

**Les pesticides en milieu agricole :
état de la situation environnementale
et initiatives prometteuses**



2006

**Développement durable,
Environnement
et Parcs**

Québec 

ÉQUIPE DE RÉALISATION

Auteur : Stéphanie Tellier¹, agronome, M.Sc.

Collaborateurs : Richard Desrosiers¹, agronome
Raymond-Marie Duchesne², biologiste, entomologiste, Ph.D
Onil Samuel³, Conseiller scientifique en toxicologie humaine

Réviseurs : Marie-Hélène April², agronome, M.Sc.
Évelyne Barrette¹, agronome, M.Sc.
Line Bégin¹, agronome
Danielle Bernier⁴, agronome, malherbologiste, M.Sc.
Denis Boutin⁵, agronome et économiste rural, M.Sc.
Sylvain Dion¹, chimiste, M.Sc.
Rémy Fortin⁴, agronome
Marie Garon⁴, biologiste
Isabelle Giroux⁶, spécialiste en science de l'eau, M.Sc.
Isabelle Gorse¹, M.Sc. env.
Yves Lefebvre⁵, M.Sc.
Isabel Parent⁷, tec.
Caroline Robert⁷, M.Sc. env.
Hélène Tremblay⁷, spécialiste en toxicologie

Mise en page : Suzette Tanguay¹

TELLIER, Stéphanie, 2006. *Les pesticides en milieu agricole : état de la situation environnementale et initiatives prometteuses*, Direction des politiques en milieu terrestre, Service des pesticides, Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, 90 p.

¹ Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, Direction des politiques en milieu terrestre, Service des pesticides.

² Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation, Direction de l'environnement et du développement durable.

³ Institut national de santé publique du Québec, Direction de la toxicologie humaine.

⁴ Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation, Direction de l'innovation scientifique et technologique.

⁵ Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, Direction des politiques en milieu terrestre, Service agricole.

⁶ Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, Direction du suivi de l'état de l'environnement.

⁷ Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, Direction des politiques de l'eau.

Dépôt légal – Bibliothèque nationale du Québec, 2006

ISBN – 13 : 978-2-550-48224-6 (PDF)

ISBN – 10 : 2-550-48224-7 (PDF)

© Gouvernement du Québec, 2006

RÉSUMÉ

La mission du ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs (MDDEP) est « d'assurer, dans une perspective de développement durable, la protection de l'environnement ». Ainsi, le ministère contribue à la qualité de vie des Québécoises et des Québécois par la conservation des écosystèmes, de manière à répondre aux besoins actuels, et ce, sans compromettre la capacité des générations futures de répondre à leurs propres besoins. Le 3 avril 2003, le gouvernement du Québec adoptait le Code de gestion des pesticides et le Règlement modifiant le règlement sur les permis et certificats pour la vente et l'utilisation des pesticides. Le Code de gestion des pesticides met de l'avant des normes pour encadrer l'entreposage, la vente et l'utilisation des pesticides, dont certaines normes visent le secteur agricole. En vertu du Règlement sur les permis et certificats pour la vente et l'utilisation des pesticides, depuis avril 2005 les agriculteurs doivent progressivement être certifiés pour utiliser des pesticides. L'adoption de cette réglementation s'inscrit parmi les actions entreprises par le gouvernement du Québec afin de mieux prévenir les risques que ces produits comportent pour la santé et pour l'environnement.

De plus, par l'adoption de la Politique nationale de l'eau (PNE), le gouvernement s'est engagé à réduire d'ici 2010 la pression sur l'environnement résultant de l'usage des pesticides en milieu agricole. Dans ce contexte, il s'est avéré nécessaire de dresser un état de la situation environnementale sur les pesticides utilisés en milieu agricole et de présenter certaines initiatives prometteuses mises de l'avant au Québec et par d'autres pays.

Le présent document constitue un recueil d'informations utiles, sans être exhaustives, relativement à l'utilisation des pesticides en agriculture, à leurs impacts sur l'environnement, la santé publique et les écosystèmes, ainsi qu'à leur présence dans l'environnement. Il présente une comparaison de la situation quant à la présence de pesticides dans l'environnement au Québec et dans le reste du Canada, de l'Amérique du Nord et des pays européens. Enfin, il évoque des solutions mises en œuvre par certains pays qui ont permis de réduire de façon probante les impacts négatifs des pesticides sur l'environnement.

Réalisé dans le cadre de l'initiative conjointe MAPAQ-MDDEP sur les pesticides en milieu agricole adoptée en 2005, le présent document constitue un ouvrage de référence qui sera mis à jour régulièrement.

TABLE DES MATIÈRES

CHAPITRE 1	UTILISATION DES PESTICIDES AU QUÉBEC, AU CANADA ET AILLEURS DANS LE MONDE	1
1.1	QUÉBEC	1
1.2	CANADA	3
1.3	AILLEURS DANS LE MONDE	4
1.4	COMPARAISONS	4
CHAPITRE 2	IMPACTS DES PESTICIDES SUR L'ENVIRONNEMENT ET LA SANTÉ.....	5
2.1	IMPACTS SUR L'ENVIRONNEMENT	7
2.2	IMPACTS SUR LA SANTÉ	13
CHAPITRE 3	PRÉSENCE DE PESTICIDES DANS L'ENVIRONNEMENT	16
3.1	QUÉBEC	16
3.2	AMÉRIQUE DU NORD	38
3.3	EUROPE	45
3.4	COMPARAISONS	47
CHAPITRE 4	INITIATIVES VISANT À RÉDUIRE LES RISQUES DES PESTICIDES SUR L'ENVIRONNEMENT	49
4.1	QUÉBEC	50
4.2	HORS QUÉBEC À SOULIGNER.....	57
CONCLUSION.....		66
RÉFÉRENCES CONSULTÉES		68

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Quantité d'ingrédients actifs des pesticides utilisés ou vendus dans les provinces canadiennes	3
Tableau 2 : Utilisation de pesticides en agriculture (ingrédients actifs) dans quelques pays de l'OCDE et variation des quantités de la période 1990-1992 à la période 2000-2002	4
Tableau 3 : Fréquence moyenne de détection des ingrédients actifs herbicides au cours des campagnes d'échantillonnage de l'eau de surface de 1992 à 2004 au Québec (stations permanentes).....	19
Tableau 4 : Gamme des concentrations des ingrédients actifs herbicides détectés au cours des campagnes d'échantillonnage de l'eau de surface de 1992 à 2004 au Québec (stations permanentes) et comparaison aux critères et normes	20
Tableau 5 : Fréquence moyenne de détection des ingrédients actifs des insecticides et des fongicides au cours des campagnes d'échantillonnage de l'eau de surface de 1992 à 2004 au Québec (stations permanentes)	22
Tableau 6 : Gamme des concentrations des ingrédients actifs des insecticides et des fongicides détectés au cours des campagnes d'échantillonnage de l'eau de surface de 1992 à 2004 au Québec (stations permanentes) et comparaison aux critères et normes	23
Tableau 7 : Ingrédients actifs ayant déjà dépassé leur critère pour la protection de la vie aquatique dans au moins une rivière au Québec de 1992 à 2004.....	24
Tableau 8 : Concentrations de quelques ingrédients actifs d'herbicides dans l'eau du fleuve Saint-Laurent aux stations de l'île Wolfe et de Québec	26
Tableau 9 : Campagnes d'échantillonnage de l'eau souterraine au Québec	27
Tableau 10 : Concentrations d'ingrédients actifs dans l'eau souterraine au Québec.....	28
Tableau 11 : Résultats du suivi des ingrédients actifs des pesticides ayant été mesurés dans l'eau brute de sept réseaux municipaux à risque au Québec (été 2000)	31
Tableau 12 : Résultat du suivi des ingrédients actifs des pesticides ayant été mesurés dans l'eau traitée de sept réseaux municipaux à risque au Québec (été 2000)	31
Tableau 13 : Normes édictés au Règlement sur la qualité de l'eau potable à l'égard des concentrations des ingrédients actifs des pesticides dans l'eau potable	33
Tableau 14 : Ingrédients actifs des pesticides détectés dans les réseaux de distribution d'eau potable de 2001 à 2004	35

Tableau 15 : Gamme des concentrations et fréquence de détection des ingrédients actifs des pesticides détectés le plus fréquemment dans les échantillons d'eau de surface prélevés aux États-Unis de 1992 à 2001	41
Tableau 16 : Gamme des concentrations et fréquence des ingrédients actifs des pesticides détectés le plus souvent dans les échantillons d'eau souterraine prélevés aux États-Unis de 1992 à 2001	44
Tableau 17 : Ingrédients actifs des pesticides les plus fréquemment détectés dans l'eau de surface lors les campagnes d'échantillonnage réalisées dans les provinces canadiennes, aux États-Unis et dans des pays européens	48
Tableau 18 : Ingrédients actifs des pesticides les plus fréquemment détectés dans l'eau souterraine lors les campagnes d'échantillonnage réalisées dans les provinces canadiennes, aux États-Unis et dans des pays européens	48
Tableau 19 : Intégration du risque des pesticides dans le plan national de certains pays.....	58

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Mécanismes de transport des pesticides dans l'environnement.....	6
Figure 2 : Stations d'échantillonnage de rivière au Québec.....	17
Figure 3 : Stations de suivi de la qualité de l'eau pour les pesticides dans le fleuve Saint-Laurent	25
Figure 4 : Variations saisonnières des concentrations en atrazine de l'eau du fleuve à Québec de 1996 à 2004.....	26
Figure 5 : Réseaux municipaux de distribution d'eau potable où au moins un pesticide a été détecté	34
Figure 6 : Les dix pays possédant le plus grand pourcentage de terres en agriculture biologique (sondage 2005-2006)	59

CHAPITRE 1 UTILISATION DES PESTICIDES AU QUÉBEC, AU CANADA ET AILLEURS DANS LE MONDE

Les pesticides sont des substances employées pour contrer les organismes nuisibles. Avant d'être mis en marché sur le territoire québécois, un pesticide doit être homologué par l'Agence de réglementation de la lutte antiparasitaire (ARLA), qui relève de Santé Canada. À cette fin, tous les pesticides subissent une évaluation scientifique afin de statuer sur les données d'efficacité et de déterminer les risques qu'ils présentent pour la santé humaine et l'environnement. Plus de 7 000 produits commercialisés contenant un ou plusieurs des quelques 500 ingrédients actifs homologués sont ainsi enregistrés au Canada (Brimble *et al.*, 2005).

1.1 Québec

Selon le *Bilan des ventes de pesticides* de 2001, les pesticides vendus au Québec comprenaient environ 300 ingrédients actifs entrant dans la composition de 1 100 préparations commerciales, ce qui représente 3 276 257 kg d'ingrédients actifs pour 8 573 289 kg de préparations commerciales (Gorse, 2005).

En milieu agricole, les pesticides sont utilisés pour protéger les cultures contre une multitude d'organismes nuisibles, tels que les insectes, les acariens, les plantes indésirables, les maladies parasitaires et les rongeurs. Les pesticides peuvent aussi servir à la protection des animaux d'élevage contre certains organismes nuisibles.

Le secteur de la production végétale agricole accapare la plus grande part du marché des pesticides vendus au Québec, soit 79,1 % des ventes totales en 2001, ce qui correspond à 2 591 716 kg d'ingrédients actifs vendus (Gorse, 2005). Parmi les pesticides agricoles vendus en 2001, 59 % étaient des herbicides, 17,9 % des fongicides et 12,6 % des insecticides (Gorse, 2005). Depuis 1992, les ventes de pesticides en kg d'ingrédients actifs dans le secteur de la production végétale agricole ont diminué de 10,2 % (Gorse, 2005).

Dans le *Bilan des ventes de pesticides*, un indice de pression est calculé afin de déterminer la quantité d'ingrédients actifs appliqués par hectare ensemencé. En 2001, l'indice global de pression était de 1,41 kg d'ingrédients actifs à l'hectare, alors que l'indice de pression excluant les superficies en fourrages était de 2,46 kg d'ingrédients actifs à l'hectare (Gorse, 2005). De 1992 à 2001, l'indice de pression (kg i.a./ha) a connu une diminution de 33 %.

Pour ce qui est du secteur de l'élevage et autres travaux agricoles, celui-ci comprend toutes les activités réalisées sur les exploitations agricoles autres que la culture des champs ou en serre (ex. : traitement du bétail, des bâtiments). Les ventes des pesticides dans ce secteur ont été de 9805 kg d'ingrédients actifs en 2001, soit 0,3 % des ventes totales. La baisse depuis 1992 se chiffre à 80,9 % (Gorse, 2005).

Selon le *Suivi 2003 du Portrait agroenvironnemental des fermes du Québec*, les superficies réceptrices de pesticides en 2003 représentaient 45% des superficies totales en culture (grandes cultures, cultures maraîchères, pomme de terre, pommes, petits fruits, tabac, fourrages et

pâturages), qui sont d'environ 2 145 464 hectares (BPR inc., 2005). Les quantités totales de pesticides appliquées sur les terres agricoles varient selon le type de culture, les organismes nuisibles présents, les conditions climatiques et les régions agricoles productrices.

Les grandes cultures (maïs, soya, céréales) jouent un rôle important dans l'utilisation des pesticides, car ce sont des plantes d'importance économique produites sur de grandes superficies. En 2003, les grandes cultures occupaient 881 802 hectares, ce qui représente environ 41 % des superficies cultivées au Québec (BPR inc., 2005). Jusqu'à maintenant, les herbicides ont été pratiquement les seuls pesticides utilisés sur ces cultures. Cependant, depuis quelques années, de nouveaux organismes nuisibles sont apparus. Ils pourraient nécessiter des traitements insecticides et fongicides. Il est donc probable qu'au cours des prochaines années, une plus grande variété de pesticides soit appliquée sur ces cultures, ce qui pourrait augmenter les quantités totales de pesticides utilisés.

Les cultures fruitières (petits fruits, pommes) et maraîchères font l'objet d'applications fréquentes de divers pesticides, ce qui entraîne une pression élevée à l'hectare. Selon le Portrait agroenvironnemental des fermes du Québec, en 2003 les cultures maraîchères et la pomme de terre étaient produites sur 64 002 hectares et les petits fruits, tabac et pommes sur 30 591 hectares (BPR inc., 2005).

La culture de végétaux génétiquement modifiés (OGM) peut également influencer le type et les quantités de pesticides utilisés sur un territoire donné. Depuis 1996 des plantes transgéniques sont cultivées au Québec. Les principales cultures sont le soya, le maïs et le canola tolérants au glyphosate ou au glufosinate d'ammonium et le maïs Bt résistant à la pyrale du maïs. En 2006, selon Statistique Canada, les agriculteurs du Québec ont semencé 208 000 hectares de maïs génétiquement modifié, soit 51 % de la superficie totale en maïs. Les agriculteurs du Québec ont aussi semencé 77 000 hectares en soya génétiquement modifié, soit 42 % de la superficie totale en soya (Statistique Canada, 2006).

Pour les diverses cultures, un ensemble de facteurs peut expliquer que les indices de pression et les quantités de pesticides utilisés aient diminué, comme il a été constaté au Québec. En effet, les diminutions observées peuvent être attribuables, entre autres, aux nouvelles pratiques qui ont été adoptées consécutivement à la Stratégie phytosanitaire, aux efforts de réduction des pesticides que les conseillers du MAPAQ préconisent, aux efforts des divers intervenants du secteur privé et à ceux du Réseau d'avertissements phytosanitaires (RAP). Selon les données du Portrait agroenvironnemental des fermes du Québec, en 2003 des stratégies de rechange pour diminuer l'utilisation des pesticides de plein champ ont touché 36 % des superficies qui avaient fait l'objet d'interventions phytosanitaires. Par stratégies de rechange, on entend l'application de pesticides en bandes ou localisés, le désherbage mécanique, l'application d'herbicides chimiques à doses réduites, l'utilisation d'agents biologiques, le traitement par des moyens physiques ou des interventions combinées (BPR inc., 2005). De plus, on estime que la modification des produits est en partie responsable de ces diminutions. De fait, certains produits ont subi des transformations, ce qui permet dorénavant de les appliquer à doses plus faibles sans altérer leur efficacité (Gorse, 2005).

1.2 Canada

En 2004, les ventes globales de l'industrie des pesticides au Canada ont atteint un montant de 1,33 milliard \$, dont 77 % pour les herbicides, 10 % pour les fongicides et 6 % pour les insecticides (CropLife Canada, 2005). Selon un rapport de l'OCDE établissant une comparaison de l'utilisation des pesticides dans divers pays membres, en agriculture le Canada a utilisé environ 41 980 000 kg d'ingrédients actifs pour la période 1999-2000 (OCDE, 2004a).

Sur le territoire canadien, tous secteurs confondus, l'herbicide glyphosate a été le plus utilisé ou vendu avec 4 608 767 kg d'ingrédients actifs, soit environ 11 % des ingrédients actifs totaux. Parmi les dix ingrédients actifs les plus vendus au Canada, en plus du glyphosate, notons le créosote (2 163 992 kg), le MCPA (1 540 427 kg), le 2,4-D (1 490 050 kg), l'arséniate de cuivre chromaté (824 100 kg), le triallate (708 555 kg), le mancozèbe (665 359 kg), l'éthylfluraline (598 041 kg), l'atrazine (576 928 kg) et le bromoxynil (544 170 kg) (Brimble *et al.*, 2005).

Au niveau des provinces, l'utilisation des pesticides est répartie selon les cultures, les ravageurs et les conditions climatiques qui caractérisent chacune des régions. Les provinces de l'Ouest du Canada utilisent une grande partie des pesticides vendus au Canada, comme le montre le tableau 1 (Brimble *et al.*, 2005).

Tableau 1 : Quantité d'ingrédients actifs des pesticides utilisés ou vendus dans les provinces canadiennes

Provinces canadiennes*	Quantité d'ingrédients actifs des pesticides utilisés ou vendus (kg)(année)
Alberta	9 300 507 (1998) ¹
Colombie-Britannique	4 666 709 (2003) ¹
Ontario	4 218 238 (2003) ²
Manitoba	3 580 536 (2003) ²
Québec	2 601 521 (2001) ²
Île-du-Prince-Édouard	814 103 (2002) ²
Nouveau-Brunswick	781 922 (2003) ³
Nouvelle-Écosse	441 608 (2003) ³
Terre-Neuve et Labrador	42 400 (2003) ¹
Yukon et Territoires du Nord-Ouest	11 670 (1994-1995) ¹

* Les données pour la Saskatchewan ne sont pas disponibles.

¹ Tous les secteurs d'utilisation. ² Secteur agricole. ³ Produits commerciaux et restreints.

Adapté de : Brimble *et al.*, 2005

Selon diverses sources d'information, la pression à l'hectare dans les provinces canadiennes se chiffrerait de 0,41 à 4,87 kg d'ingrédients actifs/hectare. Cette pression à l'hectare dépend des cultures, des organismes ravageurs, du climat, des superficies et des produits utilisés, ainsi que du type d'acquisition de ces données.

1.3 Ailleurs dans le monde

L'OCDE établit une comparaison des quantités de pesticides utilisés ou vendus en agriculture de la période 1990-1992 à la période 2000-2002 dans divers pays membres. Les données concernant l'utilisation d'ingrédients actifs dans quelques pays de l'OCDE figurent au tableau 2 (OCDE, 2004a).

Tableau 2 : Utilisation de pesticides en agriculture (ingrédients actifs) dans quelques pays de l'OCDE et variation des quantités de la période 1990-1992 à la période 2000-2002

Pays	Quantité d'ingrédients actifs des pesticides utilisés ou vendus (kg) (1990-1992)	Quantité d'ingrédients actifs des pesticides utilisés ou vendus (kg) (2000-2002)	Variations de 1990-1992 à 2000-2002
États-Unis	325 226 000	332 181 000	+ 2,1 %
France	95 281 000	92 263 000	- 3,2 %
Canada	33 964 000	41 980 000	+ 23,6 %
Mexique	36 000 000	38 037 000	+ 5,7 %
Royaume-Uni	34 060 000	32 873 000	- 3,5 %
Allemagne	32 629 000	29 248 000	- 10,4 %
Belgique	10 246 000	9 386 000	- 8,4 %
Pays-Bas	17 744 000	9 199 000	- 48,2 %
République tchèque	6 699 000	4 460 000	- 33,4 %
Autriche	4 206 000	3 348 000	- 20,4 %
Danemark	4 948 000	2 931 000	- 40,8 %
Suède	1 897 000	1 700 000	- 10,4 %
Suisse	2 120 000	1 555 000	- 26,7 %
Finlande	1 727 000	1 401 000	- 18,9 %
Norvège	912 000	573 000	- 37,2 %

Adapté de : OCDE, 2004a

1.4 Comparaisons

Au niveau de l'utilisation des pesticides sur son territoire, le Québec, avec ses 2 601 521 kg d'ingrédients actifs vendus en agriculture en 2001, se compare à des pays tels que l'Autriche (3 348 000 kg) et le Danemark (2 931 000 kg) et dépasse légèrement les quantités du début des années 1990 de la Suède (1 897 000 kg), la Suisse (2 120 000 kg) et la Finlande (1 727 000 kg). Depuis 10 ans, ces derniers pays ont réussi à diminuer leurs quantités de pesticides de 10,4 %, 26,7 % et 18,9 % respectivement. Il est à noter que plusieurs de ces pays avaient entamé des démarches avant les années 1990 et utilisaient donc des quantités plus élevées avant la mise en place d'initiatives. À la lumière des expériences d'autres pays, il est à noter que les initiatives et les résultats atteints rapidement dépendent aussi de l'importance des quantités de pesticides utilisées au départ. Il est plus facile de réduire les quantités si celles-ci sont élevées au départ. Le chapitre 4 présentera certaines initiatives intéressantes que ces pays ont mises de l'avant et qui pourraient s'avérer fructueuses pour le Québec.

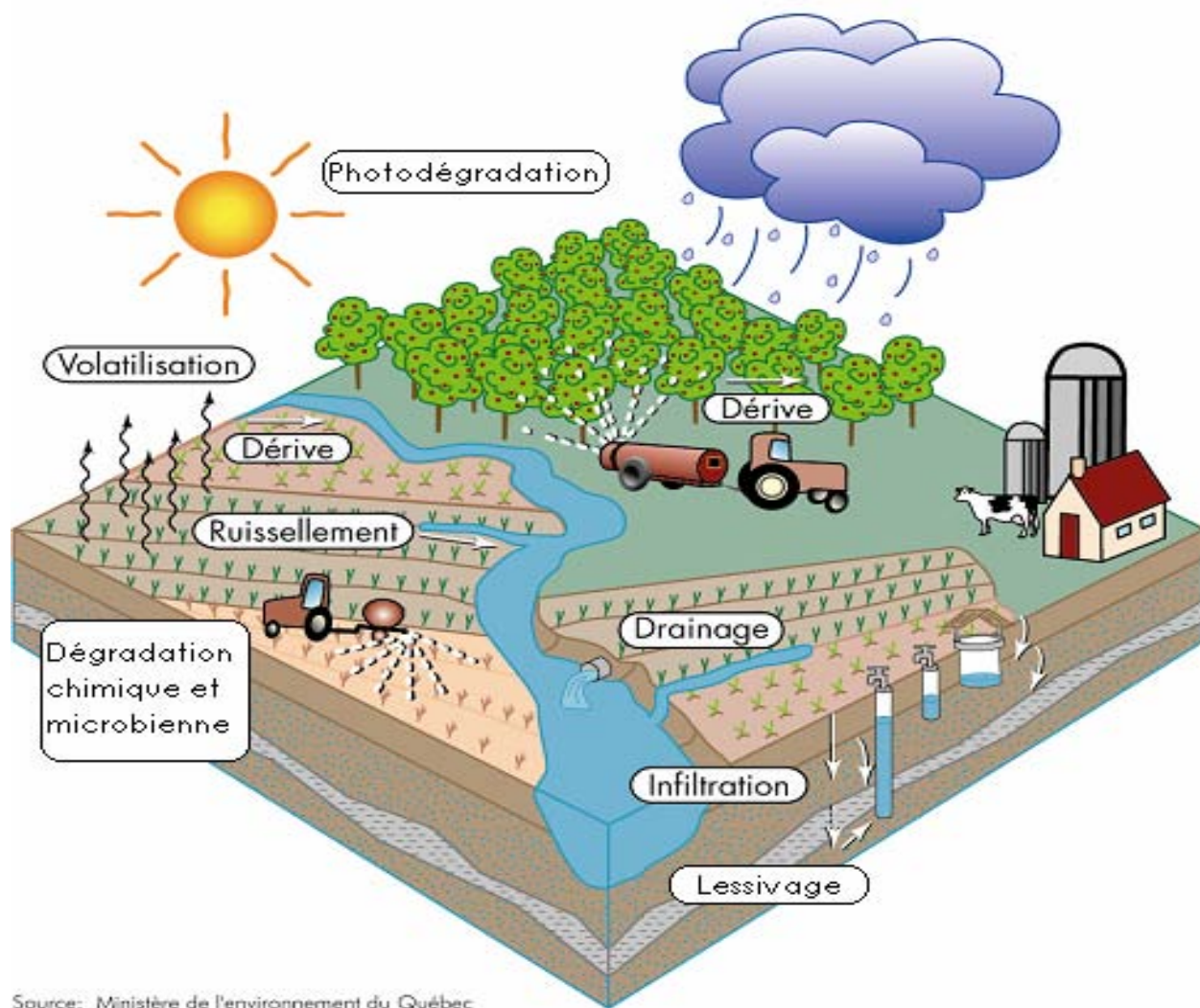
CHAPITRE 2 IMPACTS DES PESTICIDES SUR L'ENVIRONNEMENT ET LA SANTÉ

Les pesticides employés pour lutter contre les organismes nuisibles peuvent se retrouver dans l'environnement. Ils risquent alors d'engendrer une contamination ponctuelle ou diffuse. Cette pollution diffuse semble être la source dominante d'apport de pesticides vers les eaux de surface et souterraines (Gilliom *et al.*, 2006). Celle-ci peut être associée à plusieurs mécanismes de transport qui permettent aux pesticides de quitter la parcelle agricole et de se retrouver dans l'environnement. La figure 1 présente ces mécanismes. Les principaux mécanismes de transport des pesticides vers les eaux de surface et souterraines sont le ruissellement (pesticide sous forme dissoute ou lié à des particules de sols) et le lessivage. Les caractéristiques physicochimiques propres à chacun des pesticides - telles la persistance, l'adsorption, la pression de vapeur et la solubilité du pesticide - influencent sa tendance à quitter la parcelle. Les caractéristiques du sol et de la nappe d'eau souterraine, les précipitations, le travail du sol, les méthodes d'application, les pratiques culturales et le choix du pesticide jouent également un rôle important sur les pertes de pesticides par ruissellement et lessivage. Le drainage du surplus d'eau qui s'infiltre dans les sols agricoles par les canaux de drainage souterrain entraîne aussi les pesticides vers les eaux de surface (Ludvigsen, 2006).

Les pesticides peuvent aussi être transportés par l'air. Lors de l'application, la dérive des gouttelettes de pesticides fait en sorte que des produits peuvent se retrouver à l'extérieur de la parcelle. Le phénomène de la dérive est influencé, entre autres, par la taille des gouttelettes pulvérisées, la vitesse du vent, le type d'équipement utilisé et la hauteur de la pulvérisation. Les pesticides peuvent également se retrouver dans l'air sous forme de vapeurs, un phénomène appelé la volatilisation. Après l'application de certains pesticides, ceux-ci sont libérés sous forme de gaz ou adhèrent à des particules comme les poussières. Les résidus de pesticides sous forme gazeuse dans l'atmosphère ont souvent une demi-vie de courte durée, car ils sont susceptibles à la photodégradation et sont transportés sur de courtes distances. Par contre, les pesticides moins sujets à la photodégradation et qui ont une demi-vie beaucoup plus longue, - comme ce fut le cas pour certains pesticides qui ont été retirés du marché canadien (ex : lindane) - peuvent être transportés sur de grandes distances et même atteindre les régions arctiques. Par la suite, ces résidus de pesticides sous forme gazeuse peuvent être soustraits de l'atmosphère par condensation et retourner dans l'eau ou sur le sol par l'effet des précipitations ou par le dépôt de fines particules solides (Environnement Canada, 2001). La volatilisation du pesticide à partir des surfaces traitées est principalement fonction de la chaleur, de la pression de vapeur associée au pesticide et de l'humidité relative. Le récent rapport du NAWQA mentionne que des études américaines ont mis en évidence la présence de certains pesticides (atrazine, métolachlore, EPTC) dans l'eau de pluie (Gilliom *et al.*, 2006).

Une fois dispersés dans l'environnement, certains pesticides peuvent être dégradés par la lumière ou les micro-organismes, tandis que d'autres persistent et peuvent s'accumuler ou se transformer en d'autres contaminants parfois plus à risque que le produit d'origine (Comité permanent de l'environnement et du développement durable, 2000).

Figure 1 : Mécanismes de transport des pesticides dans l'environnement



2.1 Impacts sur l'environnement

Lorsqu'ils se retrouvent dans les milieux naturels (rivières, etc.), les pesticides peuvent avoir différents impacts sur la biodiversité. Ceux-ci peuvent être directs ou indirects. Les impacts des pesticides sur l'environnement et la biodiversité sont cependant difficiles à circonscrire vu le nombre élevé d'organismes vivants, leur sensibilité différente aux pesticides, la grande diversité des milieux et des pesticides employés, ainsi que la difficulté de recenser les effets engendrés. Les risques attribuables aux pesticides sont donc encore incertains et relativement méconnus. Certains cas liés aux effets de ces produits sur les communautés benthiques, les amphibiens, les poissons, les oiseaux et les mammifères ont cependant été étudiés en milieu naturel au Québec et au Canada. Plusieurs études ont aussi porté sur des pesticides bioaccumulables comme le DDT et ses métabolites, la dieldrine, le chlordane et le mirex. Certains de ces pesticides ont été détectés au Québec et au Canada dans les tissus de chevaliers cuivrés (de Lafontaine *et al.*, 2002), d'amphibiens (Centre Saint-Laurent, 2005a), de loutres (Harding *et al.*, 1999) et d'ours blancs (Environnement Canada, 2002b). Il est cependant à noter que ces pesticides ne sont plus homologués au Canada. De plus, la *Convention de Stockholm* entrée en vigueur en 2004 vise l'élimination ou la restriction de 12 polluants organiques persistants (POP), dont plusieurs sont des pesticides organochlorés qui ne sont plus en usage au Canada (aldrine, chlordane, DDT, dieldrine, endrine, heptachlore, hexachlorobenzène, mirex, toxaphène) (*United Nations Environment Programme*, 2004). Les pesticides utilisés de nos jours sont moins bioaccumulables que ces anciens pesticides, mais certains ingrédients comme l'atrazine, la cyanazine et le métolachlore peuvent présenter une légère propension à s'accumuler dans la chair des organismes aquatiques (Giroux *et al.*, 2006).

