

Direction du suivi de l'état de l'environnement

**CONTAMINATION DE L'EAU SOUTERRAINE PAR LES PESTICIDES
ET LES NITRATES DANS LES RÉGIONS EN CULTURE DE POMMES
DE TERRE**

Campagne d'échantillonnage de 1999-2000-2001

Par Isabelle Giroux

**Ministère de l'Environnement
Gouvernement du Québec
2003**

Dépôt légal – Bibliothèque nationale du Québec

Envirodoq : ENV/2003/0233

ÉQUIPE DE TRAVAIL

Rédaction et coordination	Isabelle Giroux ¹	
Collaboration à la diffusion des résultats aux propriétaires de puits	Marco Bossé ²	Claude Magny ⁵
	Yvan Girard ³	André Nadeau ⁶
	Réjean Lapointe ⁴	
Révision scientifique	Évelyne Barrette ⁷	Claude Magny ⁵
	Line Bégin ⁷	André Nadeau ⁶
	Philippe Daigle ⁸	Patricia Robitaille ¹
	Richard Desrosiers ⁷	Hélène Tremblay ⁹
	Charles Lamontagne ⁹	
Révision linguistique	Traducteurs associés ¹⁰	
Échantillonnage	Camil Giasson ¹	Sylvie Legendre ¹
	Marie-Julie Laperrière ¹	Janek Szychowski ¹
Analyse de laboratoire ⁸	Mélanie Beaumont ⁸	Andrée Gendron ⁸
	Philippe Cantin ⁸	François Houde ⁸
	Nathalie Dassylva ⁸ (supervision)	Danielle Thomassin ⁸
	Christian Deblois ⁸	
Soutien technique en laboratoire	Ginette Côté ⁸	Céline Poulin ⁸
	Ginette Gaudreau ⁸	Carole Veillette ⁸
Graphisme et cartographie	Mona Frenette ¹	
Traitement de texte	Lyne Martineau ¹	Nathalie Milhomme ¹

¹ Direction du suivi de l'état de l'environnement, ministère de l'Environnement, édifice Marie-Guyart, 675, boulevard René-Lévesque Est, 7^e étage, Québec (Québec), G1R 5V7

² Direction régionale du Bas-Saint-Laurent, ministère de l'Environnement, 212, avenue Belzile, Rimouski (Québec), G5L 3C3

³ Direction régionale du Saguenay-Lac-Saint-Jean, ministère de l'Environnement, 3950, boulevard Harvey, 4^e étage, Jonquière (Québec), G7X 8L6

⁴ Direction régionale du Centre-du-Québec, ministère de l'Environnement, 1579, boulevard Louis-Fréchette, Nicolet (Québec), J3T 2A5

⁵ Direction régionale de Lanaudière, ministère de l'Environnement, 1160, rue Notre-Dame, Joliette (Québec), J6E 3K4

⁶ Direction régionale de la Capitale-Nationale, ministère de l'Environnement, 365, 55^e Rue Ouest, Charlesbourg (Québec), G1H 7M7

⁷ Direction des politiques du secteur agricole, ministère de l'Environnement, édifice Marie-Guyart, 675, boulevard René-Lévesque Est, 8^e étage, Québec (Québec), G1R 5V7

⁸ Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec, ministère de l'Environnement, 2700, rue Einstein, Sainte-Foy (Québec), G1P 3W8

⁹ Direction des politiques du secteur municipal, ministère de l'Environnement, édifice Marie-Guyart, 675, boulevard René-Lévesque Est, 8^e étage, Québec (Québec), G1R 5V7

¹⁰ Traducteurs associés, 1559, boulevard Saint-Joseph Est, Montréal (Québec), H2J 1M8

CONTAMINATION DE L'EAU SOUTERRAINE PAR LES PESTICIDES ET LES NITRATES DANS LES RÉGIONS EN CULTURE DE POMMES DE TERRE

Référence : GIROUX, Isabelle, 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, envirodoq n° ENV/2003/0233, 23 pages et 3 annexes.

RÉSUMÉ

Au Québec, la culture de la pomme de terre est pratiquée sur plus de 19 097 hectares. Cette culture s'effectue généralement sur des sols sableux et, dans ce type de sol, l'infiltration rapide des eaux de pluie rend la nappe d'eau particulièrement vulnérable à la contamination par les intrants agricoles.

Les échantillonnages effectués par le Ministère dans les années 1980 et au début des années 1990 dans des puits individuels situés près de champs où l'on cultive la pomme de terre avaient montré des concentrations élevées de nitrates et de certains pesticides, notamment des insecticides aldicarbe et carbofuran, ainsi que la présence de l'herbicide métribuzine. Depuis, plusieurs nouveaux pesticides sont apparus sur le marché et sont maintenant utilisés de façon courante pour la culture de la pomme de terre (notamment l'imidaclopride).

Les résultats obtenus en 1999, 2000 et 2001 dans différentes régions où l'on cultive la pomme de terre indiquent les éléments suivants :

- des pesticides sont détectés dans 49 % des puits échantillonnés;
- l'insecticide imidaclopride (ADMIRE) est détecté dans 35 % des puits échantillonnés. Depuis les programmes d'échantillonnage antérieurs, on assiste à un transfert d'une contamination de l'eau souterraine par l'insecticide aldicarbe (TEMIK) à une contamination par l'imidaclopride;
- l'herbicide métribuzine (LEXONE, SENCOR) est détecté dans 33 % des puits échantillonnés. L'herbicide métribuzine était présent dans l'eau souterraine au début des années 1990 et il est encore présent à une fréquence et à des concentrations similaires;
- la contamination de l'eau souterraine par les pesticides existe dans la plupart des régions où l'on cultive la pomme de terre, mais les régions les plus touchées sont celles de Portneuf et de Lanaudière;
- 42 % des puits échantillonnés montrent la présence de nitrates en concentrations qui excèdent la norme de 10 mg/l N-NO₃ pour l'eau potable;

- la contamination bactériologique est observée dans 27 % des puits échantillonnés; 16 % des puits échantillonnés montrent la présence de coliformes fécaux alors que l'eau potable ne devrait jamais en contenir;
- il n'existe pas de norme concernant l'eau potable pour l'imidaclopride, mais pour la métribuzine et les autres pesticides les concentrations mesurées sont faibles et respectent les normes ou valeurs de référence recommandées pour l'eau potable. Toutefois, bon nombre de puits montrent la présence simultanée de plusieurs pesticides (2 à 4), souvent conjuguée avec des concentrations de nitrates supérieures à la norme.

TABLE DES MATIÈRES

Équipe de travail	i
Résumé.....	iii
Table des matières.....	v
Liste des tableaux.....	vi
Liste des figures	vi
Liste des annexes	vii
MISE EN CONTEXTE	1
La culture de la pomme de terre.....	1
Les pesticides utilisés	2
Les sols et leurs caractéristiques	4
Les objectifs du programme d'échantillonnage	5
MÉTHODOLOGIE	6
L'échantillonnage.....	6
Les substances analysées.....	12
LES PESTICIDES ET AUTRES CONTAMINANTS DANS L'EAU SOUTERRAINE....	12
L'insecticide imidaclopride.....	14
L'herbicide métribuzine	16
Le fongicide chlorothalonil	16
Les autres pesticides.....	18
La présence simultanée de plusieurs pesticides	18
Les nitrates	18
La bactériologie.....	20
Les fluorures.....	20
L'arsenic	21
CONCLUSION	21
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	22

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1	Répartition des superficies en culture de pommes de terre au Québec.....	1
Tableau 2	Principaux pesticides homologués pour la culture de la pomme de terre.....	3
Tableau 3	Caractéristiques de deux sols typiques des régions en culture de pommes de terre au Québec	5
Tableau 4	Nombre de puits échantillonnés par localité et par région en 1999, 2000 et 2001.....	6
Tableau 5	Répartition du nombre de puits en fonction de la distance par rapport aux champs de pommes de terre.....	7
Tableau 6	Normes d'eau potable pour les pesticides analysés ($\mu\text{g/l}$).....	13
Tableau 7	Fréquence de détection des pesticides dans des puits situés près des champs de pommes de terre.....	14
Tableau 8	Nombre de puits où des pesticides ont été détectés par localité et par région.....	15
Tableau 9	Nombre de pesticides différents détectés dans les puits échantillonnés en 1999, 2000 et 2001.....	18
Tableau 10	Proportion des puits par classe de concentration en nitrates.....	19

LISTE DES FIGURES

Figure 1	Répartition des superficies en culture de pommes de terre au Québec.....	2
Figure 2	Vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution dans le secteur de Portneuf...	8
Figure 3	Vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution dans le secteur de Crabtree...	9
Figure 4	Vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution dans le secteur de L'Assomption	10
Figure 5	Vulnérabilité des eaux souterraines à la contamination dans le secteur de Saint-Ambroise	11
Figure 6	Évolution des concentrations de métribuzine ($\mu\text{g/l}$) pour quelques puits.....	17

LISTE DES ANNEXES

- Annexe 1 Total mensuel de pluie (mm) pour quelques stations météorologiques voisines de localités où l'on cultive la pomme de terre
- Annexe 2 Méthodes d'analyse des pesticides et limites de détection
- Annexe 3 Résultats d'analyse des pesticides dans des puits privés près de champs en culture de pommes de terre

MISE EN CONTEXTE

La culture de la pomme de terre

En 2001, on recensait au Québec 640 producteurs de pommes de terre. La superficie totale consacrée à la culture de la pomme de terre est de 19 097 hectares, dont 57 % est consacrée à la pomme de terre de table, 21 % à la production de croustilles, 14 % aux pommes de terre prépelées et 8 % à la pomme de terre de semence (Statistique Canada, 2001).

