

**ÉVALUATION ÉCOTOXICOLOGIQUE DE LA
TOXICITÉ DES EAUX SOUTERRAINES PRÉLEVÉES À
LA SECTION 12 DU PONT CHAMPLAIN
(MONTRÉAL)**

Rapport ST-227

Évaluation écotoxicologique de la toxicité des eaux souterraines prélevées à la section 12 du Pont Champlain (Montréal)

Sylvain Trottier

Services scientifiques et techniques

Centre Saint-Laurent
Conservation de l'environnement
Environnement Canada

Février 2004

COMMENTAIRES DES LECTEURS

Veillez adresser vos commentaires sur le contenu du présent rapport au Centre Saint-Laurent, Conservation de l'environnement, Environnement Canada – Région du Québec, 105, rue McGill, 7^e étage, Montréal (Québec), H2Y 2E7.

On devra citer la publication comme suit :

Trottier, S. 2004. *Évaluation écotoxicologique de la toxicité des eaux souterraines prélevées à la section 12 du Pont Champlain (Montréal)*. Environnement Canada - Région du Québec, Conservation de l'environnement, Centre Saint-Laurent. Rapport scientifique et technique ST-227, 26 pages.

Perspective de gestion

À la suite d'une étude de caractérisation écotoxicologique des eaux souterraines du Technoparc (Montréal) réalisée en 2003 par Environnement Canada, le ministère de l'Environnement du Québec et la Ville de Montréal, la Direction de la protection de l'environnement (Environnement Canada), Section Intervention et Restauration, a mandaté le laboratoire du Centre Saint-Laurent (CSL) de procéder à une caractérisation bioanalytique des eaux souterraines provenant de la section 12 du Pont Champlain. Ces lieux sont gérés par Les Ponts Jacques-Cartier et Champlain Incorporée.

Management perspective

Following an ecotoxicological characterization of groundwater at Montreal's Technoparc conducted in 2003 by Environment Canada, the Ministère de l'Environnement du Québec and the City of Montreal, the Environmental Protection Branch (Environment Canada), Intervention and Restoration Section, gave the St. Lawrence Centre (SLC) laboratory the mandate to proceed with a bioanalysis of groundwater from beneath section 12 of the Champlain Bridge. These areas are managed by The Jacques Cartier and Champlain Bridges Incorporated.

Remerciements

Les personnes suivantes ont participé à la supervision et(ou) à la réalisation des bioessais :

*Laboratoire, secteur écotoxicologie
Section Services scientifiques et techniques
Centre Saint-Laurent
Environnement Canada*

Pascale Bouchard, DEC
Manon Harwood, M. Sc.
Sylvain Trottier, M. Env.
Brian Walker, B. Sc

Résumé

Des échantillons d'eaux souterraines ont été prélevés à trois reprises, soit les 14 et 15 novembre 2003, les 28 et 29 novembre 2003 et les 12 et 13 décembre 2003 à chacune des quatre stations (F-101, F-102, F-103 et F-104) de la section 12 du Pont Champlain. De plus, un échantillon supplémentaire a été recueilli à la station F-106 lors de la troisième campagne d'échantillonnage. Tous les échantillons ont été soumis à une caractérisation bioanalytique à l'aide de bioessais réalisés en laboratoire. La batterie bioanalytique était composée de quatre bioessais réalisés au Centre Saint-Laurent et/ou dans des laboratoires privés. Les bioessais réalisés étaient le MicrotoxTM (*Vibrio fischeri*), l'essai d'inhibition de la croissance avec l'algue verte *Selenastrum capricornutum*, l'essai de létalité aiguë avec la truite *Oncorhynchus mykiss* et le test d'inhibition de la reproduction et de survie avec *Ceriodaphnia dubia*. De plus, deux mesures de biomarqueurs, les métallothionéines (MT) et les oxygénases à fonction mixte (OFM), ont été réalisées sur les échantillons prélevés. Ce rapport présente et discute sommairement des résultats de la caractérisation bioanalytique réalisée au Centre Saint-Laurent et intègre également certains résultats des bioessais effectués dans des laboratoires privés.

La batterie sélectionnée a permis d'évaluer le potentiel toxique des eaux souterraines à différents niveaux trophiques. Tous les échantillons présentent généralement des effets létaux et/ou sublétaux avec l'un ou l'autre des bioessais utilisés. Plus particulièrement, des mortalités chez la Truite arc-en-ciel ont été observées à toutes les stations échantillonnées. Les eaux souterraines de l'échantillon F-103 ont occasionné une plus faible toxicité comparativement aux échantillons des stations F-101, F-102 et F-104 lors des essais avec la Truite arc-en-ciel. Des effets létaux ont également été notés chez le cladocère *Ceriodaphnia dubia* à toutes les stations avec des valeurs de CL₅₀ variant de 1,6 à 4,8 UT. Seule la station F-106 n'a pas provoqué de mortalité chez cet organisme. Des effets toxiques inhibiteurs sur la reproduction ont été observés chez ce même organisme à chacun des points d'échantillonnage, avec des valeurs rapportées de CI₂₅ variant de 2,2 à 18,0 UT. La toxicité des eaux souterraines pour l'algue verte *Selenastrum capricornutum* lors des essais conduits avec ces échantillons s'est avérée marginale à modérée.

