

Direction du suivi de l'état de l'environnement

**SUIVI DES NONYLPHÉNOLS ÉTHOXYLÉS
DANS L'EAU BRUTE ET L'EAU TRAITÉE
DE ONZE STATIONS DE TRAITEMENT
D'EAU POTABLE AU QUÉBEC**

par

David Berryman
François Houde
Christian Deblois
Margaret O'Shea

Ministère de l'Environnement
Gouvernement du Québec
Janvier 2003

Dépôt légal – Bibliothèque nationale du Québec, 2003

Envirodoq : ENV/2003/0001

AVANT-PROPOS ET REMERCIEMENTS

Ce projet a été réalisé par la Direction du suivi de l'état de l'environnement du ministère de l'Environnement et par le Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec, qui regroupe les laboratoires du ministère de l'Environnement. Il a bénéficié de l'appui de la Direction des politiques du secteur municipal du ministère de l'Environnement et d'un octroi de Santé Canada, via le domaine d'intervention santé humaine du Plan d'action Saint-Laurent Vision 2000.

Nous désirons remercier les personnes suivantes pour leur collaboration à la réalisation de cette étude. De la Direction du suivi de l'état de l'environnement nous remercions : René Therreault et Yves Vallée pour l'échantillonnage, Yves Laporte pour la saisie et la mise en forme des données, Lyne Martineau pour la mise en forme du rapport et Francine Matte-Savard pour le graphisme. Nos remerciements vont également à Ginette Côté, du Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec pour l'analyse des échantillons, ainsi qu'à monsieur Carter Naylor de la compagnie Huntsman, qui nous a gracieusement fourni des standards analytiques. Pour leur accueil et leur collaboration, nous remercions la direction et le personnel des stations de traitement d'eau potable échantillonnées dans le cadre de cette étude. Nos remerciements vont également à Didier Bicchi et Hélène Tremblay de la Direction des politiques du secteur municipal qui ont appuyé ce projet en nous fournissant du temps de laboratoire. Nous tenons également à remercier les réviseurs scientifiques de ce rapport : Hélène Tremblay, du ministère de l'Environnement et Albert Daveluy, du ministère de la Santé et des Services sociaux, ainsi que le réviseur linguistique : la firme Traducteurs Associés. Nous remercions enfin les responsables du domaine d'intervention santé humaine du Plan d'action Saint-Laurent Vision 2000 et les autorités de Santé Canada, qui ont accepté de contribuer au financement de la phase initiale de ce projet, ainsi que Josée Chartrand, de la Direction de la santé publique de la Mauricie et Patrick Levallois, de l'Institut national de la santé publique du Québec, qui ont participé à l'élaboration de la demande de financement pour cette phase initiale.

SUIVI DES NONYLPHÉNOLS ÉTHOXYLÉS DANS L'EAU BRUTE ET L'EAU TRAITÉE DE ONZE STATIONS DE TRAITEMENT D'EAU POTABLE AU QUÉBEC

Référence : BERRYMAN, D., F. HOUDE, C. DEBLOIS et M. O'SHEA, 2003. *Suivi des nonylphénols éthoxylés dans l'eau brute et l'eau traitée de onze stations de traitement d'eau potable au Québec*, Direction du suivi de l'état de l'environnement, ministère de l'Environnement, Québec, envirodoq n° ENV/2003/0001, 32 pages.

RÉSUMÉ

Un suivi des nonylphénols éthoxylés a été réalisé dans l'eau de onze stations de traitement d'eau potable du Québec. L'eau brute et l'eau traitée de ces stations ont été échantillonnées mensuellement de février 2000 à janvier 2001. Les analyses ont porté sur dix-sept nonylphénols éthoxylés (NP1-17EO) et deux de leurs acides carboxyliques (NP1-2EC).

La municipalité de Farnham produit une eau potable contenant en moyenne, sur une base annuelle, 10,4 µg/l de nonylphénols totaux (NP1-17EO+NP1-2EC). Quatre municipalités, soit Rosemère, Lavaltrie, Drummondville et Otterburn Park produisent une eau contenant en moyenne de 1 à 3 µg/l de ces substances. Repentigny, Charny, Pierreville et Daveluyville ont des moyennes annuelles se situant entre 0,1 µg/l et 0,6 µg/l, alors que Saint-Hyacinthe et Trois-Rivières se situent sous 0,1 µg/l. Il n'existe pas de critère de qualité pour les nonylphénols dans l'eau potable. Cependant, selon une évaluation de risques réalisée par d'autres chercheurs, l'eau potable est une voie négligeable d'exposition humaine aux nonylphénols, et ce, même à des concentrations plus élevées que les celles mesurées dans le cadre de la présente étude.

Les concentrations de nonylphénols mesurées dans l'eau brute des stations d'eau potable démontrent que les teneurs dans certains cours d'eau sont suffisamment élevées pour avoir des effets nocifs sur l'écosystème aquatique. En effet, lorsqu'elles sont transformées en équivalents de nonylphénols (NP), 20 % des analyses effectuées dans l'eau brute dépassent le critère de 1 µg/l de NP proposé par CCME 2001 pour la protection de la vie aquatique. Certains résultats dépassent aussi le seuil de 6 µg/l de NP proposé par le ministère de l'Environnement du Québec. Des mesures devraient donc être prises pour abaisser les concentrations de nonylphénols dans certains cours d'eau à un niveau plus sécuritaire.

Les concentrations de nonylphénols dans l'eau potable produites par les municipalités dépendent pour beaucoup de la qualité de l'eau brute. Cependant, certaines municipalités dotées de chaînes de traitement plus complexes, arrivent à diminuer de beaucoup, voir pratiquement éliminer la présence de nonylphénols dans leur eau. À cet effet, l'ozonation semble particulièrement efficace, car les quatre stations dotées de ce traitement arrivent à éliminer 75 % à 99 % des nonylphénols présents dans leur eau brute. Même sans ozonation, une des stations a atteint 77 % d'élimination des nonylphénols en combinant différents procédés d'oxydation et d'absorption des contaminants. Les stations sans ozonation ont généralement des taux d'élimination de 11 % à 40 %.

TABLE DES MATIÈRES

Avant-propos et remerciements	iii
Résumé	v
Table des matières	vii
Liste des tableaux	viii
Liste des figures	ix
INTRODUCTION	1
1. PROBLÉMATIQUE DES NONYLPHÉNOLS ET CONSIDÉRATIONS POUR LEUR SUIVI DANS L'EAU POTABLE	2
1.1 Volumes, utilisation et sources des alkylphénols éthoxylés.....	3
1.2 Alkylphénols éthoxylés : structure chimique, sort dans l'environnement et effets sur la vie aquatique.....	3
2. MÉTHODOLOGIE	6
2.1 Sélection des stations de traitement d'eau potable.....	7
2.2 Échantillonnage.....	7
2.3 Analyse des échantillons.....	9
2.4 Contrôle de la qualité.....	9
3. RÉSULTATS	13
3.1 Résultats dans l'eau brute.....	13
3.2 Résultats dans l'eau traitée.....	21
3.3 Effets potentiels sur la santé humaine.....	22
3.4 Effets potentiels sur la vie aquatique.....	23
3.5 Élimination des nonylphénols par les stations de traitement d'eau potable.....	25
CONCLUSION, DISCUSSION ET RECOMMANDATIONS	27
RÉFÉRENCES	29

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1	Source d'approvisionnement, capacité et population desservie par les stations de traitement d'eau potable retenues pour le suivi des nonylphénols	8
Tableau 2	Limites de détection de l'analyse des nonylphénols dans l'eau.....	10
Tableau 3	Contrôle de qualité : résultats dans les réplicats	11
Tableau 4	Sommaire des concentrations de nonylphénols totaux (NP1-17EO + NP1-2EC) dans l'eau brute et l'eau traitée des stations de traitement d'eau potable.....	14
Tableau 5	Comparaison des concentrations ($\mu\text{g/l}$) de nonylphénols mesurés dans la présente étude aux résultats obtenus dans le cadre d'autres études : résultats dans l'eau brute	20
Tableau 6	Comparaison des concentrations ($\mu\text{g/l}$) de nonylphénols mesurés dans la présente étude aux résultats obtenus dans le cadre d'autres études : résultats dans l'eau traitée	21
Tableau 7	Les voies potentielles d'exposition humaine aux NP/NPEO (source : Environnement Canada et Santé Canada, 2001)	22
Tableau 8	Facteurs d'équivalence toxique pour les NP, NPEOs, et NPECs (source : CCME 2001)	23
Tableau 9	Concentrations de NPEO et NPEC en équivalents de NP dans l'eau brute et fréquence de dépassement des critères pour la protection de la vie aquatique	24
Tableau 10	Pourcentage d'élimination des nonylphénols et sommaire des traitements utilisés par les stations de traitement.....	26

LISTE DES FIGURES

Figure 1	Formule de base des alkylphénols polyéthoxylés (APnEO) et de certains de leurs produits de dégradation : l'alkylphénol diéthoxylate (AP2EO), l'alkylphénol monoéthoxylate (AP1EO), les acides carboxyliques correspondants (AP2EC et AP1EC) et l'alkylphénol (AP). Le nombre de groupes éthoxylates dans les APnEO est indiqué par n. Le radical R est une chaîne, habituellement ramifiée, de 8 (octylphénols) 9 (nonylphénols) ou 12 (dodécylphénols) atomes de carbone saturés d'hydrogène (Traduit et adapté de Nimrod et Benson, 1996).....	4
Figure 2	Localisation des stations de traitement d'eau potable faisant l'objet du suivi des nonylphénols.....	8
Figure 3	Concentrations de nonylphénols totaux dans l'eau brute et l'eau traitée des stations de traitement d'eau potable de Farnham et Saint-Hyacinthe.....	15
Figure 4	Concentrations de nonylphénols totaux dans l'eau brute et l'eau traitée des stations de traitement d'eau potable de Charny, Daveluyville et Drummondville.....	16
Figure 5	Concentrations de nonylphénols totaux dans l'eau brute et l'eau traitée des stations de traitement d'eau potable de Pierreville, Otterburn Park et Rosemère.....	17
Figure 6	Concentrations de nonylphénols totaux dans l'eau brute et l'eau traitée des stations de traitement d'eau potable de Repentigny, Lavaltrie et Trois-Rivières.....	18
Figure 7	Concentrations de nonylphénols dans l'eau brute et l'eau traitée des stations de traitement d'eau potable de février 2000 à janvier 2001.....	19

INTRODUCTION

Les nonylphénols éthoxylés sont des tensioactifs (surfactants) utilisés couramment et en très grandes quantités, notamment comme détergents industriels ou domestiques. Ils sont aussi utilisés dans une vaste gamme de solvants et de pesticides, ainsi que dans plusieurs procédés industriels.

Au Québec comme ailleurs, des quantités importantes de nonylphénols sont rejetées dans les eaux de surface à chaque année. Or, 80 % de la population québécoise est approvisionnée en eau potable à partir des eaux de surface, principalement le fleuve Saint-Laurent et ses tributaires (MEF 1997). Par sa consommation d'eau potable, une part importante de la population est donc potentiellement exposée aux nonylphénols.

Au départ, il existait très peu de données sur la présence des nonylphénols dans les eaux de surface du Québec et aucune en ce qui concerne leur présence dans l'eau potable. Dans le cadre du domaine d'intervention santé humaine du Plan d'action Saint-Laurent Vision 2000, le ministère de l'Environnement du Québec (MENV) a donc lancé, en automne 1999, un projet visant les objectifs suivants :

- évaluer l'exposition humaine aux nonylphénols éthoxylés via l'eau potable;
- évaluer l'exposition de la faune et de la flore aquatique à ces substances;
- évaluer l'efficacité de certains systèmes de traitement d'eau potable face aux nonylphénols éthoxylés.

Un octroi de Santé Canada pour l'année 1999–2000 a d'abord permis de mettre au point la méthode d'analyse de ces substances au Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec (CEAEQ), qui regroupe les laboratoires du ministère de l'Environnement. Le suivi des nonylphénols éthoxylés dans l'eau brute et traitée de onze stations de traitement d'eau potable a commencé en février 2000 et s'est poursuivi, sur une base mensuelle, jusqu'en janvier 2001.

Ce rapport présente les résultats de ce suivi d'une durée d'un an. Il conclut à l'effet que l'eau potable est une source négligeable de nonylphénols pour la population humaine, mais que les concentrations de ces substances dans certains cours d'eau sont préoccupantes en regard de la protection de la vie aquatique.