Les principales régions où l'on cultive la pomme de terre au Québec sont celles de Lanaudière (4 113 hectares), plus spécifiquement le secteur de Joliette, et de Québec (3 944 hectares), en particulier le secteur de Portneuf. Le Saguenay–Lac-Saint-Jean (2 743 hectares), la Montérégie (2 472 hectares), le Centre-du-Québec (1 516 hectares) et le Bas-Saint-Laurent (1 134 hectares) sont aussi des régions où des superficies appréciables sont consacrées à la culture de la pomme de terre (tableau 1 et figure 1).

Tableau 1 Répartition des superficies en culture de pommes de terre au Québec

RÉGIONS	NOMBRE DE FERMES	SUPERFICIE (ha)
Bas-Saint-Laurent	64	1 134
Saguenay–Lac-Saint-Jean–Côte-Nord	49	2 743
Québec	110	3 944
Mauricie	25	638
Estrie	14	-
Montréal-Laval	4	6
Lanaudière	51	4 113
Outaouais	23	489
Laurentides	32	280
Abitibi-Témiscamingue–Nord-du-Québec	7	-
Gaspésie–Îles-de-la-Madeleine	28	318
Chaudière-Appalaches	62	766
Montérégie	132	2 472
Centre-du-Québec	39	1 516
TOTAL	640	18 419

(Statistique Canada, 2001)

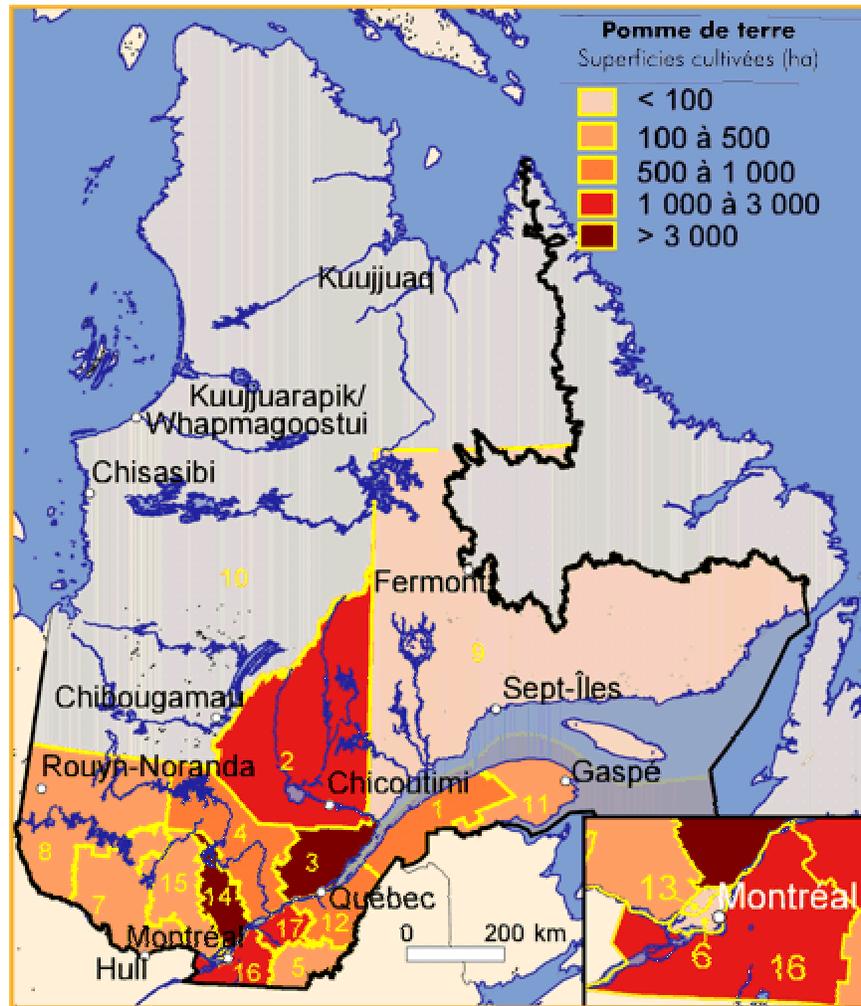


Figure 1 Répartition des superficies en culture de pommes de terre au Québec

Les pesticides utilisés

En plus des fertilisants, plusieurs pesticides sont utilisés pour la culture de la pomme de terre. Le tableau 2 présente une liste des principaux pesticides homologués pour cette culture.

Les herbicides sont employés en début de saison pour contrer les mauvaises herbes qui peuvent nuire au développement et au rendement de la culture. La métribuzine (LEXONE, SENCOR) et le linuron (LOROX, LINURON, AFOLAN) sont les plus utilisés.

Les insecticides sont utilisés au printemps ou l'été pour contrôler les infestations d'insectes. Plusieurs insectes peuvent causer des dommages aux plants de pommes de terre : l'altise, la cicadelle, le doryphore, le puceron et la punaise en sont des exemples. Parmi ces différents ravageurs, le doryphore de la pomme de terre (*Leptinotarsa decemlineata*) est celui dont le

Tableau 2 Principaux pesticides homologués pour la culture de la pomme de terre

	MATIÈRE ACTIVE	NOM COMMERCIAL
HERBICIDES	Diclofop-méthyl	HOE-GRASS
	EPTC	EPTAM
	Fénoxaprop-éthyl	EXCEL-SUPER
	Fluazifop-butyl	FUSILADE, VENTURE L
	Linuron	LOROX, LINURON, AFOLAN
	Métobromuron	PATORAN
	Métolachlore	DUAL
	Métribuzine	LEXONE, SENCOR
	Monolinuron	AFESIN
	Paraquat	GRAMOXONE
	Prométhryne	GESAGARD
Séthoxydime	POAST	
DEFANANTS	Diquat	REGLONE
	Glufosinate	IGNITE, DESSICATE
INSECTICIDES	Acéphate	ORTHENE
	Azinphos-méthyl	APM INSTAPAK, GUTHION SOLUPAK, GUTHION, SNIPER
	Bt	NOVODOR
	Carbofuran	FURADAN
	Carbaryl	SEVIN
	Chlorpyrifos	LORSBAN, PYRINEX
	Clethodim	SELECT
	Cyhalothrine-lambda	MATADOR
	Cyperméthrine	CYMBUSH, RIPCORD
	Diazinon	DIAZINON, DZN
	Deltaméthrine	DECIS
	Diméthoate	CYGON, LAGON
	Disulfoton	DI-SYSTON
	Endosulfan	THIODAN, THIONEX, ENDOSULFAN
	Imidaclopride	ADMIRE
	Malathion	MALATHION
	Méthamidiphos	MONITOR
	Méthomyl	LANNATE
	Méthoxychlore	METHOXYCHLOR
	Naled	DIBROM
	Oxamyl	VYDATE
	Perméthrine	POUNCE
	Phorate	THIMET
	Phosmet	IMIDAN INSTAPAK
Pyrimicarbe	PRIMOR	
Rimsulfuron	PRISM	
FONGICIDES	Chlorothalonil	BRAVO
	Cymoxanil/mancozèbe	CURZATE/MANZATE
	Dimétomorphe/mancozèbe	ACROBAT
	Fludioxonil	MAXIM
	Hydroxyde de cuivre	KOCIDE
	Mancozèbe	DITHANE, MANZATE, PENNCOZEB, POTATO, TUBERSEAL
	Métam-sodium	VAPAM
	Métirame	POLYRAM
	Métalaxyl/mancozèbe	RIDOMIL GOLD
	Métalaxyl/chlorothalonil	RIDOMIL GOLD/BRAVO
	Oxychlorure de cuivre	COPPER SPRAY
	Propamocarbe/chlorothalonil	TATTOO
	Sulfate de cuivre tribasique	CUIVRE 53 M
	Thiabendazole	MERTECT
	Thiophanate-méthyl	SENATOR
Zinèbe	ZINEB	
Zoxamide/mancozèbe	GAVEL	

Source : (Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec, 2001)

contrôle a nécessité le plus d'interventions à l'aide des pesticides. Des années 1970 jusqu'au début des années 1990, l'insecticide granulaire aldicarbe (TEMIK) fut l'un des insecticides les plus utilisés pour contrôler ce ravageur. En 1990, la compagnie Rhône-Poulenc, qui fabriquait ce produit, le retire du marché en ce qui a trait à son utilisation pour la culture de la pomme de terre en invoquant la découverte de concentrations élevées de résidus d'aldicarbe dans les tubercules de pommes de terre de certains champs expérimentaux aux États-Unis. Pendant quelques temps, les producteurs utilisent, en remplacement, des insecticides foliaires jusque-là utilisés en traitement complémentaire à l'aldicarbe, soit l'azinphos-méthyl (GUTHION), l'endosulfan (THIODAN) et la cyperméthrine (CYMBUSH, RIPCARD). En 1995, un nouvel insecticide fait son apparition, l'imidaclopride (ADMIRE). L'imidaclopride a d'abord été homologué de façon temporaire, puis permanente à partir de 1997; il est depuis le principal insecticide utilisé par les producteurs de pommes de terre au Québec. Il peut être appliqué au sol au moment du semis ou en traitement foliaire au cours de la saison. Actuellement, les deux types de traitement sont utilisés à part égale. Toutefois, il semble que l'application au sol tende à devenir de plus en plus répandue.

