. American Conference of Governmental Industrial Hygienists. (2003). *Malathion*. Cincinnati, OH: ACGIH.
79. Krieger, R. (2010). *Hayes' handbook of pesticide toxicology* (3^e éd.). Londres, Angleterre: Academic Press.
80. European Food Safety Authority. (2019). Peer review of the pesticide risk assessment of the active substance mancozeb. *EFSA Journal*, 17(7).
81. Institut national de recherche et de sécurité. (2010). *Mancozèbe : fiche toxicologique n° 277*. Tiré de http://www.inrs.fr/publications/bdd/fichetox/fiche.html?refINRS=FICHETOX_277
82. United States Environmental Protection Agency. (2005). *Mancozeb reregistration eligibility decision (R.E.D.) facts*. Washington, DC: EPA.
83. Pesticide Properties Database. (2020). *Mancozeb*. Tiré de <https://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/en/Reports/424.htm>
84. Pesticide Properties Database. (2020). *Metiram*. Tiré de <https://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/en/Reports/463.htm>
85. United States Environmental Protection Agency. (2005). *Metiram reregistration eligibility decision (R.E.D.) facts*. Tiré de <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi/P1006LRV.PDF?Dockey=P1006LRV.PDF>
86. International Agency for Research on Cancer. (2001). *Ethylenthiourea*. Tiré de <https://monographs.iarc.fr/wp-content/uploads/2018/06/mono79-23.pdf>
87. Axelstad, M., Boberg, J., Nellemann, C., Kiersgaard, M., Jacobsen, P. R., Christiansen, S., . . . Hass, U. (2011). Exposure to the widely used fungicide mancozeb causes thyroid hormone disruption in rat dams but no behavioral effects in the offspring. *Toxicological Sciences* 120(2), 439-446.
88. European Food Safety Authority. (2011). Conclusion on the peer review of the pesticide risk assessment of the active substance metam. *EFSA Journal*, 9(9). doi: 10.2903/j.efsa.2011.2334
89. Institut national de recherche et de sécurité. (2015). *Dazomet : fiche toxicologique n°307*. Tiré de http://www.inrs.fr/publications/bdd/fichetox/fiche.html?refINRS=FICHETOX_307

90. United States Environmental Protection Agency. (2009). *Amended reregistration eligibility decision (RED) for the methyldithiocarbamate salts (metam-sodium, metam-potassium) and methyl isothiocyanate (MITC)*. Washington, DC: EPA.
91. California Environmental Protection Agency. (2004). *Metam sodium (sodium N-methyldithiocarbamate) risk characterization document*. Sacramento, CA: CEPA.
92. Pruet, S. B., Myers, L. P. et Keil, D. E. (2001). Toxicology of metam sodium. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part B: Critical Reviews*, 4(2), 207-222.
93. Pesticide Properties Database. (2019). *Metam-sodium*. Tiré de <https://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/en/Reports/447.htm>
94. United States Environmental Protection Agency. (2004). *Addendum: Quantification of carcinogenic potential for MITC with metam sodium cancer slope factor and cancer classification of metam sodium*. Tiré de https://www3.epa.gov/pesticides/chem_search/cleared_reviews/csr_PC-039003_19-Aug-04_b.pdf
95. Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation de l'environnement et du travail. (2017). *Avis de l'Anses relatif à l'impact sur la santé humaine des substances néonicotinoïdes autorisées dans les produits phytopharmaceutiques et les produits biocides*. Maisons-Alfort, France: Anses.
96. Institut national de recherche et de sécurité. (2015). *Imidaclopride : fiche toxicologique n° 309*. Tiré de http://www.inrs.fr/publications/bdd/fichetox/fiche.html?refINRS=FICHETOX_309
97. United States Environmental Protection Agency. (2020). *Clothianidin and thiamethoxam proposed interim registration review decision case numbers 7620 and 7614*. Washington, DC: EPA.
98. United States Environmental Protection Agency. (2020). *Imidacloprid proposed interim registration review decision case number 7605*. Washington, DC: EPA.
99. Institut national de recherche et de sécurité. (2012). *Paraquat : fiche toxicologique n° 182*. Tiré de http://www.inrs.fr/publications/bdd/fichetox/fiche.html?refINRS=FICHETOX_182
100. Pesticide Properties Database. (2019). *Paraquat*. Tiré de <https://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/en/Reports/505.htm>
101. Agence française de sécurité sanitaire des aliments. (2008). *Avis sur l'impact potentiel de la présence du paraquat dans les sols et la chaîne alimentaire et sur le risque pour la santé en Martinique et en Guadeloupe*. Maisons-Alfort, France: AFSSA.
102. American Conference of Governmental Industrial Hygienists. (2018). *Paraquat*. Cincinnati, OH: ACGIH.
103. Australian Pesticides and Veterinary Medicines Authority. (2003). *Evaluation of the new active pyraclostrobin in the product cabrio fungicide*. Canberra, Australia: APVMA.
104. Yoshizawa, K., Yoshida, M. et Moretto, A. (2018). Pyraclostrobin. Dans *Pesticide residues in food 2018: Joint FAO/WHO meeting on pesticides residues* (p. 319-336). Rome, Italie: FAO.
105. Pesticide Properties Database. (2020). *Pyraclostrobin*. Tiré de <https://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/en/Reports/564.htm>
106. United States Environmental Protection Agency. (2018). *Pyraclostrobin: Pesticide tolerances*. Tiré de <https://www.federalregister.gov/documents/2018/10/15/2018-22282/pyraclostrobin-pesticide-tolerances>