Impacts sur les communautés benthiques

Une étude réalisée dans le ruisseau Saint-Georges (effluent de la rivière L'Assomption) avait comme objectif d'évaluer l'impact de la pollution agricole sur les organismes benthiques et piscicoles de ce cours d'eau situé en milieu rural sans source de pollution industrielle (Richard et Giroux, 2004). Ce ruisseau a la particularité de traverser deux zones distinctes : une zone amont occupée majoritairement par l'agriculture et une zone aval dominée par la forêt. Les analyses ont démontré la présence de 17 pesticides dans le ruisseau Saint-Georges (15 herbicides, 1 insecticide et 1 fongicide). Les herbicides détectés le plus régulièrement et à des concentrations les plus élevées étaient l'atrazine, le métolachlore, le bentazone, le dicamba, le 2,4-D et le MCPA. À deux occasions les concentrations d'atrazine et de métolachlore ont dépassé leur critère pour la protection de la vie aquatique (Richard et Giroux, 2004). Selon les résultats de cette étude, en zone agricole, la faible qualité des bandes riveraines, les fortes concentrations de phosphore, les valeurs parfois élevées en coliformes fécaux et la présence de nombreux pesticides imposent un stress indéniables aux communautés benthiques. De fait, selon les auteurs, l'atrazine aux concentrations de 1 à 5 ug/l observées dans le ruisseau Saint-Georges, peut réduire la croissance des algues vertes, inhiber partiellement la photosynthèse du phytoplancton, réduire la productivité primaire, la production d'oxygène dissous et la respiration des communautés aquatiques (Richard et Giroux, 2004). Les concentrations détectées de MCPA peuvent également affecter les communautés d'algues et avoir des effets sur les gastéropodes.

En dernier lieu, cette étude indique que certains pesticides comme l'atrazine pourraient s'accumuler dans les sédiments et atteindre des concentrations non viables pour les organismes inféodés. Chez les poissons, cette étude visait aussi à noter la présence de parasites et d'anomalies externes de type DELT (déformation, érosion des nageoires, lésion et tumeur). L'occurrence élevée des anomalies de type DELT, en particulier l'érosion des nageoires, n'a été signalée que dans les sites fortement contaminés par les pesticides ou situés à proximité des zones d'application (Richard et Giroux, 2004).

Impacts sur les amphibiens

La population d'amphibiens est mondialement en déclin et plusieurs hypothèses ont été soulevées pour expliquer les causes de ce déclin. Les causes possibles sont la perte ou la dégradation des milieux humides ou encore l'influence conjuguée de multiples facteurs : changements climatiques, augmentation des rayons ultraviolets (UV), introduction d'espèces exotiques, surexploitation (alimentation humaine), pollution, etc. (Aubertot *et al.*, 2005; Centre Saint-Laurent, 2005a). Les contaminants chimiques en provenance de l'agriculture ont été proposés comme une des causes possibles de ce déclin (Davidson *et al.*, 2002). Les amphibiens, considérés comme étant particulièrement sensibles à de nombreux pesticides, peuvent être plus sujets à des stress environnementaux et à l'exposition aux toxines car une partie de leur développement se déroule dans l'eau (Société de la faune et des parcs du Québec, 2002; Aubertot *et al.*, 2005).

En 1997, une étude québécoise réalisée sur des sites exposés aux pesticides dans la vallée du Saint-Laurent a documenté l'incidence de malformations chez quatre espèces d'amphibiens. Dans cette étude, le taux de malformation atteignait 12 % en milieu agricole. Les auteurs ont émis l'hypothèse que ces malformations pourraient être attribuables à des facteurs environnementaux, dont les pesticides (Ouellet *et al.*, 1997). Une autre étude québécoise menée en milieu naturel a noté une augmentation significative de profil d'ADN anormal chez les grenouilles vertes (*Rana clamitans*) analysées dans des zones en production de maïs comparativement à des sites contrôles (Lowcock *et al.*, 1997). Les autres causes possibles soulevées expliquant ces déformations ont été les infections causées par des parasites, l'exposition aux rayons UV et l'imitation des rétinoides par les métabolites de pesticides (Bérubé *et al.*, 2005). Selon une étude de Kiesecker (2002), les pesticides pourraient avoir comme effet de diminuer la tolérance des amphibiens aux infections causées par certaines espèces de trématodes qui entraînent de la difformité (Kiesecker, 2002). D'autres études ont aussi révélé que des mélanges de pesticides agricoles ont engendré une suppression de la prolifération de lymphocytes (Christin *et al.*, 2003; Gendron *et al.*, 2003).

Une étude actuellement menée par le Centre Saint-Laurent d'Environnement Canada, vise à déterminer si les pesticides utilisés en milieu agricole dans la vallée du Saint-Laurent - plus précisément dans les îles de Boucherville et certains tributaires - affaiblissent le système immunitaire des amphibiens et, de ce fait, les rendent plus vulnérables aux agents pathogènes. Les essais ont porté sur l'exposition de la grenouille léopard à un mélange de pesticides contenant de l'atrazine, de la métribuzine, de l'aldicarbe, de la dieldrine, de l'endosulfan et du lindane. Certains de ces pesticides sont maintenant interdits au Canada, mais ils sont encore présents à l'état de traces dans l'environnement aquatique. En laboratoire, après avoir été exposées aux pesticides, les grenouilles ont été soumises à un test d'infection par un nématode parasite,

Rhabdias ranae. Les résultats de cette étude montrent que les pesticides n'affectent pas l'efficacité de pénétration du parasite par la peau de la grenouille. Cependant, chez les grenouilles exposées aux concentrations les plus élevées de pesticides, les parasites parviennent à s'établir plus rapidement et en plus grand nombre dans les poumons. Cela suggère une accélération de la migration de *Rhabdias ranae* à l'intérieur de la grenouille ainsi qu'une maturation plus rapide, ce qui pourrait augmenter la virulence de ce parasite. Ces changements s'accompagnent d'une suppression de certaines composantes de la réponse immunitaire chez les animaux qui ont été soumis à des concentrations de pesticides équivalentes à celles mesurées au cours de l'été dans de nombreux affluents du Saint-Laurent (Centre Saint-Laurent, 2005a). Cette équipe a aussi entrepris d'évaluer l'état de santé des populations naturelles de grenouilles léopards exposées aux contaminants agricoles dans les îles de Boucherville et la rivière Chibouet. Ces travaux permettront d'obtenir de l'information sur le niveau d'infection de la grenouille léopard en milieu agricole en comparaison de milieux de référence (Centre Saint-Laurent, 2005a).

Selon certaines études, la diminution du poids des ouaouarons (*Rana catesbeiana*) semble aussi être associée à la présence de pesticides dans le milieu naturel au Québec. Une étude menée dans le bassin de la rivière Yamaska (sites : Deborah Stairs, rivière Yamaska-Nord, rivière Noire, rivière à la Barbue, rivière Chibouet, rivière Pot-au-Beurre et embouchure de la Yamaska) a démontré que le poids des ouaouarons échantillonnés était plus faible dans les sites où plusieurs pesticides ont été détectés soit les sites où les activités agricoles étaient intenses (Boily *et al.*, 2005).

La possibilité que certains pesticides se comportent comme des perturbateurs endocriniens a aussi conduit divers auteurs à émettre l'hypothèse que l'exposition à ces substances pouvait être responsable d'une altération de la reproduction des amphibiens (Aubertot *et al.*, 2005). Ainsi, une étude réalisée en laboratoire a présenté des résultats indiquant que l'atrazine à des concentrations dépassant 0,1 µg/l pourrait engendrer des cas d'hermaphrodisme chez les amphibiens dû à des effets perturbateurs endocriniens (Hayes *et al.*, 2002). Ces résultats ont cependant été contredits par d'autres études et sont donc actuellement au cœur d'une controverse non résolue (Aubertot *et al.*, 2005). Selon les auteurs de l'étude, la diminution de l'abondance des populations d'amphibiens et la disparition de certaines espèces est indéniablement un phénomène multifactoriel. Les contaminants de l'environnement et notamment les pesticides jouent très certainement un rôle à différents niveaux (Aubertot *et al.*, 2005).

Impacts sur les poissons

Le chevalier cuivré (*Moxostoma hubbsi*) est un poisson exclusif au Québec et pour lequel la rivière Richelieu est le seul cours d'eau où des activités de reproduction ont été confirmées. En 1999, le chevalier cuivré a été désigné comme une espèce menacée en vertu de la Loi sur les espèces menacées ou vulnérables (L.R.Q., C. E-12.01). Plusieurs facteurs ont été avancés afin d'expliquer ce déclin (envasement, augmentation de la turbidité, eutrophisation, fragmentation de l'habitat, modification de l'écoulement, contamination par l'usage de pesticides, etc.) (Équipe de rétablissement du chevalier cuivré, 2004). Au niveau de l'impact des pesticides, Gendron et Branchaud ont posé l'hypothèse que la présence épisodique de contaminants dans l'eau, dont les pesticides, au cours des derniers stades de maturation et de libération des gamètes pourrait

contribuer aux difficultés de reproduction du chevalier cuirré (Gendron et Branchaud, 1997). Un échantillonnage des pesticides dans la rivière Richelieu réalisé en 1998 et 1999 a révélé qu'une dizaine de pesticides étaient détectés dans le cours principal de la rivière Richelieu durant la période de fraie du chevalier cuirré (Giroux, 2000).

Une étude, entreprise en mai 2003 et actuellement en cours, avait pour objectif de vérifier l'hypothèse selon laquelle les contaminants (pesticides, surfactants non ioniques) peuvent être à l'origine du retard ou de l'arrêt de la maturation des œufs et des spermatozoïdes du chevalier cuirré, affectant ainsi le succès de reproduction de l'espèce. Les échantillons d'eau prélevés hebdomadairement (deux à trois fois par semaine) aux embouchures des rivières L'Acadie et des Hurons sont destinés à l'analyse d'une quarantaine de pesticides tels que des triazines, des composés organophosphorés, des carbamates et des pyréthrinoides, ainsi qu'à l'analyse de près d'une quinzaine d'herbicides du type phénoxy (Centre Saint-Laurent, 2005b).

Une autre étude menée dans le bassin de la rivière Yamaska avait comme objectif d'examiner les effets de la présence de pesticides agricoles dans l'eau de cette rivière sur la sécrétion de cortisol, d'antioxydants et la peroxydation des lipides chez le meunier noir (*Catostomus commersoni*) (Dorval *et al.*, 2005). Les pesticides détectés aux points d'échantillonnage ont été la simazine, l'atrazine, le métolachlore, le diméthénamide, le dicamba, le mécoprop et le 2,4-D. Les résultats ont démontré que les antioxydants, la peroxydation des lipides, le cortisol et le niveau des hormones de la thyroïde ont été altérés chez les poissons vivants dans les zones de la rivière Yamaska où des pesticides étaient détectés (Dorval *et al.*, 2005).

Se basant sur les données expérimentales disponibles et sur les concentrations d'atrazine mesurées dans certaines rivières québécoises (0,02-62,0 µg/l), Giroux (2002) indique qu'une concentration de 5 µg/l d'atrazine peut diminuer le comportement de regroupement des poissons comme le carassin doré (*Carassius auratus*) (Saglio et Trijasse, 1998). Par ailleurs, des effets d'interférence olfactive chez le saumon atlantique (*Salmo salar*) à une concentration aussi faible que 0,5 µg/l d'atrazine ont aussi été observés, ce qui pourrait, par exemple, brouiller les signaux chimiques qui permettent aux poissons de s'orienter vers les frayères (Moore et Waring, 1998). Une autre étude a aussi démontré que des activités enzymatiques impliquées dans la synthèse d'hormones peuvent être sensibles à la présence de pesticides. Le métabolisme énergétique peut également être une cible des pesticides (Monod, 1998). Des études ont aussi révélé que l'atrazine peut engendrer des dommages aux reins chez les poissons comme la truite arc-en-ciel (*Oncorhynchus mykiss*) à des concentrations de 5 µg/l (Graymore *et al.*, 2001). De plus, de faibles concentrations d'atrazine peuvent aussi entraîner des changements dans les comportements de nage et les habitudes de regroupement chez des espèces comme le poisson zèbre (*Brachydanio rerio*) (Steinberg *et al.*, 1995).

Selon Aubertot *et al.* (2005), certaines études terrains ont conclu à l'existence d'un lien possible entre la présence d'un pesticide dans l'eau et des effets sur les poissons. Les pesticides énumérés dans ce rapport sont des pyréthrinoides, l'endosulfan, le chlorpyrifos, l'azinphos-méthyl, le parathion-éthyl et le fenvalérate (Aubertot *et al.*, 2005).

L'Île-du-Prince-Édouard a connu plusieurs mortalités massives de poissons dans certains de ses cours d'eau de 1994 à 2000. Les incidents se sont produits lors de fortes pluies ayant causé un ruissellement de surface et une érosion importante des sols (Department of Environment and

Energy, PEI, 1994; Department of Environment and Energy, PEI, 2000; Pêches et Océans Canada, 2000). Il a cependant été difficile de prouver que les pesticides ont eu un effet sur la mortalité des poissons. De fait, il s'est écoulé un délai important entre les forts événements de pluie, le transfert des résidus de pesticides des champs cultivés vers les cours d'eau par le ruissellement de surface et l'érosion des sols, le constat de la mortalité massive et la prise des premiers échantillons pour en établir la cause. Par contre, les échantillons prélevés dans les sédiments aux points d'entrée de l'eau de ruissellement en provenance des champs présentaient des concentrations de pesticides dépassant les valeurs CL50 applicables à la truite arc-en-ciel (Department of Environment and Energy, PEI, 1999; Department of Environment and Energy, PEI, 2000). Les résultats des investigations ont indiqué que d'autres facteurs de stress tels que le niveau d'oxygène, la turbidité de l'eau et la température ont contribué à rendre plus susceptibles les poissons à la présence de résidus de pesticides et cela, à des concentrations inférieures à celles suggérées dans la littérature. Par contre, il se révèle que les résidus de pesticides qui ont atteint le cours d'eau ont joué un rôle significatif lors de la mortalité massive des poissons (Department of Environment and Energy, PEI, 2000).

Impacts sur les oiseaux

Le recensement des oiseaux affectés par les pesticides est difficile à réaliser, car seule une faible proportion des décès est documentée. En effet, la plupart des oiseaux empoisonnés se cachent et vont mourir dans des endroits éloignés et il existe peu de surveillance et d'information dans ce domaine. Selon les scientifiques d'Environnement Canada (Environnement Canada, 2002a), plusieurs pesticides actuellement homologués pourraient provoquer une mortalité aviaire significative même lorsque les taux d'application indiqués sont respectés et que les instructions sur l'usage du produit sont rigoureusement suivies. Selon ces scientifiques, les oiseaux vivant à proximité des terres agricoles peuvent être plus sujets à des intoxications aux pesticides (Environnement Canada, 2002a). En plus des cas de mortalité, les oiseaux peuvent aussi être affectés indirectement au niveau physiologique, par exemple par un manque de coordination et une perte d'appétit, ainsi que diverses autres modifications de leur comportement. Affaiblis, ils sont plus sujets à l'hypothermie et à la prédation. Ils peuvent se révéler incapables d'attirer un partenaire, de défendre leur territoire ou d'élever leur couvée (Environnement Canada, 2002a).

Une étude menée dans des plantations d'arbres de Noël dans le sud du Québec avait comme objectif de vérifier l'effet de la pulvérisation du diméthoate, du diazinon et du savon insecticide sur la reproduction du merle d'Amérique (*Turdus migratorius*) et du bruant chanteur (*Melospiza melodia*) (Rondeau et Desgranges, 1995). Les résultats de cette étude n'ont pas démontré de cas de mortalité des oiseaux adultes suite aux traitements. Cependant, les oisillons exposés au diazinon ont connu une mortalité deux fois plus élevée (31 % chez le merle d'Amérique et 38 % chez le bruant chanteur) que chez les oisillons non exposés (14 % chez le merle d'Amérique et 21 % chez le bruant chanteur). Aucune mortalité n'a été observée dans les nichées exposées au savon insecticide. Pour ce qui est de la mortalité des nichées exposées au diméthoate, elle n'était pas significativement différente de celle des nichées non exposées. Selon cette étude, les œufs du merle d'Amérique semblaient être sensibles au diazinon et au diméthoate, particulièrement lorsque la pulvérisation a eu lieu au début du stade d'incubation. Dans le cas du bruant chanteur, l'étude a démontré que c'est en majorité les oisillons qui succombent à la suite de l'exposition au

diazinon ou lorsqu'une pulvérisation de diméthoate a été faite lorsque les œufs n'étaient pas encore éclos (Rondeau et Desgranges, 1995).

Au Royaume-Uni, le *Wildlife Incident Investigation Scheme* (WIIS) a été mis en place dans les années 60 afin de documenter les effets des pesticides sur la faune dont les oiseaux. Quelques pesticides pour lesquels des incidents ont été rapportés au Royaume-Uni entre 1998 et 2003 sont le chlorpyrifos, le diazinon, le diméthoate, le malathion, l'aldicarbe, le bendiocarbe, la carbaryl, le carbofuran, la lambda-cyhalothrine et la trifluraline (Aubertot *et al.*, 2005).

Impacts sur les mammifères

En ce moment, peu d'études ont été réalisées sur les effets sur les mammifères des pesticides actuellement homologués au Canada (Environnement Canada, 2002b).

2.2 *Impacts sur la santé*

On sait depuis plusieurs décennies que les pesticides peuvent occasionner des risques pour l'environnement, la santé des organismes vivants et la santé humaine. Depuis les années 1970, certains pesticides largement utilisés ont été interdits après qu'on eut mis en évidence leurs propriétés particulièrement dangereuses (ex. : DDT, lindane).

Les risques pour la santé humaine en cas d'exposition aiguë à des doses élevées de pesticides, par exemple lors du mélange, sont connus de longue date et ont conduit à la publication de recommandations aux utilisateurs de manière à éviter ces risques. De fait, les pesticides peuvent être absorbés par inhalation, par ingestion via l'alimentation et par contact cutané. Les effets liés à une intoxication aiguë se produisent généralement tout de suite ou peu de temps après une exposition significative à des pesticides. Les malaises généraux peuvent être légers (maux de tête, nausées, étourdissements, fatigue, perte d'appétit, irritations de la peau et des yeux) ou graves (fatigue chronique, coma, mort). Les symptômes varient selon les types de pesticides en cause.

La toxicité chronique est, quant à elle, nettement moins bien connue et beaucoup plus difficile à mettre en évidence. Elle peut être associée à une absorption de faibles quantités de pesticides présents dans différents milieux sur une longue période de temps. Elle peut provoquer différents problèmes de santé : cancers, problèmes de reproduction et de développement, affaiblissement du système immunitaire, troubles hormonaux et neurologiques.

Les enfants semblent être plus vulnérables aux pesticides que les adultes. Leur comportement et leur système en développement font en sorte qu'ils sont plus exposés et plus sensibles aux effets potentiels des pesticides, ce qui engendre un risque accru d'intoxications aiguës ou chroniques.

Études d'exposition

Peu d'études québécoises ont évalué l'exposition de la population non professionnelle aux pesticides.

Une étude réalisée en milieu urbain en 2003 a démontré que les enfants québécois étaient exposés aux pesticides. Les chercheurs ont en effet mesuré la présence d'insecticides organophosphorés et d'herbicides chlorophénoxy, dans l'urine d'enfants vivant hors de milieux agricoles. L'étude visait à connaître l'exposition des enfants québécois, à comparer leur situation avec celles d'enfants d'autres pays industrialisés et finalement à juger du niveau de risque de ces expositions. Les résultats ont démontré que 4,8 % des échantillons d'urine provenant d'enfants dont les parents avaient appliqué des herbicides chlorophénoxy sur leur terrain contenaient des niveaux détectables de ces herbicides. Pour ce qui est des insecticides organophosphorés, les métabolites alkylphosphates ont été détectés dans 98,7 % des 442 échantillons d'urine analysés pour ces insecticides (Valcke *et al.*, 2004).

Une autre étude québécoise réalisée en 1996 avait comme objectif de vérifier si des insecticides organophosphorés (azinphos-méthyl et phosmet) pulvérisés dans les vergers étaient absorbés par les travailleurs de ces lieux et de déterminer si les résidus décelés dans l'air et au sol à l'extérieur des vergers pouvaient être absorbés par les personnes vivant au pourtour des vergers traités. Les résultats ont démontré une augmentation des concentrations moyennes des alkylphosphates dans

l'urine des travailleurs le jour suivant la pulvérisation des insecticides organophosphorés. Ainsi selon cette étude, les travailleurs des vergers peuvent absorber une quantité significative d'insecticides organophosphorés durant leur travail et ce même en utilisant des vêtements et des équipements de protection individuelle. De même, l'augmentation des concentrations d'alkylphosphates le jour suivant la pulvérisation, chez les enfants qui résident près des vergers, suggère une absorption d'insecticides attribuable à l'application dans les vergers. L'étude a aussi montré que les enfants des pomiculteurs ont absorbé six fois plus d'insecticides que les autres enfants qui résidaient près des vergers. Cependant, l'analyse de l'impact potentiel des quantités absorbées sur la santé des individus des deux groupes (travailleurs et enfants) a indiqué qu'aucun d'entre eux n'a accumulé une charge corporelle suffisante pour induire un effet dommageable pour la santé en comparaison du NOAEL (*non observable adverse effect level*). Toutefois, les données recueillies lors de cette étude ne s'appliquaient qu'à certains insecticides organophosphorés et les effets potentiels à long terme de l'exposition à différents pesticides chimiques demeurent mal connus (Belleville *et al.*, 1998).

Plusieurs autres études ont été réalisées en milieu professionnel.

∃ Samuel et Lefebvre (1994a, 1996a) ont effectué deux études d'exposition de travailleurs aux insecticides organophosphorés et carbamates en milieu serricole. Ces études ont démontré que ces travailleurs pouvaient être exposés de façon significative mais que des correctifs simples en ce qui concerne les pratiques de travail permettaient de diminuer considérablement les niveaux d'exposition.

∃ Samuel *et al.* (1999) ont effectué une étude d'exposition en milieu maraîcher afin de valider une approche de détermination de délai de réentrée. Cette étude démontre que lorsque les travailleurs respectent des délais de réentrée déterminés à partir des caractéristiques de toxicité des produits, les niveaux d'exposition des travailleurs qui effectuent des tâches aux champs sont très faibles. Une seconde phase de ce projet a permis de proposer des délais de réentrée pour tous les pesticides homologués en agriculture maraîchère (Samuel et Saint-Laurent, 2001).

∃ Une nouvelle étude d'exposition en milieu serricole a aussi été réalisée par la même équipe (Samuel *et al.* 2002). Encore une fois, les résultats ont démontré que les niveaux d'exposition étaient faibles lorsque les pratiques sécuritaires normalement recommandées étaient respectées. Une étude récente de Bouchard *et al.* (2006) a aussi démontré de faibles niveaux d'exposition aux insecticides organophosphorés chez des travailleurs horticoles en serre.

∃ C'est dans le secteur forestier qu'on retrouve le plus de données sur l'exposition des travailleurs aux pesticides. Le Centre de toxicologie a effectué plusieurs études d'exposition tant en pépinière forestière qu'en forêt [Samuel *et al.* (1996b, c, d et e, 1994b, c et d, 1992, 1991a et b); Samuel, 1988; Weber *et al.*, 1989]. La plupart de ces études ont démontré de faibles niveaux d'exposition lorsque les travailleurs respectaient les recommandations en matière de pratiques sécuritaires de travail. Ces études ont aussi démontré l'efficacité des mesures de prévention généralement recommandées pour les tâches d'application de pesticides.

∃ Finalement, Lafortune et Panisset (1988) ont observé que seulement 42 à 60 % des exploitants agricoles manipulaient les pesticides de façon sécuritaire et que 60 % des cultivateurs interrogés avaient déjà ressenti des malaises qu'ils associaient à la manipulation de pesticides.

Malgré les faibles niveaux d'exposition généralement rapportés, plusieurs incertitudes demeurent au sujet des effets à long terme des pesticides sur la santé humaine. Par exemple, les effets perturbateurs endocriniens sont une source importante d'inquiétudes. Selon l'*Endocrine Disrupter Resource Center* (EDRC) des États-Unis, il ne suffirait que de concentrations infimes (ppb ou ug/l) dans l'organisme humain pour que certains pesticides aient des effets sur le système endocrinien. Ces pesticides pourraient être responsables de certains cas de cancer du sein, de la prostate et des testicules, de l'endométriose, d'un développement sexuel anormal, d'une réduction de la fertilité mâle, de dommages aux glandes thyroïdes et pituitaires, de dérèglement du système immunitaire et de problèmes d'apprentissage et de comportement. Selon le Comité permanent de l'environnement et du développement durable du Canada, les pesticides dont on suspecte un potentiel de perturbateurs endocriniens et qui sont autorisés pour utilisation en agriculture au Canada sont le 2,4-D, l'amitrole, l'atrazine, le carbaryl, le dicofol, l'endosulfan, le malathion, le mancozèbe, le manèbe, le méthomyl, le méthoxychlore, le métirame, la métribuzine, la trifluraline, la vinclozoline, le zinèbe et le ziram et les pyréthrénoïdes comme la cyperméthrine et la perméthrine (Comité permanent de l'environnement et du développement durable, 2000). Face à ces incertitudes, il est important de réduire les quantités utilisées et les possibilités d'exposition à ces pesticides.

D'autres études ont aussi porté sur certains pesticides maintenant retirés du marché canadien en raison de leur propriétés de bioaccumulation. Des pesticides ayant des caractéristiques physicochimiques particulières, comme la persistance et la liposolubilité élevée font en sorte que ces produits s'accumulent dans les tissus. En guise d'exemple, des études ont démontré que le lindane, un polluant organique persistant (POP), contamine les animaux de l'Arctique et se retrouve dans le lait maternel des Inuites en raison de leur mode d'alimentation traditionnel (Commission de la coopération environnementale, 2003). La présence de ces pesticides dans le lait maternel peut causer aux bébés plusieurs problèmes de santé, par exemple une plus grande susceptibilité à développer des otites à répétition. Il semble en effet que ces enfants aient un système immunitaire plus faible, ce qui peut entraîner des complications médicales (DeWailly *et al.*, 2000). L'Arctique est devenu une zone d'accumulation de polluants toxiques, issus des régions chaudes et tempérées du globe. Ces polluants sont transportés dans l'atmosphère pour ensuite se déposer dans les régions froides (Commission de la coopération environnementale, 2003). Des actions pour contrer ces phénomènes ont été entreprises et les homologations canadiennes du lindane sont périmées depuis la fin de 2004.

CHAPITRE 3 PRÉSENCE DE PESTICIDES DANS L'ENVIRONNEMENT

3.1 Québec

Une fois dispersés dans l'environnement, les pesticides peuvent se retrouver dans divers milieux comme l'eau, l'air et le sol, qui constituent autant de voies d'exposition à ces produits pour les humains et les organismes de divers écosystèmes. Il est donc important de retracer la présence de pesticides dans ces milieux afin de connaître l'état de la situation et de pouvoir, au besoin, poser des actions pour atténuer les risques. Des études ont été réalisées à cette fin sur le territoire québécois.

Concernant l'eau de surface, le MDDEP a réalisé des études portant sur le suivi de différents pesticides dans certaines rivières à proximité de zones d'exploitation agricole. En ce qui a trait à l'eau souterraine, il a procédé à l'échantillonnage de certains puits situés dans des zones de production agricole.

Depuis juin 2001, le suivi trimestriel de 25 pesticides dans l'eau potable fait également partie des exigences du Règlement sur la qualité de l'eau potable du MDDEP pour les réseaux desservant plus de 5 000 personnes. Comme plusieurs rivières situées en zone agricole servent de source d'approvisionnement en eau potable pour des municipalités, on a également fait des suivis de la qualité de l'eau brute et de l'eau potable afin de mesurer les concentrations de différents pesticides susceptibles de s'y retrouver.

Le MDDEP a aussi réalisé quelques études pour déterminer la présence des pesticides dans l'air, ainsi qu'au sol.

Les pesticides peuvent aussi être détectés dans les produits alimentaires. La Direction des laboratoires d'expertises et d'analyses alimentaires, qui relève du MAPAQ, est responsable de l'analyse des résidus de pesticides dans les fruits et les légumes au Québec.

3.1.1 Eau de surface

Chaque année depuis 1992, le MDDEP échantillonne l'eau de certaines rivières afin d'y analyser la présence de certains pesticides. Une trentaine de rivières ont ainsi été examinées depuis le début du programme. On retrouve des stations permanentes d'échantillonnage sur quatre rivières situées dans des régions productrices de maïs et de soya – Chibouet (bassin de la rivière Yamaska), des Hurons (bassin de la rivière Richelieu), Saint-Régis (affluent direct du fleuve) et Saint-Zéphirin (bassin de la rivière Nicolet) – comme le montre la figure 2. Des portraits ont aussi été réalisés sur d'autres rivières dans des régions productrices de maïs, de soya, de cultures maraîchères, de céréales et de vergers de pommes (Giroux, 1998 a et b; Giroux, 2002; Giroux, 2004; Giroux *et al.*, 2006).

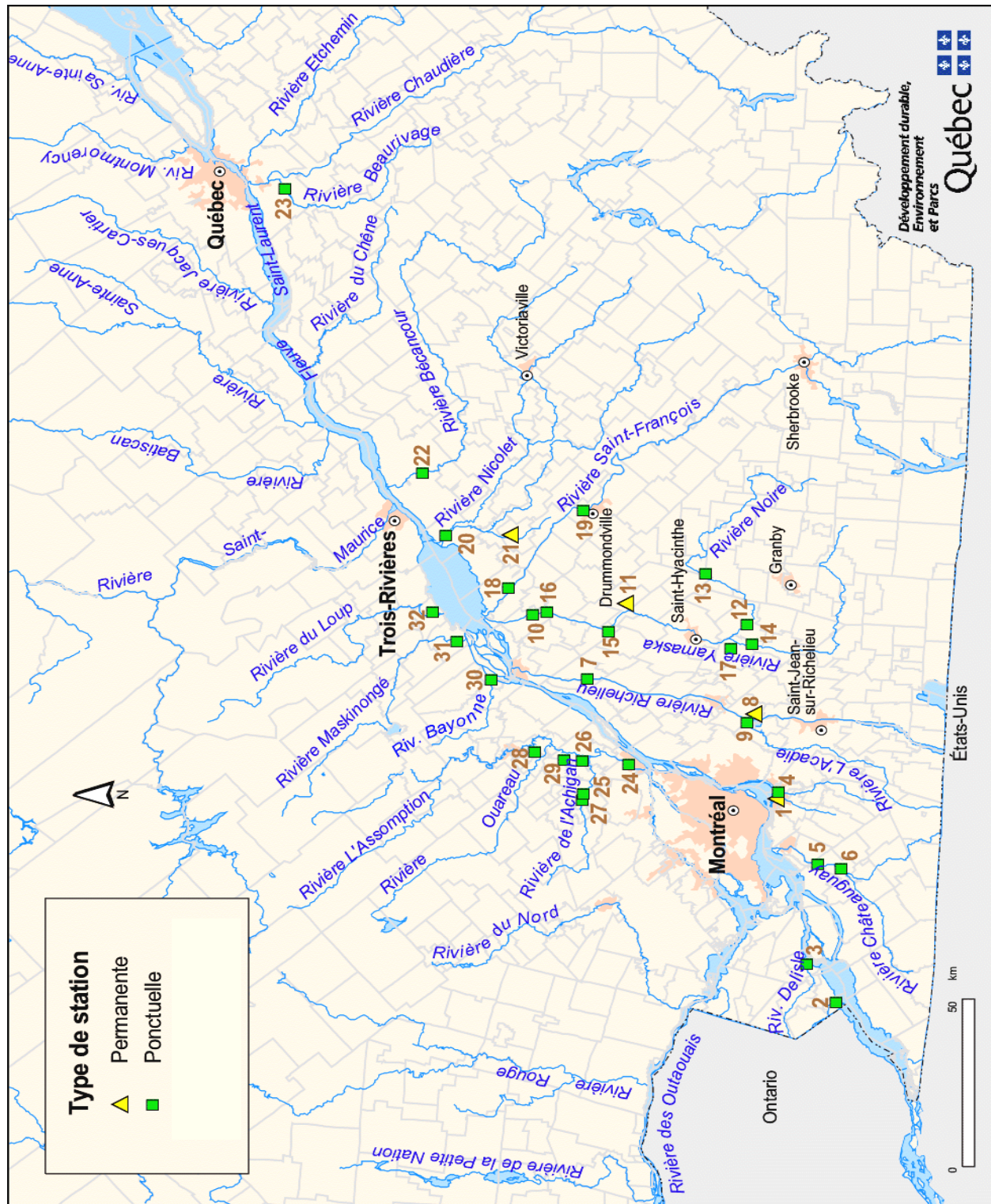


Figure 2 : Stations d'échantillonnage de rivière au Québec

Source : Giroux *et al.*, 2006.