Il existe également différentes maladies de la pomme de terre : mildiou, gale, flétrissure bactérienne, flétrissure verticillienne, rhizoctonie, etc. Le mildiou est la maladie la plus importante de la pomme de terre et les fongicides employés servent essentiellement à combattre cette maladie. Des traitements fongicides sont appliqués sur le feuillage des plants au cours de l'été en fonction de l'apparition de conditions climatiques favorisant le développement du mildiou. Les produits utilisés sont notamment le chlorothalonil (BRAVO), le mancozèbe (DITHANE, MANZATE), le métirame (POLYRAM) et un mélange de propamocarbe et de chlorothalonil (TATTOO). Un traitement aux fongicides est parfois appliqué sur les tubercules de semence (RIDOMIL GOLD) avant la plantation pour combattre certaines autres maladies.

Certains producteurs appliquent aussi un défanant en fin de saison, le diquat (REGLONE), pour éliminer la partie émergente du plant et favoriser la maturation des tubercules. Enfin, des pesticides tels que le thiabendazole (MERTECT) peuvent aussi être utilisés en entrepôt pour faciliter la conservation des pommes de terre.

Les conditions climatiques (pluie, sécheresse) peuvent influencer le développement des ravageurs des cultures. La comparaison des données pluviométriques concernant les années d'échantillonnage 1999, 2000 et 2001, par rapport à celles de 1991, 1992 et 1993, montre des conditions relativement similaires au cours de ces deux périodes.

Les sols et leurs caractéristiques

Au Québec, les sols typiques des régions où l'on cultive la pomme de terre sont des sols très poreux. Plusieurs des séries de sols utilisés pour cette production sont des sables loameux contenant plus de 80 % de sable. Ce sont par exemple des séries Morin, Uplands et Pont-Rouge dans la région de Portneuf, et les sols de séries Joliette, Lanoraie et Saint-Thomas dans la région de Lanaudière. Le tableau 3 montre les principales caractéristiques de deux séries de sols typiques des régions de culture de pommes de terre.

Tableau 3 Caractéristiques de deux sols typiques des régions en culture de pommes de terre au Québec

SÉRIE	% SABLE	PH	% M.O.	CONDUCTIVITÉ HYDRAULIQUE (cm/sec)
Morin	85-90	5,7-5,8	1,2-3,8	$7,4 \times 10^{-4}$ – 8×10^{-4}
Lanoraie	89-94	5,0	0,7-1,5	$1,3 \times 10^{-3}$ – $2,9 \times 10^{-3}$

(Tabi *et al.*, 1990 a et b)

Dans ces sols, la conductivité hydraulique est élevée (elle s'élève par exemple jusqu'à $2,9 \times 10^{-3}$ cm/sec ou 10 cm/h pour les sols de la série Lanoraie). Cette caractéristique place ces sols parmi ceux dont on peut tirer l'eau le plus facilement et qui fournissent aisément les débits requis pour l'alimentation domestique en eau. En contrepartie, cette forte conductivité hydraulique a pour conséquence que le transport des eaux d'infiltration vers les couches profondes se fait très rapidement. Le temps de séjour de l'eau dans les horizons superficiels est très court, ce qui réduit les possibilités de dégradation biologique des pesticides et fertilisants qu'elle transporte. De plus, ces sols sont naturellement acides (pH 5 à 5,5) et présentent une faible teneur en matière organique, souvent inférieure à 3 %. Ces facteurs réduisent l'activité biologique du sol et, par conséquent, les possibilités de dégradation des pesticides qui y sont appliqués.

Les objectifs du programme d'échantillonnage

Dans les zones de culture de la pomme de terre, où les sols sont sableux, l'eau souterraine est particulièrement vulnérable à la contamination. Les programmes d'échantillonnage des pesticides dans les années 1980 et au début des années 1990 avaient montré des concentrations élevées de nitrates et de certains pesticides, notamment des insecticides aldicarbe (TEMIK) et carbofuran (FURADAN) dans l'eau souterraine. Depuis, plusieurs nouveaux pesticides sont apparus sur le marché et sont maintenant utilisés de façon courante pour la culture de la pomme de terre (notamment l'imidaclopride).

L'objectif principal du programme d'échantillonnage est donc d'actualiser le portrait de la contamination de l'eau souterraine par les pesticides dans les différentes régions où l'on cultive la pomme de terre. L'objectif secondaire est de vérifier l'ampleur de la contamination par les nitrates et la qualité bactériologique de l'eau dans ces zones vulnérables.

La diffusion des résultats devrait permettre de sensibiliser les producteurs de pommes de terre aux impacts de leurs activités sur la qualité de l'eau souterraine.

MÉTHODOLOGIE

L'échantillonnage

Des puits domestiques situés à proximité de champs où l'on cultive la pomme de terre ont été utilisés comme points d'échantillonnage de l'eau souterraine. Ce sont les puits de producteurs agricoles ou de leurs voisins. Au total, 79 puits ont été échantillonnés de 1999 à 2001 (tableau 4). Il s'agit d'une approche dite du pire scénario, où l'on documente la contamination dans les pires conditions (proximité de la culture, faible profondeur des puits).

Tableau 4 Nombre de puits échantillonnés par localité et par région en 1999, 2000 et 2001

RÉGION	LOCALITÉ	1999	2000	2001	TOTAL ¹
Québec	Sainte-Catherine-de-la-Jacques-Cartier	4	4	3	5
	Pont-Rouge	2	2	2	3
	Saint-Basile	1	1	1	1
	Saint-Ubalde	6	6	6	6
	Saint-Alban	0	1	0	1
	Saint-Raymond	2	0	0	2
	Saint-Jean (île d'Orléans)	3	0	0	3
	Saint-François (île d'Orléans)	0	0	2	2
Lanaudière	Lanoraie	0	1	1	1
	Lavaltrie	5	4	4	5
	Crabtree	2	2	2	3
	Saint-Thomas	7	2	8	15
	Saint-Roch-de-l'Achigan	1	0	0	1
Estrie	Compton	3	0	0	3
Centre-du-Québec	Notre-Dame-de-Pierreville	1	0	1	1
	Saint-Léonard-d'Aston	0	0	3	3
	Sainte-Brigitte-des-Saults	0	0	4	4
	Sainte-Eulalie	0	0	1	1
Saguenay-Lac-Saint-Jean	Saint-Ambroise	0	3	2	3
	Bégin	0	2	1	3
	Péribonka	0	3	2	4
	Dolbeau-Mistassini	0	2	1	2
Bas-Saint-Laurent	Saint-Pascal	0	0	1	1
	Notre-Dame-du-Portage	0	0	2	2
	Saint-Éloi	0	0	4	4
TOTAL	25 localités	37	33	51	79

1. Nombre total de puits différents échantillonnés. D'une année à l'autre, de nouveaux puits se sont ajoutés à l'échantillonnage alors que d'autres ont été délaissés.

Les figures 2 à 5 montrent la localisation de certains puits échantillonnés en 2001. Des cartes de vulnérabilité de l'eau souterraine y ont été superposées. La plupart des régions à l'étude présentent de vastes zones où l'eau souterraine est particulièrement vulnérable à la contamination.

Pour chaque puits échantillonné, on recueille les informations concernant l'emplacement, les caractéristiques du puits et, si possible, les renseignements agronomiques pour les champs avoisinant le puits. Les 79 puits échantillonnés alimentent en eau potable environ 225 personnes. Ce sont, pour la plupart, des installations qui puisent l'eau dans la nappe aquifère de surface. Parmi eux, 63 % sont des puits tubulaires. Les autres sont des citernes de béton (36 %). La profondeur des puits échantillonnés varie de 1,5 à 76 mètres. La valeur médiane de la profondeur des puits est de 5,7 mètres.