107. Minnesota Department of Health. (2016). *Toxicological summary for: Pyraclostrobin*. Tiré de <https://www.health.state.mn.us/communities/environment/risk/docs/guidance/gw/pyrac.pdf>
108. United States Environmental Protection Agency. (1995). *Metolachlor reregistration eligibility decision (R.E.D.) facts*. Tiré de <https://pdfs.semanticscholar.org/d090/5d75e7545f37b975698fbc2ebc2739995ba5.pdf>
109. Pesticide Properties Database. (2019). *S-metolachlor*. Tiré de <https://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/en/Reports/1027.htm>
110. Santé Canada. (1986). *Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada*. Tiré de <https://www.canada.ca/fr/sante-canada/services/publications/vie-saine/recommandations-pour-qualite-eau-potable-canada-document-technique-metolachlore.html>
111. Nikoloff, N., Escobar, L., Soloneski, S. et Larramendy, M. L. (2013). Comparative study of cytotoxic and genotoxic effects induced by herbicide S-metolachlor and its commercial formulation Twin Pack Gold® in human hepatoma (HepG2) cells. *Food and Chemical Toxicology*, 62, 777-781.
112. Rusiecki, J. A., Hou, L., Lee, W. J., Blair, A., Dosomeci, M., Lubin, J. H., . . . Alavanja, M. C. R. (2006). Cancer incidence among pesticide applicators exposed to metolachlor in the Agricultural Health Study. *International Journal of Cancer*, 118(12), 3118-3123.
113. Silver, S. R., Bertke, S. J., Hines, C. J., Alavanja, M. C. R., Hoppin, J. A., Lubin, J. A., . . . Sandler, D. P. (2015). Cancer incidence and metolachlor use in the Agricultural Health Study: An update. *International Journal of Cancer*, 137(11), 2630-2643.
114. Rappazzo, K. M., Warren, J. L., Davalos, A. D., Meyer, R. E., Sanders, A. P., Brownstein, N. C. et Luben, T. J. (2019). Maternal residential exposure to specific agricultural pesticide active ingredients and birth defects in a 2003–2005 North Carolina birth cohort. *Birth Defects Research*, 111(6), 312-323.
115. Vieira, K. C. d. M. T., Couto, J. C., Zanetti, E., Sanches, J. M. et Favareto, A. P. A. (2016). Maternal and fetal toxicity of Wistar rats exposed to herbicide metolachlor. *Acta Scientiarum. Biological Sciences*, 38(1), 91-98.
116. Agence de réglementation de la lutte antiparasitaire. *Note de réévaluation REV2018-11 : plan de projet de réévaluation du S métolachlore et énantiomère R*. Tiré de <https://www.canada.ca/fr/sante-canada/services/securite-produits-consommation/rapports-publications/pesticides-lutte-antiparasitaire/decisions-mises-jour/note-reevaluation/2018/s-metolachlore-enantiomere-r-rev-2018-11.html>
117. Syngenta. (2019). *Syngenta renforce les recommandations d'usage du S-métolachlore*. Tiré de <https://www.syngenta.fr/cultures/maïs/dossier-herbicide/article/herbicides-maïs-et-contaminations-eau>
118. European Food Safety Authority. (2018). Peer review of the pesticide risk assessment of the active substance spinosad. *EFSA Journal*, 16(5).
119. Pesticide Properties Database. (2019). *Spinosad*. Tiré de <https://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/en/Reports/596.htm>
120. United States Department of Agriculture. (2016). *Spinosad: Human health and ecological risk assessment final report*. Morgantown, WV: USDA.
121. Weinberg, J. L., Bunin, L. J. et Das, R. (2009). Application of the industrial hygiene hierarchy of controls to prioritize and promote safer methods of pest control: A case study. *Public Health Reports*, 124(S1), 53-62.

122. Baldi, I., Cordier, S., Coumoul, X., Elbaz, A., Gamet-Payraastre, L., Lebailly, P., . . . van Maele-Fabry, G. (2013). *Pesticides : effets sur la santé, synthèse et recommandations*. Paris, France: Inserm.
123. Richardson, J. R., Fitsanakis, V., Westerink, R. H. S. et Kanthasamy, A. G. (2019). Neurotoxicity of pesticides. *Acta Neuropathologica*, 138(3), 343-362.
124. Yan, D., Zhang, Y., Liu, L., Shi, N. et Yan, H. (2018). Pesticide exposure and risk of Parkinson's disease: Dose-response meta-analysis of observational studies. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 96, 57-63.
125. Pouchieu, C., Piel, C., Carles, C., Grumer, A., Helmer, C., Tual, S., . . . Baldi, I. (2018). Pesticide use in agriculture and Parkinson's disease in the AGRICAN cohort study. *International Journal of Epidemiology*, 47(1), 299-310.
126. Gunnarsson, L. G. et Bodin, L. (2017). Parkinson's disease and occupational exposures: a systematic literature review and meta-analyses. *Scandinavian Journal of Work, Environment and Health*, 43(3), 197-209.
127. EFSA Panel on plant protection products and their residues, Ockleford, C., Adriaanse, P., Berny, P., Brock, T., Duquesne, S., . . . Bennekou, S. H. (2017). Investigation into experimental toxicological properties of plant protection products having a potential link to Parkinson's disease and childhood leukaemia. *EFSA Journal*, 15(3), e04691. doi: 10.2903/j.efsa.2017.4691.
128. Tanner, C. M., Goldman, S. M., Ross, G. W. et Grate, S. J. (2014). The disease intersection of susceptibility and exposure: chemical exposures and neurodegenerative disease risk. *Alzheimer's & Dementia*, 10(3S), S213-S225.