1. PROBLÉMATIQUE DES NONYLPHÉNOLS ET CONSIDÉRATIONS POUR LEUR SUIVI DANS L'EAU POTABLE

1.1 Volumes, utilisation et sources des alkylphénols éthoxylés

On estime à plus de 300 000 tonnes la production annuelle mondiale d'alkylphénols¹ (White *et al.*, 1994). Les estimés de la consommation canadienne sont variables : 4 500 tonnes en 1989 selon Maguire, 1999; environ 7 000 tonnes par année selon Metcalfe *et al.* 1996; 23 800 et 19 000 tonnes respectivement pour les années 1995 et 1996, selon Environnement Canada et Santé Canada 2001.

Les principaux utilisateurs de ces produits sont les fabricants de nettoyeurs et de détergents industriels, l'industrie du textile et les fabriques de pâtes et papiers. Ces surfactants sont également utilisés dans de nombreux autres secteurs : traitement du charbon, des métaux, du cuir et des boissons; transformation des aliments; préparation de pesticides, de peintures au latex et d'enduits protecteurs; désencrage du papier à recycler; industrie du bâtiment et de la construction (Metcalfe *et al.* 1996). Cependant, cinq activités industrielles seraient responsables de la plus grande part des rejets d'alkylphénols dans l'environnement : la production de pâtes et papiers, le raffinage du pétrole, le nettoyage en milieu industriel, institutionnel et domestique, la production de textiles et la production du cuir (Metcalfe *et al.* 1996).

Selon les mêmes auteurs, une investigation préliminaire d'Environnement Canada identifie les secteurs des pâtes et papier et celui des textiles comme étant les principaux utilisateurs d'alkylphénols (Environnement Canada, 1998). Pour évaluer ce que pourrait être l'exposition humaine maximale aux nonylphénols via l'eau potable, on a donc choisi, dans le cadre de la présente étude, d'échantillonner l'eau produite par des stations de traitement situées en aval des rejets d'usines de textiles et de pâtes et papiers.

1.2 Alkylphénols éthoxylés : structure chimique, sort dans l'environnement et effets sur la vie aquatique

Les alkylphénols constituent une vaste famille de produits chimiques. L'élément de base de la molécule est un noyau phénolique sur lequel est substitué, généralement en position para, un radical octyl, nonyl, ou dodécyl (figure 1). La molécule comprend un nombre variable de groupes éthoxylates (-CH₂-CH₂-O-) dans le groupement fonctionnel -OH du phénol. Les alkylphénols dont le radical est à neuf atomes de carbone, c'est-à-dire les nonylphénols (NPEO), constituent environ 80 % des alkylphénols en usage et les octylphénols (8 atomes de carbone) constituent l'essentiel des 20 % restant.

¹ Les nonylphénols éthoxylés sont une classe d'alkylphénols éthoxylés, tous deux définis dans la section 1.2. Pour simplifier le texte, on les nomme souvent par leurs génériques respectifs nonylphénols et alkylphénols.

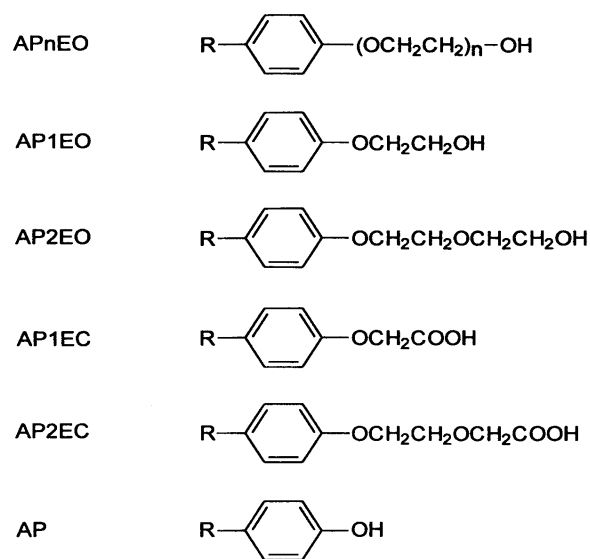


Figure 1 Formule de base des alkylphénols polyéthoxylés (APnEO) et de certains de leurs produits de dégradation : l'alkylphénol diéthoxylate (AP2EO), l'alkylphénol monoéthoxylate (AP1EO), les acides carboxyliques correspondants (AP2EC et AP1EC) et l'alkylphénol (AP). Le nombre de groupes éthoxylates dans les APnEO est indiqué par n. Le radical R est une chaîne, habituellement ramifiée, de 8 (octylphénols) 9 (nonylphénols) ou 12 (dodécylphénols) atomes de carbone saturés d'hydrogène (traduit et adapté de Nimrod et Benson, 1996).

Le nombre d'éthoxylates détermine les propriétés physico-chimiques du produit et est fixé selon les usages auxquels il est destiné. Une formulation commerciale comprend normalement un mélange d'alkylphénols. Par exemple, les nonylphénols à 4 ou 5 éthoxylates sont utilisés comme détergents solubles dans les huiles, ceux à 8 ou 9 éthoxylates servent de base aux détergents de haute performance utilisés dans l'industrie du textile et ceux de 13 à 15 éthoxylates servent à la préparation d'émulsifiants pour la préparation de solvants et de pesticides (Reed 1978 cité dans Maguire, 1999).

Plusieurs études ont été réalisées sur la dégradation des alkylphénols dans les stations d'épuration d'eaux usées et ont été passées en revue par Maguire (1999). Les alkylphénols se décomposent d'abord par la perte progressive de groupes éthoxylates pour former des alkylphénols à courte chaîne, puis du nonylphénol ou de l'octylphénol selon la substance mère et enfin les produits de dégradation ultimes que sont le CO₂ et l'eau. De plus, l'oxydation du groupe alcool -OH en groupement -COOH génère des acides carboxyliques comme l'AP1EC et l'AP2EC (figure 1).

Le degré de dégradation des alkylphénols dans les stations d'épuration varie en fonction de plusieurs facteurs comme le type de traitement, le temps de résidence des boues et la température. Cependant, de l'ensemble des cas rapportés par Maguire (1999), on constate que les substances mères à longue chaîne éthoxylée sont absentes ou constituent généralement une faible part des alkylphénols rejetés par les stations d'épuration. On y retrouve plutôt les produits de dégradation intermédiaires à courte ou sans chaîne éthoxylée, comme le nonylphénol diéthoxylate, le nonylphénol monoéthoxylate et le nonylphénol. Or, ces sous-produits sont plus persistants dans l'environnement, plus toxiques et présentent une activité oestrogénique plus importante que leur substance d'origine (Servos 1999). C'est pourquoi les suivis environnementaux des surfactants, dont Bennie (1999) a fait une revue, portent surtout sur les sous-produits des alkylphénols plutôt que sur les substances mères.

Dans sa revue de la documentation scientifique sur la persistance des alkylphénols, Maguire (1999) rapporte les résultats d'études (Birch 1991, Brown *et al.* 1986, Stiff *et al.* 1973, Mann et Reid 1971) qui démontrent que la dégradation de ces substances ralentie en hiver, lorsque les eaux usées sont plus froides. Ces résultats sont confirmés par ceux de Manzano *et al.* 1999. Il est donc important qu'un suivi des alkylphénols dans l'eau potable au Québec couvre un cycle annuel complet, afin de tenir compte des variations saisonnières des concentrations.

Des tests en laboratoire ont démontré la toxicité aiguë des nonylphénols pour des invertébrés, des poissons, des mammifères et des algues. Pour le nonylphénol (NP), la LC50-96h la plus basse recensée dans CCME 2001 est 20,7 µg/l, pour l'amphipode d'eau douce *Hyaella azteca*. En toxicité chronique, CCME 2001 rapporte une CSEO-91 jours de 10,3 µg/l pour la croissance de la truite arc-en-ciel (*Oncorhynchus mykiss*). CCME 2001 rapporte une CSEO-33 jours à 14 µg/l pour un test de survie du mené tête-de-boule (*Pimephales promelas*) et Environnement Canada et Santé Canada 2001 rapportent une CSEO sur la croissance de *Mysidopsis bahia* (invertébré) à 3,9 µg/l.

Les alkylphénols ont également des effets sur le système endocrinien. En effet, plusieurs de ces substances (notamment le 4-nonylphénol) ont démontré une activité oestrogénique lorsque testées sur des cellules recombinantes de levures (Routledge et Sumpter 1996), sur des hépatocytes de truites arc-en-ciel (Jobling et Sumpter 1993) et sur des cellules cancéreuses de glandes mammaires humaines (Soto *et al.* 1992, White *et al.* 1994, Blom *et al.* 1998). Plusieurs études *in vivo*, rapportées dans Environnement Canada et Santé Canada 2001, démontrent également l'activité endocrinienne de ces substances. Pour ces raisons les alkylphénols sont considérés comme des perturbateurs endocriniens.

Des effets oestrogéniques qui pourraient être imputables à ces substances ont été démontrés chez des truites exposées à des effluents d'eaux usées (Purdom *et al.* 1994). Au Québec, plusieurs effluents urbains testés à l'aide d'hépatocytes de truite arc-en-ciel ont démontré une activité oestrogénique (Gagné et Blaise 1998).

2. MÉTHODOLOGIE

2.1 Sélection des stations de traitement d'eau potable

On répertorie 359 prises d'eau publiques dans les eaux de surface au Québec, 64 usines de pâtes et papiers et, selon la source d'informations, 95 à 130 établissements dans le secteur des textiles générant des eaux de procédés. En tenant compte de la localisation de ces sources potentielles, dix prises d'eau susceptibles d'être les plus exposées aux alkylphénols ont été retenues pour le suivi, soit : Farnham, Saint-Hyacinthe, Drummondville, Daveluyville, Charny, Repentigny, Trois-Rivières, Lavaltrie, la Régie intermunicipale d'assainissement de l'eau potable du bas Saint-François (Pierreville) et la Régie intermunicipale des eaux de la vallée du Richelieu (Otterburn Park). À ces dix prises d'eau s'est ajoutée celle de Rosemère, sur la rivière des Mille Îles, qui a la particularité de se trouver en aval de nombreux rejets urbains.

La figure 2 permet de localiser les stations de traitement retenues et le tableau 1 présente quelques unes de leurs caractéristiques. Ces stations sont variables quant à leur taille : celle de Daveluyville produit 3 300 m³ d'eau par jour, alors que celle de Trois-Rivières en produit 110 000 m³. Les populations desservies varient entre 2 000 personnes à Daveluyville et 60 000 personnes à Drummondville et Otterburn Park. Les mesures dans l'eau brute de ces stations permettent de caractériser l'eau du fleuve Saint-Laurent et huit de ses tributaires, soit les rivières Chaudière, Bécancour, Saint-François, Yamaska, Richelieu, des Mille Îles, l'Assomption et Saint-Maurice. Les traitements à chacune de ces stations sont décrits plus loin (tableau 11) dans l'interprétation des résultats.

2.2 Échantillonnage

Pour atteindre les objectifs de l'étude, il fallait échantillonner l'eau brute et l'eau traitée des stations retenues. L'analyse de l'eau traitée permet d'évaluer l'exposition humaine aux nonylphénols, alors que celle de l'eau brute renseigne sur l'exposition de la faune et de la flore qui habitent les cours d'eau. De plus, la différence de concentration entre l'eau brute et l'eau traitée permet d'évaluer l'efficacité du traitement de l'eau potable à l'égard des nonylphénols. Finalement, pour tenir compte de la variabilité saisonnière des concentrations, l'échantillonnage a été effectué sur une base mensuelle durant une année complète, soit de février 2000 à janvier 2001.

Les échantillons ont été récoltés dans des bouteilles de verre d'un litre recouvertes de papier d'aluminium, pour éviter la photodégradation des alkylphénols. Les bouteilles, nettoyées et préparées au laboratoire, contenaient 10 ml de formaldéhyde 37 % à titre d'agent de conservation. Les échantillons d'eau ont été placés dans des glacières et conservés au froid jusqu'à leur analyse. L'échantillonnage a été réalisé par le personnel technique du ministère de l'Environnement. Les tournées mensuelles d'échantillonnage se déroulaient sur deux jours consécutifs.