Parmi les ingrédients actifs analysés depuis 1992, une quarantaine ont déjà été détectés dans l'eau de surface à des niveaux variables selon les années (Giroux, 1998 a et b; Giroux, 2002; Giroux, 2004; Giroux *et al.*, 2006). Le tableau 3 présente la fréquence moyenne de détection des ingrédients actifs des herbicides au cours des campagnes d'échantillonnage de l'eau de surface de 1992 à 2004 au Québec (stations permanentes). Le tableau 4 présente la gamme des concentrations des ingrédients actifs herbicides détectés au cours des campagnes d'échantillonnage de l'eau de surface de 1992 à 2004 au Québec (stations permanentes) et la comparaison aux critères et normes. Le tableau 5 donne la fréquence moyenne de détection des ingrédients actifs des insecticides et des fongicides au cours des campagnes d'échantillonnage de l'eau de surface 1992 à 2004 au Québec (stations permanentes), tandis que le tableau 6 présente la gamme des concentrations des ingrédients actifs des insecticides et des fongicides qui ont été détectés au cours des campagnes d'échantillonnage de l'eau de surface de 1992 à 2004 au Québec (stations permanentes) et la comparaison aux critères et normes.

Selon les compilations effectuées pour réaliser le *Bilan des ventes de pesticides* de l'année 2001, cette quarantaine d'ingrédients actifs représentait environ 62 % des quantités totales de pesticides (herbicides, fongicides et insecticides) vendus en agriculture durant cette période. Même si ces résultats ne donnent pas un portrait complet de la situation, on peut néanmoins observer que les pesticides retrouvés dans les eaux de surface au Québec sont comparables à ceux retrouvés dans d'autres campagnes d'échantillonnage réalisées notamment aux États-Unis (Martin *et al.*, 2003; Gilliom *et al.*, 2006).

Lorsqu'on détecte un ingrédient actif de pesticide dans l'eau, on compare sa concentration à différents critères de qualité ou normes réglementaires, par exemple le critère pour la protection de la vie aquatique, la norme pour l'eau potable et le critère de qualité de l'eau pour l'irrigation.

Critère pour la protection de la vie aquatique (toxicité aquatique chronique)

Le critère pour la protection de la vie aquatique est la concentration maximale d'un produit à laquelle les organismes aquatiques peuvent être exposés pendant toute leur vie sans subir d'effets néfastes. De légers écarts épisodiques au-dessus du critère ne causent pas nécessairement d'effets néfastes sur les espèces aquatiques, mais si des valeurs au-dessus du critère sont maintenues pendant plus de quatre jours ou si les valeurs sont largement au-dessus du critère, il peut alors y avoir des effets néfastes pour les organismes aquatiques (Giroux *et al.*, 2004).

Normes pour l'eau potable

La norme pour l'eau potable est basée sur une consommation à vie et représente la concentration en deçà de laquelle une substance peut se trouver dans l'eau potable sans entraîner d'effets néfastes sur la santé (Giroux *et al.*, 2006).

Critère de qualité de l'eau pour l'irrigation

L'utilisation d'une eau pour l'irrigation des cultures qui dépasse le critère de qualité de l'eau pour l'irrigation peut causer des problèmes de phytotoxicité lorsque l'eau est utilisée pour l'irrigation des cultures sensibles pour lesquelles ces pesticides ne sont pas homologués (Giroux *et al.*, 2006).

Tableau 3 : Fréquence moyenne de détection des ingrédients actifs herbicides au cours des campagnes d'échantillonnage de l'eau de surface de 1992 à 2004 au Québec (stations permanentes)

Herbicides (i.a.)	Fréquence moyenne de détection (%)												
	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
<i>Atrazine</i>	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	98,7
<i>Métolachlore</i>	83,8	92,5	100	100	99,3	100	100	100	100	99,4	98,7	100	99,3
<i>Imazéthapyr</i>	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	63,7	12,9	86,5 ¹
<i>Bentazone</i>	NA	NA	NA	NA	NA	83,7	97,7	92,4	90,2	88,3	81,2	73,7	85
<i>Dicamba</i>	NA	92,9	58,7	46,9	88,2	93,7	89,6	76,5	95,1	77,3	81,8	90,4	85
<i>Glyphosate</i>	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	37,8	30,4	39,5	84,6 ¹
<i>Flumetsulam</i>	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	27,4	3,2	67,6 ¹
<i>Nicosulfuron</i>	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	26,6	13,5	56,7 ¹
<i>2,4-D</i>	NA	54,8	65,3	57,2	68,9	77,5	91,9	81,3	72,7	68,1	50,9	39,1	52,5
<i>Diméthénamide</i>	NA	NA	NA	NA	57,7	78,7	65,7	57,2	58,2	59,9	58,5	50,6	52,2
<i>Mécoprop</i>	NA	76,2	29,7	26,9	49,7	46,9	52,5	32,5	42,2	60,9	31,5	37,8	43,1
<i>MCPA</i>	NA	35,7	25,6	32,4	41	49,4	39,9	29,6	38	40,8	38,2	30,8	43,7
<i>Clopyralide</i>	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	28,6	64,6	51,4	32,7	26,3	31,9
<i>Bromoxynil</i>	NA	NA	NA	NA	NA	30	26,7	14,1	29	20,1	17	5,8	11,9
<i>Simazine</i>	67,6	62,5	78,7	58	67	51,6	6,1	21,6	22,8	14,7	35,3	11,5	10,1
<i>EPTC</i>	13,5	27,5	22	17,5	26	19,3	22,4	24,4	21	32,7	7,3	8,3	5,7
<i>Cyanazine</i> ²	67,6	91,7	68,8	39,2	32,9	40	8,4	6,2	5,8	18,6	8,5	4,5	5,0
<i>Métribuzine</i>	0	3,3	4,3	9,1	22,3	14,2	14,7	2,8	3,5	1,7	1,2	3,8	4,4
<i>Rimsulfuron</i>	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	11,3	1,3	2,7 ¹
<i>2,4-DB</i>	NA	2,4	4,1	3,4	7,4	8,1	10,1	2,9	6,8	6,1	3	0,6	1,9
<i>2,4-DP</i>	NA	2,4	0	2,8	7,4	15,6	2,1	0	1,8	0	1,8	1,9	1,2
<i>MCPB</i>	NA	0	0,8	1,4	3,1	2,5	1,1	1,7	1,2	1,1	0	0	1,2
<i>Diuron</i>	0	1,7	7,1	2,1	2,5	0,6	0,6	0,6	1,2	0,6	0	0	0,6
<i>Butilate</i> ³	2,7	4,2	2,8	1,4	9,3	4,5	0	0	0	2,8	0	0	0
<i>Linuron</i>	0	10	11,3	8,4	16,1	3,8	1,7	0	0	3,4	0,6	1,3	0

NA : Non analysé. ¹ Analyse effectuée pour une seule station. ² Ce produit n'est plus homologué depuis décembre 2004. ³ Ce produit n'est plus homologué depuis mars 2003. Adapté de : Giroux *et al.*, 2006.

Tableau 4 : Gamme des concentrations des ingrédients actifs herbicides détectés au cours des campagnes d'échantillonnage de l'eau de surface de 1992 à 2004 au Québec (stations permanentes) et comparaison aux critères et normes

Herbicides (i.a.)	Gamme des concentrations détectées 1992-2004 (ug/l)	Critère pour la protection de la vie aquatique (ug/l)	Norme pour l'eau potable (ug/l)	Critère de qualité de l'eau pour l'irrigation (ug/l)
<i>Atrazine</i>	0,02 – 62,0 ¹	2,0	5,0	10,0
<i>Métolachlore</i>	0,01 – 41,0	8,0	50,0	28,0
<i>Imazéthapyr</i>	0,01 – 0,84	-- ²	--	--
<i>Bentazone</i>	0,03 – 49,0	510,0	--	--
<i>Dicamba</i>	0,03 – 6,6	10,0	120,0	0,006
<i>Glyphosate</i>	0,04 – 1,6	65,0	280,0	--
<i>Flumetsulam</i>	0,02 – 0,43	--	--	--
<i>Nicosulfuron</i>	0,01 – 0,56	--	--	--
<i>2,4-D</i>	0,02 – 4,1	47,0	100,0	--
<i>Diméthénamide</i>	0,02 – 130,0	5,6	--	--
<i>Mécoprop</i>	0,01 – 2,1	13,0	--	--
<i>MCPA</i>	0,01 – 7,0	2,6	--	0,025
<i>Clopyralide</i>	0,03 – 2,3	--	--	--
<i>Bromoxynil</i>	0,02 – 0,7	5,0	5,0	0,33
<i>Simazine</i>	0,01 – 3,73	10,0	10,0	0,5
<i>EPTC</i>	0,03 – 69,0	39,0	--	--
<i>Cyanazine</i>	0,03 – 11,0	2,0	10,0	0,5
<i>Métribuzine</i>	0,02 – 2,7	1,0	80,0	0,5
<i>Rimsulfuron</i>	0,01 – 0,26	--	--	--
<i>2,4-DB</i>	0,02 – 0,71	25,0	--	--
<i>2,4-DP</i>	0,02 – 0,37	--	--	--
<i>MCPB</i>	0,01 – 10,0	7,3	--	--
<i>Diuron</i>	0,25 – 0,9	1,6	150,0	--
<i>Butilate</i>	0,03 - 0,65	77,0	--	--
<i>Linuron</i>	0,04 - 4,5	7	--	0,071

¹ Le gras signifie qu'un des critères ou normes à été dépassé. ² -- Signifie pas de données.

Adapté de : Giroux *et al.*, 2006.

Les tableaux 3 et 4 montrent que parmi les herbicides analysés et détectés dans les rivières, certains (comme l'atrazine et le métolachlore) sont présents dans près de 100 % des échantillons prélevés et ce depuis 1992. Les concentrations d'atrazine dans l'eau sont cependant à la baisse par rapport à 1992, probablement en raison de l'adoption de bonnes pratiques mais aussi de la substitution de l'atrazine par d'autres produits et de la réduction des doses autorisées d'atrazine depuis ce temps (Giroux *et al.*, 2006).

Au cours des dernières années, de nouveaux herbicides ont été détectés dans l'eau des rivières. Des herbicides de la nouvelle génération, applicables à raison de quelques grammes à l'hectare, comme l'imazéthapyr, les herbicides de type sulfonilurés tels le nicosulfuron et le rimsulfuron, les triazoles comme le flumetsulam, ainsi que le clopyralide ont fait leur apparition dans l'eau des rivières du Québec. Le glyphosate, dont le suivi a débuté en 2001, utilisé en particulier pour les cultures génétiquement modifiées, est aussi présent dans l'eau des rivières (Giroux *et al.*, 2006). Les herbicides demeurent les pesticides les plus régulièrement détectés dans l'eau (Giroux *et al.*, 2006) indiquent qu'on observe une grande diversité de pesticides dans les échantillons d'eau et que pendant les mois de juin et de juillet, il y a parfois jusqu'à 20 pesticides présents dans un même échantillon (Giroux *et al.*, 2006).

Malgré la présence de multiples herbicides dans l'eau, peu d'entre eux ont déjà dépassé leur critère pour de protection de la vie aquatique. Cependant, comme le montre le tableau 4, entre 1992 et 2004, il est arrivé que l'atrazine, le métolachlore, le diméthénamide, le MCPA, l'EPTC, la cyanazine, la métribuzine et le MCPB dépassent à l'occasion leur critère. Pour ce qui est de l'atrazine, selon les rivières et les années de 1992 à 2004, on retrouve de 5,7 % à 43,2 % des échantillons qui dépassent ce critère. La concentration d'atrazine dans nos cours d'eau, lors de ces dépassements, suffirait, selon la documentation scientifique, à faire apparaître certains effets comme la réduction de la croissance des algues, du contenu en chlorophylle et de la photosynthèse du phytoplancton (algues microscopiques en suspension dans l'eau), la diminution de l'abondance du zooplancton herbivore, la diminution de l'abondance de certaines plantes aquatiques et des effets sur certains grands processus de l'écosystème aquatique comme la production d'oxygène dans l'eau. De tels phénomènes peuvent se répercuter sur l'ensemble de la chaîne alimentaire (Giroux, 2002). De plus, selon Giroux *et al.* (2006) l'atrazine serait parfois présent dans l'eau en concentration assez élevée et pour une durée suffisamment longue pour s'attendre à une légère accumulation dans la chair des organismes aquatiques (Giroux *et al.*, 2006).

En ce qui concerne la norme pour l'eau potable (tableau 4), il est arrivé à l'occasion que l'atrazine dépasse la limite fixée (Giroux *et al.*, 2006).

Quant aux critères de qualité de l'eau pour l'irrigation (tableau 4), entre 1992 et 2004 l'atrazine, le métolachlore, le dicamba, le MCPA, le bromoxynil, la simazine, la cyanazine et la métribuzine ont dépassé occasionnellement la limite fixée. Une telle situation peut entraîner des problèmes de phytotoxicité sur des cultures sensibles pour lesquelles ces herbicides ne sont pas homologués.

Tableau 5 : Fréquence moyenne de détection des ingrédients actifs des insecticides et des fongicides au cours des campagnes d'échantillonnage de l'eau de surface de 1992 à 2004 au Québec (stations permanentes)

Insecticides (i.a.)	Fréquence moyenne de détection (%)												
	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
<i>Carbaryl</i>	0	0	12,8	9,8	12,4	8,4	6,4	8,5	10,9	4,5	11	14,7	16,3
<i>Diméthoate</i>	8,1	7,5	12,1	12,6	14,3	5,8	3,9	10,2	6,2	7,3	1,2	3,8	13,2
<i>Diazinon</i>	0	0	4,3	6,3	8,1	3,2	4,8	15,9	4,8	17,5	4,9	3,2	8,2
<i>Chlorpyrifos</i>	0	0	0	5,6	5	5,8	1,6	7,9	2,4	1,1	11,6	10,9	3,8
<i>Carbofuran</i>	0	3,3	15,6	15,4	15,5	9	12,2	2,8	1,8	4,5	1,8	3,2	2,5
<i>Malathion</i>	0	1,7	2,8	3,5	1,8	1,3	2,1	5,7	2,4	1,7	7,3	3,8	0,6
<i>Azinphos-méthyl</i>	0	0,8	4,3	1,4	4,3	0	1,7	1,1	0	0	0	0	0,6
<i>Bendiocarbe</i>	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0	0	0	0,6
<i>Phosalone</i>	0	0	0,7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Chlorfenvinphos</i> ¹	0	0	0	0	0,6	0	0	0	0	0	0	0	0
Fongicides (i.a.)													
<i>Chlorothalonil</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0,6	0,6	0	0	0,6
<i>Myclobutanil</i>	NA	NA	NA	0,7	8,7	1,3	2,8	1,7	0	1,7	1,8	3,8	0,6

¹ Ce produit n'est plus homologué depuis 2000. NA : non analysé.

Adapté de : Giroux *et al.*, 2006.

Tableau 6 : Gamme des concentrations des ingrédients actifs des insecticides et des fongicides détectés au cours des campagnes d'échantillonnage de l'eau de surface de 1992 à 2004 au Québec (stations permanentes) et comparaison aux critères et normes

Insecticides (i.a.)	Gamme des concentrations détectées 1992-2004 (ug/l)	Critère pour la protection de la vie aquatique (ug/l)	Norme pour l'eau potable (ug/l)	Critère de qualité de l'eau pour l'irrigation (ug/l)
<i>Carbaryl</i>	0,03 – 1,1 ¹	0,2	90,0	-- ²
<i>Diméthoate</i>	0,04 – 8,5	6,2	20,0	--
<i>Diazinon</i>	0,03 – 1,8	0,002	20,0	--
<i>Chlorpyrifos</i>	0,02 – 1,5	0,0035	90,0	--
<i>Carbofuran</i>	0,06 – 2,7	1,75	90,0	--
<i>Malathion</i>	0,02 – 1,5	0,1	190,0	--
<i>Azinphos-méthyl</i>	0,22 – 3,1	0,005	20,0	--
<i>Bendiocarbe</i>	0,01 – 0,2	--	40,0	--
<i>Chlorfenvinphos</i>	0,06 - 0,07	--	--	--
<i>Phosalone</i>	0,03	--	--	--
Fongicides (i.a.)				
<i>Chlorothalonil</i>	0,06 – 0,11	0,18	--	5,8
<i>Myclobutanil</i>	0,02 – 0,13	11	--	--

¹ Le gras signifie qu'une des normes a été dépassée. ² - - Signifie pas de données.

Adapté de : Giroux *et al.*, 2006.

Comme présenté dans les tableaux 5 et 6, certains insecticides et fongicides ont aussi été détectés dans l'eau échantillonnée. Pour ce qui est des insecticides, certains ont été détectés à des concentrations qui ne respectent pas leur critère pour la protection de la vie aquatique. De 1992 à 2004, les insecticides qui ont dépassé à l'occasion leur critère pour la protection de la vie aquatique sont la carbaryl, le diméthoate, le diazinon, le chlorpyrifos, le carbofuran, le malathion et l'azinphos-méthyl (Giroux *et al.*, 2006). Il est à noter que le critère pour la protection de la vie aquatique de certains insecticides est parfois sous le seuil de détection (ex. : diazinon et chlorpyrifos). Cela signifie qu'un pesticide peut avoir un effet dans le milieu, même si les méthodes actuelles ne permettent pas de le détecter. De plus, peu de suivis ont été réalisés dans les zones de production fruitière et légumière, où une gamme variée d'insecticides est utilisée. Les fongicides chlorothalonil et myclobutanil ont aussi été détectés sporadiquement, mais sans jamais dépasser leurs critères (Giroux *et al.*, 2006).

Autres campagnes d'échantillonnage

Au cours des autres campagnes d'échantillonnages effectuées afin de réaliser des portraits de la situation, d'autres ingrédients actifs ont aussi été détectés.

Production pomicole

Pour la période de 1994 à 1996, on a dressé le portrait de certaines zones de production de pommes. Les pesticides qui ont été détectés étaient des herbicides (atrazine, simazine, métolachlore et métribuzine), des insecticides (carbaryl, azinphos-méthyl, diméthoate, phosmet, chlorpyrifos, cyperméthrine, phosalone, diazinon et perméthrine) et des fongicides (captane et myclobutanil). Certains des pesticides détectés proviennent d'une utilisation dans d'autres cultures que celle de la pomme. Les pesticides utilisés en pomiculture qui dépassaient à l'occasion leur critère pour la protection de la vie aquatique sont l'azinphos-méthyl, le carbaryl, le diazinon, le phosmet, la cyperméthrine et le captane (Giroux, 1998 a; Giroux *et al.*, 2004).

Production de légumes

Le portrait de certaines zones de production de légumes en 1996 et 1997, révèle les faits suivants : les pesticides détectés étaient des herbicides (atrazine, métolachlore, dicamba, bentazone, MCPA, 2,4-D, mécoprop, bromoxynil, diuron, cyanazine, diméthénamide, EPTC, métribuzine, linuron, simazine, 2,4-DB, MCPB, trifluraline et butilate), des insecticides (carbofuran, carbaryl, chlorpyrifos, azinphos-méthyl, diméthoate, diazinon, chlorfenvinphos, cyperméthrine, phosmet, pirimicarbe et fonofos) et le fongicide captane. Les pesticides utilisés dans les cultures maraîchères et ayant déjà dépassé leur critère pour la protection de la vie aquatique sont l'atrazine, le métolachlore, le diuron, l'azinphos-méthyl, le carbofuran, le carbaryl, le diazinon et le chlorpyrifos (Giroux, 1998 b; Giroux *et al.*, 2004).

En résumé, le tableau 7 présente une liste d'ingrédients actifs qui ont déjà dépassé leur critère pour la protection de la vie aquatique dans au moins une rivière au Québec entre 1992 et 2004.

Tableau 7: Ingrédients actifs ayant déjà dépassé leur critère pour la protection de la vie aquatique dans au moins une rivière au Québec de 1992 à 2004

Herbicides	Atrazine, cyanazine, diméthénamide, diuron, EPTC, MCPA, MCPB, métolachlore et métribuzine.
Insecticides	Azinphos-méthyl, carbaryl, carbofuran, chlorpyrifos, cyperméthrine, diazinon, diméthoate, malathion et phosmet.
Fongicides	Captane.

Source : Giroux, 1998 a et b; Giroux, 2002; Giroux *et al.*, 2004; Giroux *et al.*, 2006.

Suivis dans le fleuve Saint-Laurent

Dans le cadre du programme Saint-Laurent vision 2000, phase 3, un échantillonnage a été réalisé dans le fleuve Saint-Laurent. Les stations d'échantillonnage étaient situées à l'île Wolfe à la sortie du lac Ontario, ainsi qu'à Québec comme présenté à la figure 3.

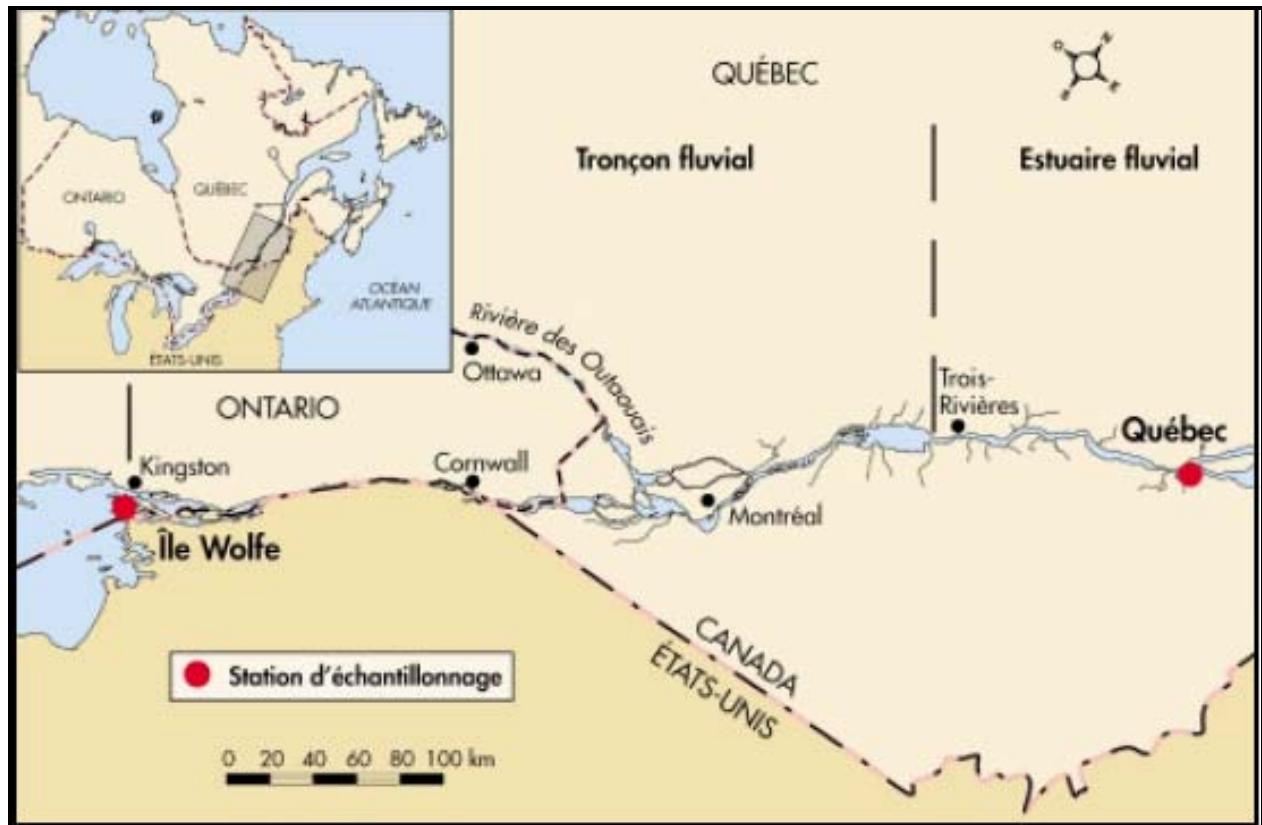


Figure 3 : Stations de suivi de la qualité de l'eau pour les pesticides dans le fleuve Saint-Laurent

Source : Rondeau, 2002.

Le tableau 8 présente les concentrations de quelques ingrédients actifs des herbicides détectés dans l'eau du fleuve Saint-Laurent aux stations de l'île Wolfe et de Québec.

Tableau 8 : Concentrations de quelques ingrédients actifs d'herbicides dans l'eau du fleuve Saint-Laurent aux stations de l'île Wolfe et de Québec

Herbicides (i.a.)	Concentrations moyennes (ng/l) Île Wolfe (2003-2004)	Concentrations moyennes (ng/l) Québec (2003-2004)
Atrazine	53	41
Métolachlore	18	13
Simazine	-	9

Source : Rondeau, 2005.

Selon Rondeau et tel que présenté dans le tableau 8, les Grands lacs contribuent à l'apport des pesticides dans le fleuve. En règle générale, les concentrations mesurées à la station de Québec sont comparables à celles qu'on trouve à la sortie des Grands Lacs (Rondeau, 2005). Cependant, au cours de l'été, des concentrations plus élevées d'atrazine sont détectées à la station de Québec, comme le montre la figure 4. Selon Rondeau, ces pics de concentrations à la station de Québec seraient attribuables à l'épandage de pesticides sur les cultures situées dans les basses terres du Saint-Laurent (Rondeau, 2005).

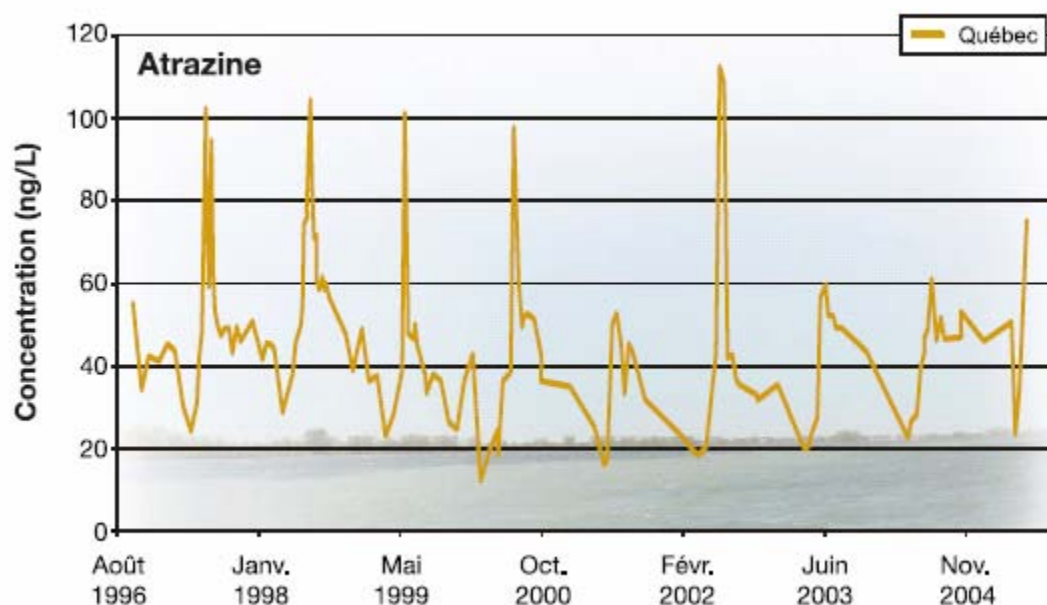


Figure 4 : Variations saisonnières des concentrations en atrazine de l'eau du fleuve à Québec de 1996 à 2004

Source : Rondeau, 2005.

3.1.2 Eau souterraine

Pour l'eau souterraine, tel que présenté au tableau 9, des échantillonnages des puits individuels ont été réalisés dans des zones en culture de pomme de terre, de maïs, de cultures maraîchères, de vergers et de bleuetières.

Tableau 9 : Campagnes d'échantillonnage de l'eau souterraine au Québec

Culture	Années	Source
Pomme de terre	1991-1993 1999-2001	Giroux, 1995 Giroux, 2003
Maïs	1994-1995 2005	Giroux <i>et al.</i> , 1997 Giroux et Lamontagne, 2006
Cultures maraîchères	2005	Giroux et Lamontagne, 2006
Vergers	1994-1996 2005	Giroux, 1998 a Giroux et Lamontagne, 2006
Bleuetières	2002	Giroux <i>et al.</i> , 2003

Ces suivis révèlent qu'une vingtaine d'ingrédients actifs de pesticides ont déjà été détectés dans l'eau souterraine à au moins une occasion tel que présenté au tableau 10 (Giroux, 1995; Giroux *et al.*, 1997; Giroux, 1998 a; Giroux, 2003; Giroux *et al.*, 2003; Giroux et Lamontagne, 2006).

Tableau 10 : Concentrations d'ingrédients actifs dans l'eau souterraine au Québec

Herbicides (i.a.)	Gamme valeurs détectées (ug/l)	% puits avec présence	Norme pour l'eau potable (ug/l)	Critère pour l'irrigation (ug/l)
<i>Atrazine et ses métabolites</i>	0,04 - 2,0	14 % ⁸	5,0	10,0
<i>Cyanazine</i>	0,08	2 % ⁸	10,0	--
<i>Diméthénamide</i>	0,02-0,2	5 % ⁹	--	--
<i>Diuron</i>	0,1-0,47	1,2 % ¹⁰	150,0	--
<i>EPTC</i>	0,29	1,2 % ¹⁰	--	--
<i>Hexazinone</i>	0,01 - 6,7	40 % ¹¹	200 ou 400 (EPA)	--
<i>Linuron</i>	0,1- 1,1	1,5 % ⁹	--	0,071
<i>Métolachlore</i>	0,02 - 2,6	7 % ⁸	50,0	28,0
<i>Métribuzine</i>	0,03 - 2,6	33 % ¹⁰	80,0	0,5
<i>Simazine</i>	0,01 - 0,18	26 % ⁸	10,0	0,5
Insecticides (i.a.)				
<i>Aldicarbe et ses métabolites</i>	0,03 - 61,0	34 % ¹²	9,0	--
<i>Azinphos-méthyl</i>	0,04 - 5,8	14 % ⁸	20,0	--
<i>Carbaryl</i>	0,015 - 0,09	7 % ⁸	90,0	--
<i>Carbofuran</i>	0,1 - 1,8	12,5 % ¹²	90,0	--
<i>Chlorpyrifos</i>	0,02-0,09	9,5 % ⁹	90,0	--
<i>Diazinon</i>	0,06	1 % ¹⁰	20,0	--
<i>Diméthoate</i>	0,07	2 % ⁸	20,0	--
<i>Imidaclopride</i>	0,001 - 6,4	35 % ¹⁰	--	--
<i>Malathion</i>	0,06	2 % ⁸	190,0	--
<i>Phosalone</i>	0,15	1,2 % ¹⁰	--	--
<i>Phosmet</i>	0,08	2 % ⁸	--	--
Fongicides (i.a.)				
<i>Captane</i>	0,05 - 0,9	14 % ⁸	--	--
<i>Chlorothalonil</i>	0,02-0,19	12 % ¹⁰	3,18-100 (États-Unis)	5,8
<i>Myclobutanil</i>	0,02 - 0,25	10 % ⁸	--	--

⁸ Giroux, 1998 a,⁹ Giroux et Lamontagne, 2006¹⁰ Giroux, 2003¹¹ Giroux *et al.*, 2003¹² Giroux, 1995

En 2002, le MDDEP a échantillonné 25 prises d'eau potable situées à proximité des bleuetières du Saguenay-Lac-Saint-Jean. Parmi celles-ci, 16 étaient des prises d'eau municipales ou de réseaux privés et neuf, des prises d'eau individuelles. Parmi ces prises d'eau, 19 s'alimentaient en eau souterraine. Les résultats, présentés au tableau 10, démontrent que 40 % des prises d'eau échantillonnées contenaient de l'hexazinone. Les concentrations variaient de non détectables à 6,7 µg/l. Comme ce produit n'a pas de norme pour l'eau potable au Canada, ces valeurs peuvent être comparées à une valeur de référence américaine de 400 µg/l au regard de la présence de ce produit dans l'eau potable (Giroux *et al.*, 2003). Il existe également un *health advisory* établi à 200 µg/l (USEPA, 1989). Dans tous les cas, les valeurs maximales obtenues sont donc en-deça des valeurs de référence.