La distance entre les puits échantillonnés et les champs de pommes de terre varie de 0 à 1 km, mais, dans la plupart des cas, les champs sont à moins de 30 mètres des puits (tableau 5). Dans deux cas, les puits se trouvent dans le champ de pommes de terre.

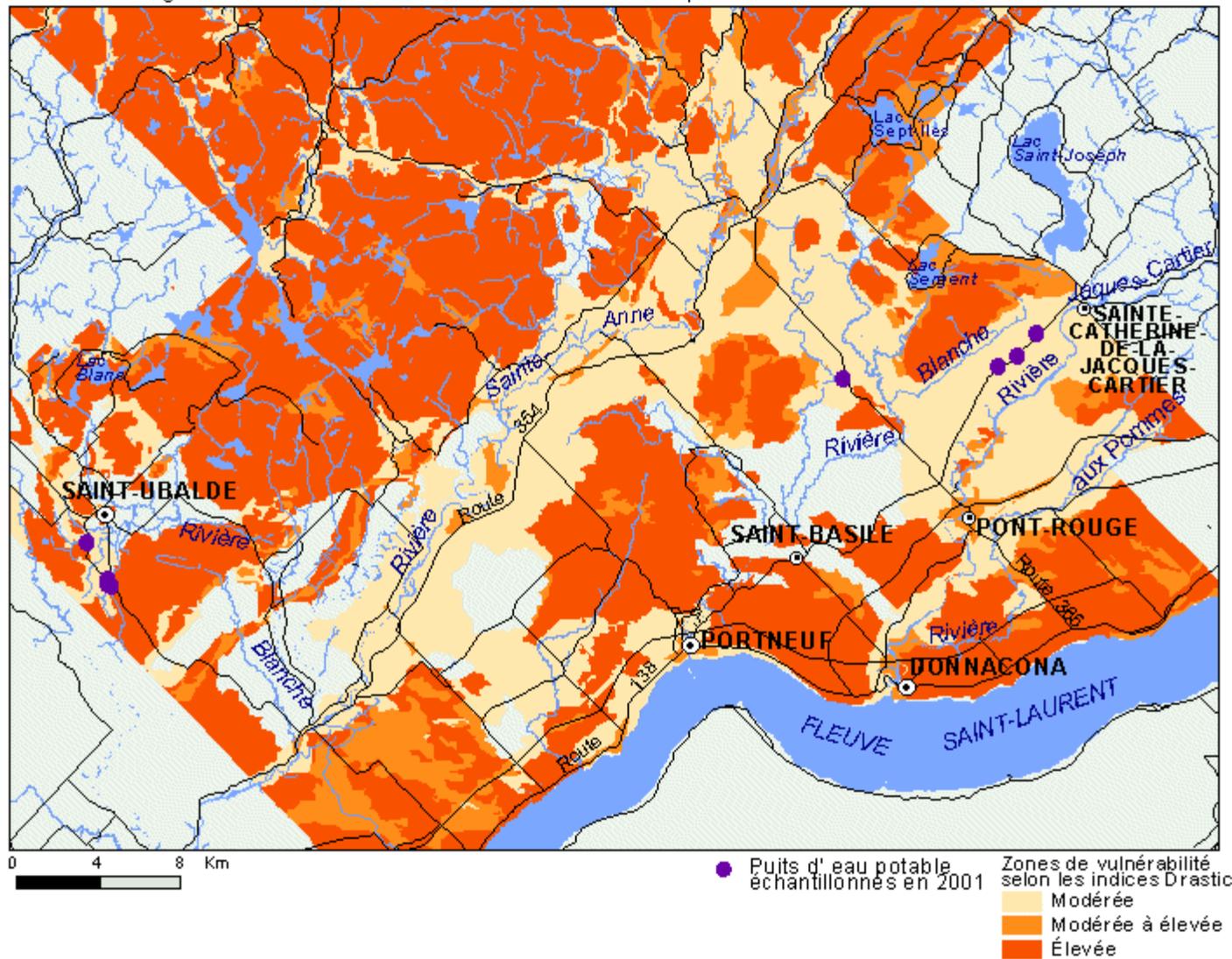
Tableau 5 Répartition du nombre de puits en fonction de la distance par rapport aux champs de pommes de terre

DISTANCE	PUITS	
	Nombre	%
Moins de 30 mètres	41	52
De 31 à 50 mètres	3	4
Plus de 50 mètres	20	25
Variable durant la période	9	11
Pas d'information	6	8

Les échantillons d'eau sont prélevés au robinet de la résidence desservie par le puits. Avant de prélever l'échantillon, on laisse couler l'eau pendant 5 minutes de façon à prélever de l'eau fraîchement pompée et non de l'eau qui aurait pu séjourner dans les tuyaux. Les échantillons pour l'analyse des pesticides sont prélevés dans des bouteilles de verre, à l'exception de l'analyse pour le diquat qui s'effectue dans une bouteille en plastique.

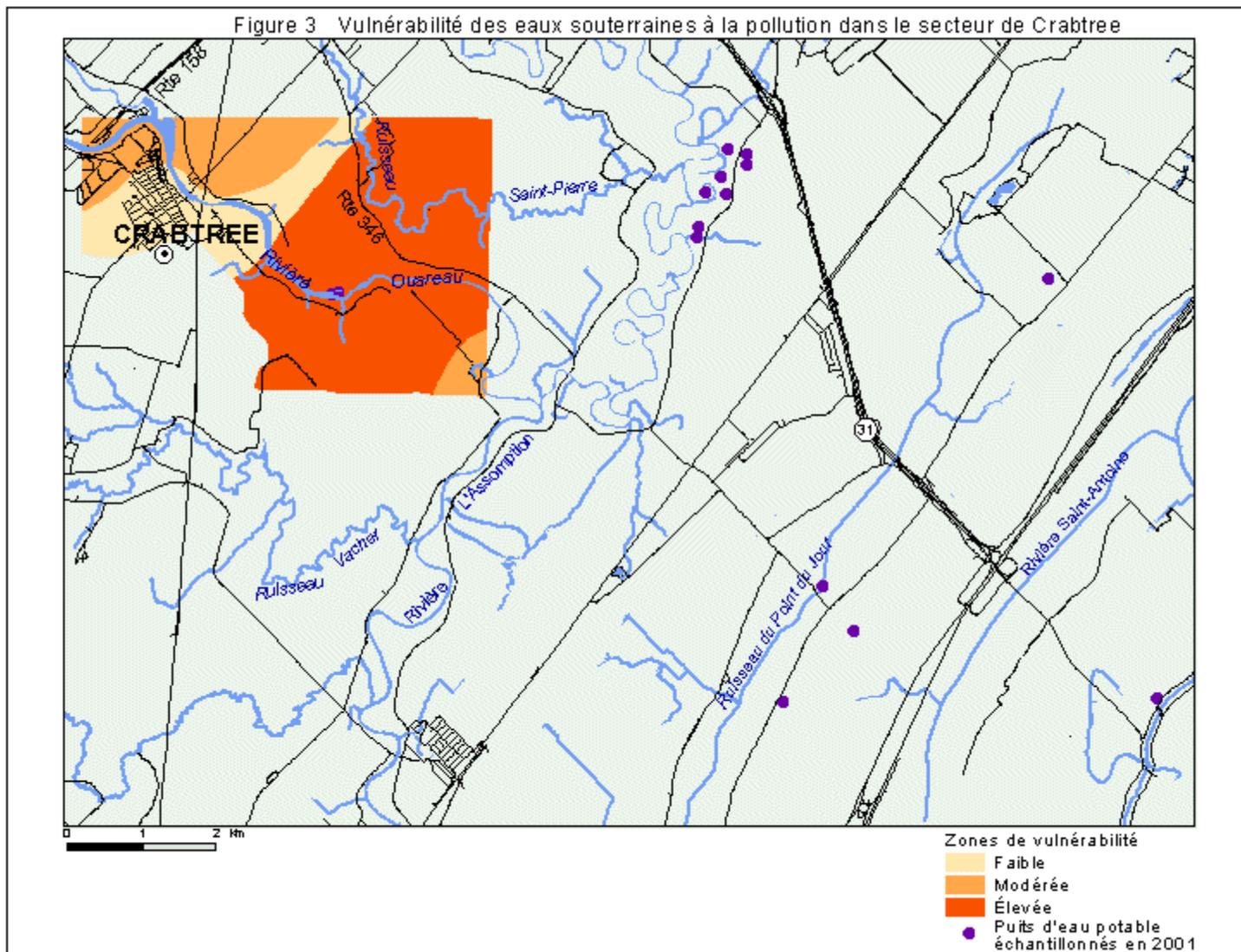
Les puits ont été échantillonnés une seule fois à l'automne. Généralement, à moins d'un refus du propriétaire, les puits où des pesticides ont été détectés ont été échantillonnés à nouveau l'année suivante. Dans le cas où aucun pesticide n'était détecté, le puits n'était pas échantillonné l'année suivante et un autre puits était retenu pour l'analyse.