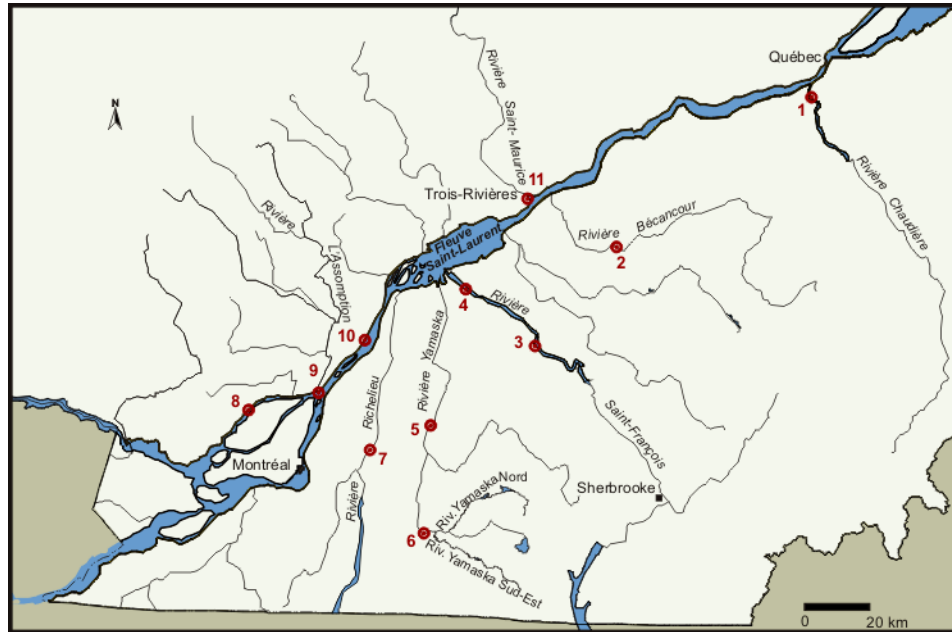


Figure 2 Localisation des stations de traitement d'eau potable faisant l'objet du suivi des nonylphénols

1 : Charny	5 : Saint-Hyacinthe	9 : Repentigny
2 : Daveluyville	6 : Farnham	10 : Lavaltrie
3 : Drummondville	7 : Otterburn Park	11 : Trois-Rivières
4 : Pierreville	8 : Rosemère	

Tableau 1 Source d'approvisionnement, capacité et population desservie par les stations de traitement d'eau potable retenues pour le suivi des nonylphénols

Station	Source d'approvisionnement	Capacité ³ (m ³ /d)	Population desservie ³
Charny	Rivière Chaudière	27 272	30 000
Daveluyville	Rivière Bécancour	3 300	2 000
Drummondville	Rivière Saint-François	70 000	60 000
Pierreville ¹	Rivière Saint-François	4 545	4 800
Saint-Hyacinthe	Rivière Yamaka	64 650	50 600
Farnham	Rivière Yamaka	20 455	7 500
Otterburn Park ²	Rivière Richelieu	39 090	60 000
Rosemère	Rivière des Mille Îles	35 000	30 000
Repentigny	Rivière l'Assomption	87 500	74 500
Lavaltrie	Fleuve Saint-Laurent	5 443	7 500
Trois-Rivières	Rivière Saint-Maurice	110 000	51 412

1 Régie intermunicipale d'assainissement de l'eau potable du bas Saint-François; dessert Pierreville, Notre-Dame-de-Pierreville, Saint-Thomas-de-Pierreville, Saint-François-du-Lac et la réserve indienne Odanak.

2 Régie intermunicipale de l'eau de la vallée du Richelieu; dessert Beloeil, Otterburn Park, McMasterville, Mont-Saint-Hilaire, Saint-Basile-le-Grand, Sainte-Marie-Madeleine, Saint-Mathias-sur-Richelieu, Saint-Jean-Baptiste.

3 Source : AQTE-AESEQ, 1998.

À la plupart des usines de traitement, les prélèvements ont été réalisés à des robinets prévus à cet effet. Avant la prise de l'échantillon, on laissait couler l'eau quelques minutes pour purger l'eau stagnante dans la tuyauterie et assurer l'intégrité de l'échantillon. Aux usines de Daveluyville et de Pierreville, il n'y a pas de robinet permettant d'échantillonner l'eau brute avant sa chloration. L'eau brute a donc été puisée directement de la rivière, en face de la station de traitement. En février, mars et décembre 2000 ainsi qu'en janvier 2001, cet échantillonnage s'est avéré impossible à cause des conditions de glace sur la rivière. Ce fut également le cas en avril 2000 à Daveluyville.

2.3 Analyse des échantillons

Un suivi des alkylphénols éthoxylés dans l'eau potable devrait idéalement comprendre les nonylphénols et les octylphénols. Toutefois, ce projet s'est limité aux nonylphénols car il s'est avéré impossible de s'approvisionner en étalons de qualité pour l'analyse des octylphénols et de plus, les octylphénols ne comptent que pour 20 % des alkylphénols en usage, alors que les nonylphénols comptent pour 80 %.

Une méthode d'analyse novatrice a été mise au point dans le cadre de cette étude. Décrite en détails dans Houde *et al.* (2002), la procédure commence par une extraction de l'échantillon acidifié sur une colonne de charbon activé (Superclean ENVI-Carb), suivie par une élution par un mélange de dichlorométhane : acide formique (0,1 % dans l'eau) 9 : 1. Cet éluat est évaporé à sec et dilué dans un volume de méthanol contenant un étalon interne (NP2EO-¹³C₆). Le dosage est ensuite effectué par un chromatographe en phase liquide couplé à un spectromètre de masse en tandem (LC-MS/MS). Cet instrument de grande précision permet une analyse rapide, des limites de détection très basses et une grande sélectivité.

La méthode mise au point permet l'analyse simultanée de 19 substances : les nonylphénols éthoxylés comprenant de 1 à 17 éthoxylates (NP1-17EO), l'acide nonylphénoxyacétique (NP1EC) et l'acide nonylphénoxyéthoxyacétique (NP2EC). Les limites de détection de chacune de ces substances sont présentées au tableau 2.

2.4 Contrôle de la qualité

Cette étude est la première réalisée par le ministère de l'Environnement sur la présence des nonylphénols dans les eaux de surface et l'eau potable au Québec. De plus, l'analyse des échantillons a été réalisée par une méthode novatrice mise au point par le Ministère. Dans ce contexte, il était particulièrement important d'effectuer un contrôle de la qualité des données générées. En plus des procédures prévues par le CEAEQ pour assurer la qualité des analyses au laboratoire, un contrôle de la qualité de l'échantillonnage a été réalisé par l'utilisation de témoins et de duplicatas.

Tableau 2 Limites de détection de l'analyse des nonylphénols dans l'eau

Substance	Limite de détection (µg/l)
Éthoxylates	
NP1EO	0,05
NP2EO	0,02
NP3EO	0,02
NP4EO	0,03
NP5EO	0,03
NP6EO	0,03
NP7EO	0,03
NP8EO	0,03
NP9EO	0,03
NP10EO	0,03
NP11EO	0,03
NP12EO	0,02
NP13EO	0,02
NP14EO	0,01
NP15EO	0,01
NP16EO	0,01
NP17EO	0,01
Acides carboxyliques	
NP1EC	0,01
NP2EC	0,01

Les témoins étaient des bouteilles identiques à celles utilisées pour l'échantillonnage et préparées de la même façon, mais remplies au laboratoire d'eau nanopure. À chaque tournée d'échantillonnage, au moins un témoin était placé avec les autres bouteilles pour suivre le même circuit et les mêmes procédures. Sur un total de quinze bouteilles témoins, cinq ont été décapsulées dans une des stations d'eau potable, durant le temps requis pour la prise de l'échantillon. Ces témoins permettent d'évaluer l'éventuelle contamination des échantillons par les manipulations et par l'exposition à l'air dans les stations. Les dix autres bouteilles témoins n'ont pas été décapsulées. Elles permettent de mesurer la contamination due seulement aux manipulations. La différence de résultats entre ces deux séries de bouteilles représente la contamination associable à l'exposition à l'air.

Les duplicatas sont des échantillons pris en double, c'est-à-dire que deux bouteilles sont remplies et analysées plutôt qu'une seule. Les duplicatas permettent d'évaluer la reproductibilité des résultats à court terme. De grandes différences de résultats entre des échantillons pris immédiatement l'un après l'autre, à la même station d'échantillonnage, indiqueraient des problèmes de reproductibilité et soulèveraient des doutes sur la représentativité d'échantillons prélevés sur une base mensuelle.

Les témoins sont en général peu contaminés par les nonylphénols. Parmi les cinq témoins décapsulés dans une des stations de traitement d'eau potable, trois ont des valeurs au-dessous des limites de détection pour les 19 produits analysés. Un deux autres témoins décapsulés n'a que des traces de NP2EO (0,05 µg/l), mais l'autre affiche des traces pour sept éthoxylates, pour un total de 0,26 µg/l. Neuf des dix témoins qui n'ont pas été décapsulés ont des valeurs inférieures aux limites de détection pour toutes les substances analysés. Cependant, un de ces dix témoins présente des traces pour six éthoxylates, pour un total de 0,22 µg/l.

Les témoins présentant des concentrations totales de 0,22 µg/l et 0,26 µg/l sont respectivement associés aux tournées d'échantillonnage d'avril et de septembre. Au cours de ces deux tournées, des échantillons et d'autres témoins ont présenté des valeurs nettement inférieures à ces niveaux de contamination. On en conclut que la contamination n'était pas systématique. Pour cette raison, les concentrations dans les témoins n'ont pas été soustrait à celles mesurées dans les échantillons.

Dans l'ensemble, les résultats dans les témoins sont satisfaisants. La contamination des témoins est trop faible et sporadique pour que l'éventuel effet des manipulations puisse être distingué de celui attribuable à l'exposition à l'air dans les stations de traitement d'eau potable. Les concentrations dans les témoins sont faibles en comparaison de celles généralement trouvées dans les échantillons.

Les différences entre duplicatas varient entre 2,6 % et 32 % (tableau 3). L'erreur moyenne pour l'ensemble des neuf paires de duplicatas est de 13 %. Ce résultat est satisfaisant et démontre que l'ensemble de la procédure d'échantillonnage est sous contrôle et donne des résultats suffisamment reproductibles. Ces résultats indiquent aussi que dans l'interprétation des données, on ne doit pas donner d'importance à des différences de concentration de moins que 15 % entre des échantillons.

Tableau 3 Contrôle de qualité : résultats dans les répliqués

Station ou témoin	Mois	Concentration moyenne des deux répliqués (µg/l)	Différence entre répliqués (µg/l)	Pourcentage d'erreur (%)
Charny	Février	5,22	1,11	21
Pierreville	Août	1,22	0,19	16
Saint-Hyacinthe	Avril	3,52	0,09	2,6
	Juillet	6,55	0,59	9,0
Farnham	Février	30,7	2,94	9,6
Rosemère	Février	2,01	0,08	4,0
Repentigny	Avril	0,83	0,27	32
	Août	2,99	0,32	11
Lavaltrie	Juillet	2,36	0,22	9,3

L'écart de 32 % entre les duplicatas du mois d'avril à Repentigny est élevé (tableau 3). Ce résultat a été obtenu dans des duplicatas de faibles concentrations : 0,83 µg/l en moyenne. Dans ces conditions, l'écart relatif devient assez grand, même si la différence absolue entre les duplicatas n'est pas vraiment grande, soit de 0,27 µg/l. Comme le montre le tableau 3, la précision relative est généralement meilleure dans les échantillons présentant des concentrations plus élevées.

3. RÉSULTATS

Les résultats d'analyse pour la somme des NP1-17EO et des N1-2PEC dans l'eau brute et l'eau traitée des onze stations de traitement d'eau potable sont illustrés dans les figures 3 à 6. Ces résultats sont ensuite synthétisés dans la figure 7 et le tableau 4. Il est à noter que l'échelle verticale des graphiques des résultats à Farnham et Saint-Hyacinthe (figure 3) s'étend de zéro à 60 µg/l, alors que celle des autres stations (figures 4 à 6) ne se rend qu'à 10 µg/l.