À proximité des cultures de pommes de terre, parmi les 79 puits échantillonnés de 1999 à 2001, 49 % indiquaient la présence de pesticides (Giroux 2003). Tel que présenté dans le tableau 10, l'insecticide imidaclopride et l'herbicide métribuzine utilisés pour la culture de la pomme de terre, on été les principaux pesticides détectés. Les autres produits détectés peuvent provenir de cultures autres que celle de la pomme de terre. De 20 à 40 % des puits échantillonnés indiquaient la présence de plusieurs pesticides en même temps dans l'eau (de 2 à 4). En général, les concentrations mesurées de ces produits étaient inférieures à 1 µg/l. Pour le moment, il n'y a pas de norme pour l'imidaclopride au Canada, mais pour tous les autres pesticides détectés les concentrations mesurées respectaient les normes ou valeurs de référence relatives à l'eau potable (Giroux, 2003).

Dans les campagnes d'échantillonnage réalisées dans les vergers de 1994 à 1996, 42 puits individuels généralement situés à moins de 50 mètres de vergers ont été échantillonnés. La plupart étaient des puits de pomiculteurs. Parmi les puits échantillonnés, 17 ont montré la présence de pesticides dont six où plusieurs pesticides (2 à 5) reliés aux vergers étaient présents en même temps dans l'eau. Tel que présenté dans le tableau 10, le pesticide le plus souvent détecté était l'herbicide simazine, mais les insecticides azinphos-méthyl, carbaryl, diméthoate, phosmet et phosalone de même que les fongicides captane et myclobutanil ont aussi été détectés. Les concentrations mesurées de tous ces produits sont en deça des seuils établis par Santé Canada pour la qualité de l'eau potable, du moins pour les produits pour lesquels il existe une norme pour l'eau potable (Giroux, 1998a). Un nouveau portrait dans les vergers a été réalisé en 2005, mais les résultats ne sont pas encore publiés.

Dans les régions en maïs, en 1994 et 1995 parallèlement à son programme de suivi des pesticides dans les cours d'eau, le MDDEP a vérifié la présence de pesticides de type triazines (ex. : atrazine, cyanazine, simazine) dans l'eau souterraine des régions de culture de maïs. L'eau de plusieurs puits individuels situés à proximité de champs de maïs a été échantillonnée. Dans 13 des 73 puits échantillonnés (18 %), des triazines ont été détectées (Giroux *et al.*, 1997). Un nouveau portrait dans le maïs a été réalisé en 2005, mais les résultats ne sont pas encore publiés (Giroux et Lamontagne, 2006). Un portrait a aussi été réalisé dans les cultures maraîchères en 2005, mais les résultats ne sont pas encore publiés (Giroux et Lamontagne, 2006).

Lors des campagnes d'échantillonnages de l'eau souterraine, rares sont les pesticides qui ne respectent pas leur norme pour l'eau potable. Cependant, comme le montre le tableau 10, l'aldicarbe en 1991 a dépassé la limite fixée, mais ce pesticide est maintenant retiré du marché depuis 1996 (Giroux, 1995). Pour ce qui est de la qualité de l'eau pour l'irrigation, la métribuzine et le linuron dépassaient à l'occasion la limite fixée (Giroux, 2003; Giroux et Lamontagne, 2006).

3.1.3 Source d'approvisionnement en eau potable

En 2000, le MDDEP a mené une étude pour le suivi de 37 pesticides ou métabolites de pesticides dans le cadre du Programme de surveillance de la qualité de l'eau potable. Ce suivi a été effectué dans l'eau brute (eau puisée dans le milieu) et dans l'eau traitée de six stations de production d'eau potable qui s'approvisionnent en eau de surface dans certaines rivières exposées à des pesticides et dans une station s'approvisionnant en eau souterraine. L'objectif de cette étude était d'évaluer la présence de pesticides dans des sources d'approvisionnement dites à risque et d'évaluer l'efficacité du traitement utilisé pour réduire les concentrations dans l'eau potable qui est distribuée à la population. Comme l'indique le *Bilan de la qualité de l'eau potable 1995-2002* (Ministère de l'Environnement, 2003), neuf des 37 composés recherchés ont été retrouvés dans l'eau brute, alors que seulement trois ont été retrouvés dans l'eau potable, en concentrations généralement moindres, comme présenté dans les tableaux 11 et 12. Les composés les plus fréquemment détectés dans l'eau brute ont été, par ordre décroissant : l'atrazine et son métabolite dééthyl-atrazine, le métolachlore et le diméthénamide. Dans l'eau traitée, les concentrations d'atrazine et de son métabolite se sont avérées au moins quatre fois inférieures à leur norme pour l'eau potable de 5 ug/l, alors que les concentrations mesurées de métolachlore ont été plus de 100 fois inférieures à leur norme de 50 ug/l.

Tableau 11 : Résultats du suivi des ingrédients actifs des pesticides ayant été mesurés dans l'eau brute de sept réseaux municipaux à risque au Québec (été 2000)

Eau brute					
	Prises d'eau avec détection	Échantillons avec détection (Échantillons totaux : 55)	Gamme des concentrations détectées (ug/l)	Norme pour l'eau potable (ug/l)	Limite de détection (µg/l)
Atrazine	6	39	0,02 - 0,79	5,0	0,02
Métolachlore	6	41	0,02 - 1,1	50,0	0,02
Dééthyl-atrazine (métabolite de l'atrazine)	3	7	0,04 - 0,08	5,0	0,03
Diméthénamide	4	5	0,03 - 0,12	--	0,03
EPTC	2	5	0,02 - 0,09	--	0,02
Simazine	1	2	0,03	10,0	0,02
Métribuzine	1	1	0,04	80,0	0,02
Linuron	1	1	0,41	--	0,06
Cyanazine	1	1	0,1	10,0	0,03

Adapté de : Ministère de l'Environnement, 2003.

Tableau 12: Résultat du suivi des ingrédients actifs des pesticides ayant été mesurés dans l'eau traitée de sept réseaux municipaux à risque au Québec (été 2000)

Eau traitée					
	Prises d'eau avec détection	Échantillons avec détection (Échantillons totaux :55)	Gamme des concentrations détectées (ug/l)	Norme pour l'eau potable (ug/l)	Limite de détection (µg/l)
Atrazine	6	29	0,02 - 1,0	5,0	0,02
Métolachlore	5	23	0,02 - 0,52	50,0	0,02
Dééthyl-atrazine (métabolite de l'atrazine)	3	12	0,03-0,08	5,0	0,03

Adapté de : Ministère de l'Environnement, 2003.

En 2001, le Règlement sur la qualité de l'eau potable, a été adopté par le gouvernement du Québec. Ce règlement édicte des normes de qualité de l'eau potable à l'endroit de pesticides comme présenté dans le tableau 13. Ces normes sont similaires à celles figurant aux *Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada* (Santé Canada, 2002). Plusieurs normes faisaient par ailleurs déjà partie du Règlement sur l'eau potable, en vigueur de 1984 à juin 2001. Ce règlement sur la qualité de l'eau potable oblige les exploitants de réseaux qui desservent plus de 5 000 personnes à réaliser, quatre fois par année, le suivi de 25 pesticides dans l'eau qu'ils distribuent. Environ 177 réseaux de distribution, desservant de l'eau potable à plus de 5,4 millions de personnes, sont donc visés par cette exigence (Ministère de l'Environnement, 2003). S'il s'aperçoit qu'il ne respecte pas une norme, l'exploitant du réseau est tenu d'informer immédiatement le MDDEP et le directeur de santé publique des mesures qu'il entend prendre pour remédier à la situation et, le cas échéant, protéger tout utilisateur des risques encourus. De plus, lorsque tout exploitant d'un réseau suspecte la non-conformité des eaux distribuées en regard des normes établies, il est tenu de prendre les mesures adéquates afin d'en vérifier la qualité.

Tableau 13 : Normes édictés au Règlement sur la qualité de l'eau potable à l'égard des concentrations des ingrédients actifs des pesticides dans l'eau potable

Pesticides (i.a.)	Norme pour l'eau potable (µg/l)	Pesticides (i.a.)	Norme pour l'eau potable (µg/l)
Aldicarbe et ses métabolites	9,0	Dinosèbe	10,0
Aldrine et dieldrine	0,7	Diquat*	70,0
Atrazine et ses métabolites*	5,0	Diuron*	150,0
Azinphos-méthyl*	20,0	Glyphosate*	280,0
Bendiocarbe	40,0	Malathion*	190,0
Bromoxynil*	5,0	Méthoxychlore*	900,0
Carbaryl*	90,0	Métolachlore*	50,0
Carbofuran*	90,0	Métribuzine*	80,0
Chlorpyrifos*	90,0	Paraquat (en dichlorures)*	10,0
Cyanazine*	10,0	Parathion*	50,0
Diazinon*	20,0	Phorate*	2,0
Dicamba*	120,0	Piclorame*	190,0
2,4-D*	100,0	Simazine*	10,0
Diclofop-méthyle	9,0	Terbufos*	1,0
Diméthoate*	20,0	Trifluraline*	45,0

* Ingrédient actif pesticide devant être analysé dans les réseaux de distribution de l'eau potable selon le Règlement sur la qualité de l'eau potable.

Pour la période 2001 à 2004, 213 réseaux municipaux ont effectué un contrôle trimestriel des 25 pesticides dans l'eau qu'ils distribuent (Giroux *et al.*, 2006). La localisation de ces réseaux est présentée à la figure 5.

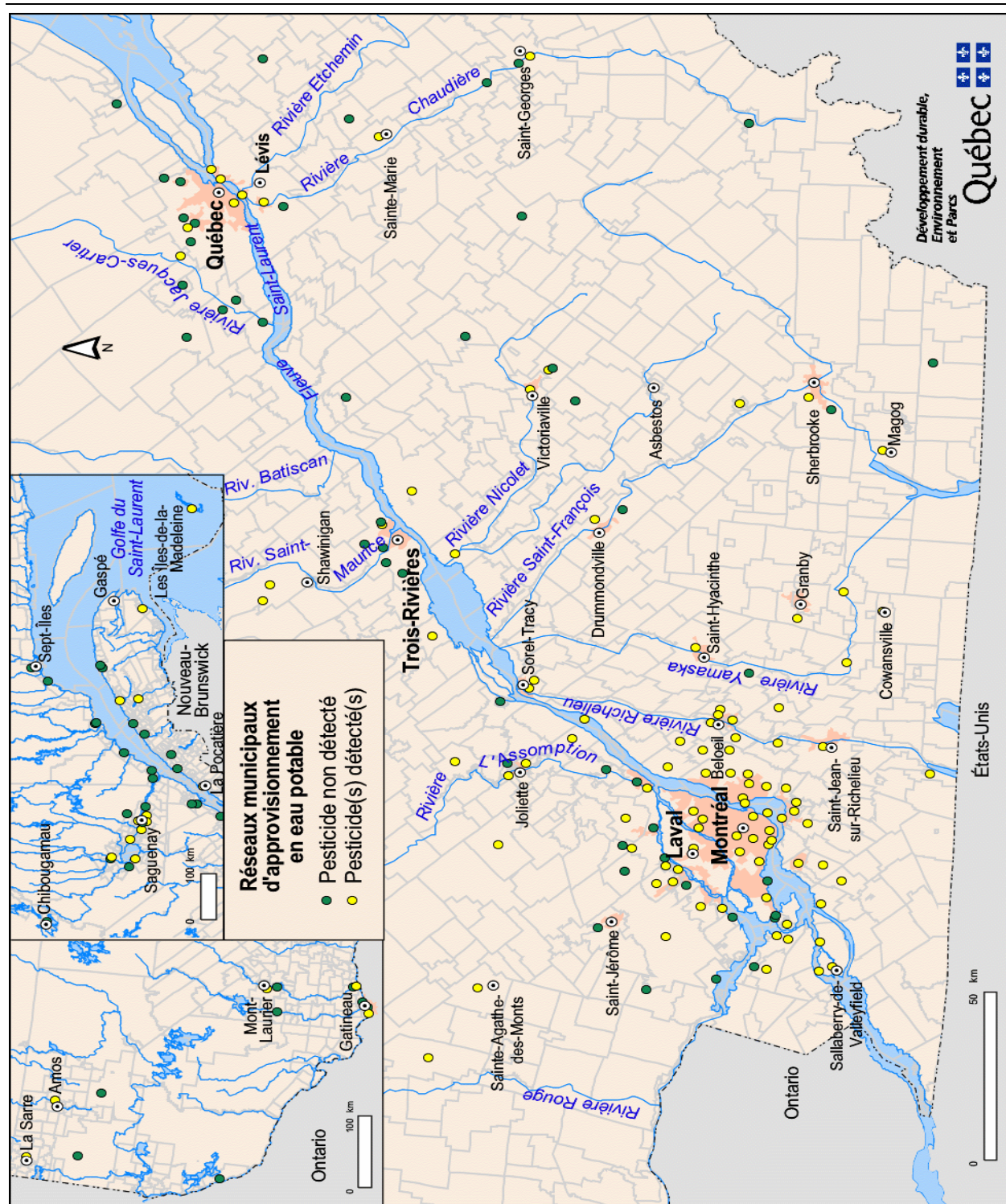


Figure 5 : Réseaux municipaux de distribution d'eau potable où au moins un pesticide a été détecté

Source : Giroux *et al.*, 2006.

Les résultats obtenus depuis l'entrée en vigueur en 2001 du *Règlement sur la qualité de l'eau potable*, présentés au tableau 14, indiquent la détection de pesticides dans l'eau potable de 54 % des 213 réseaux municipaux de distribution d'eau potable échantillonnés (Giroux *et al.*, 2006). Les concentrations mesurées de pesticides sont cependant toujours en deçà des normes pour l'eau potable, tout comme les résultats qui avaient été obtenus en 2000 (Giroux *et al.*, 2006).

Tableau 14 : Ingrédients actifs des pesticides détectés dans les réseaux de distribution d'eau potable de 2001 à 2004

	Nombre de réseaux avec détection	Fréquence de détection (%)	Norme pour l'eau potable (ug/l)	Concentration maximale mesurée (ug/l)
Herbicides (i.a.)				
Atrazine	77	36,1	5	0,9
Métolachlore	49	23	50	0,45
2,4-D	45	21,1	100	0,75
Dicamba	12	5,6	120	0,29
Simazine	5	2,3	10	0,17
Diquat	3	1,4	70	1
Paraquat	3	1,4	10	0,6
Métribuzine	2	0,5	80	0,02
Diuron	2	0,5	150	0,6
Glyphosate	1	<0,5	280	0,8
Piclorame	1	<0,5	190	1
Insecticides (i.a.)				
Chlorpyrifos	4	1,9	90	0,16
Diazinon	3	1,4	20	0,06
Parathion	3	1,4	50	0,16
Carbaryl	1	<0,5	90	0,05
Carbofuran	1	<0,5	90	0,2

Source : Giroux *et al.*, 2006.

3.1.4 Air et sol

Même lorsque les directives sur l'étiquette sont soigneusement suivies, une portion des pesticides persiste sur les lieux traités et peut également être entraînée vers les zones avoisinantes. Par exemple, la dérive aérienne lors de l'application des pesticides représente un problème réel. Les résidus de pesticides qui se déposent hors cible se retrouvent dans les écosystèmes attenants et les zones habitées à proximité. La quantité de résidus qui se déposera hors cible dépend de plusieurs facteurs. Certains paramètres ont plus d'influence sur la dérive, tel que le type d'équipement utilisé.

Au Québec, le phénomène d'étalement urbain a entraîné la construction de résidences de plus en plus près des zones agricoles. En Montérégie, où l'on trouve près de 70 % de la surface totale des pommeraies du Québec, on estime à plus de 800 le nombre de résidences situées à moins de 30 mètres de vergers commerciaux. En 1995, Nature-Action/Beloeil/Mont-St-Hilaire, demandait au ministère de l'Environnement d'évaluer les risques pour la santé liés à l'utilisation des pesticides pour les vergers situés en bordure des résidences. L'objectif de l'étude était de vérifier si des insecticides organophosphorés pulvérisés étaient absorbés par les travailleurs des vergers et leurs proches et si les résidus décelés dans l'air et au sol à l'extérieur des vergers pouvaient être absorbés par les personnes qui vivent au pourtour des vergers. Cette étude a mené à la création d'un comité de concertation composé des spécialistes du MENV, du MAPAQ, du MSSS, d'Agriculture et Agroalimentaire Canada, ainsi que des représentants de Nature-Action Beloeil/Mont-Saint-Hilaire, Nature-Action Québec, de la Fédération des producteurs de pommes du Québec, de l'UPA et des municipalités touchées par l'étude (Comité de suivi du Plan d'action triennal en vergers de pommiers, 2003).

Quant à la présence de pesticides dans l'air et au sol, les résultats obtenus démontrent que, lors de la pulvérisation terrestre, certains résidus de pesticides (azinphos-méthyl, phosmet, méthidathion, captane et myclobutanil) étaient transportés hors des zones visées. Les concentrations d'insecticides organophosphorés au sol étaient plus élevées pour les terrains adjacents situés dans le sens du vent, mais étaient aussi détectés sur des terrains qui étaient dans le sens contraire du vent par rapport au verger traité. Le jour de la pulvérisation, les personnes vivants dans le voisinage immédiat (moins de 30 mètres) des vergers étaient donc exposées aux résidus de pesticides en provenance de leur dérive (Bisson *et al.*, 1998). L'analyse de l'impact potentiel des quantités absorbées sur la santé des individus ciblés indiquait cependant, d'après les connaissances disponibles à ce sujet, qu'aucun d'entre eux n'avait accumulé une dose suffisante pour induire un effet dommageable pour la santé (Comité de suivi du Plan d'action triennal en vergers de pommiers, 2003).

3.1.5 Produits alimentaires

L'analyse des résidus de pesticides dans les fruits et les légumes frais du Québec est réalisée par la Direction des laboratoires d'expertises et d'analyses alimentaires du MAPAQ. Ainsi, l'inspection des produits alimentaires se fait en vertu du Règlement sur les aliments à l'article 3.1.5 - Substance prohibée : « Ne doit être présente dans ou sur un produit, ni entrer dans sa composition ou servir à sa préparation, aucune substance dont la présence, l'addition ou l'utilisation est prohibée sous le régime d'une loi du Québec ou en l'absence de telle prohibition, est alors prohibée sous le régime de la Loi des aliments et drogues, de la Loi sur l'inspection des viandes ou de la Loi relative aux aliments du bétail. » Le taux de conformité des produits analysés en 2004 et 2005 est de l'ordre de 97 % pour l'ensemble des cultures ciblées.

Au niveau fédéral, l'Agence canadienne d'inspection des aliments est responsable de l'échantillonnage des pesticides dans les aliments. Les échantillons sont prélevés au hasard afin d'analyser les résidus de pesticides. En 2004-2005, près de 22 % des produits frais analysés par l'ACIA présentaient des traces de pesticides. Cependant, dans les produits d'origine canadienne, pour moins de 1 % des cas (0,65 %), les doses dépassaient les limites acceptées par le gouvernement fédéral (ACIA, 2006).

3.2 Amérique du Nord

La présence des pesticides dans l'eau de surface et souterraine n'est pas une situation unique au Québec. Cette section présentera certains résultats de suivis de la présence des pesticides Amérique du Nord, puis en Europe.

Eau de surface

La contamination de l'eau de surface par les pesticides a également été démontrée dans l'eau des autres provinces canadiennes. Le Québec est une des rares provinces à avoir un programme d'échantillonnage à long terme pour le contrôle de la qualité de l'eau (Coote et Gregorich, 2000). Les autres provinces canadiennes ont cependant réalisé certaines campagnes d'échantillonnage de pesticides dans l'eau de surface.

Provinces canadiennes

De 1995 à 1996, la Colombie-Britannique a mené des études de pertes de pesticides par écoulement de surface en combinaison avec des épandages de fumier. Ces études ont démontré la présence d'atrazine et de métolachlore. Les concentrations moyennes d'atrazine détectées dépassaient les critères pour la protection de la vie aquatique (Coote et Gregorich, 2000). En 2003, un échantillonnage a été réalisé dans la vallée du bas Fraser en Colombie-Britannique afin d'identifier les pesticides présents dans l'eau de cette vallée. Les résultats ont démontré qu'il y avait plusieurs pesticides présents dans les échantillons d'eau. Les pesticides détectés à des niveaux les plus élevés ont été le diazinon, l'atrazine, le linuron, le métolachlore, le méthoprène et la simazine. Les concentrations de pesticides détectés étaient variables en fonction des sites échantillonnés, mais les concentrations les plus élevées ont été détectées sur les sites en milieu agricole (Tuominen *et al.*, 2005).

Dans les provinces des Prairies, des études ont démontré la présence de pesticides dans les eaux de drainage, dans les ruisseaux, les rivières, les lacs et les terres humides. En 1999, des études ont démontré que certains pesticides dépassaient les critères pour la protection de la vie aquatique. Une autre étude réalisée entre 1994 et 1996 en Saskatchewan a démontré la présence de dicamba, de MCPA et de diclofop à des concentrations supérieures aux critères pour la protection de la vie aquatique. Les concentrations maximales de ces pesticides dépassaient aussi les critères pour l'irrigation (Coote et Gregorich, 2000). Une étude menée en Alberta entre 1992 et 1996 a démontré la présence de pesticides dans 44 % des échantillons prélevés dans les cours d'eau et dans 51 % de ceux prélevés dans les lacs. Le MCPA et le dicamba dépassaient à l'occasion le critère pour l'irrigation (Coote et Gregorich, 2000). Une autre étude portant sur 27 rivières en Alberta a démontré la présence de triallate, de MCPA, de 2,4-D, d'imazamethabenz, de trifluraline et de dicamba (Government of Alberta, 2001).

Plusieurs études ont aussi été réalisées en Ontario. Une étude menée en 1998 sur des affluents du lac Érié a permis de détecter de l'atrazine, du métolachlore et du dicamba, mais à des niveaux inférieurs aux critères pour la protection de la vie aquatique. Entre 1991 et 1994, des études spécifiques à la culture du maïs ont démontré que l'atrazine était présente dans pratiquement tous les échantillons d'eau, mais à des niveaux ne dépassant pas les critères pour la protection de la

vie aquatique. Au niveau des insecticides, de 1996 à 1997, des échantillonnages ont été réalisés dans des cours d'eau en région productrice de fruits. Les insecticides régulièrement détectés ont été l'azinphos-méthyl, le diazinon, le chlorpyrifos et l'endosulfan. Les concentrations de ces insecticides dépassaient régulièrement les critères pour la protection de la vie aquatique (Coote et Gregorich, 2000).

Dans les provinces de l'Atlantique, une étude a démontré la présence d'atrazine dans l'eau de surface à des concentrations fluctuant entre 0,01 et 0,34 ug/l (Coote et Gregorich, 2000). De plus, des résultats du programme de surveillance de 1996 à 1999 à l'Île-du-Prince-Édouard ont démontré que 75 % des échantillons prélevés contenaient un ou plusieurs pesticides. Les pesticides détectés ont été le métalaxyl, la métribuzine, l'atrazine, le carbofuran, l'endosulfan et le chlorothalonil. Ce dernier était présent à des concentrations supérieures à leur Fresh Water Aquatic Life Guideline (FWALG) (Pêches et Océan Canada, 2000). L'Île-du-Prince-Édouard a connu des épisodes de mortalité massive de poisson dans certains cours d'eau et les échantillons prélevés sur les lieux de mortalité massive en 1999 ont démontré la présence d'azinphos-méthyl à des concentrations égales à la valeur CL50 applicable à la truite-arc-en-ciel. Deux autres pesticides ont aussi été détectés dans ces lieux soit le chlorothalonil et l'endosulfan à des concentrations supérieures au FWALG (Pêches et Océan Canada, 2000).

Comme on peut le constater, tout comme au Québec certains pesticides (atrazine, azinphos-méthyl, carbofuran, chlorothalonil, chlorpyrifos, diazinon, dicamba, 2,4-D, linuron, MCPA, métolachlore, métribuzine, simazine, trifluraline) ont été détectés dans les cours d'eau des diverses provinces canadiennes. Les pesticides les plus fréquemment détectés correspondent aux productions dominantes des régions. L'atrazine et le métolachlore sont plus problématiques dans les provinces du centre en raison des superficies importantes de maïs. Dans les prairies où les céréales dominent, les pesticides les plus fréquemment détectés sont le 2,4-D, le dicamba et le MCPA.

États-Unis

Aux États-Unis, le *National Water Quality Assessment Program* (NAWQA) a vérifié la présence de 75 pesticides et huit produits de dégradation dans les eaux de surface des principaux cours d'eau de 1992 à 2001. Les suivis de l'eau de surface ont porté sur 186 sites (83 agricoles) dans des rivières situées dans 51 bassins versants. Ces 75 pesticides représentent aux États-Unis environ 78 % des pesticides utilisés en terme de quantité en agriculture.

Dans les régions agricoles, les rivières échantillonnées contenaient des pesticides dans 97 % des échantillons. Les pesticides les plus fréquemment détectés étaient ceux qui étaient les plus utilisés sur le territoire et qui avaient une plus grande mobilité et persistance. Les herbicides ont été les produits les plus détectés dans les rivières. Ceux les plus couramment détectés à des concentrations supérieures à 0,1 ug/l étaient l'atrazine et l'un de ses métabolites le dééthyl-atrazine, le métolachlore, la cyanazine, le 2,4-D et la simazine. Les insecticides les plus souvent détectés étaient le diazinon, le chlorpyrifos, le carbofuran, le carbaryl et le malathion. Les pesticides détectés ont dépassé les critères pour la protection de l'eau potable dans 9,6 % des échantillons en provenance de zones agricoles. Les critères pour la protection de la vie aquatique ont quant à eux été dépassés dans 57 % des échantillons en provenance de zones agricoles (Martin *et al.*, 2003; Gilliom *et al.*, 2006). Les échantillons en provenance de rivières agricoles contenaient régulièrement un mélange de multiples pesticides. Plus de 90 % du temps, les échantillons contenaient au moins deux pesticides ou produits de dégradation différents et environ 20 % du temps, plus de dix pesticides étaient présents dans un même échantillon (Gilliom *et al.*, 2006). Les types de pesticides et leurs concentrations dans les divers bassins versants agricoles ont été variables en fonction de la distribution géographique des échantillons et de l'intensité de leur utilisation sur le territoire, ainsi qu'en fonction du climat, des caractéristiques des sols et des pratiques de gestion de l'eau. Les concentrations les plus élevées en atrazine ont été observées dans des bassins versants du « Corn Belt » et dans d'autres régions où le maïs est une culture importante (Gilliom *et al.*, 2006).

Le tableau 15 présente la gamme des concentrations des ingrédients actifs pesticides le plus fréquemment détectés dans les échantillons d'eau de surface prélevés aux États-Unis de 1992 à 2001.

Tableau 15: Gamme des concentrations et fréquence de détection des ingrédients actifs des pesticides détectés le plus fréquemment dans les échantillons d'eau de surface prélevés aux États-Unis de 1992 à 2001

	Etats-Unis	
Pesticides (i.a.)	Gamme des concentrations détectées dans le cadre du NAWQA dans des zones agricoles de 1992 à 2001 (ug/l)	Fréquence détection (1992-2001) (%)
<i>Atrazine*</i>	0,007 - 201,0	90,4
<i>Métolachlore*</i>	0,013 - 77,6	82,7
<i>Simazine*</i>	0,011 - 5,76	56,6
<i>Prométon</i>	0,018 - 0,250	42,7
<i>Cyanazine*</i>	0,018 - 160,0	40,4
<i>Alachlore</i>	0,005 – 10,9	37,3
<i>Acétochlore</i>	0,006 – 25,1	31,4
<i>Tébutiuron</i>	0,016 - 0,950	19,6
<i>Métribuzine*</i>	0,006 – 6,61	18,4
<i>Bentazone*</i>	0,05 – 8,6	17,4
<i>2,4-D*</i>	0,16 - 15,0	15,4
<i>EPTC*</i>	0,002 -7,3	14,1
<i>Trifluraline</i>	0,009 – 0,17	13,3
<i>Diazinon*</i>	0,005 - 2,5	13,2
<i>Diuron*</i>	0,12 - 14,0	13,0
<i>Dacthal</i>	0,003 – 40,0	11,5
<i>Chlorpyrifos*</i>	0,005 - 0,26	11,4
<i>Molinate</i>	0,004 - 200	10,7
<i>Carbofuran*</i>	0,02 – 7,0	9,6
<i>Carbaryl*</i>	0,041 - 5,20	9,2

* Ingrédient actif pesticide ayant aussi été détecté au Québec.

Adapté de : Martin *et al.*, 2003; Gilliom *et al.*, 2006.

Comme on peut le constater dans le tableau 15, aux États-Unis, tout comme au Québec, l'atrazine et le métolachlore sont les pesticides les plus fréquemment détectés dans les cours d'eau. Les fréquences de détection de ces molécules sont similaires aux États-Unis et au Québec, mais les concentrations maximales détectées aux États-Unis sont plus élevées.

Pour les autres pesticides ayant été détectés dans plus de 10 % des échantillons au Québec et aux États-Unis on retrouve le bentazone, le 2,4-D, la simazine, la cyanazine et l'EPTC. Parmi les pesticides détectés aux États-Unis et au Québec, les concentrations maximales détectées étaient la plupart du temps plus élevées aux États-Unis, mais certains pesticides avaient des concentrations maximales détectées plus élevées au Québec (bentazone, dicamba, clopyralide, MCPA, EPTC, linuron, chlorpyrifos et MCPB).

Pour ce qui est des nouveaux pesticides qui n'ont pas été analysés dans le cadre du NAWQA, tel que présenté par Giroux *et al.* (2006), une étude qui a porté sur les cours d'eau et l'eau souterraine du Midwest américain a démontré la présence d'herbicides de nouvelle génération (imazéthapyr, flumetsulam, nicosulfuron) tout comme dans les plus récents résultats de suivis au Québec (Battaglin *et al.*, 2002; Giroux *et al.*, 2006).

Eau souterraine

Divers pesticides ont déjà été détectés dans les eaux souterraines des différentes provinces canadiennes. Selon Coote et Gregorich (2000), les pesticides les plus couramment détectés étaient des produits d'usage courant, qui se dégradent plutôt lentement, se solubilisent dans l'eau et sont peu retenus par le sol et la matière organique (Coote et Gregorich, 2000).