Figure 2 Vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution dans le secteur de Portneuf



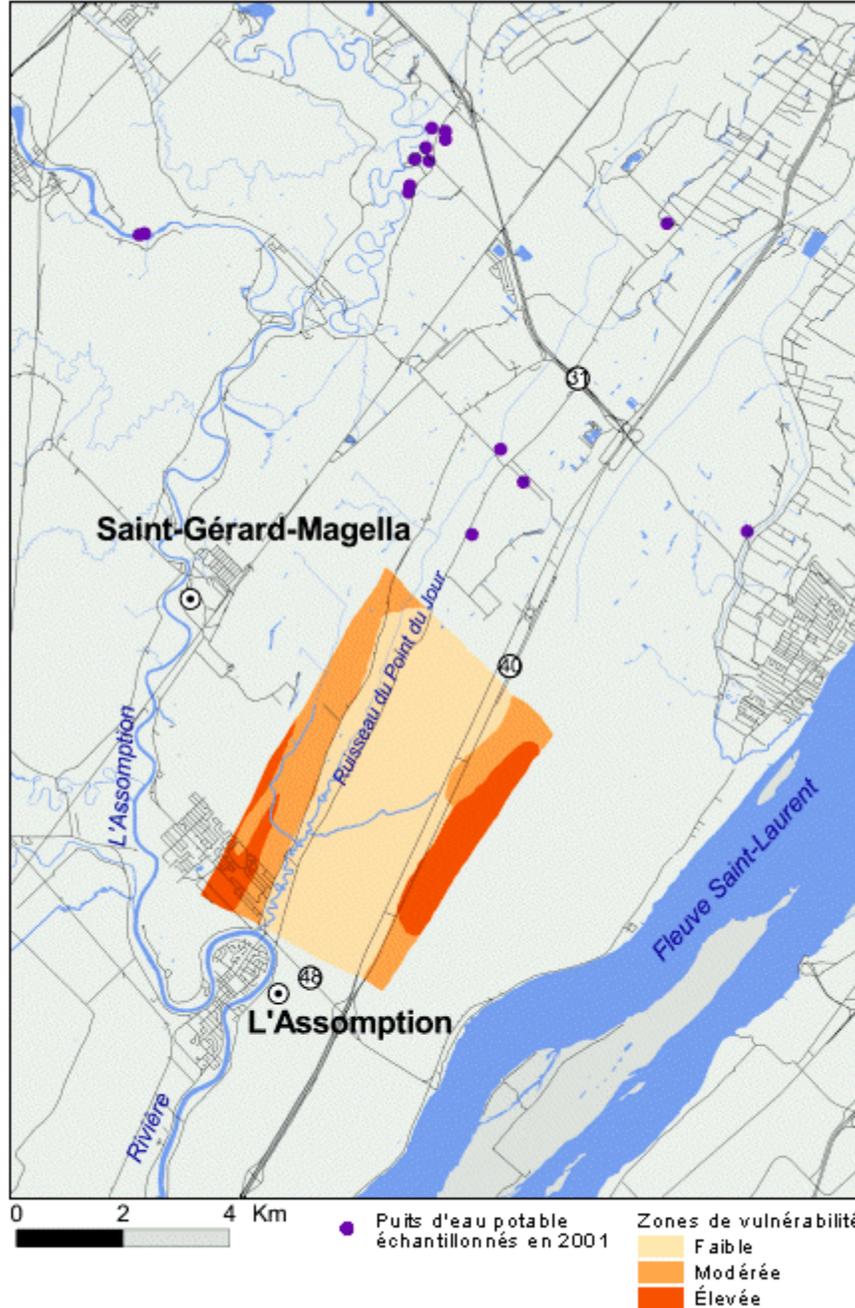
Source: Murat et al, 2000

Figure 3 Vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution dans le secteur de Crabtree



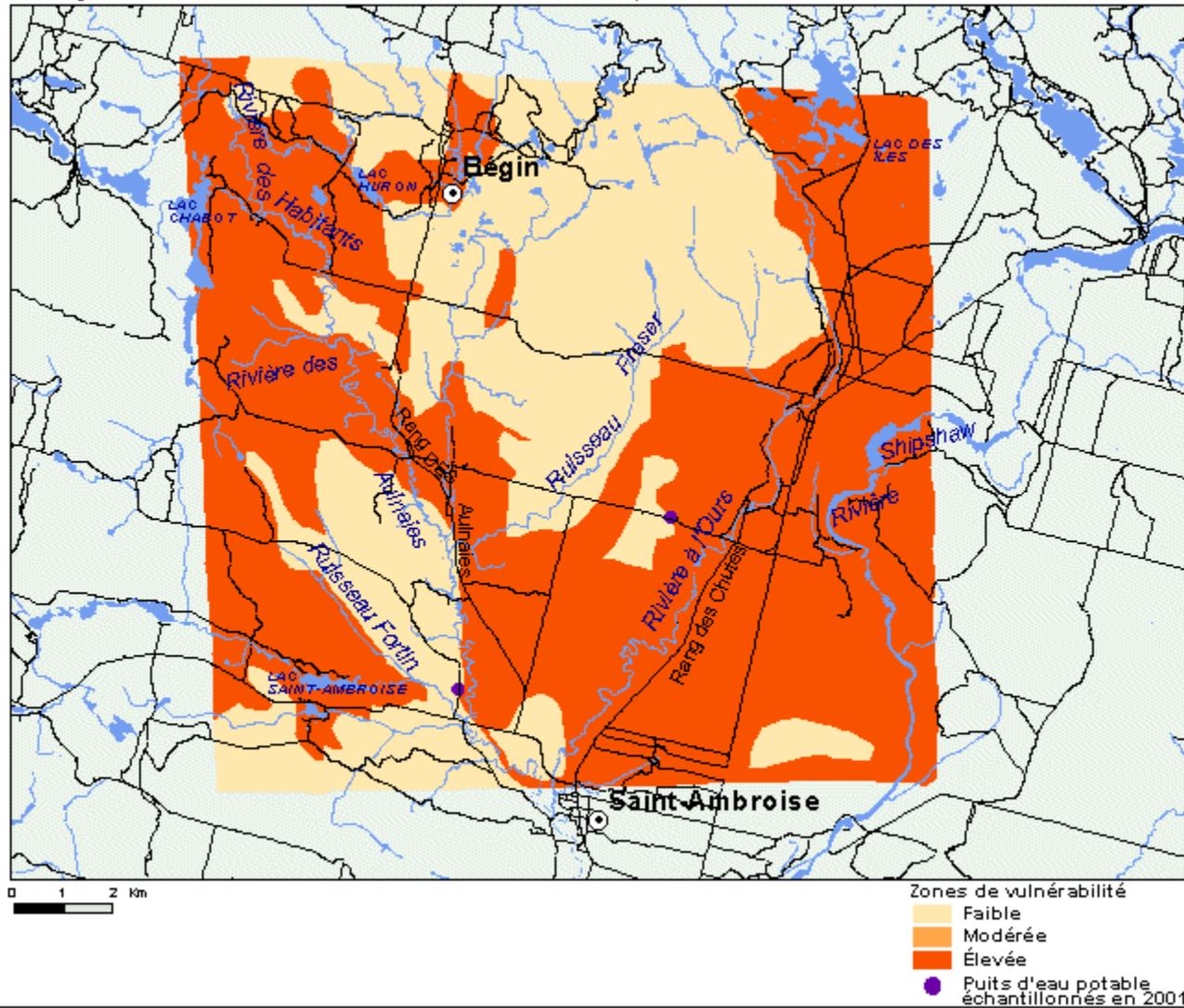
Source: Mc Cormack, 1986

Figure 4 Vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution dans le secteur de L'Assomption



Source: Mc Cormack, 1986

Figure 5 Vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution dans le secteur de Saint-Ambroise



Source: M c Cormack, 1985

Les substances analysées

Les groupes de pesticides analysés ont été choisis en fonction des principaux pesticides recommandés pour la culture de la pomme de terre ou en fonction des usages répertoriés à proximité du puits. L'analyse de l'imidaclopride et de ses métabolites a été effectuée partout, de même que le balayage CPPROP qui comprend, entre autres, l'analyse des herbicides métribuzine et linuron, les insecticides carbofuran et azinphos-méthyl et le fongicide chlorothalonil. Pour certains puits où un usage était rapporté, le diquat, le propamocarbe ainsi que l'ETU (éthylène thio-urée) ont également été analysés. L'ETU est un produit de dégradation des fongicides de la famille des dithiocarbamates; parmi celle-ci, le mancozèbe et le métirame sont utilisés pour la culture de la pomme de terre. La liste des pesticides analysés, la description des méthodes d'analyse et les limites de détection sont présentées à l'annexe 2.