3.1 Résultats dans l'eau brute

Dans l'eau brute, les concentrations varient entre des valeurs inférieures aux limites de détection et un maximum de 55,3 µg/l obtenu à Farnham en janvier 2001. Comme le montre la figure 7, c'est à Farnham et à Saint-Hyacinthe que l'on trouve les concentrations les plus élevées. Ces deux stations sont situées sur la rivière Yamaska. À Farnham, neuf des douze mesures dans l'eau brute sont supérieures à 10 µg/l (figure 3). Sauf à Saint-Hyacinthe, aucun des résultats obtenus aux autres stations n'atteint cette valeur (figures 4 à 6).

Les concentrations moyennes annuelles à Farnham et Saint-Hyacinthe sont respectivement de 17,8 µg/l et 8,15 µg/l. Viennent ensuite Lavaltrie et Rosemère, avec des moyennes respectives de 4,31 µg/l et 3,74 µg/l. Repentigny, Drummondville, Otterburn Park, Charny, Pierreville et Daveluyville ont des moyennes annuelles de se situant entre 0,85 µg/l et 2,37 µg/l et le maximum instantané de l'ensemble de ces stations a été 6,01 µg/l à Drummondville en décembre 2000 (tableau 4). Les concentrations dans l'eau brute à la station de Trois-Rivières sont faibles, inférieures à la limite de détection dans le tiers des échantillons (figure 6 et tableau 4).

En amont de Farnham, la rivière Yamaska se divise en trois branches : la rivière Yamaska, la Yasmaska Nord et la Yamaska Sud-Est. Ces trois tributaires ont été échantillonnés près de leur embouchure en septembre et décembre 2000, pour préciser l'origine des teneurs élevées à Farnham et Saint-Hyacinthe. Les résultats obtenus en septembre et décembre sont respectivement : 1,52 µg/l et 2,85 µg/l dans la Yamaska; 81,0 µg/l et 16,3 µg/l dans la Yamaska Nord et 65,1 µg/l et 106 µg/l dans la Yamaska Sud-Est. Ces résultats démontrent que les valeurs élevées à Farnham et Saint-Hyacinthe sont dues à l'addition de teneurs encore plus élevées dans les rivières Yamaska Nord et Yamaska Sud-Est. Les sources potentielles de nonylphénols dans ces deux affluents comprennent Granby et Cowansville où se trouvent, notamment, des usines de textiles.

Les résultats dans l'eau brute démontrent que les concentrations tendent à être plus élevées durant les mois les plus froids de l'année, alors qu'elles sont plus faibles durant l'été et la crue printanière (figures 3 à 6). En effet, presque toutes les valeurs maximales ont été détectées durant les mois de novembre à mars et les valeurs minimales entre avril et août (tableau 4). Ces résultats concordent avec ceux obtenus lors des études mentionnées précédemment et qui démontrent que la température plus froide durant les mois d'hiver ralentit la dégradation des nonylphénols dans les stations d'épuration d'eaux usées industrielles ou municipales. À l'inverse, durant l'été, les températures plus élevées favorisent une dégradation plus complète de ces substances, ce qui

Tableau 4 Sommaire des concentrations de nonylphénols totaux (NP1-17EO + NP1-2EC) dans l'eau brute et l'eau traitée des stations de traitement d'eau potable

Eau brute

Station	Moyenne	Minimum		Maximum	
	(µg/l)	(µg/l)	Mois	(µg/l)	Mois
Farnham	17,8	6,04	8	55,3	1
Saint-Hyacinthe	8,15	3,48	4	28,6	2
Rosemère	4,31	2,01	2	8,52	12
Lavaltrie	3,74	0,77	8	9,56	1
Repentigny	2,37	< L.D.	9	5,13	3
Drummondville	2,17	0,44	4	6,01	12
Otterburn Park	1,66	0,62	10	3,71	12
Charny	1,64	0,28	10	5,22	2
Pierreville	1,55	0,96	5	2,66	12
Daveluyville	0,85	0,19	5	2,13	9
Trois-Rivières	0,14	< L.D.	9, 10, 11, 1	0,73	3

Eau traitée

Station	Moyenne	Minimum		Maximum	
	(µg/l)	(µg/l)	Mois	(µg/l)	Mois
Farnham	10,4	0,02	3	43,3	11
Saint-Hyacinthe	0,07	< L.D.	5, 6, 9,10,11,1	0,49	12
Rosemère	0,92	< L.D.	9	2,41	11
Lavaltrie	2,80	1,24	7	6,69	1
Repentigny	0,33	< L.D.	5, 6, 8, 9,10,1	2,88	2
Drummondville	1,93	0,45	4	4,61	1
Otterburn Park	0,93	< L.D.	7	3,64	12
Charny	0,11	< L.D.	7, 10, 1	0,47	12
Pierreville	0,31	< L.D.	3, 4, 5, 10, 11	1,04	7
Daveluyville	0,60	< L.D.	6	2,09	1
Trois-Rivières	0,02	< L.D.	3, 5, 6, 8-12, 1	0,08	4

< L.D. : Moins que la limite de détection

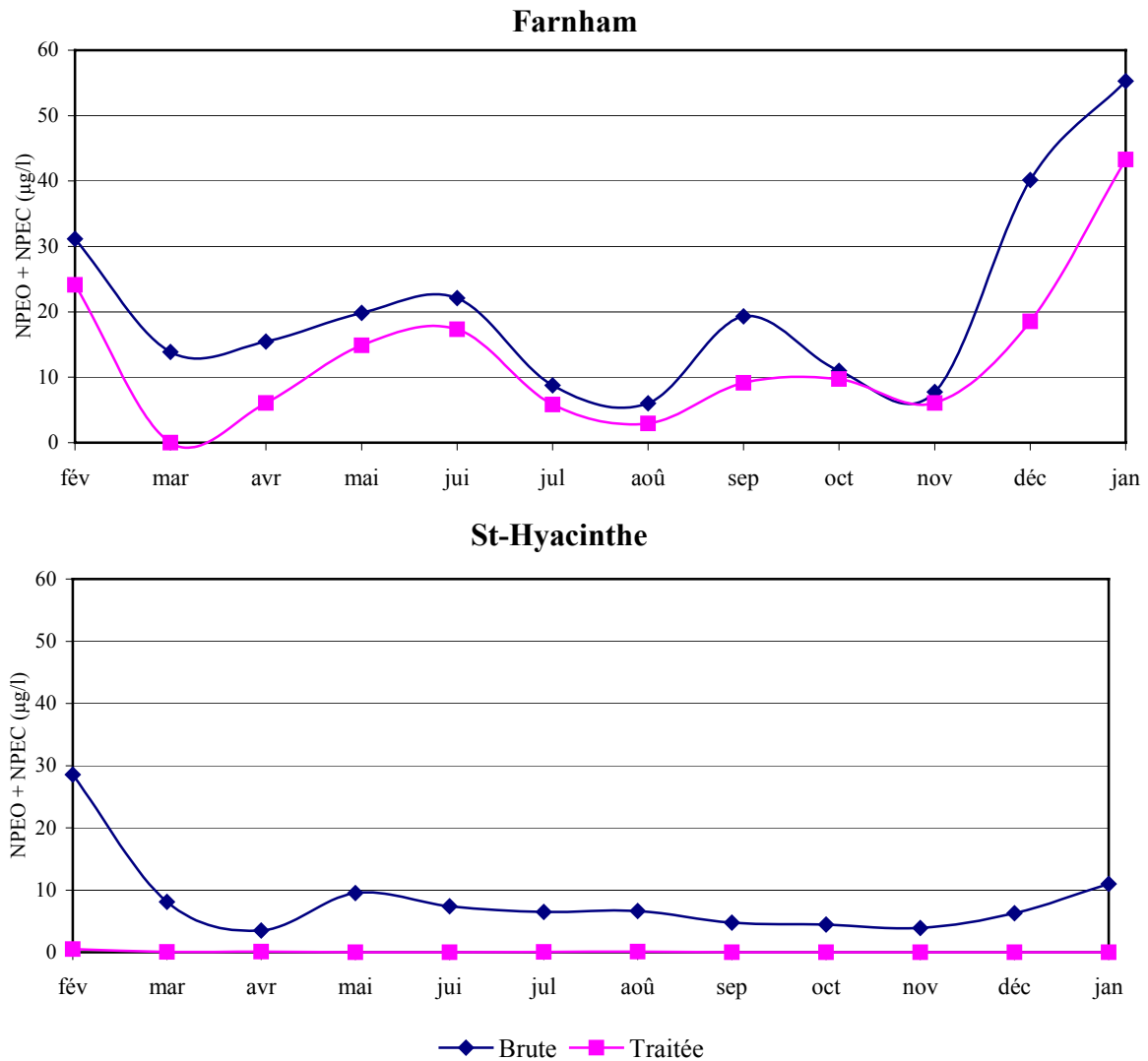


Figure 3 Concentrations de nonylphénols totaux dans l'eau brute et l'eau traitée des stations de traitement d'eau potable de Farnham et Saint-Hyacinthe

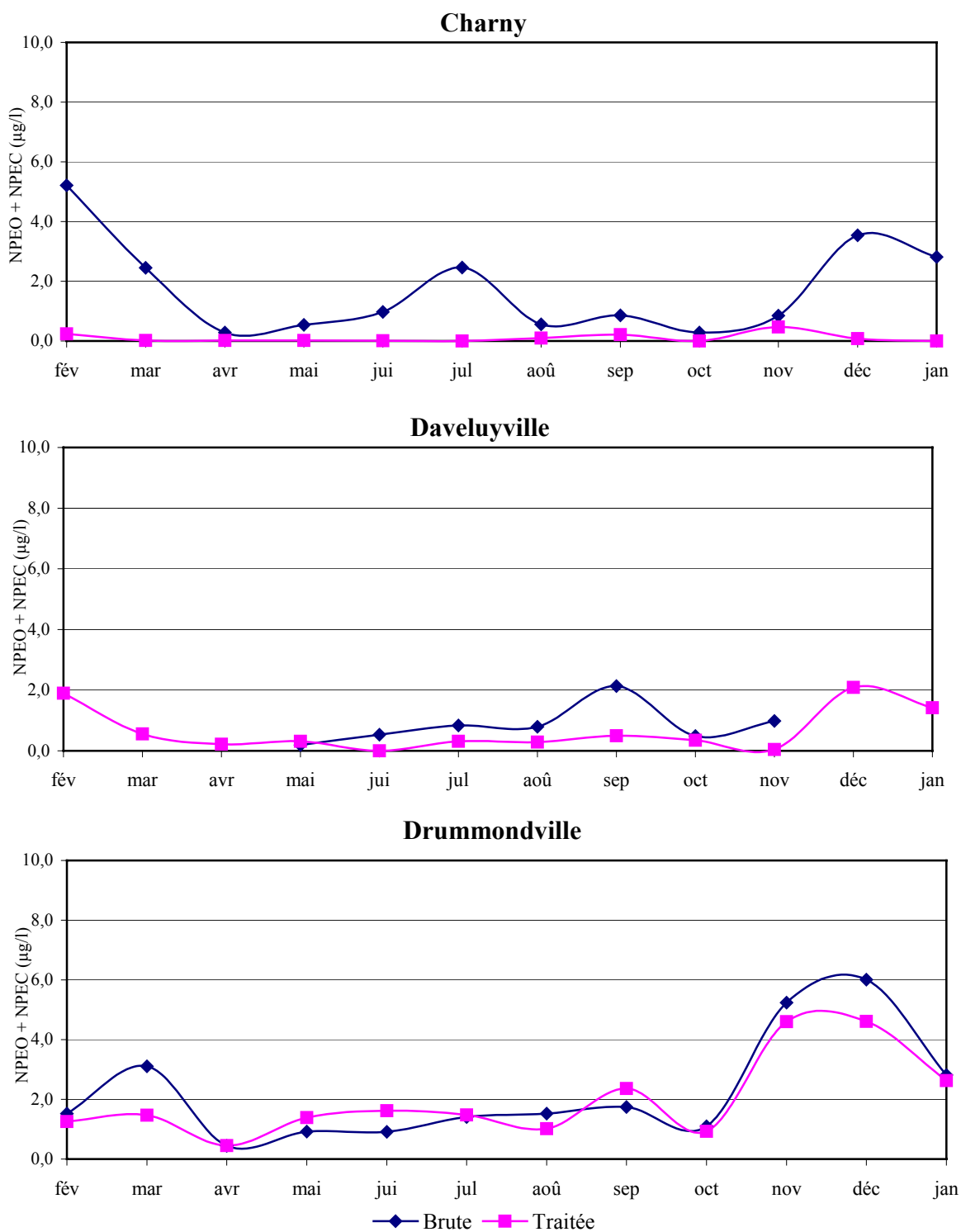


Figure 4 Concentrations de nonylphénols totaux dans l'eau brute et l'eau traitée des stations de traitement d'eau potable de Charny, Daveluyville et Drummondville