Provinces canadiennes

En Colombie-Britannique, dans les zones où l'atrazine est utilisée intensivement, cet ingrédient actif est un des pesticides les plus fréquemment détecté dans l'eau souterraine (Liebscher *et al.*, 1992). En 1998, Environnement Canada a mené une enquête sur les eaux souterraines d'un certain nombre de sites de la vallée du bas Fraser. Peu de pesticides ont été détectés dans les eaux souterraines, cependant de l'endosulfan a été détecté sur plusieurs sites perturbés mais sur aucun des sites de référence (Hii *et al.*, 2004).

Dans les provinces des prairies, une campagne d'échantillonnage de l'eau souterraine réalisée en Alberta de 1994 à 1996 portant sur 448 puits profonds et 376 puits de surface, a révélé la présence de pesticides dans certains puits. Les pesticides parfois détectés dans les puits profonds étaient le dicamba et le bromoxynil, tandis que dans les puits de surface, du dicamba, du 2,4-D, du bromoxynil, du triallate et de la trifluraline étaient parfois détectés. Une étude a aussi été réalisée en 1991 sur l'herbicide hexazinone. Les résultats ont démontré que ce pesticide était présent dans environ 27 % des échantillons d'eau souterraine. Des analyses de pesticides ont aussi été réalisées en 1995 et 1996 dans des puits à haut risque en Saskatchewan. Les résultats ont démontré la présence de dicamba, de 2,4-D et de MCPA (Coote et Gregorich, 2000).

En Ontario, la plupart des pesticides détectés dans l'eau souterraine semblent être associés à la pratique de certaines cultures, particulièrement celle du maïs et de la pomme de terre. En Ontario, l'atrazine est l'herbicide que l'on décèle le plus souvent dans l'eau souterraine, aux côtés de la simazine, de la métribuzine, de la cyanazine, du métolachlore, du dicamba, du 2,4-D et du mécoprop (Coote et Gregorich, 2000). Au niveau des insecticides, les concentrations détectées de carbaryl et de carbofuran ont parfois pratiquement atteint les critères pour la protection de l'eau potable. De 1979 à 1992 des études menées en Ontario ont démontré la détection de pesticides dans 10 à 37 % des puits. Les métabolites du chlortal-diméthyl (DCPA) et l'atrazine étaient les pesticides les plus régulièrement détectés (Coote et Gregorich, 2000).

Dans le cas des provinces de l'Atlantique, les pesticides parfois détectés dans les eaux souterraines étaient l'alachlore, l'aldicarbe, l'atrazine, le captane, le chlorothalonil, le diméthoate, le dinosèbe, l'hexazinone, le métalaxyl, le métolachlore, la métribuzine et la simazine (Coote et Gregorich, 2000).

Comme on peut le constater, certains pesticides (atrazine, chlorothalonil, captane, cyanazine, diméthoate, hexazinone, métolachlore, métribuzine et simazine) ont été détectés dans l'eau souterraine de certaines provinces canadiennes tout comme au Québec.

États-Unis

Aux États-Unis un échantillonnage de l'eau souterraine dans le cadre du NAWQA a été réalisé de 1992 à 2001. Tout comme dans l'eau de surface, les analyses dans l'eau souterraine ont porté sur 75 pesticides et 8 produits de dégradation. Les suivis de l'eau souterraine ont porté sur l'analyse de l'eau de 5 047 puits situés dans 187 sites (dont 53 en zones agricoles). En comparaison avec l'eau de surface, les pesticides détectés dans l'eau souterraine étaient moins nombreux. De fait, dans les régions agricoles, les puits échantillonnés contenaient des pesticides dans 61 % des échantillons, comparativement à 97 % des échantillons dans l'eau de surface. Les pesticides qui se retrouvaient dans l'eau souterraine avaient une mobilité et une persistance relativement élevées, ce qui leur permettait de parcourir de plus grandes distances vers les eaux souterraines. Les pesticides et les produits de dégradation le plus souvent détectés étaient l'atrazine et l'un de ses métabolites le dééthyl-atrazine, la simazine, le métolachlore et le prométon. Les pesticides détectés ont dépassé les critères pour la protection de l'eau potable dans 1,2 % des échantillons en provenance de zones agricoles (Kolpin et Martin, 2003; Gilliom *et al.*, 2006). Les échantillons en provenance de puits en zone agricole contenaient à l'occasion un mélange de multiples pesticides. Dans 47 % des échantillons, au moins 2 pesticides ou produits de leur dégradation différents étaient présents et dans un peu moins de 1 % des échantillons, plus de 10 pesticides étaient présents dans un même échantillon (Gilliom *et al.*, 2006).

Le tableau 16 présente la gamme des concentrations des ingrédients actifs des pesticides le plus souvent détectés dans les échantillons d'eau souterraine prélevés aux États-Unis de 1992 à 2001. Les concentrations maximales de pesticides détectées dans l'eau souterraine dans le cadre du NAWQA sont, la plupart du temps, plus élevées aux États-Unis qu'au Québec. Toutefois, il arrive parfois que certains pesticides détectés dans l'eau souterraine au Québec aient des concentrations maximales plus élevées comme c'est le cas pour l'aldicarbe et ses métabolites, l'azinphos-méthyl, le carbaryl, le carbofuran et la métribuzine. De plus, les concentrations

d'atrazine détectées dans l'eau souterraine aux États-Unis sont similaires à celles détectées dans les campagnes d'échantillonnage au Québec, mais la fréquence de détection de l'atrazine dans l'eau souterraine est plus élevée aux États-Unis.

Tableau 16 : Gamme des concentrations et fréquence des ingrédients actifs des pesticides détectés le plus souvent dans les échantillons d'eau souterraine prélevés aux États-Unis de 1992 à 2001

Pesticides (i.a.)	Etats-Unis	
	Gamme des concentrations des pesticides détectés dans le cadre du NAWQA dans des zones agricoles de 1992 à 2001 (ug/l)	Fréquence détection (1992-2001) (%)
<i>Atrazine et ses métabolites*</i>	0,007- 4,78	41,9
<i>Simazine*</i>	0,011 -1,38	18,4
<i>Métolachlore*</i>	0,013 -32,8	17,0
<i>Prométon</i>	0,018 – 40,0	10,0
<i>Bentazone</i>	0,05 – 11,5	3,9
<i>Diuron*</i>	0,12 - 5,53	3,8
<i>Métribuzine*</i>	0,006 - 0,763	3,2
<i>Alachlore</i>	0,005 – 0,95	2,7
<i>Bromacil</i>	0,09 -21,9	2,5
<i>Norflurazon</i>	0,042 – 29,2	2,1
<i>Tébutiuron</i>	0,016 -1,9	2,0
<i>Carbofuran*</i>	0,02 - 1,3	1,6
<i>Cyanazine*</i>	0,018 -0,16	1,3
<i>Dacthal</i>	0,003 – 10	1,2
<i>EPTC*</i>	0,002 - 0,45	1,1

* Ingrédient actif des pesticides ayant aussi été détecté au Québec.

Adapté de : Kolpin et Martin, 2003 ; Gilliom *et al.*, 2006

3.3 Europe

France

Du côté européen, la France est un important consommateur de pesticides, le plus gros d'Europe occidentale en volume d'ingrédients actifs. En 2004, la France a utilisé 76 100 000 kilogrammes d'ingrédients actifs (Aubertot *et al.*, 2005). Dans ce pays, environ 400 ingrédients actifs sont utilisés en agriculture et entrent dans la composition de plus de 6 000 préparations commerciales. Dans ce contexte, de nombreuses initiatives ont été engagées pour limiter la pollution par les pesticides. Un effort croissant de surveillance des eaux a servi à déterminer la présence de résidus de pesticides dans les eaux de surface et souterraines. Un réseau intensif a été constitué en France afin de réaliser un suivi exhaustif des pesticides dans les eaux de surface et souterraines. Au total, 1,6 million de résultats d'analyses sont disponibles dans le système d'information Sysiphe pour l'année 2002. Ces échantillons ont été prélevés à 5 800 points d'observation des eaux continentales, dont 67 % concernaient les eaux souterraines. En 2002, 408 substances différentes ont été recherchées dans les eaux de surface en France et 201 substances (49 %) ont été détectées. Les principaux ingrédients actifs détectés étaient l'atrazine, le glyphosate, le diuron, l'aminotriazole, l'isoproturon, le bentazone, le terbuthylazine, la simazine, le métolachlore, l'oxadixyl et le chlortoluron (Institut français de l'Environnement, 2004). Pour ce qui est des eaux souterraines, en 2002, 373 ingrédients actifs différentes ont été recherchées et 123 (33 %) ont été détectées. Les principaux ingrédients actifs détectés dans l'eau souterraine étaient l'atrazine, la simazine, le diuron, le terbuthylazine, l'oxadixyl, l'aminotriazole, le chlortoluron, le glyphosate, le bentazone, l'isoproturon et l'imidaclopride (Institut Français de l'Environnement, 2004).

Une étude réalisée par le CORPEP (Cellule d'orientation régionale pour la protection des eaux contre les pesticides) en Bretagne en 2003 démontre que plusieurs pesticides ont été détectés dans l'eau de surface. La majorité des pesticides détectés se situent à moins de 0,1 µg/l. L'atrazine a cependant été détectée dans 10 % des cas à des seuils de plus de 2 µg/l (maximum mesuré: 13,8 µg/l). Cet ingrédient actif a été interdit en 2003. Les autres pesticides détectés lors de cette campagne étaient l'aminotriazole, l'alachlore, le chlortoluron, le diméthénamide, le diuron, le 2,4-D, le glyphosate, l'isoproturon, le mécoprop et la simazine (CORPEP, 2003).

Belgique

Du côté de la Belgique, en 2003 une centaine de substances ont été détectées dans les eaux souterraines. Les herbicides sont présents dans la majorité des échantillons positifs. Les herbicides les plus fréquemment détectés sont l'atrazine et ses métabolites, la simazine, le bromacil, le diuron, l'isoproturon, le chlortoluron, le bentazone et le chloridazon. L'atrazine a été interdit en septembre 2004 (Observatoire des eaux souterraines, 2003).

Autriche

En Autriche, de 1997 à 1999, 10 % des points d'échantillonnage présentaient des concentrations en atrazine supérieures à 0,1 µg/l. L'analyse temporelle démontrait cependant une diminution des concentrations de l'atrazine liée à son interdiction en 1995 (Aubertot *et al.*, 2005).

Royaume-Uni

Pour ce qui est du Royaume-Uni en 2000, 9 % des sites dépassaient le seuil de potabilité en lien avec la présence de pesticides (Aubertot *et al.*, 2005).

Espagne

Une étude menée en Espagne dans le bassin versant de la rivière Ebro a démontré la présence de différents pesticides et métabolites de pesticides tels le 3,4-dichloroaniline, le molinate, le dééthyl-atrazine, le diméthoate, la simazine, l'atrazine, le métolachlore et le chlorpyrifos (Claver *et al.*, 2006).

Danemark

Au Danemark, le suivi des pesticides et de leurs produits de dégradation réalisé en 2003 visait l'eau souterraine, les rivières et les lacs. Les pesticides qui ont fait l'objet de suivis dans ces milieux étaient surtout des herbicides. Ces suivis ont inclut le glyphosate, un herbicide qui a connu une importante augmentation d'utilisation au cours des dernières années. Les résultats de ces suivis ont démontré que l'AMPA, un des produits de dégradation du glyphosate, a été le pesticide le plus fréquemment détecté dans les rivières, soit dans 91 % des échantillons. Le glyphosate a quant à lui été détecté dans 82 % des échantillons réalisés en rivières. Ces deux produits ont aussi été les produits les plus fréquemment détectés dans les lacs, tout comme dans l'eau souterraine. Outre le glyphosate et l'AMPA, les pesticides et les produits de dégradation les plus fréquemment détectés au Danemark ont été le BAM, le TCA, le 4-nitrophénol, MCPA, le terbuthylazine, le bentazone, l'atrazine et ses métabolites, le dichlorprop et le mechlorprop (Anderson *et al.*, 2005).

Norvège

En Norvège, des suivis ont été réalisés de 1995 à 2004, dans l'eau de surface, l'eau souterraine, l'eau de drainage, l'eau des précipitations et les sédiments. Au total, 1484 échantillons ont été prélevés dans les ruisseaux et rivières. Des pesticides ont été détectés dans 78 % des échantillons prélevés. Quarante-cinq pesticides ou métabolites ont été détectés dans l'eau des ruisseaux et des rivières. De fortes concentrations de pesticides ont été détectés lors des événements de pluie et des concentrations élevées de pesticides ont été détectés dans l'eau de drainage des champs. Les pesticides les plus fréquemment détectés ont été la métribuzine, le glyphosate et son métabolite l'AMPA, le bentazone, le MCPA et l'ETU (un des métabolites du mancozèbe). Le glyphosate a aussi été détecté dans les sédiments (Ludvigsen, 2006).

Suède

En Suède, des analyses de pesticides et métabolites des pesticides ont été réalisés dans l'eau et les sédiments. Les pesticides détectés dans plus de 20 % des échantillons réalisés en 2003 dans l'eau de surface ont été le bentazone, le glyphosate, le MCPA, le clopyralide, l'isoproturon, le mécoprop, le fluroxypyr, l'atrazine, le terbuthylazine, la cyanazine, le metalaxyl et l'azoxystrobine. Certains des pesticides détectés ont été interdits d'utilisation en Suède, soit

l'atrazine (1989), le 2,4-D (1990), le lindane (1989), le BAM un des métabolites du dichlobenil (1990), ainsi que la simazine (1994). Du glyphosate a aussi été détecté dans les sédiments. Les échantillonnages réalisés dans l'eau souterraine en 2004 ont démontré la présence d'atrazine, de lindane, de bentazone, de métolachlore, de glyphosate et de métamitron. Les analyses de l'eau de précipitations réalisées de 2002 à 2004, ont démontré la présence de 36 pesticides et 5 produits de dégradation. Certains des pesticides détectés n'étaient pas autorisés en Suède. Les pesticides les plus fréquemment détectés dans l'eau de précipitation ont été le prosulfocarbe, l'isoproturon, le MCPA, le fenpropimorphe, la terbuthylazine et le pendiméthaline (Kreuger et Adielsson, 2006).

Critères et directives

Contrairement à l'Amérique du Nord et à l'Organisation mondiale de la santé, où pour établir la qualité de l'eau pour la consommation humaine, les valeurs associées au critère d'eau potable sont établies à partir de données toxicologiques pour chacun des produits, la communauté européenne a opté pour des limites réglementaires. La Directive-cadre de l'eau 2000/60/CE du 23 octobre 2000 établissait le cadre pour une politique communautaire basée sur le principe de prévention qui consiste à réduire la contamination par les pesticides à la source plutôt que de développer les traitements correctifs. Dans les eaux brutes utilisées pour la production d'eau potable, la limite de qualité est de 2 µg/l pour un ingrédient actif individuel et de 5 µg/l pour l'ensemble des pesticides. Au-delà de ces valeurs, les eaux ne peuvent être utilisées pour l'approvisionnement en eau potable sauf dérogation exceptionnelle. Pour les eaux de boisson, les limites de qualité sont de 0,1 µg/l pour un ingrédient actif individuel et de 0,5 µg/l pour l'ensemble des pesticides mesurés y compris les produits de dégradation (Institut français de l'environnement, 2002).

Air et sol

Au niveau de l'air, la France a mis en place des réseaux de surveillance de la qualité de l'air depuis 2000. Ces études ont démontré la présence de pesticides dans différentes phases atmosphériques (gazeuse, liquide, pluie, etc.). Certains pesticides mentionnés dans ces études sont par exemple le pirimicarbe, la vinclozoline, le terbuthylazine, le déséthylatrazine (métabolite de l'atrazine), le lindane et le DDT. Le groupe de travail FOCUS Air travaille actuellement à l'élaboration d'une synthèse bibliographique sur la dispersion atmosphérique et le dépôt des pesticides (Aubertot *et al.*, 2005).

Au niveau des sols, selon Aubertot *et al.* (2005), la contamination des sols par différentes substances dont les pesticides a été reconnue comme une des principales menaces qui pèsent sur les sols européens. Une directive-cadre sur les sols est en rédaction par les États membres afin de fixer des critères de qualité des sols (Aubertot *et al.*, 2005).

3.4 Comparaisons

Généralement, les résultats d'échantillonnage de pesticides dans l'eau de surface et souterraine au Québec concordent avec les résultats d'échantillonnage réalisés ailleurs au Canada et dans le monde. Les ingrédients actifs détectés sont cependant fonction des pesticides homologués dans le pays visé, ainsi que des particularités liées à l'agriculture pratiquée dans le pays et des conditions climatiques spécifiques.

Eau de surface

Le tableau 17 présente un résumé des pesticides les plus fréquemment détectés dans l'eau de surface au niveau des diverses provinces canadiennes, des États-Unis, ainsi que certains pays européens.

Tableau 17 : Ingrédients actifs des pesticides les plus fréquemment détectés dans l'eau de surface lors des campagnes d'échantillonnage réalisées dans les provinces canadiennes, aux États-Unis et dans des pays européens

	Ingrédients actifs des pesticides les plus fréquemment détectés Eau de surface
Provinces canadiennes	Atrazine, azinphos-méthyl, carbofuran, chlorothalonil, chlorpyrifos, diazinon, dicamba, endosulfan, 2,4-D, linuron, MCPA, métolachlore, métribuzine, simazine, trifluraline
États-Unis	Acétolachlore, alachlore, atrazine, bentazone, carbofuran, carbaryl, chlorpyrifos, cyanazine, 2,4-D, dacthal, diazinon, diuron, EPTC, malathion, métolachlore, métribuzine, molinate, prométon, simazine, tébuthiuron, trifluraline
Pays européens	Alachlore, aminotriazole, atrazine, bentazone, clopyralide, chlorpyrifos, chlortoluron, cyanazine, diméthénamide, diméthoate, diuron, 2,4-D, isoproturon, glyphosate, MCPA, mécoprop, métolachlore, métribuzine, molinate, oxadixyl, simazine, terbuthylazine

Eau souterraine

Le tableau 18 présente un résumé des pesticides les plus fréquemment détectés dans l'eau souterraine au niveau des diverses provinces canadiennes, des États-Unis, ainsi que certains pays européens.

Tableau 18 : Ingrédients actifs des pesticides les plus fréquemment détectés dans l'eau souterraine lors des campagnes d'échantillonnage réalisées dans les provinces canadiennes, aux États-Unis et dans des pays européens

	Ingrédients actifs des pesticides les plus fréquemment détectés Eau souterraine
Provinces canadiennes	Alachlore, aldicarbe, atrazine, bromoxynil, captane, carbaryl, carbofuran, chlorothalonil, cyanazine, dicamba, diméthoate, 2,4-D, endosulphan, hexazinone, MCPA, mécoprop, métolachlore, métribuzine, simazine, triallate, trifluraline
États-Unis	Alachlore, atrazine, bentazone, bromacil, carbofuran, cyanazine, dacthal, diuron, EPTC, métolachlore, métribuzine, norflurazon, prométon, simazine, tébuthiuron
Pays européens	Aminotriazole, atrazine, bentazone, bromacil, chloridazon, chlortoluron, diuron, isoproturon, imidaclopride, lindane, métolachlore, oxadixyl, glyphosate, simazine, terbuthylazine

CHAPITRE 4 INITIATIVES VISANT À RÉDUIRE LES RISQUES DES PESTICIDES SUR L'ENVIRONNEMENT

Dès 1996, un rapport de l'OCDE indiquait que plusieurs pays, y compris le Canada, avaient entrepris des activités de réduction des risques liés aux pesticides. Les motifs de ces initiatives étaient divers : volonté de diminuer les risques pour la santé et l'environnement; inquiétude générale devant la dépendance de l'agriculture à l'égard des produits chimiques; obligation imposée par la société de prendre en compte les objectifs environnementaux dans les politiques et pratiques agricoles; nécessité de respecter les accords internationaux et souci (principalement en Europe) d'imiter les pays qui ont instauré des programmes de réduction de l'utilisation et des risques des pesticides. La problématique de la contamination de l'eau par les pesticides et le maintien de la qualité de l'eau reviennent très souvent parmi les raisons évoquées au cours des dernières années (OCDE, 1996).

Les pays industrialisés ont recours à différentes approches pour réduire les impacts négatifs des pesticides. Outre les processus d'homologation des pesticides, la réévaluation de ces produits, puis le retrait des produits les plus à risque et la réduction des risques pour le consommateur (limites et surveillance des concentrations de résidus dans les aliments), d'autres approches sont couramment utilisées. Ces approches sont entre autre : la sensibilisation et l'éducation des utilisateurs; l'usage de pesticides à moindres risques; des programmes sur la sécurité des travailleurs; des mesures visant à protéger les eaux souterraines et de surface de la contamination par les pesticides; des instruments économiques visant à accroître les superficies en lutte intégrée et en production biologique; des méthodes de production « écologiques » (labels verts); des taxes et des programmes nationaux orientés sur des objectifs de réduction des quantités ou des risques pour l'environnement et la santé humaine (OCDE, 1996; OCDE, 2004a).

Ainsi, plusieurs pays ont acquis une expérience très riche en matière de réduction des risques liés aux pesticides. Ce chapitre décrit différentes initiatives de réduction des risques liés aux pesticides, pour la santé humaine et l'environnement, mises en œuvre au Québec et présente quelques initiatives hors Québec à souligner.

4.1 Québec

Rappelons d'abord qu'au Canada, le domaine de la législation des pesticides est à compétence partagée entre le gouvernement fédéral et les gouvernements provinciaux. Le gouvernement fédéral est notamment responsable de l'homologation des pesticides, de leur mise en marché et de l'étiquetage, tandis que les gouvernements provinciaux peuvent réglementer la vente, l'utilisation, l'entreposage, le transport et l'élimination des pesticides homologués par le gouvernement fédéral.

Le gouvernement fédéral a confié à l'Agence de réglementation de la lutte antiparasitaire (ARLA) la gestion de la Loi sur les produits antiparasitaires, dans laquelle est défini le mécanisme d'homologation des pesticides préalable à leur mise en marché. Avant que leur l'homologation ne soit acceptée, tous les pesticides doivent subir une évaluation scientifique pour déterminer le risque qu'ils présentent pour la santé humaine et pour l'environnement, ainsi que leur efficacité. L'ARLA réévalue aussi les produits déjà homologués. En vertu de cette loi fédérale, il est interdit d'utiliser tout pesticide non homologué ou d'utiliser un pesticide à une fin autre que celle pour laquelle il a été homologué. Des modifications récentes à la Loi sur les produits antiparasitaires de l'ARLA amène de multiples améliorations du point de vue de la protection de la santé. Elle prévoit une protection accrue pour les nourrissons et les enfants, en prenant en considération les effets cumulatifs combinés de différents pesticides ayant des modes d'action semblables. Les expositions cumulatives de toutes provenances, notamment dans le lieu de travail, par les aliments, par l'eau et à la maison sont aussi prises en compte. La loi modifiée encourage aussi l'homologation de produits à faibles risques (Santé Canada, 2005). Agriculture et Agroalimentaire Canada (AAC) et l'Agence de réglementation de la lutte antiparasitaire (ARLA) de Santé Canada ont mis en place le Programme de réduction des risques liés aux pesticides afin de favoriser le développement, l'accessibilité et l'adoption d'outils et de pratiques de lutte antiparasitaire durable destinés à l'agriculture (ARLA, 2005).

Au Québec, la Loi sur les pesticides (chapitre P-9.3), adoptée par l'Assemblée nationale du Québec en 1987, vise quant à elle, à susciter une utilisation rationnelle et sécuritaire de ces produits sur le territoire québécois. Elle prévoit des mécanismes permettant notamment de s'assurer de la qualification des utilisateurs et des vendeurs de pesticides et de leur sensibilisation aux dangers de ces produits, de fixer des règles sur l'entreposage, l'utilisation et la vente des pesticides et de connaître les pesticides qui sont vendus et utilisés sur le territoire québécois. Sous cette loi, le Règlement sur les permis et les certificats pour la vente et l'utilisation des pesticides a été modifié en 2003. Ainsi, d'ici 2007, les agriculteurs utilisant des pesticides de classe 3 devront être certifiés pour utiliser ces produits. De plus sous cette loi, le Code de gestion des pesticides, a été adopté en 2003. En milieu agricole, selon le Code de gestion des pesticides, des distances d'éloignement sont prévues pour les plans ou cours d'eau et les fossés lors de l'application terrestre ou aérienne de pesticides. En ce qui concerne la protection des immeubles protégés, des distances d'éloignement sont exigées pour les pulvérisations aériennes et terrestres qui font usage de pulvérisateurs à jet porté ou pneumatiques.

En plus de la gestion des pesticides, le MDDEP poursuit l'objectif d'assurer la préservation de la diversité, la productivité et la pérennité des écosystèmes, de même que la réduction de l'exposition des personnes et des espèces aux substances toxiques.

Stratégie phytosanitaire

Au Québec, depuis 1992 des efforts ont été entrepris par le MAPAQ et ses partenaires, notamment le MDDEP et l'UPA, en vue de réduire les quantités de pesticides utilisées en agriculture. Ces efforts ont porté sur la recherche et le développement, le transfert technologique et le développement de la gestion intégrée des ennemis des cultures sur les exploitations agricoles. En 1992, le MAPAQ, avec l'appui de ses partenaires se dotait d'une Stratégie phytosanitaire visant à réduire de 50 % les quantités de pesticides utilisés en agriculture. Le repositionnement de la Stratégie phytosanitaire en 1998 a reconduit l'objectif de réduire de 50 % les quantités de pesticides utilisées exprimées en indice de pression (kg i.a./ha). Un nouvel objectif a été ajouté dont celui d'avoir 70 % des superficies en céréales, maïs, soya et pomme de terre cultivées sous lutte intégrée.

Par cette stratégie, des outils ont été élaborés et des activités de sensibilisation ont été réalisées pour inciter les entreprises agricoles à réduire l'utilisation de pesticides, notamment celle des herbicides pour les grandes cultures. Pour l'année 2001, dans les *Bilan des ventes de pesticides*, on observe une diminution de 33 % de l'indice de pression (Gorse, 2005). Selon le *Bilan 2004-2005 des clubs conseils en agroenvironnement*, les CCAE ont déclaré que 452 898 ha, soit près de 53 % des superficies en culture chez les exploitations membres des CCAE, ont reçu des interventions phytosanitaires. Parmi les membres de ces clubs, les superficies où la lutte intégrée était pratiquée en 2004 et 2005 s'élevaient à 97 933 ha, soit à 22 % des superficies cultivées ayant fait l'objet d'interventions phytosanitaires (Clubs conseils en agroenvironnement, 2006). « La lutte intégrée ou gestion intégrée contre les ennemis des cultures est une méthode décisionnelle qui a recours à toutes les techniques nécessaires pour réduire les populations d'organismes nuisibles de façon efficace et économique, tout en respectant l'environnement. Elle inclut les six étapes suivantes établies par le MAPAQ et ses partenaires : identification des ennemis; dépistage; utilisation des seuils d'intervention; adaptation de l'écosystème; combinaison des moyens de lutte et évaluation des conséquences et de l'efficacité des actions. » (Clubs conseils en agroenvironnement, 2006).

De plus, dans le cadre de cette Stratégie, le MAPAQ a notamment développé des cahiers d'autoévaluation en gestion intégrée des ennemis des cultures. Ces cahiers sont un outil de sensibilisation et d'éducation qui présente un éventail de pratiques susceptibles d'améliorer la performance des entreprises agricoles en matière de lutte intégrée ou de gestion intégrée des ennemis des cultures. L'objectif de ces cahiers est de présenter différentes pratiques de gestion intégrée des ennemis des cultures adaptées au contexte agricole québécois. Plus spécifiquement ils visent à : aider l'exploitant agricole à élaborer des plans de gestion intégrée des ennemis; rationaliser, réduire et remplacer les pesticides afin de diminuer les risques liés à leur emploi; mettre à jour les stratégies phytosanitaires d'intervention et orienter les activités de recherche-développement et de transfert technologique (MAPAQ, 2004a).

Le MAPAQ a aussi mis en place le Programme Action-réglage. Il a comme objectifs d'augmenter la précision des pulvérisateurs et la qualité des applications de produits phytosanitaires et de promouvoir le bon usage des pesticides dans le cadre d'une approche agroenvironnementale de gestion des ennemis des cultures. Ce programme volontaire permet l'accréditation de personnes qui sont par la suite en mesure de régler les pulvérisateurs et d'y apposer une vignette (MAPAQ, 2005a).

Réseau d'avertissements phytosanitaires

Le Réseau d'avertissements phytosanitaires (RAP), sous la responsabilité du MAPAQ est un réseau de personnes, qui mettent en commun leurs connaissances et leurs énergies dans le but d'informer les producteurs et les autres intervenants de l'agroalimentaire québécois de la présence et l'évolution des ennemis des cultures dans leur région et des stratégies d'intervention les plus appropriées, dans un contexte de gestion intégrée des ennemis des cultures et de développement durable. Le RAP est composé d'une équipe multidisciplinaire d'avertisseurs et de spécialistes hautement qualifiés et de plus de 150 collaborateurs. À partir de ces activités de dépistage des ennemis des cultures, les avertisseurs produisent des communiqués (avertissements ou bulletins d'information) qui sont acheminés à toutes les semaines aux abonnés du RAP. Le RAP compte près de 3000 abonnés pour un total de près de 13 000 abonnements à ses 11 réseaux. Près de 80% des abonnés sont des conseillers agricoles oeuvrant autant dans le secteur public que le secteur privé et qui travaillent directement avec des groupes de producteurs. Durant la saison 2005, le RAP a produit plus de 300 communiqués qui contiennent les recommandations nécessaires à une rationalisation des l'utilisation des pesticides en milieu agricole et à l'utilisation de méthodes alternatives de lutte aux ennemis des cultures (Réseau d'avertissements phytosanitaires, 2006).

Programme Prime-vert

Le MAPAQ a aussi élaboré le programme Prime-Vert afin d'aider les producteurs agricoles à relever les défis que représentent le respect de l'environnement et la cohabitation harmonieuse sur le territoire. Cette orientation stratégique ministérielle vise particulièrement à augmenter l'introduction à la ferme de technologies et de pratiques ayant pour objet de conserver les ressources, de protéger l'environnement et de réduire les nuisances dans les domaines suivants : la gestion des fumiers et des pesticides, notamment dans leurs utilisations agronomiques et environnementales; la conservation des sols et de l'eau; l'amélioration et la diffusion des connaissances en matière d'agroenvironnement. Ce programme a pour objectif de promouvoir et de diffuser les bonnes pratiques agricoles, de soutenir les exploitations agricoles afin qu'elles puissent se conformer aux lois, réglementations et politiques environnementales et de les aider à adapter leur système de production en vue de la conservation des ressources et de l'amélioration de l'environnement agricole, notamment dans le cadre du plan d'accompagnement agroenvironnemental (PAA) (MAPAQ, 2005b).

En 2004, un nouveau volet a été ajouté au programme Prime-Vert, le « Volet 11 - Appui à la Stratégie phytosanitaire ». Ce volet vise à favoriser l'emploi de pratiques de gestion intégrée des ennemis des cultures et à solutionner, par des interventions priorisées et ciblées, des situations phytosanitaires préjudiciables à l'environnement, à la santé et au développement de productions agricoles. Ce volet est axé sur la nécessité de poursuivre la Stratégie phytosanitaire dans le sens d'une démarche écologiquement responsable qui se fonde sur la gestion intégrée des ennemis des cultures et la réduction des risques pour l'environnement et la santé associés à l'emploi des pesticides. Ce programme a une portée collective et l'ensemble des modalités de fonctionnement du programme sont sensiblement celles du Programme agroenvironnemental de soutien à la Stratégie phytosanitaire – SLV 2000, mis en place de 1998-2003 (MAPAQ, 2004c).