Les normes relatives à l'eau potable pour les pesticides sont indiquées au tableau 6. D'autres paramètres ont aussi été ajoutés pour documenter la qualité générale de l'eau souterraine dans différentes régions du Québec : les nitrates, les coliformes, les fluorures et l'arsenic. Pour les fluorures et l'arsenic, l'objectif est de documenter les teneurs de base dans l'eau souterraine pour des éléments naturellement présents dans le sol. Ces échantillons sont prélevés dans des bouteilles de plastique et contiennent les agents de conservation nécessaires (acide sulfurique pour les nitrates). La norme relative à l'eau potable pour les nitrates est fixée à **10 mg/l N-NO₃**. Pour les coliformes, les normes sont fixées à **10 coliformes totaux / 100 ml et à 0 coliforme fécal**. L'eau potable ne doit pas contenir plus de **0,025 mg/l d'arsenic et 1,5 mg/l de fluorures**.

Comme les puits échantillonnés servent à l'alimentation en eau potable, les résultats d'analyse des pesticides sont comparés aux normes relatives à l'eau potable. Pour quelques pesticides, il existe aussi des critères de qualité pour les eaux destinées à l'irrigation des cultures (CCME, 1999). Ces critères ont aussi été utilisés pour interpréter les données.

LES PESTICIDES ET AUTRES CONTAMINANTS DANS L'EAU SOUTERRAINE

Parmi les 79 puits échantillonnés, 39 puits, soit 49 %, contiennent des pesticides. Ces 39 puits alimentent 81 personnes.

L'insecticide imidaclopride et l'herbicide métribuzine sont les deux principaux pesticides détectés (tableau 7). On trouve toutefois d'autres herbicides, comme l'atrazine et un de ses produits de dégradation, le dééthyl-atrazine (DEA), ainsi que le métolachlore, le diuron, la simazine et le EPTC. Les autres insecticides détectés sont le diazinon, le malathion et le phosalone. On détecte également le fongicide chlorothalonil. Plusieurs produits utilisés pour la culture de la pomme de terre n'ont pas été détectés. Les résultats bruts pour chaque puits sont présentés à l'annexe 3.

Tableau 6 Normes d'eau potable pour les pesticides analysés (µg/l)

	Eau potable ¹
Atrazine	5 ²
Azinphos-méthyl	20
Butilate	
Carbaryl	90
Captafol	
Captane	
Carbofuran	90
Chlorfenvinphos	
Chlorothalonil	
Chloroxuron	
Chlorpyrifos	90
Cyanazine	10
Cyhalothrine	
Cyperméthrine	
Deltaméthrine	
Diazinon	20
Dichlorvos	
Diméthénamide	
Diméthoate	20
Diméthomorphe	
Diquat	70
Disulfoton	
Diuron	150
EPTC	
Fonofos	
Imidaclopride	
Linuron	
Malathion	190
Méthidation	
Méthyl-parathion	
Métolachlore	50
Métribuzine	80
Mévinphos	
Myclobutanil	
Napropamide	
Paraquat	10
Parathion	50
Perméthrine	
Phorate	2
Phosalone	
Phosmet	
Propamocarbe	
Pirimicarbe	
Simazine	10
Tébuthiuron	
Terbufos	1
Trifluraline	45

¹ Gouv. Québec, Règlement sur la qualité de l'eau potable, 2001

² Somme de l'atrazine et de ses produits de dégradation

Tableau 7 Fréquence de détection des pesticides dans des puits situés près de champs de pommes de terre

		Nb puits	%
HERBICIDES	Métribuzine	26	33
	Atrazine	4	5
	DEA	5	6,3
	Métolachlore	3	3,8
	Diuron	1	1,2
	Simazine	1	1,2
	EPTC	1	1,2
INSECTICIDES	Imidaclopride	28	35
	Diazinon	1	1,2
	Malathion	1	1,2
	Phosalone	1	1,2
FONGICIDES	Chlorothalonil	4	5

Des pesticides sont détectés dans l'eau souterraine de la plupart des régions du Québec où la culture de la pomme de terre est pratiquée de manière intensive (tableau 8). Les régions les plus touchées sont celles de Portneuf (Sainte-Catherine, Pont-Rouge, Saint-Ubalde, Saint-Basile) et de Lanaudière (Saint-Thomas, Lavaltrie, Crabtree).

L'insecticide imidaclopride

Homologué au Canada seulement depuis 1996, l'insecticide imidaclopride est déjà détecté dans 35 % des puits échantillonnés près de champs où l'on cultive la pomme de terre. On y détecte le produit parent et ses métabolites, soit l'imidaclopride-urée, l'imidaclopride-guanidine et l'imidaclopride-oléfine. Les concentrations maximales mesurées sont 6,4 µg/l, 0,018 µg/l, 0,4 µg/l et 0,0023 µg/l respectivement pour l'imidaclopride et ses métabolites urée, guanidine et oléfine. Les concentrations médianes sont de 0,0385 µg/l, 0,00265 µg/l, 0,0035 µg/l et 0,00185 µg/l respectivement pour l'imidaclopride et ses métabolites urée, guanidine et oléfine.

Actuellement, il n'existe pas de recommandation relative à la présence de l'imidaclopride et de ses métabolites dans l'eau potable au Canada.

Tableau 8 Nombre de puits où des pesticides ont été détectés par localité et par région

RÉGION	LOCALITÉ	NOMBRE DE PUIITS			
		PAR LOCALITÉ		PAR RÉGION	
		Échantillonnés	Pesticides détectés	Échantillonnés	Pesticides détectés
Québec	Sainte-Catherine-de-la-Jacques-Cartier	5	5	23	17
	Pont-Rouge	3	2		
	Saint-Basile	1	1		
	Saint-Ubalde	6	6		
	Saint-Alban	1	1		
	Saint-Raymond	2	0		
	Saint-Jean (île d'Orléans)	3	1		
	Saint-François (île d'Orléans)	2	1		
	Lanaudière	Lanoraie	1		
Lavaltrie		5	4		
Crabtree		3	3		
Saint-Thomas		15	7		
Saint-Roch-de-l'Achigan		1	0		
Estrie	Compton	3	0	3	0
Centre-du-Québec	Notre-Dame-de-Pierreville	1	0	9	1
	Saint-Léonard-d'Aston	3	1		
	Sainte-Brigitte-des-Saults	4	0		
	Sainte-Eulalie	1	0		
Saguenay-Lac-Saint-Jean	Saint-Ambroise	3	3	12	5
	Bégin	3	0		
	Péribonka	4	2		
	Dolbeau-Mistassini	2	0		
Bas-Saint-Laurent	Saint-Pascal	1	1	7	1
	Notre-Dame-du-Portage	2	0		
	Saint-Éloi	4	0		
TOTAL	25 localités	79	39	79	39

Au Québec, comme dans le reste du Canada et aux États-Unis, on constate donc la présence de l'imidaclopride dans l'eau souterraine des zones où l'on cultive la pomme de terre. À l'Île-du-Prince-Édouard, une dizaine de puits ont été échantillonnés près de champs de pommes de terre où l'imidaclopride avait été utilisé. Malgré un seuil de détection plus élevé que celui utilisé dans le cadre du présent programme d'échantillonnage, l'imidaclopride a été détecté dans un des 10 puits échantillonnés (PEI Department of Technology and Environment, 1999). À l'instar du Québec, les concentrations mesurées sont faibles (de 0,04 µg/l à 0,6 µg/l).

Aux États-Unis, des teneurs de l'ordre de 0,1 µg/l à 0,2 µg/l sont rapportées dans l'eau souterraine de la Californie et du Michigan et une teneur de 1,9 µg/l est rapportée à Long Island (New York) (Felsot, 2001).

L'imidaclopride est un produit très soluble dans l'eau. Sa solubilité est de 610 mg/l à 20 °C (Tomlin CDS, 1997). Les résultats d'études de dissipation effectuées au Canada montrent que la demi-vie de l'imidaclopride varie de 266 à 457 jours (9 mois à plus d'un an) pour un sol servant à la culture de la pomme de terre (ARLA, 1997). En plus d'être mobile dans l'environnement, le produit est donc relativement persistant.

Plusieurs puits qui contenaient autrefois de l'aldicarbe indiquent maintenant la présence de l'imidaclopride. Bien qu'il soit appliqué à de très faibles doses, sa détection dans les puits voisins de champs de pommes de terre est aussi fréquente que pour l'aldicarbe autrefois. Par contre, les concentrations mesurées sont en général beaucoup plus faibles.

L'herbicide métribuzine

L'herbicide métribuzine est détecté dans 33 % des puits échantillonnés, ce qui est semblable aux mesures du début des années 1990 (Giroux, 1995). Les puits qui montraient la présence du produit de 1991 à 1993 en contenaient encore de 1999 à 2001. Les concentrations sont parfois un peu plus élevées, parfois un peu plus faibles (figure 6).

La valeur maximale mesurée dans l'eau potable des puits échantillonnés de 1999 à 2001 est de 2,6 µg/l. La valeur maximale était de 3,3 µg/l en 1991. Ces concentrations respectent largement la norme de 80 µg/l pour l'eau potable. Toutefois, la métribuzine fait partie de la liste provisoire des pesticides qui présenteraient des effets perturbateurs endocriniens (augmentation de la thyroxine) chez le rat (Fournier *et al.*, 2000). Dans ce contexte, sa présence dans l'eau potable, même en faible concentration, est préoccupante.