Cependant, une stimulation de la croissance cellulaire chez cette algue verte a été observée à des concentrations inférieures à 6,25 % v/v. À un niveau subléthal, une faible inhibition de la luminescence de la bactérie *V. fischeri* est dénotée à la station F-103 lors de la première campagne d'échantillonnage alors que pour tous les autres échantillons, les valeurs de $CI_{25.15}$ min observées sont inférieures à 2,0 UT. Des mesure des OFM et MT effectuées sur des truitelles exposées n'ont pas démontré une induction des OFM alors qu'une induction significative des MT chez les truites exposées à 12,5 % v/v de l'échantillon F-102 a été observée lors des prélèvements effectués les 14 et 15 novembre 2003. L'échantillon F-103 a également provoqué un accroissement des niveaux de MT chez les truites exposées à 50 % v/v lors de la troisième campagne d'échantillonnage.

Abstract

Groundwater samples were taken on three occasions, November 14 and 15, 2003; November 28 and 29, 2003; and December 12 and 13, 2003 at each of four stations (F-101, F-102, F-103 and F-104) beneath section 12 of the Champlain Bridge. In addition, an extra sample was taken at station F-106 during the third sampling campaign. Bioanalysis of all samples was conducted by means of laboratory bioassays. The bioanalysis comprised four bioassays conducted at the SLC and/or private laboratories. The bioassays conducted were Microtox™ (*Vibrio fischeri*); the growth inhibition test using the freshwater alga *Selenastrum capricornutum*; the acute lethality test using the rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*; and the reproduction inhibition and survivability test with *Ceriodaphnia dubia*. In addition, two biomarkers, metallothioneins (MTs) and mixed function oxygenase (MFO), were measured in samples. This report presents and provides a general discussion of the results of the bioanalysis conducted at the SLC and also integrates the results of some bioassays performed in private labs.

The battery of tests chosen allowed the toxic potential of the groundwater to be evaluated at different trophic levels. All the samples generally demonstrate lethal and/or sublethal effects with one or another bioassay used. More specifically, rainbow trout mortalities were observed at every station sampled. Groundwater from the F-103 sample caused a weaker toxicity than the samples at stations F-101, F-102 and F-104 during the assays with rainbow trout. Lethal effects were also noted among the water flea *Ceriodaphnia dubia* at all the stations with CI_{25} values ranging from 2.2 to 18.0 TU. Groundwater assays conducted with samples of *Selenastrum capricornutum* demonstrated marginal to moderate toxicity. Nevertheless, a stimulation of cellular growth in this green alga was observed at concentrations below 6.25% v/v. At a sublethal level, a weak inhibition of the luminescence of the bacteria *V. fischeri* was determined at station F-103 during the first sampling campaign, while for all the other samples, values observed for CI_{25} 15 min were less than 2.0 TU. Measurements of MFO and MT conducted on exposed troutlets did not demonstrate an induction of MFOs, while a significant induction of MTs among trouts exposed at 12.5% v/v of sample F-102 was observed during sampling conducted on

November 14 and 15, 2003. Sample F-103 also provoked an increase in MT levels among trout exposed at 50% v/v during the third sampling campaign.