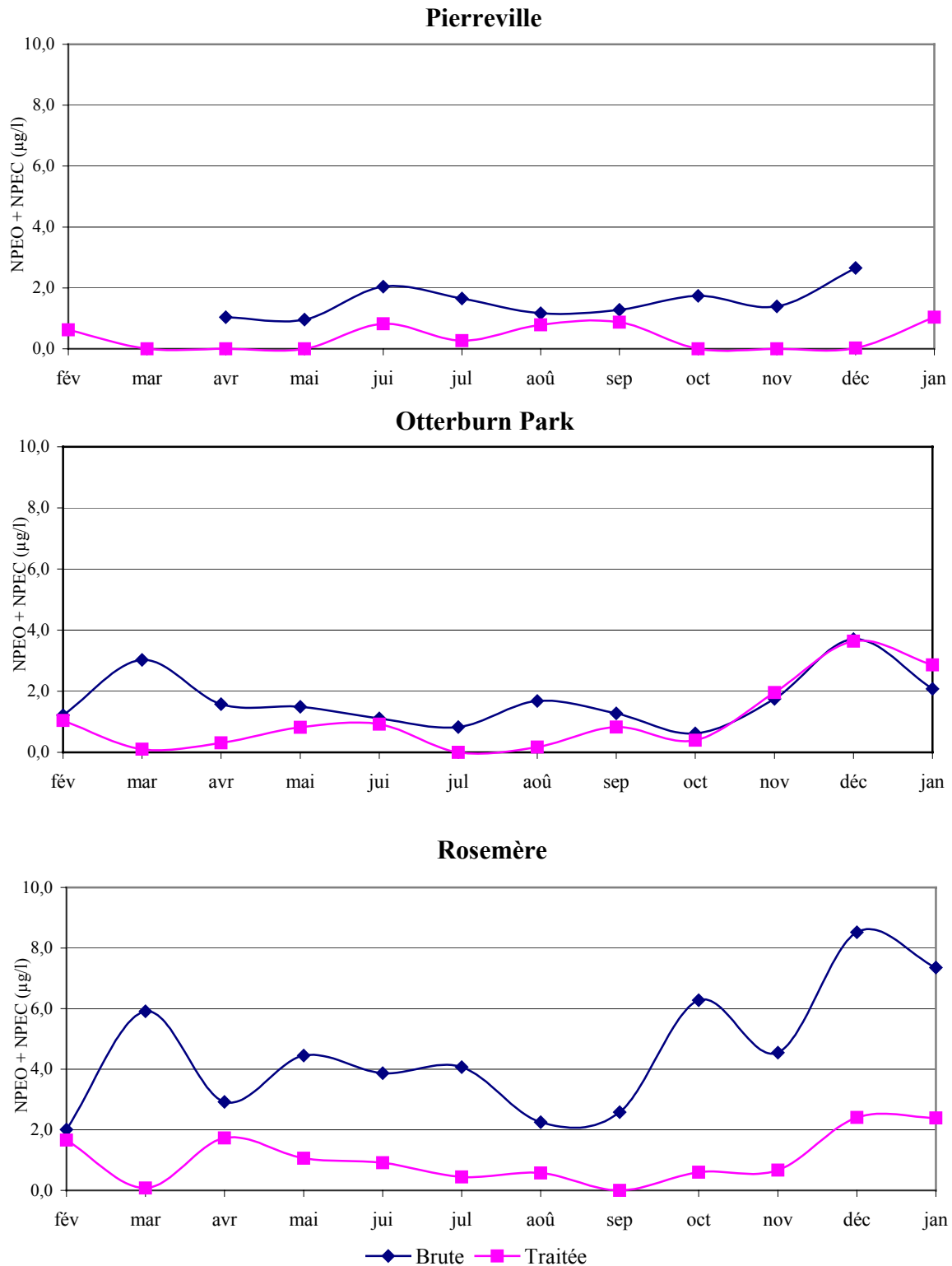


Figure 5 Concentrations de nonylphénols totaux dans l'eau brute et l'eau traitée des stations de traitement d'eau potable de Pierreville, Otterburn Park et Rosemère

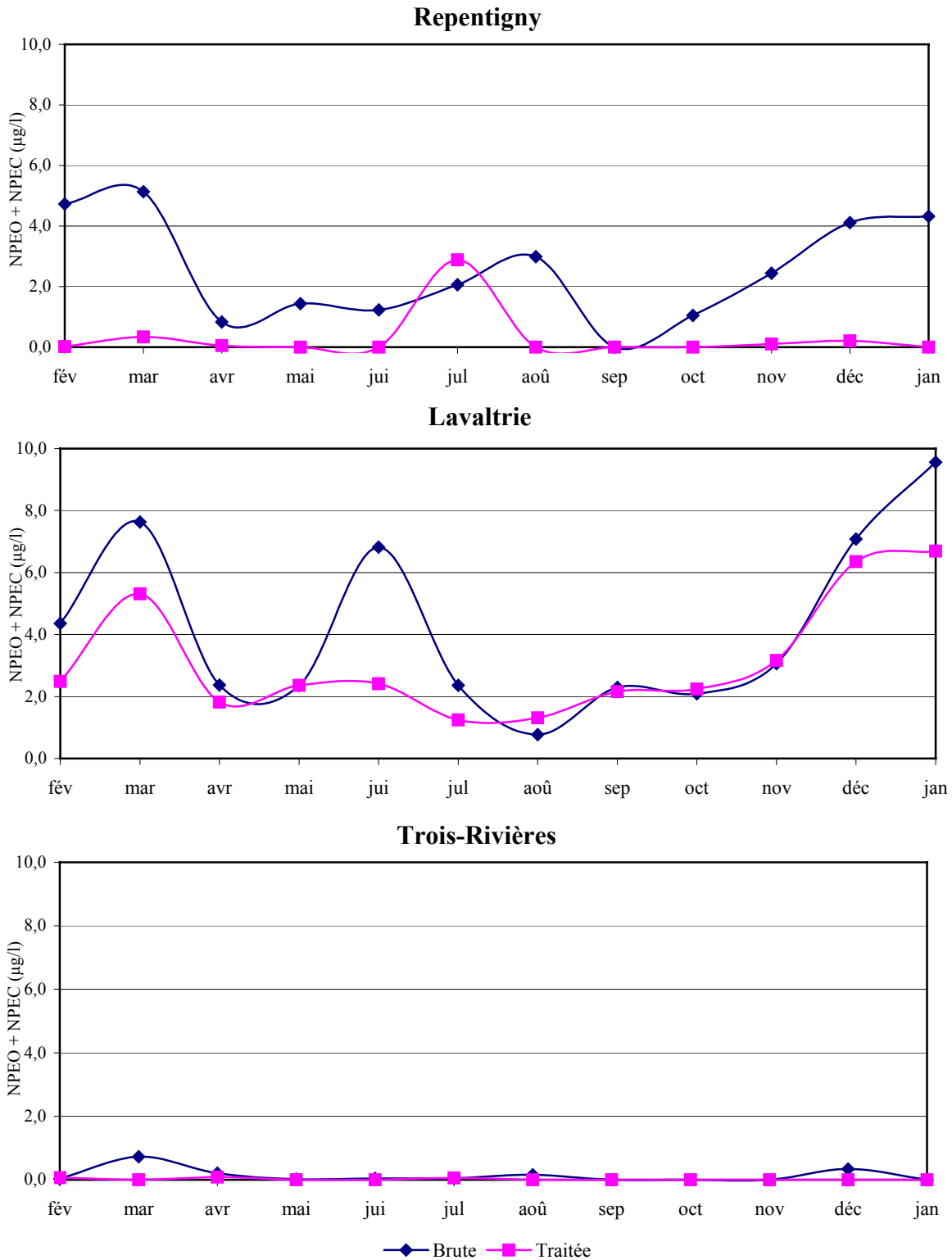


Figure 6 Concentrations de nonylphénols totaux dans l'eau brute et l'eau traitée des stations de traitement d'eau potable de Repentigny, Lavaltrie et Trois-Rivières

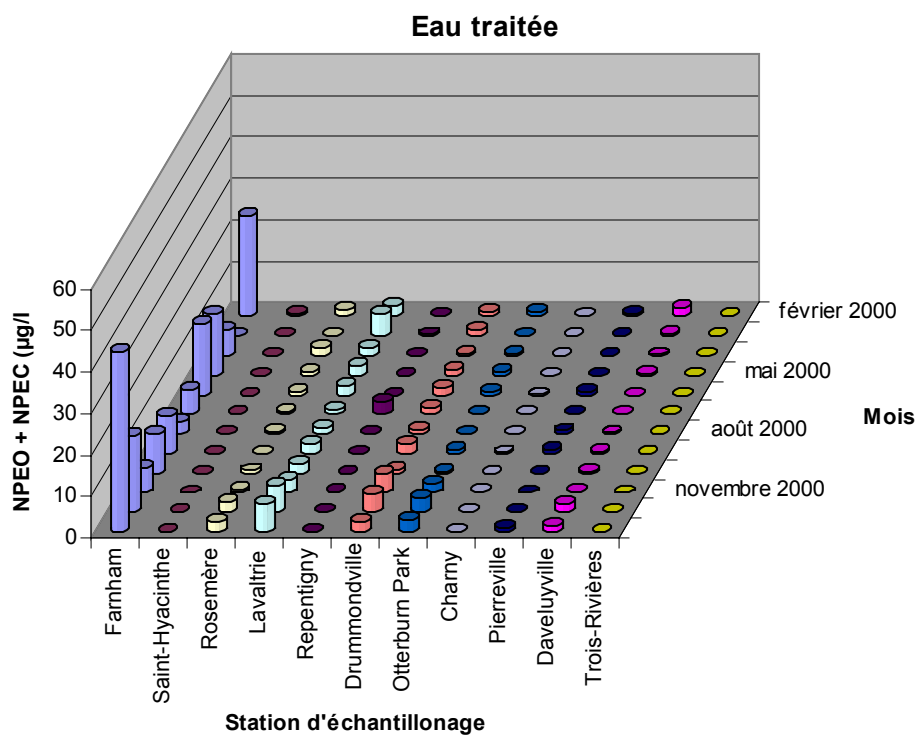
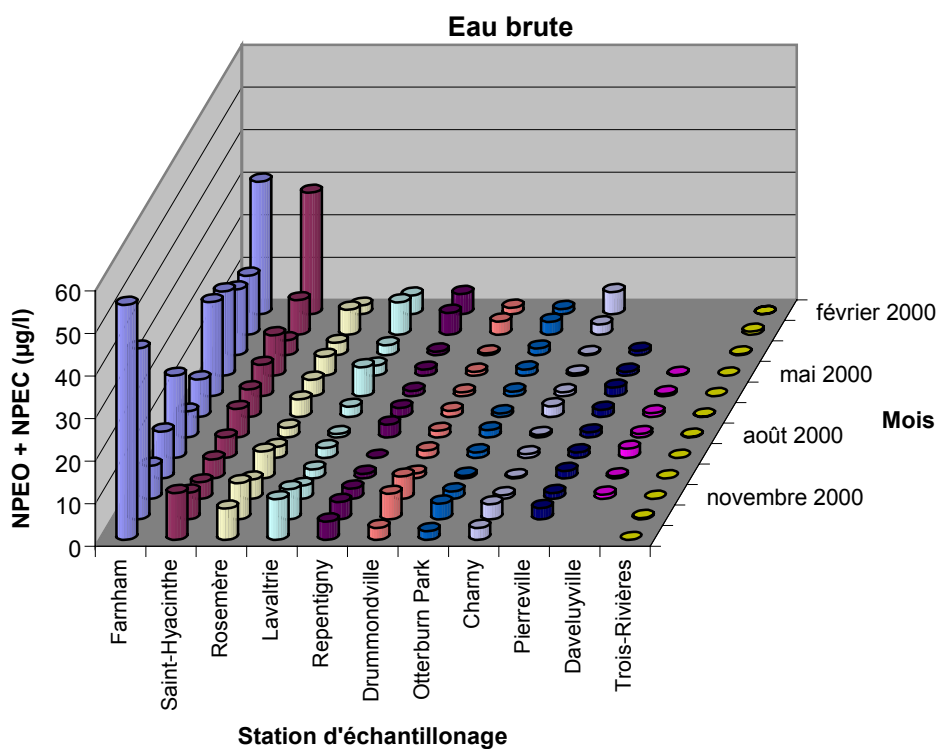


Figure 7 Concentrations de nonylphénols dans l'eau brute et l'eau traitée des stations de traitement d'eau potable de février 2000 à janvier 2001

entraîne des concentrations moins élevées dans les cours d'eau. Les valeurs minimales obtenues en avril et mai à certaines stations pourraient être dues à la dilution occasionnée par la crue printanière.