Par ailleurs, dans trois puits, la concentration mesurée excède la valeur de 0,5 µg/l à ne pas dépasser dans les eaux d'irrigation. Les concentrations mesurées dans ces puits sont de 2,6 µg/l, de 2,1 µg/l et de 1 µg/l.

Le fongicide chlorothalonil

Des traces du fongicide chlorothalonil ont été détectées dans 4 des 33 puits (12 %) échantillonnés en 2000. Mais aucun trace n'a été relevée les deux autres années. En 2000, l'incidence du mildiou a été moyenne par rapport aux deux autres années d'échantillonnage où elle a été plus faible (Bélanger, 2003).

Les infimes concentrations décelées sont largement en deçà des valeurs guides fixées pour l'eau potable dans certains états américains. Ces valeurs varient de 3,18 µg/l à 100 µg/l (HSDB, 2003).

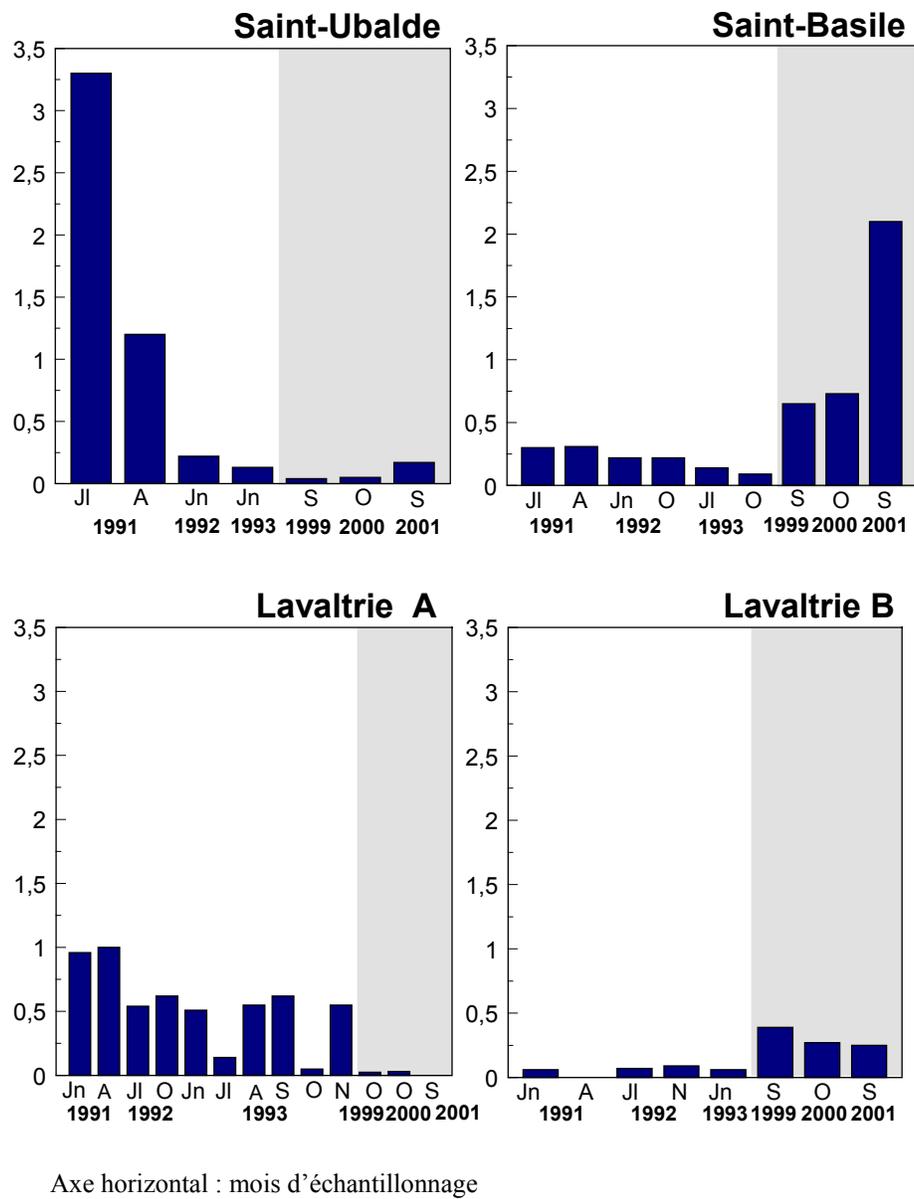


Figure 6 Évolution des concentrations de métribuzine (µg/l) pour quelques puits

Les autres pesticides

Les autres pesticides sont détectés dans moins de 7 % des échantillons. On trouve des herbicides utilisés pour la culture du maïs tels que l'atrazine et l'un de ses produits de dégradation, le dééthyl-atrazine, de même que le métolachlore. Les herbicides diuron et simazine sont aussi décelés. Ces produits peuvent être utilisés pour diverses cultures, mais ne sont pas recommandés pour la culture de la pomme de terre. Les concentrations mesurées de ces divers produits sont faibles et généralement très près des limites de détection.

Les insecticides diazinon, malathion et phosalone sont détectés individuellement dans trois puits. Les concentrations mesurées sont de 0,06 µg/l, de 0,04 µg/l et de 0,15 µg/l respectivement, ce qui respecte largement les normes relatives à l'eau potable. Les insecticides diazinon et malathion sont recommandés pour la culture de la pomme de terre, contrairement au phosalone.

La présence simultanée de plusieurs pesticides

Plusieurs pesticides différents sont détectés en même temps dans l'eau de certains de ces puits, qui servent le plus souvent de source d'eau potable (tableau 9). De 21 % à 42 % des puits échantillonnés révèlent la présence de plusieurs pesticides.

Tableau 9 Nombre de pesticides différents détectés dans les puits échantillonnés en 1999, 2000 et 2001

Nombre de pesticides détectés	Nombre de puits		
	1999	2000	2001
0	16	7	21
1	8	12	19
2	10	7	10
3	3	5	1
4		2	
TOTAL	37	33	51

Les nitrates

Les nitrates peuvent provenir des engrais ou fumiers appliqués sur les cultures voisines; ils peuvent provenir des installations septiques non étanches ou d'engrais appliqués sur les pelouses résidentielles.

Les nitrates sont détectés en concentrations qui excèdent la norme relative à l'eau potable qui est de 10 mg/l N-NO³ dans 42 % des puits échantillonnés de 1999 à 2001. Le tableau 10 montre la proportion des puits par classe de concentration en nitrates.

Tableau 10 Proportion des puits par classe de concentration en nitrates

Concentration NO ₃	Nb puits	%
10 mg/l et plus	33	42
De 5 à 9 mg/l	18	23
De 1 à 4 mg/l	14	18
Moins de 1 mg/l	14	18

Toutefois, dans les régions de Québec (Sainte-Catherine, Pont-Rouge, Saint-Ubalde, etc.) et de Lanaudière (Lavaltrie, Saint-Thomas, etc.), c'est respectivement 61 % et 56 % des puits échantillonnés qui présentent des concentrations supérieures ou égales à la norme de 10 mg/l N-NO₃.

En 1993, les 36 puits échantillonnés pour les pesticides avaient également été échantillonnés pour les nitrates. Parmi ceux-ci, 14 ont été échantillonnés de nouveau au cours de la période 1999 à 2001. Tous ces puits présentaient et présentent encore des concentrations supérieures à 10 mg/l N-NO₃. Au cours de la période allant de 1999 à 2001, cinq d'entre eux montrent une concentration supérieure à celle mesurée en 1993, cinq montrent une concentration relativement stable ou une valeur maximale similaire à celle mesurée en 1993 et quatre présentent des concentrations qui diminuent mais qui restent au-dessus de la norme de 10 mg/l (à l'exception d'un seul cas).

Un lien a été établi entre la présence de nitrates en forte concentration dans l'eau potable et l'apparition de la méthémoglobinémie du nourrisson produite par la conversion des nitrates en nitrites (CCMRE, 1987). Des bactéries contenues entre autres dans les glandes salivaires, transforment les nitrates en nitrites. L'hémoglobine du sang se lie alors aux nitrites et cette nouvelle configuration chimique (méthémoglobine) empêche l'hémoglobine du sang de transporter l'oxygène, ce qui provoque une cyanose (bébé bleu) et peut éventuellement entraîner l'asphyxie et la mort. Ce sont surtout les bébés de moins de 6 mois nourris avec du lait reconstitué et préparé avec une eau contaminée en nitrates qui sont les plus sensibles à cet effet (OMS, 1994). La femme enceinte est aussi particulièrement vulnérable à la méthémoglobinémie, puisque son taux de méthémoglobine a tendance à s'élever naturellement durant la grossesse (Levallois *et al.*, 1994). Pour ces raisons, la consommation d'eau contenant une concentration de nitrates égale ou supérieure à la norme est à éviter chez les nourrissons de moins de 6 mois et les femmes enceintes.