Plan d'accompagnement agroenvironnemental (PAA)

Le MAPAQ et Agriculture et Agroalimentaire Canada (AAC) proposent aussi depuis 2003 une démarche d'accompagnement agroenvironnemental. Celle-ci vise à aider les producteurs agricoles à se conformer aux règles environnementales en vigueur et à poursuivre l'amélioration de leurs pratiques agroenvironnementales. Le plan d'accompagnement agroenvironnemental (PAA) a été élaboré pour soutenir le producteur dans cette démarche. Cet outil simple, pratique et accessible permet de tracer le portrait global de la situation agroenvironnementale de l'entreprise, établit une liste des actions à réaliser au cours des prochaines années et renferme des renseignements pertinents et une vision d'ensemble de l'entreprise pour aider le producteur à prendre des orientations et des décisions éclairées en matière d'agroenvironnement. Dans cette démarche, les pesticides sont aussi pris en compte afin de favoriser au sein des entreprises agricoles une saine gestion de ces produits et le respect des règlements en vigueur (MAPAQ, 2005b).

Les clubs-conseils en agroenvironnement (CCEA)

Les clubs-conseils en agroenvironnement sont également des acteurs importants pour une utilisation adéquate des pesticides et pour favoriser une diminution de leur utilisation. Les clubs-conseils en agroenvironnement sont des regroupements volontaires de producteurs agricoles dont l'objectif est de favoriser le développement durable de leur exploitation en adoptant des pratiques agricoles respectueuses de l'environnement. Au 31 mars 2005, 7790 entreprises agricoles étaient membres d'un club-conseil en agroenvironnement. Près de 300 spécialistes de l'agroenvironnement avaient travaillé au sein des 83 clubs-conseils en agroenvironnement. En plus de la promotion de la lutte intégrée auprès de leurs membres, les CCEA font la promotion de techniques d'utilisation réduite des herbicides. Ces techniques regroupent la pulvérisation en bandes, les doses réduites d'herbicides et la combinaison de celles-ci avec d'autres méthodes comme le sarclage mécanique. Selon le bilan 2004-2005, les traitements réduits ont été utilisés sur 86 313 ha, soit près de 19 % des superficies ayant fait l'objet d'interventions phytosanitaires. Pour ce qui est des superficies en culture sans herbicide celles-ci se chiffraient à 173 504 ha chez les exploitations membres des CCAE (Clubs conseils en agroenvironnement, 2006).

L'agriculture biologique

L'agriculture biologique est un mode de production qui connaît un essor considérable dans le monde. En 2004, le marché mondial pour les produits biologiques était évalué à près de 27,8 milliards de dollars américains (Willer et Yussefi, 2006). Selon la Fédération d'agriculture biologique du Québec, en 2003 il y avait plus de 900 fermes certifiées biologiques au Québec (Fédération d'agriculture biologique du Québec, 2003). L'évolution de la production biologique suit une progression importante et de plus en plus de producteurs sont intéressés à entreprendre ce type de production. De fait, au Canada, les ventes du marché biologique croissent selon un taux de 20 % et plus (MacRae *et al.*, 2002). Au Québec, pour pouvoir vendre des produits avec l'appellation biologique, l'entreprise doit recevoir la certification d'un organisme reconnu par le Conseil des appellations agroalimentaires du Québec (CAAQ). Cette certification ne peut être obtenue qu'après 36 mois sans utilisation des substances interdites. Le programme de certification biologique vise à garantir aux consommateurs l'intégrité biologique d'une production agricole régie par les règles d'un cahier des charges. Sur les cultures végétales, il est interdit

d'avoir recours à des engrais, pesticides ou additifs chimiques de synthèse, procédés d'irradiation et manipulation génétique (OGM) (Québec Vrai, 2004). Ainsi, comme plusieurs pesticides retrouvés dans l'eau au Québec sont interdits d'utilisation en agriculture biologique, ce mode de production peut donc contribuer à diminuer la présence des pesticides les plus préoccupants et les risques qu'ils présentent.

L'agriculture soutenue par la communauté (ASC) est un concept de mise en marché des produits biologiques. Ceci consiste en l'association du consommateur à un agriculteur biologique par l'achat de paniers de produits de l'entreprise pour toute la saison de production. Le consommateur devient en quelque sorte partenaire d'une ferme en achetant une part de récolte à l'avance. Les fermes participantes livrent des paniers de légumes variés à un point de chute dans le quartier du consommateur à chaque semaine. En 2006, 107 fermes participent au sein du réseau des projets d'ASC au Québec. Ces projets ont comme avantage d'offrir aux producteurs un financement et un marché pour les produits biologiques et de permettre d'acheter des produits locaux, ce qui permet d'accroître les avantages agroenvironnementaux (Équiterre, 2006).

Cultures sans herbicides

L'association *Cultures sans herbicides* a été fondée en 1995 par un petit groupe d'agriculteurs ayant pour objectif de produire du maïs, du soya, du blé, de l'orge, de l'avoine, du sarrasin et du haricot sans utilisation d'intrants chimiques (ex : herbicides). En 2004, cette association regroupait 117 entreprises agricoles pour des superficies de 4400 hectares (Lachance, 2005). « UN GRAIN DE SANTÉ » ou « HEALTHY GRAIN » est la marque de commerce des produits de l'association *Cultures sans herbicides*. Les membres de l'association souhaitent séduire les acheteurs avec le thème de la santé qu'on associe aux aliments produits sans intrants chimiques. La culture sans intrants chimiques, consiste en la réalisation d'une culture sans engrais minéral, sans traitements de semence (fongicides et insecticides) et sans pesticides. Ces pratiques permettent de diminuer les risques environnementaux. De plus, le bonus payé au producteur varie de 10 % à 35 % au dessus du prix du marché. En 2004, selon la culture, la variété et l'acheteur, le boni se situait entre 30 \$ et 100 \$ de plus la tonne (Lachance et Lecours, 1998; Lachance, 2005; Association Cultures sans herbicide, 2006).

Production fruitière intégrée (PFI)

Une autre approche intéressante est la production fruitière intégrée (PFI). La PFI peut être considérée comme une forme de lutte intégrée. En plus des éléments de phytoprotection, la PFI met aussi l'emphasis sur des pratiques qui favorisent la protection de l'environnement, de la santé et la sécurité des citoyens, de la qualité du produit ainsi que de la durabilité de l'entreprise agricole. Selon cette régie de production, les pesticides sont classés en fonction de leur impact environnemental en trois catégories soit la catégorie 1 (impact minimal), la catégorie 2 (impact intermédiaire) et la catégorie 3 (impact important) (CRAAQ, 2006). Ces trois classes sont définies selon les critères suivants : la toxicité humaine, la toxicité pour les ennemis naturels, la toxicité pour les organismes vivants, la pollution des eaux de surface et souterraines, la sélectivité, la rémanence (persistance) et autres facteurs (Vickery, 1998).

La PFI est une initiative qui s'est développée à l'échelle internationale dans les années 1980 en Europe de l'Ouest. Près de 50 % des superficies en verger de pommes et de poires en Europe (Autriche 82 %) sont sous la gestion de la production fruitière intégrée (Vickery, 1998). Présentement, les programmes de production fruitière intégrée connaissent un développement rapide à travers le monde. Ils font actuellement l'objet d'initiatives aux États-Unis et au Canada et le Conseil canadien de l'horticulture a élaboré, en 2003, des lignes directrices générales pour la PFI (Agriculture et agroalimentaire Canada, 2003). Au Québec, le programme PFI a été développé pour les producteurs de pomme (RAP-pommier, 2006).

Indicateurs de risque des pesticides

L'indicateur de risque des pesticides du Québec, identifié par l'acronyme « IRPeQ » est un outil de diagnostic qui permet de faire un suivi spatial et temporel des risques liés à l'utilisation des pesticides. Il est également un outil d'aide à la prise de décision dans le choix de pesticides les moins à risque. Dans un contexte de lutte intégrée, l'IRPeQ permet de mettre en perspective les risques associés aux pesticides tout en favorisant l'identification de solutions. Il comprend deux volets : santé (IRPeQ-santé) et environnement (IRPeQ-environnement).

Cet outil résulte d'un processus optimal de comparaison des différents indicateurs de risques des pesticides retrouvés dans la littérature scientifique (Duchesne *et al.*, 2003). L'indicateur proposé ainsi que la sélection et la définition des critères optimisés est le fruit d'une vaste collaboration entre :

- l'Institut national de santé publique du Québec (INSPQ);
- le ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs (MDDEP);
- le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation (MAPAQ).

Les deux versions successives (2001 et 2004) de l'approche proposée par le ministère norvégien de l'agriculture ont été retenues comme cadre de référence à l'élaboration de l'IRPeQ et ce, plus particulièrement pour le volet environnement. En l'absence d'un système de classification des données toxicologiques comparable au Québec, le volet santé a en effet été élaboré sur la base de nouveaux critères développés par l'INSPQ.

Afin de produire les indices, l'IRPeQ utilise diverses données toxicologiques, physicochimiques, de devenir environnemental et d'utilisation. Il prend en compte un nombre considérable de variables critiques et les transforme en points avant de les intégrer au calcul. Il s'agit d'un modèle d'agrégation par addition de points attribués aux variables critiques.

Gestion des pesticides périmés

Croplife Canada, une organisation qui représente les fabricants, les concepteurs et les distributeurs de solutions phytoscientifiques (les produits antiparasitaires et la biotechnologie végétale) pour l'agriculture, le milieu urbain et la santé publique a organisé, au Québec avec la participation financière du MDDEP, du MAPAQ et de l'UPA une campagne de collecte

ponctuelle de pesticides périmés échelonnée sur trois années (2001, 2002 et 2004). Plus de 70 tonnes de pesticides périmés et surplus de concentré ont été récoltées durant les trois années de la collecte. Cette organisation a aussi organisé une telle campagne pour tout le Canada où plus de 800 tonnes ont été récoltées jusqu'à présent (CropLife Canada, 2005).

Gestion intégrée de l'eau par bassin versant

La mise en œuvre de la gestion intégrée de l'eau par bassin versant constitue un des engagements de la Politique nationale de l'eau adoptée à l'automne 2002. Cette forme de gestion tient compte des enjeux tant locaux que régionaux. Elle a pour fondement une approche écosystémique de la gestion des eaux basée sur les bassins versants. Elle permet de mieux comprendre et d'expliquer les problèmes liés à la quantité et à la qualité de l'eau et des écosystèmes aquatiques puis de trouver des solutions s'inscrivant dans une perspective de développement durable. Les bassins versants dits prioritaires sont au nombre de 33 et sont pour la plupart chapeautés par un organisme de bassin (OBV).

Ces organismes agissent comme tribunes de concertation et de planification à l'échelle de l'unité territoriale du bassin versant. Leur mandat premier est d'élaborer un plan directeur de l'eau (PDE) présentant un portrait, un diagnostic du bassin versant, les enjeux, les orientations et les objectifs à atteindre ainsi qu'un plan d'action qui sera concrétisé par la signature de contrats de bassin.

Les contrats de bassin visent à assurer concrètement l'atteinte des objectifs et la mise en œuvre des actions envisagées dans le PDE. Leur forme, leur contenu, leur niveau de détail, les acteurs qui en seront parties prenantes ainsi que le nombre d'ententes qui pourraient être conclues pour assurer la réalisation d'un PDE donné, pourront varier d'un bassin à l'autre. Ils tiennent compte des caractéristiques du bassin versant, des personnes impliquées ainsi que des problématiques identifiées dans le PDE. Selon les problématiques prévalant, des objectifs de réduction des pesticides pourraient être inclus dans les PDE.

Le MDDEP appui les OBV à deux niveaux, premièrement par le bureau de la gestion par bassin versant regroupant une équipe de professionnels et deuxièmement par le biais des répondants régionaux qui siègent sur les comités techniques de chaque OBV. Ces comités sont constitués d'expert dans l'analyse des problèmes reliés à l'eau et aux écosystèmes. Ils fournissent l'information et rédigent des recommandations techniques pour la gestion de l'eau, comme par exemple, documenter les critères pour la protection de la vie aquatique des pesticides utilisés sur le territoire du bassin versant.

Les organismes de bassin auront dans le futur un rôle stratégique à jouer auprès des clientèles agricoles. En fait, de par leur mandat de concertation, ils constatent et orientent les actions portant sur la protection de l'environnement. Ils sont et seront de plus en plus impliqués dans les sphères d'activités qu'ils occupent déjà soit : la sensibilisation, la démonstration et l'accompagnement. À ce titre, les OBV font partie des acteurs de première ligne pour le transfert des outils techniques.

4.2 Hors Québec à souligner

Cette partie du chapitre présente un certain nombre d'initiatives prometteuses qui ont été développées ailleurs. Elles pourraient améliorer ou compléter les outils déjà développés au Québec. La liste de ces initiatives n'est pas exhaustive. Ces initiatives sont des pistes d'action à explorer compte tenu des résultats probants qu'elles ont entraînés dans les pays qui les ont appliquées.

Certains pays ont une expérience de plus de vingt d'ans. D'autres en ont une plus courte et en sont à leurs débuts ou encore se sont penchés sur des problématiques particulières (ex. : protection des eaux souterraines). Dans certains pays, des objectifs en vue de réduire les pesticides sur l'ensemble du territoire ont été fixés.

En plus de mesures similaires à celles du Québec, telles les interdictions de traitements le long des cours d'eau et des zones humides, la mise en place de bandes enherbées, la gestion intégrée des ennemis des cultures, la formation des agriculteurs, la gestion de l'eau par bassin versant, plusieurs mesures ou combinaisons de mesures ont été mises en place afin de pouvoir atteindre ces objectifs de réduction : classification des pesticides en fonction du risque, interdictions de certaines substances, mise en place d'écotaxes, diagnostics à la ferme, soutien et objectifs de pourcentage d'entreprises pratiquant l'agriculture biologique, etc.

Indicateurs de risque des pesticides

Des systèmes d'évaluation des risques des pesticides ont été développés dans plusieurs pays afin de permettre l'utilisation des pesticides les moins nocifs pour la santé humaine et l'environnement. Ces systèmes comparent les différentes caractéristiques et les divers effets des pesticides sur l'environnement et génèrent un classement des pesticides. Les pays les utilisent pour évaluer au niveau national la tendance dans le temps de l'utilisation des pesticides en fonction des risques pour l'environnement et la santé humaine. Ils servent aussi à établir une taxe sur les pesticides les plus préoccupants. Ils peuvent permettre de déterminer les pesticides prioritaires qui nécessitent une intervention particulière coercitive ou autre en rapport avec des zones vulnérables (eaux souterraines). En dernier lieu, ces systèmes peuvent être utilisés pour étiqueter les produits agricoles écologiques afin de renseigner et d'influencer l'opinion et le comportement du consommateur lors de l'achat de produits agricoles. Il y a un nombre important de systèmes d'évaluation actuellement employés dans le monde (Levitan, 1997).

Une étude française intitulée « Indicateurs pour évaluer les risques liés à l'utilisation des pesticides » comparant plus de 43 indicateurs de risque, la plus exhaustive en ce genre, a récemment été publiée (Devilliers, 2005). Les indicateurs sont présentés sous forme de fiches où l'on retrouve le détail de leur méthode de calcul, des données nécessaires à leur utilisation, une grille d'analyse exposant leurs points forts et leurs limites ainsi que des commentaires sur l'utilité, la simplicité et la validation des outils. Trois constats sont tirés de cette étude. Le premier est la multiplication des indicateurs de risque particulièrement au cours des dix dernières années. Ceci est le reflet d'un besoin de la société et des intervenants qui demandent ou développent des outils adaptés. La dispersion de l'information dans différents types de publications à thèmes très différents (agricole, environnement, science de la décision), dans

certaines rapports scientifiques peu accessibles semble également être responsable de cette multiplication. Le deuxième constat est qu'à chaque besoin, relatif à un contexte donné, correspond un outil adapté. Il est cependant possible de modifier un indicateur de risque afin de l'adapter à un besoin précis tout en conservant les principes de base qui l'animent. Le troisième constat est la faible proportion d'indicateurs utilisés de façon régulière. Ceci est mis en relief par le fait qu'il n'y a que 20 % des indicateurs développés sous forme d'un programme informatique, seulement 33 % sont recommandés par un organisme national ou international et enfin très peu d'entre eux ont fait l'objet d'une validation par l'usage ou par un suivi sur le terrain. Les auteurs concluent qu'il est essentiel afin d'exploiter le potentiel des indicateurs de risque de créer des ponts entre leurs activités de développement et leur utilisation concrète par les intervenants du milieu des pesticides.

Des pays comme les Pays-Bas, la Suède et la Norvège ont statué que la réduction de la quantité (tonnes de pesticides employées) ne constitue pas à elle seule un gage de réduction du risque. Ainsi, ils ont élaboré des systèmes d'évaluation des impacts des pesticides et les ont intégré dans leur plan national de réduction des risques des pesticides sur l'environnement et la santé humaine (OCDE, 1996; Norwegian Agricultural Inspection Service, 2002; PAN Germany 2004). Le tableau 19 montre l'intégration du risque des pesticides dans le plan national de ces pays.

Tableau 19 : Intégration du risque des pesticides dans le plan national de certains pays

Pays	Période	Objectif visé	Résultats obtenus
Suède	1997-2001	Réduction de l'indice de risques sans objectif visé	63 % de réduction de l'indice de risques pour l'environnement (2000) 77 % de réduction de l'indice de risques pour la santé humaine (2000)
Norvège	1998-2002	Diminution de 25 % de l'indice de risques (année de référence 1996-97)	33 % de réduction de l'indice de risques pour la santé humaine 37 % de réduction de l'indice de risques pour l'environnement
Pays-Bas	2004-2010	Diminution de 75 % de l'indice de risques d'ici 2005 et 95% d'ici 2010 (année de référence 1998)	

Adapté de : Norwegian Agricultural Inspection Service, 2002; OCDE, 2004b; PAN GERMANY, 2004.

L'agriculture biologique

Les normes régissant la pratique de l'agriculture biologique interdisent l'utilisation de pesticides de synthèse, ce qui peut contribuer à diminuer la présence des pesticides les plus préoccupants pour l'environnement (OCDE, 2001). L'agriculture biologique a connu une croissance importante dans l'Union européenne, en particulier en Autriche, en Finlande, en Italie et en Suisse. Le nombre de fermes biologiques était huit fois plus important en 1997 qu'en 1987 et les objectifs de l'Union européenne étaient d'avoir 2,5 % des fermes en production biologique, tandis que le gouvernement autrichien visait quant à lui 20 % des fermes. Afin d'atteindre ces objectifs, des subventions européennes et nationales ont été mises en place (Comité permanent de l'environnement et du développement durable, 2000). La figure 6 présente les dix pays possédant le plus grand pourcentage de terres en agriculture biologique (sondage 2005-2006).

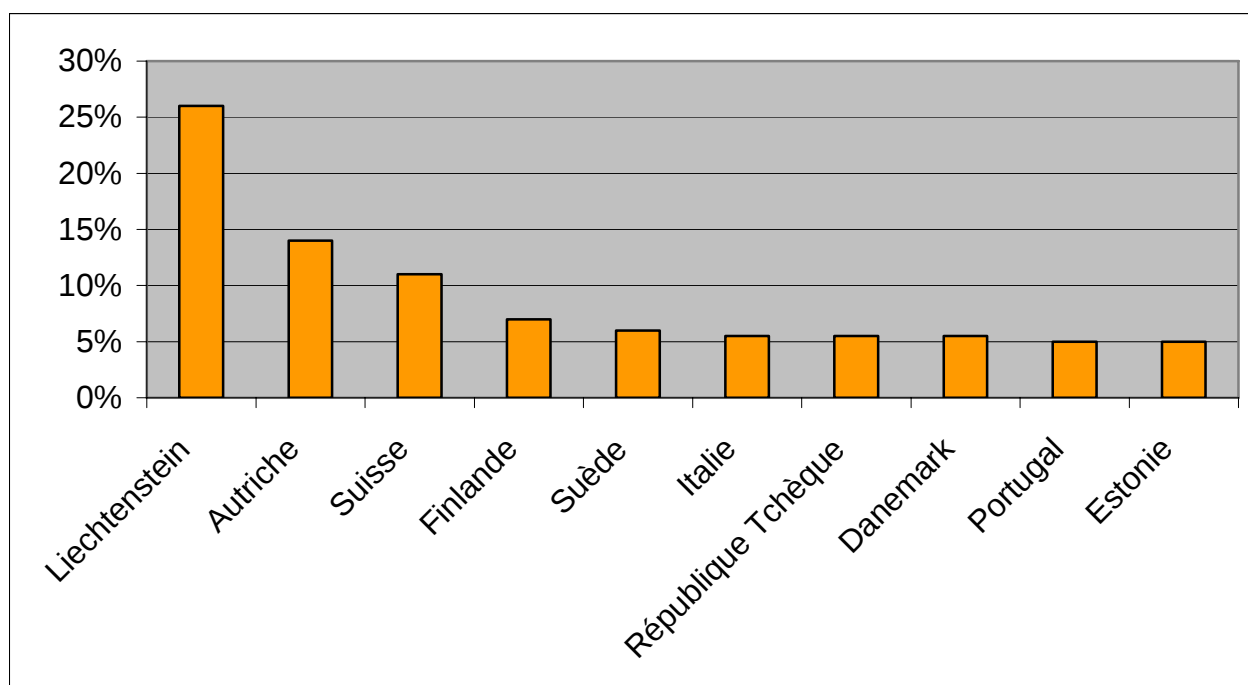


Figure 6 : Les dix pays possédant le plus grand pourcentage de terres en agriculture biologique (sondage 2005-2006)

Source : Willer et Yussefi, 2006.

Selon l'OCDE, les baisses significatives de l'utilisation des pesticides, de 30 % et plus dans les dix dernières années, dans les pays comme le Danemark, la Finlande, la Norvège, les Pays-Bas et la Suède, serait en partie associées à l'accroissement des terres en agriculture biologique et en lutte intégrée (OCDE, 2001).

Restrictions d'utilisation de certains pesticides ou certaines pratiques sur le territoire

Depuis le début des années 80, divers pays ont commencé à resserrer leurs normes sur les pesticides. Au niveau de l'Union européenne, diverses réglementations visant à réduire les impacts sur l'environnement ont été mises en place. Par exemple, l'instauration de normes pour les teneurs maximales dans l'eau potable, l'ajout des préoccupations environnementales dans la Politique agricole commune (PAC), l'adoption de la Directive-cadre de l'eau qui oblige les pays membres à l'atteinte d'un « bon état » écologique et chimique de leur eau d'ici 2015 et finalement le développement d'une Directive-cadre sur les pesticides (Aubertot *et al.*, 2005). Certains pays membres de l'Union européenne ont aussi posé des actions propres à leur territoire.

En France, les zones tampons enherbées en bordure des cours d'eau devraient prendre de l'ampleur au cours des prochaines années. Selon Aubertot *et al.*, (2005), les règles françaises de l'attribution des primes dans le cadre de la Politique agricole commune (PAC) inclut comme importante « bonne condition agro-environnementale » la mise en place obligatoire de 3 % de la surface en céréales, oléoprotéagineux, lin et chanvre sous forme de bandes enherbées de 5 à 10 mètres de largeur le long des cours d'eau bordés par des parcelles de l'exploitation (Aubertot *et al.*, 2005). La France est aussi à développer un plan ministériel de réduction des risques liés aux pesticides.

En Allemagne, il est interdit d'appliquer un pesticide à proximité des eaux superficielles et côtières. L'utilisation de certains pesticides est interdite dans les périmètres de captage d'eau. Afin de sensibiliser les producteurs, un groupe volontaire impliquant des conseillers techniques, des producteurs, des entreprises publiques de distribution d'eau informe les intéressés aux risques et aux incidences des pratiques agricoles près des périmètres de captage (OCDE, 1996).

En Finlande, le « Horizontal Rural Development Program » vise pour la période 2000-2006, la réduction de l'apport de pesticides dans l'environnement, tout particulièrement les apports vers l'eau de surface et souterraine. Les actions mises en place pour atteindre cet objectif sont par exemple, la certification obligatoire des équipements de pulvérisation aux cinq ans et une formation obligatoire des agriculteurs aux cinq ans (OCDE, 2004b). Des restrictions d'utilisation sont aussi imposées à des pesticides jugés plus préoccupants pour l'eau, comme par exemple, des autorisations d'application de ces pesticides aux deux ans seulement dans un même champs, des interdictions d'application dans des aires captage en eau souterraine ou dans des zones tampons (OCDE, 2004b).

Aux Pays-Bas, l'attribution d'un label vert aux produits alimentaires et aux fleurs figure parmi les activités les plus concluantes de ce pays. La certification appelée « Milieukeur » a été établie par le Dutch Ministry of Agriculture, Nature and Fisheries. Le choix des pesticides utilisés en matière de protection de l'environnement est important pour la certification du label « Milieukeur ». Les producteurs disposent de la liste des pesticides à risque pour l'environnement basée sur un indice « Environmental Yardstick for Pesticides » et doivent réduire de 50 % la quantité de pesticides utilisés en comparaison avec la moyenne des années de référence 1984-1988 (OCDE, 1996; de Vries, 1996). L'*Environmental Yardstick for Pesticides* (EYP) a été développé comme indice environnemental pour les producteurs agricoles qui veulent comparer l'effet environnemental des pesticides utilisés et l'évaluation du progrès qu'ils font si la décision

est prise d'utiliser des pesticides à plus faible risque. Ce modèle tient compte du risque pour les organismes aquatiques et du sol et du risque pour la contamination de l'eau souterraine (Reus, 1998). Dans les zones à risque pour l'eau souterraine, les compagnies d'approvisionnement en eau potable récompensent les producteurs qui réduisent l'utilisation des pesticides à risque ou qui s'abstiennent de les utiliser. Ce programme appelé « Reward for Results » implique que les producteurs reçoivent un incitatif financier lorsque leurs activités agricoles ont moins d'impact sur l'environnement. Il n'y a pas de mesures imposées ou prohibées. Les producteurs choisissent eux-mêmes lesquelles des mesures vont produire le meilleur effet environnemental possible au plus bas coût économique. L'*Environmental Yardstick for Pesticides* est utilisé pour déterminer le montant que chaque producteur est en mesure de recevoir à partir du programme « Reward for Results ». Des critères de qualité de l'eau doivent être respectés soit 0,1 µg/l pour un ingrédient actif individuel et 0,5 µg/l pour toutes les substances présentes. Le programme a été vérifié auprès de certains producteurs. Après un essai de deux ans des producteurs laitiers ont réduit le nombre d'EYP pour l'eau souterraine de 95-99 %. Dans le cas des autres productions une réduction de 54 % a été observée. Le montant versé par exploitation équivaut à environ 150 \$ par hectare (de Vries, 1996).

Le Danemark est le pays européen qui a mis en place les mesures les plus ambitieuses en matière de réduction de la pollution par les pesticides (Aubertot *et al.*, 2005). Pour la période 1990-1992, ce pays avait utilisé 4 948 000 kg d'ingrédients actifs, tandis que ce chiffre était de l'ordre de 2 931 000 kg pour la période 2000-2002 (OCDE, 2004a). Par exemple, ce pays a instauré en 1998 un programme appelé « Danish Pesticide Leaching Assessment Programme » (PLAP). Le PLAP consiste en un suivi intensif des pesticides en termes de risques de lessivage dans les champs. Les résultats obtenus lors de ce programme permettent par la suite d'établir des restrictions lors de l'utilisation des pesticides qui ont migré dans le sol à des concentrations plus grandes que 0,1 µg/l (Kjaer, 2003). De plus, dès 1986, le Danemark posait des actions afin de réduire l'utilisation et la fréquence de traitement avec des pesticides. En 1986, diverses mesures ont été mise en place : une taxe sur les pesticides a été instaurée, une formation obligatoire des agriculteurs a été mise en place, les zones les plus sensibles ont été déclarées comme zone sans application de pesticides (interdiction de traitements sur 8 000 ha situés en zone sensible), du financement pour la conversion à l'agriculture biologique a été octroyée (Aubertot *et al.*, 2005). La taxe sur les pesticides a été utilisée afin de financer leur plan d'action. Ainsi, dans le plan d'action 2000-2002 le Danemark s'était fixé comme objectif de réduire la fréquence d'application de pesticides en agriculture à moins de 2,0 traitements par année. Les fréquences d'applications de pesticides sont passées de 2,33 en 1999 à 2,04 en 2002. Dans son plan d'action 2004-2009, le Danemark vise l'atteinte de 1,7 traitement par année (OCDE, 2004b). En 2002, 8 000 ha en zone tampons le long des lacs et cours d'eau ont été instaurés, l'objectif vise d'ici 2009, 25 000 ha en zones tampons (OCDE, 2004b).

La Suède a mis en place un « National Risk Reduction Program » sur les pesticides depuis 1987. Jusqu'à ce jour trois étapes de cinq ans chacune ont été franchies. Lors des deux premières étapes du programme de réduction des risques les mesures ont porté sur l'homologation de pesticides à risques réduits, des améliorations des réglementations et des activités de formation et d'information. Pour la période 1990-1992, ce pays avait utilisé 1 897 000 kg d'ingrédients actifs, tandis que ce chiffre était de l'ordre de 1 700 000 kg pour la période 2000-2002 (OCDE, 2004a; OCDE, 2004b). Selon l'OCDE, les éléments de succès de ce pays ont été outre la réévaluation et l'élimination de pesticides, une formation pour tous les agriculteurs qui veulent utiliser des

pesticides, la mise en place de services conseils en appui à la lutte intégrée, des activités recherche et de développement en agriculture biologique, les techniques de pulvérisation, des programmes volontaires de certification des pulvérisateurs et l'instauration d'une taxe sur les pesticides (OCDE, 2004b).

En Suisse, afin de protéger les eaux contre la pollution par les pesticides, des interdictions et des prescriptions régissant l'utilisation de pesticides ont été instaurées. Pour la protection de l'eau souterraine, toute utilisation de pesticides est interdite dans la zone de captage (zone S1) qui comprend les alentours immédiats d'un captage ou d'une installation de réalimentation de la nappe (un périmètre de 10 m au moins autour du captage et des drains des puits filtrants). Dans les zones S2 et S3 de protection des eaux souterraines, l'utilisation de certains pesticides est interdite. Ces pesticides sont l'aldicarbe, l'atrazine, l'alloxydim, l'anilazine, le bentazone, le clétodime, le dazomet, le furalaxyl, l'isoproturon, le séthoxydime, la simazine et le triclopyr (ester). Pour la protection des eaux de surface, l'utilisation des pesticides est interdite sur une bande de 3 mètres de large le long des cours d'eau, des haies, des bosquets et des forêts (OCDE, 2004b; Office fédéral de l'environnement, 2006).