Le tableau 5 permet de comparer les concentrations mesurées dans le cadre de cette étude aux résultats obtenus ailleurs pour le NP1EO, le NP2EO, les NP3-17EO, le NP1EC et le NP2EC. On constate à l'examen de ce tableau que les concentrations de nonylphénols éthoxylés dans les cours d'eau québécois se retrouvent dans la gamme de ce qui a été obtenu par d'autres chercheurs qui ont échantillonné des rivières aux États-Unis et au Canada. En NP1EO et en NP2EO, les résultats obtenus par Bennie *et al.* en 1997 dans le Saint-Laurent sont moins élevés que ceux obtenus dans les tributaires du Saint-Laurent, dans le cadre de la présente étude. Ces derniers sont généralement moins élevés que ceux obtenus en Suisse par Ahel et ses collaborateurs. Pour ce qui est des acides NP1EC et NP2EC, seules les valeurs maximums de la présente étude, obtenues dans la rivière Yamaska, sont plus élevées que celles rapportées pour les rivières canadiennes et américaines dans le tableau 5.

Tableau 5 Comparaison des concentrations ($\mu\text{g/l}$) de nonylphénols mesurés dans la présente étude aux résultats obtenus dans le cadre d'autres études : résultats dans l'eau brute

Substance	Présente étude			Autres études			
	Minimum	Moyenne	Maximum	Minimum	Maximum	Endroit	Référence
NP1EO	< 0,05	0,20	4,00	< 0,5	1,6	Rivières en Suisse	Ahel et Giger (1985)
				< 3	69,0	Rivières en Suisse	Ahel <i>et al.</i> (1994)
				2	20,0	Rivières en Suisse	Ahel <i>et al.</i> (1996)
				< 0,02	7,80	Ontario	Bennie <i>et al.</i> (1997)
				< 0,02	0,15	Fleuve Saint-Laurent	Bennie <i>et al.</i> (1997)
				N.D.	4,80	Espagne	Guardiola <i>et al.</i> (1991)
				< 0,06	0,60	Rivières aux États-Unis	Naylor <i>et al.</i> (1992)
				1,1	4,10	Lac Léman, Suisse	Stephanou (1985)
				< 0,02	2,3	Rivières au Canada	ECSC* (2001)
				NP2EO	< 0,01	0,16	1,80
< 0,3	30,0	Rivières en Suisse	Ahel <i>et al.</i> (1994)				
0,8	21,0	Rivières en Suisse	Ahel <i>et al.</i> (1996)				
< 0,02	10,0	Ontario	Bennie <i>et al.</i> (1997)				
< 0,02	0,023	Fleuve Saint-Laurent	Bennie <i>et al.</i> (1997)				
N.D.	1,90	Espagne	Guardiola <i>et al.</i> (1991)				
< 0,07	1,20	Rivières aux États-Unis	Naylor <i>et al.</i> (1992)				
1,3	5,80	Lac Léman, Suisse	Stephanou (1985)				
< 0,02	2,45	Rivières au Canada	ECSC* (2001)				
NPhEO (n=3-17)	< 0,42	1,85	22,7				
				0,11	17,56	Rivières au Canada	ECSC* (2001)
NP1EC	< 0,01	0,93	27,0	< 1	45,0	Rivières en Suisse	Ahel <i>et al.</i> (1994)
				8,4	20,0	Rivières en Suisse	Ahel <i>et al.</i> (1996)
				N.D.	20,0	Rivières aux États-Unis	Field et Reed (1996)
				0,44	3,17	Rivières au Canada	ECSC* (2001)
NP2EC	< 0,01	1,39	19,0	20,6	28,70	Rivières en Suisse	Ahel <i>et al.</i> (1993)
				2	71,0	Rivières en Suisse	Ahel <i>et al.</i> (1993)
				N.D.	11,80	Rivières aux États-Unis	Field et Reed (1996)
				0,81	4,3	Rivières au Canada	ECSC* (2001)

* Environnement Canada et Santé Canada, 2001

3.2 Résultats dans l'eau traitée

Les concentrations de nonylphénols dans l'eau traitée sont inférieures aux limites de détection dans le quart (32/123) des échantillons. À Farnham cependant, les concentrations après traitement demeurent relativement élevées, variant de 0,02 µg/l à 43,3 µg/l, avec une moyenne annuelle de 10,4 µg/l (figure 3 et tableau 4). Les stations de Rosemère, Lavaltrie, Drummondville, Otterburn Park et Daveluyville produisent de l'eau potable dont les teneurs varient de 0,6 µg/l à 6,69 µg/l, avec des moyennes annuelles de 0,6 à 2,8 µg/l et des valeurs qui sont presque toujours au-dessus des limites de détection. Viennent ensuite Charny, Repentigny et Pierreville, avec des moyennes annuelles de 0,11 µg/l à 0,33 µg/l et des valeurs sous les limites de détection dans le quart à la moitié des échantillons (figures 4 à 6 et tableau 4). Finalement, Trois-Rivières et Saint-Hyacinthe ont des concentrations faibles, leur moyenne annuelle étant inférieure à 0,1 µg/l (figures 3 et 6 et tableau 4). Dans le cas de Trois-Rivières, ces faibles valeurs sont dues principalement à des teneurs faibles dans l'eau brute. À Saint-Hyacinthe, les teneurs dans l'eau brute sont élevées et, tel qu'expliqué plus loin, c'est le traitement de l'eau qui les abaisse de façon marquée.

Peu d'études ont été réalisées sur les nonylphénols dans l'eau potable. Le tableau 6 présente les quelques résultats recensés dans la documentation scientifique. Clark et ses collaborateurs n'ont analysé qu'un échantillon d'eau potable du New Jersey, pour le NP, le NP1EO, le NP2EO et les NP3-7EO. Guardiola et ses collègues ont échantillonné l'eau de Barcelone sur une base hebdomadaire durant sept mois et y ont analysé le NP, le NP1EO et le NP2EO. Crescenzi *et al.* (1995) ont analysé trois échantillons d'eau potable provenant de Rome et sa région. Leurs analyses ont porté sur l'ensemble des nonylphénols éthoxylés.

Tableau 6 Comparaison des concentrations (µg/l) de nonylphénols mesurés dans la présente étude aux résultats obtenus dans le cadre d'autres études : résultats dans l'eau traitée

Substance	Présente étude			Autres études			
	Minimum	Moyenne	Maximum	Minimum	Maximum	Endroit	Référence
NP1EO	< 0,05	0,12	3,10	N.D.	0,077	New Jersey, États-Unis	Clark <i>et al.</i> 1992
				N.D.	1,1	Barcelone, Espagne	Guardiola <i>et al.</i> 1991
NP2EO	< 0,01	0,08	1,40	N.D.	0,147	New Jersey, États-Unis	Clark <i>et al.</i> 1992
				N.D.	0,25	Barcelone, Espagne	Guardiola <i>et al.</i> 1991
NPnEO (n=3-17)	< 0,42	0,75	5,93	N.D.	0,51	New Jersey, États-Unis	Clark <i>et al.</i> 1992
NPnEO (n=?)				0,061	0,12	Rome, Italie	Crescenzi <i>et al.</i> 1995
NP1EC	< 0,01	0,49	20,00				
NP2EC	< 0,01	0,70	15,00	N.D.	0,164	New Jersey, États-Unis	Clark <i>et al.</i> 1992

Comme le montre le tableau 6, les résultats de la présente étude démontrent que les concentrations de nonylphénols dans l'eau potable peuvent être plus élevées que ce que pouvait porter à croire les quelques résultats publiés jusqu'à maintenant. Dans ces études, un nombre limité de substances ont été analysées et les concentrations maximales obtenues ont été de l'ordre de 1 µg/l. Plus de substances ont été analysées dans le cadre de la présente étude, ce qui a généré des valeurs plus élevées, variant entre < 0,42 µg/l et 28,3 µg/l pour la somme des NPE3-17O et de 0,02 µg/l à 35 µg/l pour les NPEC. Comme le montre le tableau 4, les valeurs les plus élevées ont été enregistrées dans l'eau de Farnham, mais des mesures de plus de 1 µg/l pour la somme des NP1-17EO et des NP1-2EC ont été obtenues à toutes les stations, sauf celles de Saint-Hyacinthe, Charny et Trois-Rivières.

3.3 Effets potentiels sur la santé humaine

Pour savoir si un produit chimique présent dans l'eau pose un risque pour la santé publique, il suffit souvent de comparer la concentration de ce produit à son critère pour l'eau potable. Des critères pour l'eau potable ont été promulgués pour un grand nombre de substances par divers organismes responsables de la protection de la santé publique : ministère de l'Environnement du Québec, ministère de la Santé et des Services sociaux du Québec, Santé Canada, EPA des États-Unis, l'Organisation mondiale pour la santé (OMS) etc. Malheureusement, ces organismes n'ont pas encore publié de critères pour les nonylphénols dans l'eau potable, une classe de produits pour lesquels les préoccupations relatives à la protection de l'environnement et à la santé publique sont relativement récentes.

Cependant, Santé Canada a récemment réalisé une étude du risque que peut représenter les nonylphénols pour la santé humaine (Environnement Canada et Santé Canada, 2001). Dans le cadre de cette étude, on a estimé ce que pourrait être l'exposition humaine aux nonylphénols, en tenant compte des diverses voies d'exposition : l'air, l'eau potable, les aliments, etc. Les résultats de cette évaluation sont présentés au tableau 7. On constate que l'exposition reliée aux matériaux d'emballage des aliments (0,017 mg/kg/d), aux produits de nettoyage (0,51 mg/kg/d) et à divers produits de soins de la peau (22,6 mg/kg/d) est nettement plus élevée que celle reliée à l'eau potable (0,00039 mg/kg/d). Pour cette raison, l'analyse de risque de Santé Canada conclue à l'effet que « ...même s'il existe très peu de données disponibles, on peut dire avec assez de certitude que l'air, l'eau potable et le sol ne contribuent que de façon négligeable à l'exposition au NP et au NPE » et que « les estimations de l'exposition à partir de l'air extérieur, de l'eau potable et du sol... sont de plusieurs ordres de grandeur inférieures à celles de l'absorption à partir des aliments et de certains produits de consommation ».

Tableau 7 Les voies potentielles d'exposition humaine aux NP/NPEO
(source : Environnement Canada et Santé Canada, 2001)

Source	Exposition (mg/kg/j)
Air	0,00016
Eau potable	0,00039
Emballage alimentation	0,017
Porc non salé	0,017
Sol bonifié par des boues	0,0000025
Hydratants	22,6
Maquillage faciaux	0,0037
Désodorisants	0,28
Parfums	1,57
Spermicides	0,71 à 1,97
Détergent pour la lessive	(exposition active) 0,0091 (exposition passive) 0,00025
Nettoyage par pulvérisation	(inhalation) 0,065 (voie cutanée) 0,51
Peinture	(latex et huile) 0,022
Peinture par pulvérisation	(inhalation) 0,0043 (voie cutanée) 0,0013

La valeur de 0,00039 mg/kg/d d'exposition via l'eau potable est basée sur une consommation journalière de 1,5 l d'eau potable, un poids corporel moyen pour un adulte de 70,9 kg et une concentration de 18,25 µg/l de NP1-17EO dans l'eau potable. La valeur de 18,25 µg/l est plus élevée que la moyenne annuelle la plus élevée pour les eaux traitées de la présente étude, soit 10,4 µg/l à Farnham. Même si l'on appliquait le maximum instantané (43,3 µg/l obtenu à Farnham en janvier 2001) sur une base annuelle, on arriverait à une exposition via l'eau potable de 0,00092 mg/kg/d. Cette valeur demeure négligeable en comparaison de celles associées aux autres voies d'exposition, selon l'étude de Santé Canada.