Pour toute autre personne, la consommation, sur une courte période, d'une eau présentant des concentrations de nitrates autour de 10 mg/l N-NO₃ ne présente pas de danger immédiat. Toutefois, il n'est recommandé à personne de consommer quotidiennement et pendant une longue période une eau contenant plus de 10 mg/l N-NO₃.

Les nitrates et nitrites ne sont pas cancérigènes, mais leur transformation possible en composés N-nitroso dans l'eau ou les aliments avant l'ingestion, ou dans l'organisme après ingestion, pourrait augmenter le risque de cancer et de malformation du fœtus (tératogénicité) chez l'être humain (OMS, 1994; Levallois et Phaneuf, 1994). Cependant, les preuves épidémiologiques d'un lien entre l'apport alimentaire de nitrates et le cancer sont insuffisantes et la valeur guide de 10 mg/l N-NO₃ n'a été établie que pour éviter le risque de méthémoglobinémie chez le groupe le plus sensible que constituent les nourrissons.

La bactériologie

L'analyse bactériologique a été effectuée seulement en 2001. Tous les puits échantillonnés en 2001 (51 puits) ont été analysés pour les coliformes totaux et fécaux. Des coliformes ont été dénombrés dans 14 puits, soit 27 % des puits échantillonnés. Parmi ceux-ci, six puits présentent des teneurs en coliformes totaux supérieures à la norme de 10 UFC (unités formant des colonies) et quatre présentent des teneurs inférieures à 10 UFC. Huit puits (16 %) présentent un dénombrement des coliformes fécaux alors que l'eau potable ne devrait jamais en contenir.

La contamination par les coliformes a été observée dans plusieurs régions du Québec où l'on pratique la culture de la pomme de terre. Mais dans la région du Bas-Saint-Laurent, pour un nombre limité de puits échantillonnés, on trouve une proportion importante de puits présentant des coliformes (Annexe 3).

Les coliformes peuvent provenir des engrais de ferme (fumiers ou lisiers) utilisés dans les champs voisins ou de dispositifs de traitement des eaux usées domestiques (installations septiques) non étanches.

Les coliformes totaux révèlent des conditions propices à la contamination bactériologique. Les coliformes fécaux sont des indicateurs de la présence possible de pathogènes dans l'eau, qui peuvent causer notamment des gastro-entérites (diarrhées, nausées, vomissements, crampes abdominales).

Les fluorures

La majorité des puits échantillonnés présentent des concentrations de fluorures inférieures à 0,5 mg/l. La norme à ne pas dépasser pour l'eau potable est de 1,5 mg/l. La présence de petites quantités de fluorures dans l'eau potable réduit la carie dentaire, mais l'ingestion de quantités excessives peut entraîner la fluorose dentaire qui se caractérise par des taches sur l'émail des dents. En concentration plus élevée, elle peut également causer la fluorose osseuse. Un seul puits présente une concentration qui excède la norme, mais ce puits n'est pas utilisé pour l'alimentation en eau potable.

L'arsenic

Seulement deux puits indiquent la présence d'arsenic, et ce, en concentration très faible (0,001 mg/l). Ces concentrations sont décelées au seuil de détection, ce qui respecte largement la norme de 0,025 mg/l à ne pas dépasser pour l'eau potable.

CONCLUSION

La culture intensive de la pomme de terre est à l'origine d'une altération de la qualité de l'eau souterraine dans plusieurs régions du Québec. Les régions les plus touchées sont celles de Portneuf et de Lanaudière.

Des pesticides sont détectés dans 49 % des puits échantillonnés. L'insecticide imidaclopride et l'herbicide métribuzine sont détectés respectivement dans 35 % et 33 % des puits échantillonnés. Étant donné l'usage récent de l'imidaclopride et son application à faible dose, sa détection dans une telle proportion de puits est préoccupante. Mis à part le transfert d'une contamination par l'aldicarbe à une contamination par l'imidaclopride, la situation générale de la contamination de l'eau souterraine par les pesticides et les nitrates n'a pas beaucoup changé depuis le début des années 1990.

En ce qui concerne la qualité de l'eau potable et le dépassement de la norme, la contamination par des concentrations élevées de nitrates est le principal problème soulevé par ce programme d'échantillonnage. On trouve des concentrations qui excèdent la norme de 10 mg/l N-NO₃ dans 42 % des puits échantillonnés. Les concentrations mesurées d'imidaclopride et de métribuzine sont faibles. Il n'existe pas encore de norme pour l'imidaclopride, mais les concentrations de métribuzine et des autres pesticides respectent largement les normes ou valeurs de référence relatives à l'eau potable. Cependant, bon nombre de puits montrent la présence simultanée de plusieurs pesticides (2 à 4), fréquemment conjuguée à des concentrations de nitrates supérieures à la norme relative à l'eau potable. Les effets cumulatifs à long terme de l'ensemble de ces produits sur la santé sont encore peu connus.

Pour réduire les altérations récurrentes de la qualité de l'eau souterraine, il importe de diminuer à la source les intrants (fertilisants et pesticides) utilisés pour la culture de la pomme de terre.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ARLA, 1997. Note réglementaire, Admire. Agence de réglementation de la lutte antiparasitaire, R97-01, 5 p.

BÉLANGER, B., 2003. Communication personnelle, IRDA.

CCME, 1999. *Chapitre 5 : Recommandations canadiennes pour la qualité des eaux : protection des utilisations de l'eau à des fins agricoles, dans Recommandations canadiennes pour la qualité de l'environnement, vol. 1*, Conseil canadien des ministres de l'environnement, p. 4

FELSOT, A. S., 2001. « Imidaclopride : Insecticide on the Move », dans *Agrichemical and Environmental News*, n° 186, Washington State University's Food and Environmental Quality Laboratory.

FOURNIER, M., P. BROUSSEAU, J. BERNIER, D. CYR, S. PILLET, A. ROONEY, L. SÉNÉCAL, I. VOCCIA, 2000. *Les perturbateurs endocriniens*, Université du Québec, INRS-Institut Armand-Frappier – Santé humaine, 171 p. + annexes.

GIROUX, I., 1995. *Contamination de l'eau souterraine par les pesticides et les nitrates dans les régions de culture de pommes de terre : campagnes d'échantillonnage 1991-1992-1993*, ministère de l'Environnement et de la Faune, Direction des écosystèmes aquatiques, Envirodoq EN950125, 34 p. + annexes.

GOVERNEMENT DU QUÉBEC, 2001. *Règlement sur la qualité de l'eau potable*, [En ligne], 29 mai 2001 – 9h00, [<http://www.menv.gouv.qc.ca/eau/potable/reglement-eau-potable.pdf>] (décembre 2002)

HSDB, 2003. *Hasardous substance data bank (chlorothalonil)*, [En ligne] [<http://toxnet.nlm.nih.gov>] (décembre 2002).

McCORMACK, 1985 a. *Carte de vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution : région nord de Montréal*, ministère de l'Environnement, Direction des eaux souterraines et de consommation.

McCORMACK, 1985 b. *Carte de vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution : région du Saguenay–Lac-Saint-Jean*, ministère de l'Environnement, Direction des eaux souterraines et de consommation.

MURAT, V., R. MARTEL, Y. MICHAUD, F. BEAUDOIN, N. FAGNAN, R. THERRIEN, 2000. *Cartographie hydrogéologique régionale du piémont laurentien dans la MRC de Portneuf : comparaison des méthodes d'évaluation de la vulnérabilité*, dossier public 3664d, Commission géologique du Canada.

PEI DEPARTMENT OF TECHNOLOGY AND ENVIRONMENT, 1999. *Pesticides and Drinking Water, Results of the Pesticide Monitoring Program (1996-1998)*, Prince Edward Island Pesticide Monitoring Program, 6 p.

STATISTIQUE CANADA, 2001. *Recensement de l'agriculture, 2001*, [En ligne], [http://www.statcan.ca/francais/agcensus2001/index_f.htm] (décembre 2002)

TABI, M., L. TARDIF, D. CARRIER, G. LAFLAMME, M. ROMPRÉ, 1990 a. *Inventaire des problèmes de dégradation des sols agricoles du Québec : rapport synthèse*, Entente auxiliaire Canada-Québec sur le développement agro-alimentaire, 71 p.

TABI, M., L. TARDIF, D. CARRIER, G. LAFLAMME, M. ROMPRÉ, 1990 b. *Inventaire des problèmes de dégradation des sols agricoles du Québec : région agricole 10 : Nord de Montréal*, Entente auxiliaire Canada-Québec sur le développement agro-alimentaire, 111 p.

TOMLIN CDS (dir.), 1997. *The Pesticide Manual : a World Compendium*, 11^e éd., The British Crop Protection Council, Farnham, Surrey, UK, 1606 p.