Les États-Unis, au début des années 90, ont lancé une stratégie fédérale de protection des eaux souterraines. Celle-ci a débuté par une enquête sur les concentrations des résidus de pesticides dans les puits et s'est poursuivie par l'élaboration de plans à l'échelle des états pour gérer, voire, éliminer les pesticides dans les zones où les eaux souterraines sont vulnérables. En 1996, l'Environmental Protection Agency (EPA) proposait une réglementation qui demandait aux États sur une base individuelle de développer des « Pesticide Management Plans » (PMP) afin de protéger la ressource eau souterraine de la contamination par les pesticides. L'EPA désignait certains pesticides prioritaires soit l'atrazine, l'alachlore, la cyanazine, le métolachlore et la simazine comme les premières substances qui devraient faire l'objet de PMP (Blaier et Baxter, 2000). Les cinq pesticides sont considérés par l'EPA comme cancérigène « probable » ou « possible » et possèdent un potentiel de contamination de l'eau souterraine élevé. De plus, ces herbicides étant mobiles et de persistance modérée sont les plus fréquemment détectés dans les régions où ils sont utilisés (Spalding *et al*, 2004). L'EPA mentionnait que ces pesticides pouvaient causer des effets déraisonnables à l'environnement en l'absence de mesures adéquates (EPA, 1996). Au niveau des États, le « Pesticides Management Plans » a comme objectif de prévenir la contamination de la ressource eau souterraine par les pesticides. Ce plan indique les programmes d'échantillonnage qui permettent de suivre l'évolution de la qualité de l'eau souterraine principalement dans les zones vulnérables à une contamination par les pesticides. Selon les résultats obtenus lors du suivi de la qualité de l'eau souterraine et en fonction des concentrations des pesticides détectés et des critères d'eau potable pour ces produits, un plan d'action est établi pour réduire la contamination. Des actions préventives non réglementaires et réglementaires sont proposées selon la sévérité de la contamination (Illinois Department of Agriculture, 2000; Minnesota Department of Agriculture, 2005; Nebraska Department of Agriculture, 1997). Certains États comme le Minnesota ont aussi commencé à envisager la possibilité de bannir l'atrazine (Minnesota Votes, 2005).

Des États comme le Maine ont été très proactifs dans la mise en place du *State Management Plan*. Puisque des pesticides ont été détectés dans certains puits du Maine, le *Board of Pesticide Control* a collaboré avec d'autres agences pour protéger l'eau souterraine. Le *Generic State Management Plan for Pesticides and Ground Water* a été développé en 1994 et révisé en 1998.

L'objectif de ce plan est d'évaluer les problématiques de contamination potentiels et, lorsqu'un pesticide est détecté, évaluer l'étendue de la problématique. Des *Pesticide management practices* sont alors mises en œuvre pour identifier les tendances de la contamination. Le plan exige des suivis dans l'eau souterraine de l'État à tous les 5 à 7 ans et la création de *Pesticide-specific State Management Plans* là où cela s'impose. En réponse à des détections de faibles niveaux d'hexazinone dans l'eau souterraine à certaines localisations de l'État, le *Board of Pesticide Control* a développé le *Hexazinone State Management Plan for the Protection of Ground Water* en 1996. Ce plan expose les obligations des agences qui coopèrent, met en place des *Hexazinone Best Management Practices* et exige le suivi de l'hexazinone dans l'eau souterraine aux quatre ans (Board of Pesticide Control, 2006).

Le Department of Pesticide Regulation (DPR) de la Californie a mis en place un *Ground Water Protection Program* pour déterminer où et comment les pesticides contaminent l'eau souterraine, identifier les aires sensibles à la contamination par les pesticides et mettre au point des mesures d'atténuation afin de prévenir les mouvements de pesticides vers l'eau souterraine. Le DPR adopte aussi des réglementations et des programmes pour mettre en œuvre ces mesures de mitigation. Les mesures visent à prévenir le mouvement des pesticides vers l'eau souterraine dans les zones contaminées et prévenir les problèmes lieu dans d'autres zones non contaminées. Depuis plusieurs années, le DPR travaille afin de trouver la meilleure façon de protéger l'eau souterraine de la contamination par les pesticides. Ces efforts, qui ont impliqué des suivis environnementaux et des recherches scientifiques, ont mené vers une nouvelle réglementation au printemps 2004. Depuis 1986, les efforts pour protéger l'eau souterraine de la contamination par les pesticides ont été réalisés sous la *Pesticide Contamination Prevention Act (Assembly Bill 2021)*. Sous cette loi, les pesticides détectés dans l'eau souterraine sont interdits à moins que la contamination future puisse être contrôlée. La réglementation a focalisé sur des mesures de mitigation et déterminé des *Pesticide Management Zones (PMZ)* autour des puits contaminés. En 2003, ces zones représentaient 313 000 acres. La nouvelle réglementation de 2004, a désigné 2,4 millions d'acres dans l'État où l'eau souterraine est la plus vulnérable à la contamination par les pesticides par le lessivage et le ruissellement. La réglementation prescrit des actions préventives pour empêcher que les pesticides atteignent l'eau souterraine dans ces *Ground Water Protection Areas*, avant que la contamination survienne. Les scientifiques du DPR ont développé un modèle informatique qui identifie les zones vulnérables de l'État. Les zones vulnérables sont classifiées par risque de lessivage et de ruissellement et des pratiques sont écrites dans la réglementation pour chaque type de zone. Les pesticides visés par cette réglementation sont ceux déjà retrouvés dans l'eau souterraine et listés dans la réglementation (« 6800[a] list ») soit l'atrazine, la simazine, le bromacil, le diuron, le prométon, le bentazone et le norflurazon. Des permis sont exigés pour l'utilisation de ces pesticides dans les *Designated Ground Water Protection Areas (GWPA)* (State of California, 2003).

Taxe sur les pesticides

L'écotaxe est une option qui a été examinée par plusieurs pays. Elle est en vigueur dans certains d'entre eux. En France par exemple, l'écotaxe, communément appelée taxe générale sur les activités polluantes (TGAP), s'applique à certains pesticides préoccupants en raison de leurs caractéristiques écotoxicologiques et toxicologiques (Ministère de l'écologie et du développement durable, 1998; Guillet, 2005).

En Suède, la taxe, telle qu'elle existe aujourd'hui, est basée sur la quantité d'ingrédients actifs (kg) sans référence à leur nocivité. Elle s'applique dès le premier kilogramme. Cette taxe est de l'ordre de 5 à 8 % du prix des pesticides (Aubertot *et al.*, 2005). Au total, ce sont plus de 1 700 tonnes de produits phytosanitaires qui sont ciblées. Cela rapporte donc 4,1 millions d'euros qui vont au budget de l'État. Ce budget prévoit le financement d'un programme de développement agricole afin d'utiliser les pesticides de façon optimale. De 1990 à 1999, la diminution en poids d'ingrédients actifs était légèrement supérieure à 30 % (INRA, 2002).

En Norvège, la taxation est basée sur la toxicité des pesticides. Le taux de taxation a été porté à une moyenne de 31 % du prix des pesticides en 1999 (Aubertot *et al.*, 2005). La Finlande impose aussi une taxe de 3,5 % sur le prix des pesticides (Aubertot *et al.*, 2005). Quant au Danemark, le taux de taxation est de 54 % pour les insecticides et de 33 % pour les fongicides et les herbicides (Aubertot *et al.*, 2005).

Gestion de l'eau par bassins versants en Bretagne

En France, la potabilité de l'eau est une obligation légale et engage la responsabilité des élus vis-à-vis des consommateurs. Au-delà de la nécessité de garantir cet approvisionnement, la reconquête de la qualité de l'eau s'est révélée être, pour la Bretagne, un enjeu fondamental pour le développement économique, la santé publique, l'aménagement du territoire et le respect de l'environnement. La Bretagne a donc créé un programme appelé, « Bretagne Eau Pure » (BEP) qui constitue la mise en œuvre des moyens ayant pour objectif la restauration de la qualité de l'eau à l'échelle des bassins versants. Le programme BEP a identifié la réduction des teneurs en nitrates et en pesticides comme objectif prioritaire. BEP fournit un soutien technique et financier aux agriculteurs désirant modifier leurs pratiques. Il fournit également des outils et un accompagnement leur permettant de prendre en compte la protection de la ressource eau dans le choix des pesticides qui seront utilisés sur leur exploitation et ainsi améliorer les pratiques agricoles. La première étape consiste à l'identification et au classement des parcelles par un technicien agréé. La méthode de classement des parcelles permet de façon simplifiée d'attribuer à chacune des parcelles, un niveau de risque de transfert des produits phytosanitaires à partir de cinq facteurs (la distance du cours d'eau, la pente, le drainage, la longueur de pente et la protection en aval). Ces diagnostics, réalisés par des techniciens ayant suivi une formation ont pour objectif de mettre à la disposition de l'exploitant, l'outil permettant d'adapter ses pratiques en fonction du risque de transfert des produits phytosanitaires vers les eaux. La deuxième étape consiste à gérer le risque de pollution en choisissant pour les cultures, des produits phytosanitaires adaptés au niveau de risque des parcelles. Le BEP classe les substances actives en trois groupes selon leur potentiel de mobilité mesuré à partir de trois critères [la dose à l'hectare, le temps de dégradation et le pouvoir de fixation sur le sol (adsorption)]. Cette classification est

revue, si nécessaire, en tenant compte des résultats du suivi de la qualité de l'eau. Ces classements servent à l'élaboration des chartes phytosanitaires sur les bassins versants. Le contenu de ces chartes s'appuie sur la correspondance faite entre les groupes de molécules et les niveaux de risque des parcelles diagnostiquées. Dans une dernière étape, les agriculteurs peuvent, suite au classement des parcelles, procéder à des aménagements qui auront pour effet de bonifier le classement de leurs parcelles. Ainsi, l'implantation de talus et de bandes enherbées, le positionnement des prairies le long des cours d'eau, sont des exemples qui permettent de limiter considérablement le ruissellement des eaux et réduisent ainsi le risque de transfert vers la ressource eau des produits phytosanitaires. Dans certains cas, l'utilisation de techniques alternatives tel que le désherbage mécanique ou mixte permet ainsi de réduire les doses appliquées et bonifie d'autant le bilan des applications. Le succès de BEP repose sur l'engagement volontaire des acteurs, à respecter une démarche d'action visant la reconquête de la qualité de l'eau, en suivant une règle du jeu dans le choix de certains produits phytosanitaires. C'est un outil mis au service de ceux qui, dans une démarche collective, ont choisi de réagir ensemble aux problèmes de la pollution de l'eau (Bretagne Eau Pure, 2004).

Diagnostic à la ferme

Les États-Unis ont instauré en 1990 un programme dont l'objectif principal est la prévention de la pollution de l'eau, particulièrement de l'eau potable. D'autres objectifs poursuivis sont liés à la protection de l'environnement et de la santé humaine. Ce programme nommé Farm*A*Syst (Farm*Assessment*System) est volontaire et confidentiel. Les agriculteurs participants doivent effectuer l'évaluation environnementale de leur exploitation à l'aide d'un cahier de feuilles d'information et de travail. Ce diagnostic comprend des feuilles d'information qui concernent les risques et les actions reliés à l'utilisation des pesticides. Lorsque les risques environnementaux de l'exploitation ont été évalués, des mesures de prévention et de réduction de ces risques sont identifiées et mises en œuvre. L'ensemble des États américains ont adopté le modèle Farm*A*Syst (Farm*A*Syst, 2002).

Au Canada, dans le cadre du Programme agricole environnemental, l'Ontario a adapté en 1992, le programme Farm*A*Syst du Wisconsin pour élaborer son plan agro-environnemental (PAE). Vingt-trois modules d'évaluation des risques ont été créés avec plus de deux cent soixante questions liées aux activités agricoles de trois secteurs généraux : les bâtiments de ferme, les pratiques agricoles et les secteurs naturels. Comme aux États-Unis, l'agriculteur a la possibilité, lors de l'autoévaluation, de déterminer les problèmes particuliers du site, d'établir des objectifs pertinents et d'en apprendre davantage sur les solutions à prendre en compte dans l'élaboration du plan d'action (Ontario Farm Environmental Coalition, 1999). Les provinces de l'Atlantique, l'Alberta et la Colombie-Britannique se sont inspirées du plan agroenvironnemental de l'Ontario pour créer leurs plans de ferme environnementale (PFE). Au Québec, le Plan d'accompagnement agroenvironnemental (PAA), offert depuis 2003 aux producteurs par l'entremise des agronomes oeuvrant dans les clubs-conseils en agroenvironnement, est la version québécoise de ce diagnostic à la ferme. Le PAA est volontaire, toutefois il est exigé pour l'obtention d'aides financières dans le cadre du programme Prime-Vert (MAPAQ, 2005b).

CONCLUSION

En milieu agricole, les pesticides sont utilisés pour protéger les cultures et les animaux d'élevage contre plusieurs organismes nuisibles : insectes, acariens, plantes indésirables, maladies parasitaires et rongeurs. Le secteur de la production agricole utilise la plus grande part des pesticides vendus au Québec, soit près de 80 % des ventes totales en 2001 (Gorse, 2005).

Les pesticides peuvent se retrouver dans l'environnement consécutivement à leur utilisation contre les organismes nuisibles. Ils peuvent occasionner une contamination ponctuelle ou une contamination diffuse de l'environnement et engendrer des effets sur la santé humaine et sur celle des autres organismes vivants. Une fois dispersés dans l'environnement, les pesticides peuvent se retrouver dans l'eau, l'air ou le sol, qui constituent autant de voies d'exposition à ces produits pour les humains et les organismes de divers écosystèmes.

Les campagnes d'échantillonnage des pesticides réalisées par le MDDEP dans les eaux de surface et souterraines au Québec ont démontré la présence d'une multitude d'ingrédients actifs des pesticides dans différentes rivières. Certains pesticides dépassent à l'occasion le critère pour la protection de la vie aquatique. Les échantillons prélevés dans les puits destinés à l'alimentation en eau potable ont également permis de détecter certains pesticides, dont la concentration respectait cependant les normes de qualité de l'eau potable. Certains pesticides ont aussi été détectés dans des réseaux d'approvisionnement en eau potable.

La présence des pesticides dans l'eau de surface et souterraine est un problème que connaissent aussi d'autres provinces canadiennes. De nombreux pays ont également détecté de multiples pesticides dans leurs eaux de surface et souterraines à des niveaux comparables à ceux du Québec. D'ailleurs, certains d'entre eux ont adopté plusieurs mesures afin de préserver leurs ressources en eau même si, d'après les prélèvements, les critères établis pour la protection de la vie aquatique ou la qualité de l'eau potable n'étaient pas dépassés.

Au Québec, plusieurs initiatives comme la Stratégie phytosanitaire, le Réseau d'avertissements phytosanitaires, les Clubs-conseils en agroenvironnement, les Cultures sans herbicides, le *Code de gestion des pesticides*, etc., ont été lancées afin de réduire les quantités de pesticides utilisés et diminuer les risques pour la santé et l'environnement.

Dans les pays industrialisés, la protection de l'environnement et la santé en regard de l'usage des pesticides est désormais une priorité. Certains pays, tout comme le Canada, ont modifié leurs critères de sélection lors de l'homologation afin d'offrir aux consommateurs des pesticides qui comportent des risques minimums pour la santé humaine et l'environnement. De plus, ces mêmes pays réévaluent tous les pesticides sur le marché. Ils retirent ceux qu'ils considèrent trop préoccupants pour la santé humaine et l'environnement. La qualité et la protection de l'eau sont devenues prioritaires pour eux. Ainsi, plusieurs initiatives prometteuses lancées dans divers pays, pourraient aider à améliorer des outils déjà implantés au Québec.

Il est intéressant de constater que diverses initiatives ont été instaurées par certains pays même si elles étaient relativement contraignantes. Il en est résulté des progrès substantiels dans les façons de réduire les risques associés à l'utilisation des pesticides. Par exemple, certains pays ont concentré leurs efforts sur certains ingrédients actifs qui représentent des risques élevés pour l'environnement et la santé et ils ont introduit des mesures restrictives pour en réduire l'usage.

Dans ce contexte et à partir d'expériences menées à l'étranger, on peut s'interroger sur les mesures nouvelles qu'il faut instaurer au Québec pour mieux protéger l'environnement et la santé humaine et sur les mesures existantes à renforcer, compte tenu du contexte économique, agricole et environnemental propre au Québec.

RÉFÉRENCES CONSULTÉES

- ACIA (AGENCE CANADIENNE D'INSPECTION DES ALIMENTS)**, 2006, (19 janvier 2006). « Rapport sur les pesticides, produits chimiques agricoles, polluants environnementaux et autres impuretés dans les produits agroalimentaires d'origine végétale- Année financière 2004-2005 », dans le site de l'Agence canadienne d'inspection des aliments, [En ligne]. http://www.inspection.gc.ca/francais/fssa/microchem/resid/2004-2005/plaveg_f.shtml (consultation le 31 juillet 2006).
- AGRICULTURE ET AGROALIMENTAIRE CANADA**, 2003, (30 juillet 2003). « La Production Fruitière Intégrée, de nouvelles possibilités pour les pommes », dans le site d'Agriculture et Agroalimentaire Canada, [En ligne]. http://res2.agr.ca/kentville/pubs/agriscope2001/article3_f.htm., (consultation le 31 mars 2006).
- ANDERSON, J.M., S. BOUTRUP, L.M. SVENDSEN, J. BOGESTRAND, R. GRANT, J.P. JENSEN, T. ELLERMANN, G. ÆRTEBJERG, L.F. JORGENSEN, M.W. PEDERSON**, 2005. « Aquatic Environment 2004. State and trends - technical summary », National Environmental Research Institute. - NERI Technical Report no. 561, Danish Environmental Protection Agency, 64 p., [En ligne]. http://www2.dmu.dk/1_viden/2_Publikationer/3_fagrappporter/rapporter/FR561.PDF
- ARLA**, 2005, (septembre 2005). « Fiche de renseignements sur le Programme de réduction des risques liés aux pesticides », dans le site de Santé Canada, [En ligne]. http://www.pmr-arla.gc.ca/francais/pdf/fact/fs_riskreduction-f.pdf (consultation le 25 juillet 2006).
- ASSOCIATION CULTURES SANS HERBICIDES**, 2006. « Un grain de santé », dans le site de l'Association cultures sans herbicides, [En ligne]. <http://www.ungraindesante.biz/fr/grain/index.php> (consultation le 28 mars 2006).
- AUBERTOT J.N., J.M. BARBIER, A. CARPENTIER, J.J. GRIL, L. GUICHARD, P. LUCAS, S. SAVARY, I. SAVINI, M. VOLTZ** (éditeurs), 2005. *Pesticides, agriculture et environnement, Réduire l'utilisation des pesticides et limiter leurs impacts environnementaux*, [En ligne]. Rapport d'Expertise scientifique collective, INRA et Cemagref (France), http://www.inra.fr/l_institut/missions_et_strategie/les_missions_de_l_inra/eclairer_les_decisions/pesticides_rapport_d_expertise.
- BATTAGLIN, W.A., E.T. FURLONG, M.R. BURKHARDT, C.J. PETER**, 2000. *Occurrence of sulfonylurea, sulfonamide, imidazolinone and other herbicides in Midwestern rivers, reservoirs and groundwater, 1998*, U.S. Geological Survey, Denver, Colorado, 11 p., [En ligne]. <http://co.water.usgs.gov/midconherb/pdf/battaglin99.pdf>.
- BELLEVILLE, D., D. BOUDREAU, G. CARRIER**, 1998. *Analyse des risques à la santé associés à l'exposition aux organophosphorés utilisés dans les vergers de la Montérégie*, Régie régionale de la santé et des services sociaux de la Montérégie, Direction de la santé publique, 59 p.

- BÉRUBÉ, V.E., M.H. BOILY, C. DEBLOIS, N. DASSYLVA, P.A. SPEAR, 2005.** “Plasma retinoid profile in bullfrogs, *Rana catesbeiana*, in relation to agricultural intensity of sub-watersheds in the Yamaska River drainage basin, Québec, Canada”, *Aquatic Toxicology*, vol. 71, p.109-120.
- BISSON, M., R. DESROSIERS, I. GIROUX, 1998.** *Étude exploratoire sur la présence de pesticides dans l'air ambiant et au sol à proximité des vergers de pommiers, Région de la Montérégie*, Ministère de l'Environnement et de la Faune, Direction du milieu atmosphérique, Direction des politiques des secteurs agricole et naturel, Direction des écosystèmes aquatiques, 39 p.
- BLAIER S.C. AND BAXTER S.J., 2000.** *The occurrence and distribution of several agricultural pesticide in Delaware's shallow ground water*, University of Delaware Newark, Delaware, Report of investigations no.61, 23 p., [En ligne].
<http://www.udel.edu/dgs/Publications/pubsonline/RI61.pdf>.
- BOARD OF PESTICIDE CONTROL, 2006.** *Water Quality Program*, Maine Department of Agriculture, [En ligne]. <http://www.maine.gov/agriculture/pesticides/water/index.htm> (consultation le 8 mai 2006).
- BOILY, M.H., V.E BÉRUBÉ, P.A. SPEAR, C. DEBLOIS, N. DASSYLVA, 2005.** « Hepatic retinoids of bullfrogs in relation to agricultural pesticides », *Environmental Toxicology and Chemistry*, vol. 24, no. 5, p. 1099-1106.
- BPR Inc., 2005.** *Suivi 2003 du Portrait agroenvironnemental des fermes du Québec*, rapport présenté au ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec, à l'Union des producteurs agricoles et à Agriculture et Agroalimentaire Canada, 66 p. , [En ligne].
http://www.mapaq.gouv.qc.ca/NR/rdonlyres/D11217A3-F6E8-45C6-BFCC E3D4E22613D6/0/PAESuivi_2003_rap_final.pdf
- BRETAGNE EAU PURE, 2004.** *Bretagne Eau Pure*, dans le site Bretagne Eau Pure, [En ligne].
<http://www.bretagne-eau-pure.org/page.php?P=static/accueil/> (consultation le 31 mars 2006).
- BRIMBLE, S., P. BACCHUS, P.-Y. CAUX, 2005.** *Pesticide utilization in Canada : A compilation of current sales and use data*, Environnement Canada, 144 p.
- CENTRE SAINT-LAURENT, 2005a, (6 juillet 2005).** *Effets des pesticides sur la santé des amphibiens*, dans le site d'Environnement Canada, [En ligne].
http://www.qc.ec.gc.ca/csl/pro/pro022ag_f.html (consultation le 31 mars 2006).
- CENTRE SAINT-LAURENT, 2005b, (29 juin 2005).** *Rôle de la contamination de l'eau de la rivière Richelieu dans les difficultés de fraie du chevalier cuirré*, dans le site d'Environnement Canada, [En ligne]. http://www.qc.ec.gc.ca/csl/pro/pro026ag_f.html (consultation le 31 mars 2006).
- CHRISTIN, M.S, A.D. GENDRON, P. BROUSSEAU, L. MENARD, D.J. MARCOGLIESE, D. CYR, S. RUBY, M. FOURNIER, 2003.** “Effects of agricultural pesticides on the immune system of *Rana pipiens* and on its resistance to parasitic infection”, *Environmental Toxicology & Chemistry*, vol. 22, no. 5, p. 1127-1133.

- CLAVER, A., P. ORMAD, L. RODRIGUEZ, J.L. OVELLEIRO**, 2006. “ Study of the presence of pesticides in surface waters in the Ebro river basin (Spain)”, *Chemosphere*, vol. 64, no. 9, p. 1437-1443.
- CLUBS-CONSEILS EN AGROENVIRONNEMENT**, 2006. *Bilan des activités 2004-2005*, Clubs conseils en agroenvironnement (CCAÉ) et la planification agroenvironnementale à la ferme, 27 p., [En ligne].
http://www.clubsconseils.org/database/Image_usager/2/Les%20clubsconseils/bilan_final2004-2005.pdf
- COMITÉ DE SUIVI DU PLAN D’ACTION TRIENNAL EN VERGERS DE POMMIERS**, 2003. *Plan d’action triennal en vergers de pommiers 1998-2001*, Québec, 17 p.
- COMITÉ PERMANENT DE L’ENVIRONNEMENT ET DU DÉVELOPPEMENT DURABLE**, 2000. *Les pesticides, Un choix judicieux s’impose pour protéger la santé et l’environnement*, [En ligne]. <http://www.parl.gc.ca/InfocomDoc/36/2/ENVI/Studies/Reports/envi01-f.html>
- COMMISSION DE LA COOPÉRATION ENVIRONNEMENTALE**, 2003. « Un groupe d’étude s’intéresse aux effets du lindane sur les enfants », *Trio*, Bulletin de la commission de la coopération environnementale de l’Amérique du Nord (CEC-CCA-CCE), [En ligne].
<http://www.cec.org/trio/stories/index.cfm?ed=11&ID=132&varlan=français>
- COOTE, D.R. et L.J. GREGORICH**, 2000. *La santé de l’eau, vers une agriculture durable au Canada*, Direction de la planification et de la coordination de la recherche, Direction générale de la recherche, Agriculture et Agroalimentaire Canada, Ottawa (Ontario), 200 p., [En ligne]. http://www.agr.gc.ca/nlwis/pub/hw_se/pdf/intro_f.pdf
- CORPEP**, 2003. « Les produits phytosanitaires dans les eaux superficielles », L’eau en Bretagne, Bilan 2003, dans le site de *DIREN Bretagne*, [En ligne].
http://www.bretagne.environnement.gouv.fr/Eau/Tableaux_Bord/Tab-Bord_2003/Eaux_douces/phyto.htm
(consultation le 31 mars 2006).
- CRAAQ (CENTRE DE RÉFÉRENCE EN AGRICULTURE ET AGROALIMENTAIRE DU QUÉBEC) (comité Pomiculture)**, 2006. *Production fruitière intégrée pour les producteurs de pommes du Québec*, Programme 2006, 24 p., [En ligne].
<http://www.agrireseau.qc.ca/phytoprotection/documents/programme%20pf2006%20v2.pdf>
- CROPLIFE CANADA**, 2005. « Pleins feux sur l’innovation, 2004-2005, Rapport annuel », dans le site de *CropLife Canada*, 24 p., [En ligne]. http://www.croplife.ca/english/pdf/annnualreport/04-05_croplife_annual_report_fr.pdf (consultation le 25 avril 2006).
- DAVIDSON, C., H.B. SHAFFER, M.R. JENNINGS**, 2002. “Spatial tests of pesticides drifts, habitats destruction, UV-B, and climate-change hypotheses for California amphibian declines”, *Conservation Biology*, vol. 16, p. 1588-1601.

- DE LAFONTAINE, Y., N.L. GILBERT, F. DUMOUCHEL, C. BROCHU, S. MOORE, E. PELLETIER, P. DUMONT, A. BRANCHAUD, 2002. "Is chemical contamination responsible for the decline of the copper redhorse (*Moxostoma hubbsi*), an endangered fish species, in Canada ?", *The Science of the Total Environment*, vol. 298, p. 25-44.
- DEPARTMENT OF ENVIRONMENT AND ENERGY PEI, 1994. « Fish kill in glenwood, Prince Edward Island », dans le site du gouvernement de l'Île-du-Prince-Édouard, [En ligne]. <http://www.gov.pe.ca/infopei/index.php3?number=71259&lang=E> (consultation le 26 juillet 2006).
- DEPARTMENT OF ENVIRONMENT AND ENERGY PEI, 1999. « Summary of activities surround the 1998 Huntley river fish kill », dans le site du gouvernement de l'Île-du-Prince-Édouard, [En ligne]. <http://www.gov.pe.ca/infopei/index.php3?number=71262&lang=E> (consultation le 26 juillet 2006).
- DEPARTMENT OF ENVIRONMENT AND ENERGY PEI, 2000. « The 2000 Fullerton's fish kill report », dans le site du gouvernement de l'Île-du-Prince-Édouard, [En ligne]. <http://www.gov.pe.ca/infopei/index.php3?number=71261&lang=E> (consultation le 26 juillet 2006).
- DEVILLIERS, D., R. FARRET, P. GIRARDIN, J.L. RIVIÈRE, G. SOULAS, 2005. « Indicateurs pour évaluer les risques liés à l'utilisation des pesticides », Éditions TEC & DOC, Lavoisier, ISBN : 2-7430-0747-8, 278 p.
- DE VRIES, J., 1996. "Sustainable farming in Holland-Green labels and environmental yardsticks", *Pesticides News*, no. 33, 6 p.
- DEWAILLY, E., P. AYOTTE, S. BRUNEAU, S. GINGRAS, M. BELLES-ISLES, R.ROY, 2000. "Susceptibility to infections and immune status in Inuit infants exposed to organochlorines", *Environmental Health Perspectives*, vol. 108, no.3, p.205-211.
- DORVAL, J, V. LEBLOND, C. DEBLOIS, A. HONTELA, 2005. "Oxidative stress and endocrine endpoints in white sucker (*Catostomus commersoni*) from a river impacted by agricultural chemicals", *Environmental Toxicology and Chemistry*, vol. 24, no. 5, p. 1273-1280.
- DUCHESNE, R-M., M-H. APRIL, D. GINGRAS, 2003, *Inventaire des modèles d'indicateurs de risques sur la santé et sur l'environnement pour les pesticides*, Direction de l'environnement et du développement durable, Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de la l'Alimentation du Québec, 35 p.
- ENVIRONNEMENT CANADA, 2001, (3 juin 2001). « Les produits antiparasitaires à usage agricole et l'atmosphère », bulletin *science et environnement* dans le site d'Environnement Canada, [En ligne]. http://www.ec.gc.ca/science/sandeoct01/article3_f.html (consultation le 31 mars 2006).
- ENVIRONNEMENT CANADA, 2002a, (30 août 2002). « Les oiseaux victimes des pesticides », bulletin *science et environnement* dans le site d'Environnement Canada, [En ligne]. http://www.ec.gc.ca/science/sandejuly02/article1_f.html (consultation le 31 mars 2006).

- ENVIRONNEMENT CANADA**, 2002b, (24 décembre 2002). « Les ours blancs et les POPs », bulletin *science et environnement* dans le site d'Environnement Canada, [En ligne]. http://www.ec.gc.ca/science/sandemay00/article4_f.html (consultation le 31 mars 2006).
- EPA**, 1996, (26 juin 1996). "Pesticides and Ground Water State Management Plan Regulation", *Federal Register Environmental Documents*, vol. 61, no. 124, 79 p., dans le site de l'Environmental Protection Agency, [En ligne]. <http://www.epa.gov/fedrgstr/EPA-PEST/1996/June/Day-26/pr-768.html> (consultation le 31 mars 2006).
- ÉQUIPE DE RÉTABLISSEMENT DU CHEVALIER CUIVRÉ**, 2004. *Plan de rétablissement pour la survie du chevalier cuivré (Moxostoma hubbsi) 2004-2008*, Ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs, Direction du développement de la faune, Québec, 77 p.
- ÉQUITERRE**, 2006. « L'Agriculture soutenue par la communauté », dans le site d'Équiterre, [En ligne]. <http://www.equiterre.org/agriculture/paniersBios/index.php> (consultation le 25 juillet 2006).
- FARM*A*SYST**, 2002. *Farm*A*Syst/Home*A*Syst, Program Impacts Update Focus: 1999-2000*, National Office, Madison, Wisconsin, 23 p., [En ligne]. <http://www.uwex.edu/farmasyst/impacts/ImpactsReport.pdf>
- FÉDÉRATION D'AGRICULTURE BIOLOGIQUE DU QUÉBEC**, 2003. « Nombre de fermes biologiques au Québec selon leur production principale », dans le site de la Fédération d'agriculture biologique du Québec, [En ligne]. <http://www.fabqbio.ca/pages/frames.htm> (consultation le 31 mars 2006).
- GENDRON, A., A. BRANCHAUD**, 1997. *Impact potentiel de la contamination du milieu aquatique sur la reproduction du suceur cuivré (Moxostoma hubbsi) : synthèse des connaissances*, Ministère de l'Environnement et de la Faune, Service de l'aménagement et de l'exploitation de la faune, Rapport technique, 16-02. Direction régionale de la Montérégie.
- GENDRON, A.D., D.J. MARCOGLIESE, S. BARBEAU, M.S. CHRISTIN, P. BROUSSEAU, S. RUBY, M. FOURNIER**, 2003. "Exposure of leopard frogs to a pesticide mixture affects life history characteristics of the lungworm *Rhabdias ranæ*", *Oecologia*, vol. 135, no. 3, p. 469-476.
- GILLIOM, R.J., J. E. BARBASH, C.G. CRAWFORD, P.A. HAMILTON, J.D. MARTIN, N. NAKAGAKI, L.H. NOWELL, J.C. SCOTT, P.E. STACKELBERG, G.P. THELIN ET D.M. WOLOCK**, 2006. *The Quality of Our Nation's Waters—Pesticides in the Nation's Streams and Ground Water, 1992–2001*, U.S. Geological Survey Circular 1291, 172 p., [En ligne]. <http://pubs.usgs.gov/circ/2005/1291/pdf/circ1291.pdf>
- GIROUX, I.**, 1995. *Contamination de l'eau souterraine par les pesticides et les nitrates dans les régions de culture de pomme de terre : campagnes d'échantillonnage 1991-1992-1993*, Ministère de l'Environnement et de la Faune, Direction des écosystèmes aquatiques, 34 p. et annexes.