3.4 Effets potentiels sur la vie aquatique

Le nonylphénol, les nonylphénols éthoxylés et leurs acides carboxyliques se retrouvent généralement en mélange dans le milieu aquatique. Leurs effets toxiques pour la faune et la flore aquatique ne peuvent être considérés de façon individuelle, car cela pourrait mener à une sous-évaluation de la toxicité totale du mélange. Pour tenir compte de l'additivité des effets et des différences de toxicité des divers nonylphénols, le Conseil canadien des ministres de l'environnement (CCME, 2001) propose une méthode basée sur les équivalents toxiques (tableau 8 et équation 1). Cette méthode est analogue à celle couramment utilisée pour les dioxines et furanes (NATO/CCMS, 1998).

Tableau 8 Facteurs d'équivalence toxique pour les NP, NPEOs, et NPECs (source : CCME 2001)

Composé	Facteur d'équivalence
NP	1
NPnEO (1 ≤ n ≤ 8)	0,5
NPnEO (n > 8)	0,005
NP1EC	0,005
NP2EC	0,005

$$EQT = \sum_{i=1}^n (C_i \times FET_i) \quad \text{équation 1}$$

où :

EQT = concentration du mélange en équivalents toxiques de NP (µg/l)

n = nombre de NPEO et de NPEC dans le mélange

i = 1, 2, 3, ..., n

C_i = concentration du composé i (µg/l)

FET = facteur d'équivalence toxique du composé i (tableau 8)

Les facteurs d'équivalence toxique du tableau 8 sont utilisés pour transformer les concentrations des différents NPEO et NPEC en concentration équivalente de nonylphénol (NP). Ces concentrations équivalentes sont ensuite sommées et le résultat peut être comparé aux critères de qualité de l'eau pour la protection de la vie aquatique exprimé en concentration de NP. Le ministère de l'Environnement du Québec et le CCME ont récemment adopté des critères de NP pour la protection de la vie aquatique. Les critères retenus par ces deux organismes sont du même ordre de grandeur : 6 µg/l (MEF 1999; MENV 2001) et 1 µg/l (CCME 2001).

Le tableau 9 présente les concentrations équivalentes de NP obtenues dans l'eau brute aux différentes stations d'échantillonnage, ainsi que le nombre d'échantillons mensuels dépassant les critères du MENV et du CCME. Évidemment, les concentrations en équivalents toxiques varient en fonction des stations et des mois d'échantillonnage. Les valeurs les plus élevées sont obtenues à Farnham où la moyenne annuelle est de 2,21 µg/l en équivalents toxiques. À cette station, le critère du Québec (6 µg/l) a été dépassé dans un seul des douze échantillons mensuels, alors que celui du CCME (1 µg/l) a été dépassé sept fois. À Saint-Hyacinthe, Rosemère et Lavaltrie, le critère canadien a été dépassé dans quatre des 12 échantillons et la moyenne annuelle se situe près de 0,8 µg/l. À Drummondville et Repentigny, ce critère n'a été dépassé que dans un des douze échantillons mensuels.

Tableau 9 Concentrations de NPEO et NPEC en équivalents de NP dans l'eau brute et fréquence de dépassement des critères pour la protection de la vie aquatique

Station	Équivalents de NP			Nombre de dépassements*	
	Min. µg/l	Max. µg/l	Moy. annuelle µg/l	Québec	CCME
Farnham	0,182	8,62	2,21	1	7
Rosemère	0,218	1,71	0,85	0	4
Saint-Hyacinthe	0,020	3,03	0,80	0	4
Lavaltrie	0,004	2,06	0,78	0	4
Repentigny	0,000	1,09	0,52	0	1
Drummondville	0,019	1,18	0,40	0	1
Otterburn Park	0,029	0,74	0,35	0	0
Charny	0,001	0,59	0,23	0	0
Pierreville	0,070	0,47	0,22	0	0
Daveluyville	0,001	0,27	0,05	0	0
Trois-Rivières	0,000	0,23	0,03	0	0

* Nombre de mois sur douze où la concentration dépasse le critère du Québec (6 µg/l) et du CCME (1 µg/l). Pierreville n'a été échantillonné que 8 fois et Daveluyville 7 fois.

On constate à l'examen du tableau 9 que les fréquences de dépassement des critères canadien et québécois sont passablement différentes. Cela pourrait mener à des conclusions fort différentes quant aux impacts potentiels des nonylphénols sur la vie aquatique. Avant de tirer une conclusion, il faut cependant tenir compte des faits suivants :

- Les deux critères (1 µg/l et 6 µg/l) sont du même ordre de grandeur et leur écart (5 µg/l) est dû à des différences dans les méthodes employées pour les établir.
- Plusieurs résultats de la présente étude sont du même ordre de grandeur que ces critères.
- Le nonylphénol (NP) n'a pas été analysé dans le cadre de cette étude. Or, ce produit est certainement présent dans les cours d'eau du Québec et il a un facteur d'équivalence toxique plus élevé que les NPEO et les NPEC (tableau 8). On peut donc prendre pour acquis que les concentrations totales en équivalents toxiques et les fréquences de dépassement de critères du tableau 9 sont des minimums, fort probablement des sous-estimations de la réalité.
- L'échantillonnage a été réalisé à des stations de traitement d'eau potable situées en aval de sources potentielles de nonylphénols, car l'objectif prioritaire était de connaître les concentrations dans l'eau traitée, afin d'évaluer l'exposition humaine. Plus près des sources de nonylphénols, les concentrations dans les cours d'eau sont sans doute plus élevées que ce qui a été mesuré dans le cadre de cette étude. À ces endroits, l'amplitude et la fréquence de dépassement des critères pour la protection de la vie aquatique peuvent donc être plus élevées. C'est d'ailleurs ce qui est observé en amont de Farnham, où les concentrations moyennes des échantillons de septembre et décembre 2000, dans les rivières Yamaska Nord et Yamaska Sud-Est, sont respectivement de 7,6 µg/l et 8,5 µg/l en équivalents de NP. Ces valeurs dépassent les critères canadien et québécois.

Les résultats de l'échantillonnage de l'eau brute des stations d'eau potable et les points précédents mènent à la conclusion que les concentrations de nonylphénols dans certains des cours d'eau à l'étude sont suffisamment élevées pour y avoir des effets nocifs sur la vie aquatique. Des mesures devraient être prises pour abaisser ces concentrations à un niveau plus sécuritaire. C'est le cas dans les rivières Yamaska, Yamaska Nord et Yamaska Sud-Est et peut-être aussi dans la rivière des Mille Îles et le fleuve Saint-Laurent, dans sa partie sous l'influence de l'effluent de la station d'épuration des eaux usées de la ville de Montréal. C'est aussi sans doute le cas dans d'autres cours d'eau, près des sources de nonylphénols.

3.5 Élimination des nonylphénols par les stations de traitement d'eau potable

Le taux d'élimination des NPEO et des NPEC par les stations de traitement a été calculé avec l'équation 2. Seulement les mois présentant une valeur dans l'eau brute et l'eau traitée ont été utilisés pour calculer les variables \bar{x}_b et \bar{x}_t de cette équation.

Les résultats pour chacune des stations de traitement et les principales caractéristiques des traitements sont présentées au tableau 10. La station de Saint-Hyacinthe qui, après celle de Farnham, est celle qui affiche les valeurs les plus élevées dans l'eau brute, arrive à éliminer 99 % des nonylphénols totaux. Les concentrations résultantes dans l'eau traitée sont faibles : seulement 0,07 µg/l (moyenne annuelle). Seule la station de Trois-Rivières a des concentrations plus faibles dans l'eau traitée. Les stations de Charny, Repentigny, Rosemère et Pierreville sont également efficaces avec des taux d'élimination respectifs de 94 %, 88 %, 77 % et 76 %. Les cinq autres stations ont des taux variant entre 37 % et 11 %.

$$E = \left(\frac{\bar{x}_b - \bar{x}_t}{\bar{x}_b} \right) \times 100 \quad \text{équation 2}$$

où :

E = taux d'élimination moyen annuel pour la somme des $NP_{1-17}EO$ et $NP_{1-2}EC$ (%);

\bar{x}_b = concentration moyenne annuelle de la somme des $NP_{1-17}EO$ et $NP_{1-2}EC$ dans l'eau brute ($\mu\text{g/l}$);

\bar{x}_t = concentration moyenne annuelle de la somme des $NP_{1-17}EO$ et $NP_{1-2}EC$ dans l'eau traitée ($\mu\text{g/l}$).

Comme on peut le constater à l'examen du tableau 10, quatre des cinq stations ayant une efficacité de 75 % ou plus sont dotées d'un traitement à l'ozone. Il est reconnu que les composés à base de phénol sont oxydés facilement par l'ozone et peuvent être absorbés par le charbon actif (Trin-Viet, 2001). La station de Rosemère est la seule ayant un taux supérieur à 75 %, sans ozonation. Cependant, cette station utilise du charbon actif en poudre dans l'étape de décantation et du charbon actif granulaire dans ses lits de filtration. De plus, l'eau est aérée au début de la chaîne de traitement et, à la fin, elle est désinfectée à l'aide de bioxyde de chlore, ce qui peut contribuer à l'oxydation des nonylphénols.

Tableau 10 Pourcentage d'élimination des nonylphénols et sommaire des traitements utilisés par les stations de traitement

Station	Élimination (%)			Décantation	Désinfection	Filtration	Coagulation	Mélange rapide	Correction du pH	Ozonation	Traitement du goût et des odeurs	Dégrillage	Élimination du fer	Charbon actif
	NPEO	NPEC	Total											
Saint-Hyacinthe	98	100	99	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Charny	95	94	94	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Repentigny	86	98	88	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Rosemère	82	54	77	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Pierreville	82	70	76	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Farnham	57	28	37	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Otterburn Park	38	30	36	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Lavaltrie	28	16	26	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Daveluyville	39	10	22	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Drummondville	13	3	11	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Trois-Rivières	-	-	-	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•

CONCLUSION, DISCUSSION ET RECOMMANDATIONS

Les objectifs de cette étude étaient d'évaluer :

- l'exposition humaine aux nonylphénols éthoxylés via l'eau potable;
- l'exposition de la faune et de la flore aquatique aux nonylphénols éthoxylés;
- l'efficacité du traitement de l'eau potable pour l'enlèvement de nonylphénols éthoxylés présents dans l'eau brute.

Exposition humaine

En ce qui a trait à l'exposition humaine, les résultats peuvent se synthétiser comme suit. La municipalité de Farnham produit une eau potable contenant, en moyenne sur une base annuelle, 10,4 µg/l de NP1-17EO+NP1-2EC. Quatre municipalités, soit Rosemère, Lavaltrie, Drummondville et Otterburn Park produisent une eau contenant en moyenne de 1 µg/l à 3 µg/l de ces substances. Repentigny, Charny, Pierreville et Daveluyville ont des moyennes annuelles se situant entre 0,1 µg/l et 0,6 µg/l, alors que Saint-Hyacinthe et Trois-Rivières se situent sous 0,1 µg/l.

Il n'existe pas de critère pour les nonylphénols dans l'eau potable qui puisse permettre de porter un jugement sur l'impact potentiel de ces substances sur la santé humaine. Cependant, selon une évaluation de risques réalisée par Santé Canada, l'eau potable est une voie négligeable d'exposition humaine aux nonylphénols et ce, même à des concentrations plus élevées que les maxima obtenus dans le cadre de la présente étude.

Exposition de la faune et de la flore aquatique

Les concentrations de nonylphénols mesurées dans l'eau brute des stations d'eau potable démontrent que les teneurs dans certains cours d'eau sont suffisamment élevées pour avoir des effets nocifs sur l'écosystème aquatique. En effet, lorsqu'elles sont transformées en équivalents de nonylphénol pur (NP), 20 % des mesures effectuées dans l'eau brute dépassent le critère de 1 µg/l de NP proposé par CCME 2001 pour la protection de la vie aquatique. Certains résultats dépassent aussi le seuil de 6 µg/l de NP proposé par le ministère de l'Environnement du Québec.

Des mesures devraient donc être prises pour abaisser les concentrations de nonylphénols dans certains cours d'eau à un niveau plus sécuritaire. C'est le cas des rivières Yamaska, Yamaska Nord et Yamaska Sud-Est, et possiblement aussi la rivière des Mille Îles et le fleuve Saint-Laurent dans sa partie sous l'influence de l'effluent de la station d'épuration des eaux usées de la ville de Montréal. C'est aussi sans doute le cas dans d'autres cours d'eau, près des sources de nonylphénols.