- GIROUX, I., M. DUCHEMIN, M. ROY, 1997.** *Contamination de l'eau par les pesticides dans les régions de culture intensive du maïs au Québec ; Campagnes d'échantillonnage de 1994 et 1995*, Ministère de l'Environnement et de la Faune, Direction des écosystèmes aquatiques, 54 p. et 6 annexes.
- GIROUX, I., 1998a.** *Suivi environnemental des pesticides dans des régions de vergers de pommiers, Rapport d'échantillonnage de petits cours d'eau et de l'eau souterraine au Québec en 1994, 1995 et 1996*, Ministère de l'Environnement et de la Faune, Direction des écosystèmes aquatiques, 23 p. et 3 annexes, [En ligne]. <http://www.menv.gouv.qc.ca/pesticides/verger/index.htm>
- GIROUX, I., 1998b.** *Impact de l'utilisation des pesticides sur la qualité de l'eau des bassins versants des rivières Yamaska, L'Assomption, Chaudière et Boyer*, Ministère de l'Environnement et de la Faune, Direction des écosystèmes aquatiques, Saint-Laurent Vision 2000, 48 p.
- GIROUX, I., 2000.** *Suivi des pesticides dans la rivière Richelieu près des sites de fraie du chevalier cuivré*, Ministère de l'Environnement, Direction du suivi de l'état de l'environnement, Québec, 9 p. et 2 annexes.
- GIROUX, I., 2002.** *Contamination de l'eau par les pesticides dans les régions de culture de maïs et de soya au Québec, Campagnes d'échantillonnage de 1999, 2000 et 2001 et évolution temporelle de 1992 à 2001*, Québec, Ministère de l'Environnement, Direction du suivi de l'état de l'environnement, 45 p. et 5 annexes, [En ligne]. http://www.menv.gouv.qc.ca/pesticides/maïs_soya/rapportfinal.pdf
- GIROUX, I., 2003.** *Contamination de l'eau souterraine par les pesticides et les nitrates dans les régions en culture de pommes de terre*, Direction du suivi de l'état de l'environnement, Ministère de l'Environnement, Québec, 23 p. et 3 annexes, [En ligne]. http://www.menv.gouv.qc.ca/pesticides/pomme_terre/Pesticides_pomme_terre.pdf
- GIROUX, I., Y. GIRARD, H. TREMBLAY, 2003.** *Concentrations d'hexazinone dans des prises d'eau potable près de bleuetières du Saguenay-Lac-Saint-Jean*, Québec, Ministère de l'Environnement, 9 p. et 2 annexes, [En ligne]. <http://www.menv.gouv.qc.ca/pesticides/bleuetiere/index.htm>
- GIROUX, I., 2004.** *La présence de pesticides dans l'eau en milieu agricole au Québec*, Québec, Ministère de l'Environnement, Direction du suivi de l'état de l'environnement, 40 p, [En ligne]. http://www.menv.gouv.qc.ca/eau/eco_aqua/pesticides/index.htm
- GIROUX, I., C. ROBERT, N. DASSYLVA, 2006.** *Présence de pesticides dans l'eau au Québec : bilan dans des cours d'eau de zones de culture de maïs et de soya en 2002, 2003 et 2004, et dans les réseaux de distribution d'eau potable*, Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, Direction du suivi de l'état de l'environnement, Direction des politiques de l'eau et Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec, 57p. et 5 annexes.

- GIROUX, I., C. LAMONTAGNE**, 2006. *Présence de pesticides dans l'eau souterraine en milieu agricole : Étude pilote du bassin versant de la rivière Châteauguay*, Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, Direction du suivi de l'état de l'environnement et Direction des politiques de l'eau (document en préparation).
- GORSE, I.**, 2005. *Bilan des ventes de pesticides au Québec pour l'année 2001*, Québec, Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, Envirodoq : N° ENV/2005/0140, 70 p., [En ligne]. <http://www.mddep.gouv.qc.ca/pesticides/bilan2001/index.htm>
- GOVERNMENT OF ALBERTA**, 2001, (20 novembre 2001). "Provincial stream survey", dans le site du ministère de l'Agriculture, Food and Rural Development, Alberta government, [En ligne]. [http://www1.agric.gov.ab.ca/\\$department/deptdocs.nsf/all/wat2449](http://www1.agric.gov.ab.ca/$department/deptdocs.nsf/all/wat2449) (consultation le 31 mars 2006).
- GUILLET, S.**, 2005, (18 mai 2005). « La taxe générale sur les activités polluantes (TGAP) », dans le site de *CCIexpert environnement*, [En ligne]. <http://www.cciexpert.net/Environnement/zoomsur.asp?page=5> (consultation le 31 mars 2006).
- GRAYMORE, M., F. STAGNITTI ET G. ALLINSON**, 2001. "Impact of atrazine in aquatic ecosystems", *Environment International*, vol. 26 , no.7, p. 483-485.
- HARDING, L.E., M.L. HARRIS, C.R. STEPHEN, J.E. ELLIOTT**, 1999. "Reproductive and morphological condition of wild mink (*Mustela vison*) and river otters (*Lutra Canadensis*) in relation to chlorinated hydrocarbon contamination ", *Environmental Health Perspectives*, vol. 107, no. 2, p. 141-147.
- HAYES, B. T., A. COLLINS, M. LEE, M. MENDOZA, N. NORIEGA, A.A. STUART, A. VONK**, 2002. "Hermaphroditic, demasculinized frogs after exposure to the herbicide atrazine at low ecologically relevant doses", *PNAS*, vol. 99, no. 8, p. 5476-5480.
- HII, B., S. SYLVESTRE, T. TUOMINEN, M. SEKELA, M. MAZALEK**, 2004, (mars 2004). « Nutrients, metals, bacteria and organic compounds in groundwater exposed to agricultural activities in the lower fraser valley, british columbia », dans le site d'Environnement Canada, 45 p., [En ligne]. http://www.pyr.ec.gc.ca/georgiabasin/reports/lfv_groundwater/EC-GB-04-76_e.pdf (consultation le 27 juillet 2006).
- ILLINOIS DEPARTMENT OF AGRICULTURE**, 2000. *Illinois generic management plan for pesticides in groundwater*, 41 p., [En ligne]. <http://www.agr.state.il.us/pdf/warrenspmp.htm>
- INRA**, 2002. *Mise en œuvre de la fiscalité environnementale au niveau de l'agriculture dans les différents pays européens*, synthèse réalisée par CARPENTIER, A., P. RAINELLI, C. GUERRIER (collab.), J.P. FOUET (collab.), Rapport final, ministère de l'Agriculture, de la Pêche et des Affaires rurales, Paris, Inra-Économie et Sociologie rurale-Rennes, 67 p., [En ligne]. http://www.agriculture.gouv.fr/spip/IMG/pdf/rapport_final_fiscalite.pdf

- INSTITUT FRANÇAIS DE L'ENVIRONNEMENT**, 2002. *Les pesticides dans les eaux*, bilan annuel, Institut Français de l'Environnement (IFEN), 24 p., [En ligne]. <http://www.ifen.fr/pestic/2002/pestic2002.htm>
- INSTITUT FRANÇAIS DE L'ENVIRONNEMENT**, 2004. *Les pesticides dans les eaux*, bilan annuel, Données de 2002, Institut Français de l'Environnement (IFEN), 33 p., [En ligne]. <http://www.ifen.fr/pestic/2004/pestic2004.htm>
- KIESECKER, J.M.**, 2002. "Synergism between trematode infection and pesticide exposure: a link to amphibian limb deformities in nature ?", *PNAS*, vol. 99, no. 15, p. 9900-9904.
- KJAER, J.**, 2003. *PLAP-Monitoring results May 1999-June 2002*, Geological Survey of Denmark and Greenland, Ministry of the Environment Danish Institute of Agricultural Sciences Ministry of Food, Agriculture and Fisheries National Environmental Research Institute Ministry of the Environment, [En ligne]. http://pesticidvarsling.dk/publ_result/2002/vap-results-99-02-0-dk.htm
- KOLPIN, D.W., MARTIN, J.D.**, 2003. *Pesticides in ground water : summary statistics; preliminary results cycle I of the National Water Quality Assessment Program (NAWQA), 1992-2001*, 5 p., [En ligne]. http://ca.water.usgs.gov/pnsp/pestgw/Pest-GW_2001_Text.html
- KREUGER, J. et S. ADIELSSON**, 2006. *Pesticide monitoring in Sweden*, Nordic Workshop on Pesticide Monitoring, Uppsala, February 2006, [En ligne]. <http://www.ust.is/ness/pest/Jenny.pdf>
- LACHANCE, P., LECOURS, R.**, 1998. L'association *CULTURES SANS HERBICIDE*, [En ligne]. <http://members.tripod.com/plachance/ACSHhistorique.htm> (consultation le 30 septembre 2004).
- LACHANCE, P.**, 2005. *La certification « UN GRAIN DE SANTÉ » ou « Grandir par en dedans »*, 2 p.
- LAFORTUNE, M. et PANISSET J.C.**, 1988. « Mesure de risque d'exposition aux pesticides pour les producteurs agricoles du Québec », *Travail et santé*, vol. 4(2), 1988, S9-S14.
- LEVITAN, L.**, 1997. *An overview of pesticide impact assessment systems (a.k.a. "Pesticide Risk Indicators") based on indexing or ranking pesticides by environmental impact*. Pest Management of the Crossroad, 78 p., [En ligne]. <http://www.pmac.net/loisbig.htm>.
- LIEBSCHER, H., B. HIL, D. MCNAUGHTON**, 1992. « Nitrates and pesticides in the Abbotsford Aquifer, southwestern British Columbia », Environment Canada, 83 p.
- LOWCOCK, L.A., T.F. SHARBEL, J. BONIN, M. OUELLET, J. RODRIGUE, J-L. DESGRANGES**, 1997. "Flow cytometric assay for in vivo genotoxic effects of pesticides in Green frogs (*Rana clamitans*)", *Aquatic Toxicology*, vol. 38, p. 241-255.
- LUDVIGSEN, G.H.**, 2006. « The Agricultural Environmental Monitoring Program in Norway – JOVA », Nordic workshop on pesticide monitoring in the environment, Uppsala, February 2006, [En ligne]. http://www.ust.is/ness/pest/Gro_Hege.pdf

- MAC RAE, R., R. CHRISTIANSON, A. MACEY, R. MARTIN, R. BEAUCHEMIN, 2002. *Plan stratégique pour le secteur agricole et agroalimentaire biologique canadien*, Centre de l'agriculture biologique du Canada, Collège agricole de la Nouvelle-Écosse (NSCA), 54 p. <http://www.nsac.ns.ca/pas/staff/rma/reportfinalfrench.pdf>
- MAPAQ (MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE, DES PÊCHERIES ET DE L'ALIMENTATION DU QUÉBEC), 2004a. *Les cahiers d'autoévaluation en lutte intégrée*, dans le site du ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec, [En ligne]. [http://www.mapaq.gouv.qc.ca/Fr/Productions/Agroenvironnement/bonnespratiques/pesticides/lutteintegree/](http://www.mapaq.gouv.qc.ca/Fr/Productions/Agroenvironnement/bonnespratiques/pesticides/lutteintegree/Cahierslutteintegree/) (consultation le 31 mars 2006).
- MAPAQ (MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE, DES PÊCHERIES ET DE L'ALIMENTATION DU QUÉBEC), 2004b. *Stratégie phytosanitaire, Historique*, dans le site du ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec, [En ligne]. <http://www.mapaq.gouv.qc.ca/Fr/Productions/Agroenvironnement/bonnespratiques/pesticides/Strategiephytosanitaire/Historique/> (consultation le 31 mars 2006).
- MAPAQ (MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE, DES PÊCHERIES ET DE L'ALIMENTATION DU QUÉBEC), 2005a. *Programme Action-Réglage*, dans le site du ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec, [En ligne]. <http://www.mapaq.gouv.qc.ca/Fr/Productions/Agroenvironnement/bonnespratiques/pesticides/Programmeactionreglage/> (consultation le 12 avril 2006).
- MAPAQ (MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE, DES PÊCHERIES ET DE L'ALIMENTATION DU QUÉBEC), 2005b. *Démarche d'accompagnement agroenvironnemental*, dans le site du ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec, [En ligne]. <http://www.mapaq.gouv.qc.ca/Fr/Productions/Agroenvironnement/mesuresappui/planaccompagnement/> (consultation le 12 avril 2006).
- MARTIN, JD., CRAWFORD, CG., LARSON, S.J., 2003. *Pesticides in Streams, summary statistics; preliminary results from cycle I of National Water Quality Assessment Program (NAWQA)*, 1992-2001, 5 p., [En ligne]. http://ca.water.usgs.gov/pnsp/pestsw/Pest-SW_2001_Text.html
- MDDEP (MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DE L'ENVIRONNEMENT ET DES PARCS DU QUÉBEC), 2006. *Critères de qualité de l'eau de surface au Québec*, dans le site du ministère du Développement Durable, de l'Environnement et des Parcs, [En ligne]. http://www.mddep.gouv.qc.ca/eau/criteres_eau/index.htm#mai (consultation le 17 juillet 2006).
- MINNESOTA DEPARTMENT OF AGRICULTURE, 2005. *Minnesota Pesticide Management Plan: A Plan for the Protection of Groundwater and Surface Water*, Minnesota Department of Agriculture Agronomy and Plant Protection Division, 91 p., [En ligne]. <http://www.mda.state.mn.us/appd/ace/reports/2005-06-27pmp.pdf>
- MINNESOTA VOTES, 2005. « 2005 Senate Bill 1048 (Atrazine Ban) », dans le site du Minnesota votes, [En ligne]. <http://www.minnesotavotes.org/2005-SF-1048#comments> (consultation le 12 avril 2006)

- MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE ET DU DÉVELOPPEMENT DURABLE**, 1998. *La TGAP taxe générale sur les activités polluantes*, dans le site du ministère de l'Écologie et du Développement durable du Gouvernement français, [En ligne]. <http://www.environnement.gouv.fr/lepoint/tgap.htm>. (consultation en octobre 2004).
- MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT DU QUÉBEC**, 2003. *Bilan de la qualité de l'eau potable au Québec, Janvier 1995 - Juin 2002*, 46 p., [En ligne]. <http://www.menv.gouv.qc.ca/eau/potable/bilan03/index.pdf>
- MONOD, G.**, 1998. *Dangers des pesticides pour les organismes aquatiques, Difficultés rencontrées pour l'estimation des effets en milieu naturel*, INRA, Unité d'Écotoxicologie Aquatique, Actes du colloque L'eau, les pesticides et la santé, 25 avril 1998, [En ligne]. <http://assoc.wanadoo.fr/erb/colqP8.htm>
- MOORE, A. et C.P. WARING**, 1998. "Mechanistic effects of a triazine pesticide on reproductive endocrine function in mature Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) parr." *Pesticide Biochemistry and Physiology*, vol. 62, no. 1, p. 41-51.
- NEBRASKA DEPARTMENT OF AGRICULTURE**, 1997, *Nebraska Pesticides and Groundwater Generic State Management Plan*, 84 p., [En ligne]. <http://www.agr.state.ne.us/division/bpi/pes/gsmpp.pdf>
- NORWEGIAN AGRICULTURAL INSPECTION SERVICE**, 2002. (10 septembre 2002), *Pesticides*, dans le site du Norwegian Agricultural Inspection Service, [En ligne]. http://landbrukstilsynet.mattilsynet.no/dokument_eng.cfm?m_id=201&d_id=1060, (consultation le 31 mars 2006).
- OBSERVATOIRE DES EAUX SOUTERRAINES**, 2003. *État des nappes d'eau souterraine de la Wallonie*, dans le site de la Direction Générale des Ressources Naturelles et de l'Environnement, Belgique, [En ligne]. <http://environnement.wallonie.be/de/eso/atlas/> (consultation en octobre 2004).
- OCDE**, 1996. *Activités pour réduire les risques liés aux pesticides dans les pays de l'OCDE et certains pays de la FAO*, Direction de l'Environnement, Publications de l'Hygiène et de la Sécurité de l'Environnement, Série sur les Pesticides N°. 4, 85 p.
- OCDE**, 2001. *Indicateurs environnementaux pour l'agriculture*, Volume 3, Méthodes et résultats, Éditions de l'OCDE, France, 439 p.
- OCDE**, 2004a. *Agriculture et environnement : enseignements tirés de dix ans de travaux de l'OCDE*, 41 p., [En ligne]. <http://www.oecd.org/dataoecd/15/46/33914112.pdf>
- OCDE**, 2004b. *National Progress in reducing pesticide risks, responses to questionnaire for the 2004 meeting of environment ministers*, 49 p., [En ligne]. <https://www.oecd.org/dataoecd/51/16/23959249.pdf>

- OFFICE FÉDÉRAL DE L'ENVIRONNEMENT**, 2006. *Protection des eaux en agriculture, produits phytosanitaires*, dans le site de l'Office fédéral de l'environnement, Confédération suisse, [En ligne].
<http://www.umweltschweiz.ch/buwal/fr/fachgebiete/gewaesserschutz/landwirtschaft/pflanzenschutzmittel/index.html> (Consultation le 12 avril 2006).
- ONTARIO FARM ENVIRONMENTAL COALITION (OFEC)**, 1999. *Notre programme agricole environnemental*, brochure.
- OUELLET, M., J. BONIN, J. RODRIGUE, J.-L. DESGRANGES ET S. LAIR**, 1997. « Hindlimb deformities (ectromelia, ectrodactyly) in free-living anurans from agricultural habitats », *Journal of Wildlife Diseases*, vol. 33, no. 1, p. 95-104.
- PAN GERMANY**, 2004. *Moving toward Pesticide Reduction...realising Best Agricultural Practice in Central and Eastern Europe*, Susanne Smolka, éd., Hamburg, Germany, 33 p.
- PÊCHES ET OCÉANS CANADA**, 2000. *Effets des habitudes d'utilisation des terres sur les poissons et les mollusques ainsi que sur leurs habitats à l'Île-du-Prince-Édouard*, MPO, Maritimes. Rapport régional sur l'état de l'habitat 2000/1F, 21 p.
- QUÉBEC VRAI**, 2004. *L'organisme de certification Québec Vrai*, dans le site de Québec Vrai, [En ligne]. <http://www.quebecvrai.org/> (consultation en août 2004).
- RÉSEAU D'AVERTISSEMENTS PHYTOSANITAIRES**, 2006. *Réseau d'avertissements phytosanitaires*, dans le site du ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec, [En ligne].
<http://www.mapaq.gouv.qc.ca/Fr/Productions/Protectiondescultures/reseau/> (consultation le 31 mars 2006).
- RAP-POMMIER**, 2006. « Réseau d'avertissements phytosanitaires-pommiers » dans le site d'Agri-Réseau, [En ligne].
<http://www.agrireseau.qc.ca/rap/navigation.asp?opérateur=sitevoc&sitevoc=15465> (consultation le 25 juillet 2006).
- REUS, J.**, 1998. *The environmental yardstick for pesticides-state of affairs June 1998*, Integrated Pest Management Measurement Systems Workshop, 7 p.
- RICHARD, Y. et I. GIROUX**, 2004. *Impact de l'agriculture sur les communautés benthiques et piscicoles du ruisseau Saint-Georges (Québec, Canada)*, Québec, Ministère de l'Environnement, Direction du suivi de l'état de l'environnement, 28 p., [En ligne].
http://www.mddep.gouv.qc.ca/eau/bassinversant/bassins/assomption/St_Georges.pdf
- RONDEAU, G. et J.L. DESGRANGES**, 1995. « Effects of insecticide use on breeding birds in Christmas tree plantations in Quebec », *Ecotoxicology*, vol. 4, no. 5, p. 281-298.

- RONDEAU, B.**, 2002. *La qualité de l'eau du secteur fluvial. La contamination par les toxiques – Fiche d'information*, Direction de la conservation de l'environnement, Environnement Canada, Saint-Laurent Vision 2000, 6 p. (Biodiversité, Suivi de l'état du Saint-Laurent - 1998-2003 - SLV 2000), [En ligne].
http://www.slv2000.qc.ca/plan_action/phase3/biodiversite/suivi_ecosysteme/fiches/Qualite_eau_contam_tox_f.pdf
- RONDEAU, B.**, 2005. *La qualité de l'eau du secteur fluvial – La contamination par les toxiques – Fiche d'information*, Environnement Canada, 6 p. (Fiche d'information - Suivi de l'état du Saint-Laurent - 2005-2010 - PSL), [En ligne].
http://www.planstlaurent.qc.ca/plan/domaines/suivi_etat_sl/publications/fiches_indicateurs_2006/qualite_eau_toxique_2005_f.pdf
- SAGLIO, P., TRIJASSE S.**, 1998. "Behavioral responses to atrazine and diuron in goldfish", *Archives of Environmental Contamination & Toxicology*, vol. 35, no. 3, p. 484-491.
- SAMUEL O., L. ST-LAURENT, P. DUMAS, E. LANGLOIS et G. GINGRAS**, 2002. *Pesticides en milieu serricole : Caractérisation de l'exposition des travailleurs et évaluation des délais de réentrée*. Direction de la toxicologie humaine / Institut national de santé publique du Québec. étude subventionnée par l'IRSST, Rapport R-315, 79 p. et annexes.
- SAMUEL, O., L. ST-LAURENT**, 2001. *Guide de prévention pour les utilisateurs de pesticides en agriculture maraîchère*. Direction de toxicologie humaine/Institut national de santé publique du Québec. étude subventionnée par l'IRSST, Rapport RG-273, 87 p.
- SAMUEL, O. L. HOUDE, D. PHANEUF**, 1994b. *Évaluation des risques à la santé humaine attribuables à l'utilisation de glyphosate en milieu forestier* (résumé), Sainte-Foy, Centre de Toxicologie du Québec pour le ministère des Ressources naturelles du Québec, Direction de l'environnement forestier, publ. N^o RN95-3029, 72 p.
- SAMUEL, O.** 1988. *Pratiques sécuritaires et concentrations moyennes de glyphosate dosées dans l'urine des travailleurs forestiers utilisant le roundup*, Centre de Toxicologie du Québec, 79 p. et annexes.
- SAMUEL, O., L. FERRON, L. ST-LAURENT**, 1996b. *Évaluation de l'exposition cutanée et estimation d'un coefficient de transfert des résidus foliaires délogeables pour la population exposée au glyphosate*, Sainte-Foy, Centre de Toxicologie du Québec pour le ministère des Ressources naturelles du Québec, Direction de l'environnement forestier, 56 p. et annexes.
- SAMUEL, O., J.G. GUILLOT, A. LEBLANC, D. PHANEUF, J.P. WEBER**, 1991b. *Étude en pépinière de l'exposition professionnelle des travailleurs aux triazines*, Centre de Toxicologie du Québec, 50 p.

- SAMUEL, O., L. HOUDE, D. PHANEUF, 1994c. *Évaluation des risques à la santé humaine attribuables à l'utilisation du triclopyr en milieu forestier (résumé)*, Sainte-Foy, Centre de Toxicologie du Québec pour le ministère des Ressources naturelles du Québec, Direction de l'environnement forestier, publ. N° RN95-3028, 23 p.
- SAMUEL, O., L. HOUDE, D. PHANEUF, 1994d. *Évaluation des risques à la santé humaine attribuables à l'utilisation de l'hexazinone en milieu forestier (résumé)*, Sainte-Foy, Centre de Toxicologie du Québec pour le ministère des Ressources naturelles du Québec, Direction de l'environnement forestier, publ. N° RN95-3027, 6 p.
- SAMUEL, O., A. LEBLANC, J.G. GUILLOT, D. PHANEUF, J.P. WEBER, 1991a. *Étude de l'exposition professionnelle des travailleurs forestiers à l'hexazinone*, Centre de Toxicologie du Québec pour le Gouvernement du Québec, ministère des Forêts, 55 p. et annexes.
- SAMUEL, O., L. LEFEBVRE, 1996a. *Évaluation de l'exposition aux pesticides organophosphorés et carbamates des travailleurs de Rose-Drummond: phase II*, Centre de Toxicologie du Québec, 22 p. et annexes.
- SAMUEL, O., L. LEFEBVRE, 1994a. *Évaluation de l'exposition aux pesticides organophosphorés et carbamates des travailleurs de Rose-Drummond*, Centre de Toxicologie du Québec, 16 p. et annexes.
- SAMUEL, O., D. PHANEUF, A. LEBLANC, 1992. *Étude de l'exposition professionnelle des travailleurs forestiers à l'hexazinone, Rapport synthèse*, Centre de Toxicologie du Québec pour le gouvernement du Québec, ministère des Forêts, ISBN 2-550-27014-2, pub. no. FQ92-3113, 32 p.
- SAMUEL, O., L. ST-LAURENT, 1996e. *Évaluation qualitative de l'exposition externe des travailleurs aux pesticides à l'aide d'un marqueur fluorescent*, Sainte-Foy, Centre de Toxicologie du Québec pour le ministère des Ressources naturelles du Québec, Direction de l'environnement forestier, 25 p.
- SAMUEL, O., L. ST-LAURENT, L. A. FERRON, P. DUMAS, J.G. GUILLOT, G. GINGRAS, 1996c. *Proposition et validation de critères de détermination de délais de réentrée pour les pesticides utilisés en pépinières forestières*, Sainte-Foy, Centre de Toxicologie du Québec pour le ministère des Ressources naturelles du Québec, Direction de l'environnement forestier, 95 p. et annexes.
- SAMUEL, O., L. ST-LAURENT, L. A. FERRON, P. DUMAS, J.G. GUILLOT, G. GINGRAS, 1996d. *Étude de l'exposition professionnelle des applicateurs de pesticides dans les pépinières gouvernementales*. Sainte-Foy, Centre de Toxicologie du Québec pour le ministère des Ressources naturelles du Québec, Direction de l'environnement forestier, 32 p. et annexes.

- SAMUEL, O., L. ST-LAURENT, L. A. FERRON, J.G. GUILLOT, J.P. WEBER, 1999.** *Proposition et validation de critères de détermination de délais de réentrée pour les pesticides utilisés en agriculture maraîchère. Phase 1 : Évaluation de l'exposition des travailleurs et validation des critères*, Centre de Toxicologie du Québec, étude subventionnée par l'IRSST, Rapport R-222, ISBN :2-551-19232-3, ISSN :0820-8395, 67 p. et annexes.
- SANTÉ CANADA, 2002.** *Résumé des recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada*, préparé par le Sous-comité fédéral-provincial sur l'eau potable du Comité fédéral-provincial-territorial de l'hygiène du milieu et du travail, [En ligne]. http://www.hc-sc.gc.ca/hecs-sesc/eau/publications/recommandations_eau_potable/tdm.htm
- SANTÉ CANADA, 2005.** (9 août 2005), *La nouvelle loi sur les produits antiparasitaires*, dans le site de Santé Canada, [En ligne]. <http://www.hc-sc.gc.ca/pmra-arla/francais/legis/pcpa-f.html> (consultation le 31 mars 2006).
- SOCIÉTÉ DE LA FAUNE ET DES PARCS DU QUÉBEC, 2002.** *Rapport sur les impacts de la production porcine sur la faune et ses habitats*, Vice-présidence au développement et à l'aménagement de la faune, 72 p., [En ligne]. http://www.fapaq.gouv.qc.ca/fr/consultation/produit_porcine/Bape_5.pdf
- SPALDING R.F., WATTS, D.G., SNOW, D.D, CASSADA, D.A., EXNER, M.E., SCHEPERS, J.S., 2004.** "Herbicide loading to shallow groundwater beneath Nebraska's MSEA", *AgProfessional*, November 2004, p. 40-42., [En ligne]. http://www.agronomy.org/cca/exam_pdf/ss01600.pdf
- STATE OF CALIFORNIA, 2003.** *Ground Water Protection Program*, dans le site du Department of Pesticide Regulation of California, [En ligne]. <http://www.cdpr.ca.gov/docs/gwp/index.htm> (consultation le 8 mai 2006)
- STATISTIQUE CANADA, 2006.** « Estimation provisoires de la superficie des principales grandes cultures, Canada, 2006 », *Série de rapports sur les grandes cultures*, vol. 85 n° 04, 20 p., [En ligne]. <http://www.statcan.ca/francais/freepub/22-002-XIB/22-002-XIB2006004.pdf> (consultation le 4 juillet 2006)
- STEINBERG, C.E., P. LORENZ ET O.H. SPIESER, 1995.** "Effects of atrazine on swimming behavior of Zebrafish, *Brachiodanio rerio*", *Water Research*, vol. 29, no.3, p. 981-985.
- TUOMINEN, T., M. SEKELA, M. GLEDHILL, A. RYAN, 2005.** "Current In-use pesticides in streams located in agricultural, urban and relatively undisturbed areas of the Lower Fraser Valley", Environnement Canada, *Proceedings of the 2005 Puget Sound Georgia basin research conference*.
- UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME (UNEP), 2004.** « Convention de Stockholm sur les polluants organiques persistants », sur le site de l'United Nations Environment Programme, [En ligne]. <http://www.unep.org/Documents.Multilingual/Default.asp?DocumentID=397&ArticleID=4486&l=fr> (consultation en mai 2004).

USEPA, 1989. *Drinking Water Health Advisory: Pesticides*, Chelsea, Michigan, Lewis Publishers, 819 p.

VALCKE, M. ; SAMUEL, O. ; BELLEVILLE, D. ; DUMAS, P. ; SAVOIE, E. ; BOUCHARD, M., 2004. *Caractérisation de l'exposition aux pesticides utilisés en milieu résidentiel chez les enfants québécois âgés de 3 à 7 ans*, INSPQ, 135 p., [En ligne]. <http://www.inspq.qc.ca/pdf/publications/319-CaracterisationPesticidesEnfants.pdf>

VICKERY, J., 1998. *Integrated fruit production (IFP): an overview of programs*. Pest management at the crossroad, 7 p., [En ligne]. <http://www.pmac.net/intefrt.htm>.

WEBER, J.P., D. PHANEUF, O. SAMUEL, J.G. GUILLOT, D. MANCA, 1989. *Étude de l'exposition professionnelle des travailleurs forestiers exposés au glyphosate*, Centre de Toxicologie du Québec. 65 p.

WILLER, H. ET M. YUSSEFI, 2006. *The World of Organic Agriculture 2006 - Statistics and Emerging Trends*. 8th revised edition, International Federation of Organic Agriculture Movements (IFOAM), Bonn, Germany. 186 p., [En ligne]. http://www.ifoam.org/press/press/Statistics_2006.html