Recommandation 1 : identifier les sources de nonylphénols dans les rivières Yamaska Nord et Yamaska Sud-Est afin de faire diminuer les apports de ces substances dans ces cours d'eau et la rivière Yamaska.

Recommandation 2 : poursuivre le suivi des nonylphénols dans la rivière des Mille Îles et dans le Saint-Laurent en aval de l'effluent de la station d'épuration des eaux usées de la ville de Montréal, afin de préciser la fréquence de dépassement des critères pour la protection de la vie aquatique.

Recommandation 3 : mettre en place un suivi des nonylphénols dans les cours d'eau en aval des principales usines de textiles. Ce suivi doit viser à quantifier la fréquence de dépassement des critères de protection de la vie aquatique en aval des principaux établissements de ce secteur industriel.

Efficacité du traitement de l'eau potable

Les concentrations de NPEO-NPEC dans l'eau potable produite par les municipalités dépendent surtout de la qualité de l'eau brute. Cependant, certaines municipalités, dotées de chaînes de traitement plus complexes, arrivent à diminuer de beaucoup, voir pratiquement éliminer la présence des NPEO-NPEC dans leur eau. À ce titre, l'ozonation semble particulièrement efficace, car les quatre stations dotées de ce traitement arrivent à éliminer 75 % à 99 % des nonylphénols présents dans leur eau brute. Même sans ozonation, une des stations a atteint 77 % d'élimination des nonylphénols en combinant différents procédés d'oxydation et d'absorption des contaminants. En général, les stations sans ozonation ont des taux d'élimination de 11 % à 40 %.

Développement méthodologique

Les analyses réalisées dans le cadre de cette étude ont porté sur les nonylphénols éthoxylés comprenant de un à dix-sept groupes éthoxylates (NPE1-17O) et sur deux de leurs acides carboxyliques (NPE1-2C). La méthode novatrice mise au point dans le cadre de cette étude pour l'analyse simultanée de ces substances (Houde *et al.*, 2002) ne permettait pas l'analyse du nonylphénol (NP) et des octylphénols. Si le nonylphénol avait été analysé, il est probable que la fréquence de dépassement des critères de protection de la vie aquatique aurait été plus élevée. En effet, la toxicité et le potentiel d'effet endocrinien du NP sont plus élevés que celui des NPEO et des NPEC.

Recommandation 4 : voir à la mise au point d'une méthode d'analyse pour le nonylphénol et, si possible, pour les octylphénols. Il faudrait donner suite à cette recommandation avant l'instauration d'autres suivis des alkylphénols, comme ceux proposés par les recommandations 2 et 3.

RÉFÉRENCES

- AHED, M., C. SCHNAUZER et W. GIGGLER, 1996. Behavior of alkylphenol polyethoxylates surfactants in the aquatic environment, III. Occurrence and elimination of their persistent metabolites during infiltration of river water to groundwater, *Water Research* 30 : 37-46.
- AHEL, M., W. GIGER et C. SCHNAFFER, 1994. Behaviour of alkylphenol polyethoxylates surfactants in the aquatic environment, II. Occurrence and transformation in rivers, *Water Research* 28 : 1143-1152.
- AHEL, M. et W. GIGER, 1985. Determination of alkylphenols and alkylphenol mono- and diethoxylates in environmental samples by high-performance liquid chromatography, *Analytical Chemistry*. 57 : 1577-1583.
- AQTE-AESEQ, 1998. *Répertoire de l'industrie environnementale 1997-1998*, Association québécoise des techniques de l'environnement (AQTE) et Association des entreprises de services en environnement (AESEQ), 336 p.
- BENNIE, D.T., 1999. Review of the Environmental Occurrence of Alkylphenols and Alkylphenol Ethoxylates, *Water Quality Research Journal of Canada* 34 (1) : 37-38.
- BENNIE, D.T., C.A. SULLIVAN, H.-B. LEE, T.E. PEART et R.J. MAGUIRE, 1997. Occurrence of alkylphenols and alkylphenol mono- and diethoxylates in natural waters of the Laurentian Great Lakes Basin and the Upper St. Lawrence River, *The Science of the Total Environment* 193 : 263-275.
- BIRCH, R.R., 1991. Prediction of the fate of detergent chemicals during sewage treatment, *J. Chem. Tech. Biotechnol.* 50 : 411-422.
- BLOM, A., E. EKMAN, A. JOHANNISSON, L. NORRGREN et M. PESONEN, 1998. Effects of xenoestrogenic environmental pollutants on the proliferation of a human breast cancer cell line (MCF-7), *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 34 (3) : 306-310.
- BROWN, D., H. DE HENAU, J.T. GARRIGAN, P. GERIKE, M. HOLT, E. KECK, E. KUNKEL, E. MATTHIJS, J. WATERS, et R.J. WATKINSON, 1986. Removal of nonionics surfactants in sewage treatment plants, Removal of domestic detergent nonionic surfactants in an activated sludge sewage treatment plant, *Tenside Detergents* 23 : 190-195.
- CCME, 2001. *Canadian Water quality guidelines for the protection of aquatic life : nonylphenol and its ethoxylates, dans Canadian environmental quality guidelines, 1999*, Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME), Winnipeg.
- CRESCENZI, C. A., R. DI CORCIA et A. MARCOMINI, 1995. Determination of nonionic polyethoxylate surfactants in environmental waters by liquid chromatography/electrospray mass spectrometry, *Analytical Chemistry* 67 : 1797-1804.

CLARK, L.B., R.T. ROSEN, T. G. HARTMAN, J. B. LOUIS, I. H. SUFFET, R.L. LIPPINCOTT et J. D. ROSEN, 1992. Determination of alkylphenol ethoxylates and their acetic acid derivatives in drinking water by particle beam liquid chromatography/mass spectrometry, *International Journal of Environmental Analytical Chemistry* 47 : 167-180.

ENVIRONNEMENT CANADA, 1998. *Résumé de l'énoncé du problème pour le nonylphénol et ses dérivés éthoxylés (NPDE)*, [En ligne], Division de l'évaluation des produits chimiques, Site WEB sur les produits chimiques commerciaux : [http://www2.ec.gc.ca/cceb1/fre/npe_summary.htm] (12 décembre 1998).

ENVIRONNEMENT CANADA et SANTÉ CANADA, 2001. *Le nonylphénol et ses dérivés éthoxylés*, Rapport d'évaluation, Loi canadienne sur la protection de l'environnement (1999), Liste des substances d'intérêt prioritaire, Rapport n° EN 40-215-/57F, 105 p.

FIELD, J. A. et R. L. REED, 1996. Nonylphenol polyethoxy carboxylate metabolites of nonionic surfactants in U.S. paper mill effluents, municipal sewage treatment plants effluents and river waters, *Environmental Science and Technology* 30 : 3544-3550.

GAGNÉ, F. et C. BLAISE, 1998. Estrogenic properties of municipal and industrial waste waters evaluated with a rapid and sensitive chemoluminescent *in situ* hybridization assay (CISH) in rainbow trout hepatocytes, *Aquatic Toxicology* 44 : 83-91.

GUARDIOLA, A., F. VENTURA, L. MATIA, J. CAIXACH et J. RIVERA, 1991. Gas chromatographic-mass spectrometric characterization of volatile organic compounds in Barcelona tap water, *Journal of Chromatography* 562 : 481-492.

HOUDE, F., C. DEBLOIS et D. BERRYMAN, 2002. Liquid chromatography-tandem mass spectrometry determination of alkylphenol polyethoxylates and alkylphenol carboxylic acids in surface water. *Journal of Chromatography A* 961 (2): 245-256

JOBLING S. et J.P. SUMPTER, 1993. Detergent components in sewage influent are weakly oestrogenic to fish: an in vitro study using rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) hepatocytes, *Aquatic Toxicology* 27 : 361-372.

MAGUIRE, R. J., 1999. Review of the Persistence of Nonylphenol and Nonylphenol Ethoxylates in Aquatic Environments, *Water Quality Research Journal of Canada* 34 (1) : 37-38.

MANN, A.H. et V.W. REID, 1971. Biodegradation of synthetic detergents, Evaluation by community trials, Part 2 : alcohol and alkylphenol ethoxylates, *Journal of the American Oil Chemistry Society* 17 : 650-654.

MANZANO, M. M., J. A. PERALES, D. SALES et J. M. QUIROGA, 1999. The effect of temperature on the biodegradation of a nonylphenol polyethoxylate in river water, *Water Research Journal* 33 (11) : 2593-2600.

MEF, 1997. *L'eau potable au Québec : un second bilan de sa qualité 1989-1994*, ministère de l'Environnement et de la Faune du Québec (MEF), Direction des politiques du secteur municipal, 36 p.

MEF, 1999. *Les alkylphénols et leurs dérivés éthoxylés : analyse critique des données de toxicité et détermination de critères de qualité de l'eau pour la protection de la vie aquatique*, ministère de l'Environnement et de la Faune du Québec (MEF), Direction des écosystèmes aquatiques, 10 p. + 3 annexes.

METCALFE, C., L. HOOVER et S. SANG, 1996. *Nonylphenol ethoxylates and their use in Canada*, World Wildlife Fund Canada Report, 33 p.

MENV, 2001. *Critères de qualité de l'eau de surface au Québec*, ministère de l'Environnement (MENV), Direction du suivi de l'état de l'environnement, Québec, 430 p., [www.menv.gouv.qc.ca].

NATO/CCMS, 1998. *International Toxicity Equivalency Factor (I-TEF), Method for Risk Assessment for Complex Mixtures of Dioxins and Related Compounds*, North Atlantic Treaty Organization (NATO), Report n° 176, Brussel.

NAYLOR, C. G., J. P. MIEURE, W. J. ADAMS, J. A. WEEKS, F. J. CASTALDI, L. D. OGLE et R. R. ROMANO, 1992. Alkylphenol ethoxylate in the environment, *Journal of the American Oil Chemistry Society* 69 : 695-703.

NIMROD, A. C. et W. H. BENSON, 1996. Environmental Estrogenic Effects of Alkylphenol Ethoxylates, *Critical Reviews in Toxicology* 26(3) : 335-364.

PURDOM, C.E., P.A. HARDIMAN, V.J. BYE, N.C. ENO, C.R. TYLER et J.P. SUMPTER, 1994. Estrogenic effects from sewage treatment works, *Chemistry and Ecology* 8 : 2675-285.

REED, H.W.B., 1978. *Alkylphenols*, Dans *Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology*, 3rd ed., vol. 2. John Wiley and Sons Inc., New York.

ROUTLEDGE, E.J. et J.P. SUMPTER, 1996. Estrogenic activity of surfactants and some of their degradation products assessed using a recombinant yeast strain, *Environmental Toxicology and Chemistry* 15 : 241-248.

SERVOS, M.R., 1999. Review of The Aquatic Toxicity and Bioaccumulation of Alkylphenols and Alkylphenol Polyethoxylates, *Water Quality Research Journal of Canada* 34 (1) : 37-38.

SOTO, A.M., H. JUSTICIA, J.W. WRAY et C. SONNENSCHNEIN, 1992. P-Nonylphenol: an oestrogenic xenobiotic released from "modified" polystyrene, *Environmental Health Perspectives* 101 (Suppl. 2) : 65-72.

STEPHANOU, E., 1985. Environmental determination of alkylphenol polyethoxylate refractory residues using msas spectrometric techniques, *International Journal of Environmental Analytical Chemistry* 20 : 41-54.

STIFF, M.J., R.C. ROOTHAM et G. E. CULLEY, 1973. The effect of temperature on the removal on non-ionic surfactants during small scale activated-sludge sewage treatment - I. Comparison of alcohol ethoxylates with a branched-chain alkyl phenol ethoxylate, *Water Research* 7 : 1003-1010.

TRINH-VIET, H., 2001. Enlèvement des nonylphénols dans l'eau potable. Communication personnelle datée du 18 juillet 2001, Hiep Trinh-Viet, ing. chim., ministère de l'Environnement du Québec, Direction des politiques su secteur municipal.

WHITE, R., S. JOBLING, S.A. HOARE, J.P. SUMPTER et M.G. PARKER, 1994. Environmentally persistent alkylphenolic compounds are estrogenic, *Endocrinology* 135 (1) : 175-182.