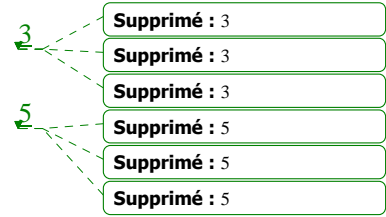
Table des matières

PERSPECTIVE DE GESTION/MANAGEMENT PERSPECTIVE	iii
REMERCIEMENTS	iv
RÉSUMÉ	v
ABSTRACT	vii
LISTE DES FIGURES	xii
LISTE DES TABLEAUX	xiii
DÉFINITIONS	xiv
LISTE D'ABRÉVIATIONS	xv
1 INTRODUCTION	1
2 MÉTHODOLOGIE	2
2.1 Prélèvement, manutention, transport et entreposage des échantillons	2
2.2 Préparation, traitement et subdivision des échantillons	4
2.3 Paramètres de soutien à l'interprétation bioanalytique	4
2.4 Bioessais	6
2.4.1 Bioessai avec bactéries luminescentes (<i>V. fischeri</i>)	6
2.4.1.1 Méthode	6
2.4.1.2 Traitement des données	7
2.4.2 Bioessai avec algues (<i>S. capricornutum</i>)	8
2.4.2.1 Méthode	8
2.4.2.2 Traitement des données	8
2.4.3 Bioessai avec Truites arc-en-ciel (<i>O. mykiss</i>)	9
2.4.3.1 Méthode	9
2.4.3.2 Traitement des données	9
2.5 Biomarqueur de mesure de l'induction des métallothionéines et des oxydases à fonction mixte	9
2.5.1 Mesure de l'induction des métallothionéines	10
2.5.1.1 Méthode	10
2.5.1.2 Traitement des données	10
2.5.2 Biomarqueur de mesure de l'induction des oxydases à fonction mixte	10
2.5.2.1 Méthode	10
2.5.2.2 Traitement des données	11
3 RÉSULTATS ET DISCUSSION	13
3.1 Physicochimie	13

		xi
3.2	Bioessais	13
3.2.1	Toxicité chez la bactérie <i>V. fischeri</i>	13
3.2.2	Toxicité pour l'algue <i>S. capricornutum</i>	14
3.2.3	Toxicité pour la truite <i>O. mykiss</i>	15
3.2.4	Toxicité pour le microcrustacé <i>Ceriodaphnia dubia</i>	21
3.2.5	Mesure d'induction des OFM et des MT chez les truites exposées	22
3.2.6	Contrôle de la qualité	22
4	CONCLUSION	24
	RÉFÉRENCES	25

Liste des figures

- | 1 Plan du site et localisation des points d'échantillonnage
- | 2 Préparation et division en laboratoire des échantillons d'eaux souterraines destinés aux bioessais et aux analyses physico-chimiques



Liste des tableaux

1	Caractéristiques descriptives des bioessais utilisés pour l'évaluation de la toxicité	7
2	Principales conditions d'essai	12
3	Résultats des paramètres physico-chimiques mesurés des eaux souterraines	13
4	Sommaire des résultats bioanalytiques des échantillons d'eaux souterraines prélevés les 14 et 15 novembre 2003 pour les essais réalisés au Centre Saint-Laurent	16
5	Sommaire des résultats bioanalytiques des échantillons d'eaux souterraines prélevés les 28 et 29 novembre 2003 pour les essais réalisés au Centre Saint-Laurent	17
6	Sommaire des résultats bioanalytiques des échantillons d'eaux souterraines prélevés les 12 et 13 décembre 2003 pour les essais réalisés au Centre Saint-Laurent	18
7	Taux moyen d'inhibition de la luminescence chez <i>V. fischeri</i> pour les essais réalisés sur les eaux souterraines	19
8	Taux d'inhibition de la croissance cellulaire chez <i>S. capricornutum</i>	20
9	Pourcentage de mortalité après 96 heures pour les essais réalisés avec la Truite arc-en-ciel	21
10	Résultats d'analyse des produits toxiques de référence et données statistiques des diagrammes de contrôle	23

Définitions

Bioessai - Test permettant de déterminer l'effet d'une matière ou d'une matrice (p. ex. un échantillon d'effluent industriel) sur un groupe d'organismes choisis d'une même espèce (p. ex. *Vibrio fischeri*), dans des conditions bien définies. Un test de toxicité sert normalement à mesurer soit la proportion des organismes atteints, soit l'intensité de l'effet observé, après l'exposition à une matière ou une matrice expérimentale donnée.

CI₅₀ - Concentration inhibitrice médiane. Il s'agit de l'estimation ponctuelle de la concentration d'un échantillon qui provoque une inhibition de 50 p. cent d'une fonction biologique quantitative (p. ex. l'activité estérasique), par rapport à des organismes de contrôle, après une période d'exposition donnée.

CL₅₀ - Concentration létale médiane. Il s'agit de la concentration d'effluent (% v/v) qui est considérée létale chez 50 % des organismes soumis à l'essai. La CL50 est dérivée ici par l'analyse statistique des mortalités survenues à différentes concentrations expérimentales, après une période d'exposition donnée (p. ex. 96 h).

CMEO - Concentration minimale avec effet observé. Il s'agit de la concentration la plus faible d'une matrice expérimentale à laquelle des organismes sont exposés et qui provoque des effets nocifs chez ces organismes.

Contrôle de qualité - Ensemble de techniques et moyens de mesure et d'évaluation de la qualité des données et, le cas échéant, des correctifs à appliquer lorsque les objectifs de qualité ne sont pas atteints.

CSE - Concentration seuil d'effet. Il s'agit de la moyenne géométrique de la CSEO et de la CMEO.

CSEO - Concentration sans effet observé. Il s'agit de la plus forte concentration d'un échantillon expérimental qui, chez les organismes exposés, ne provoque aucun effet nocif observé et statistiquement significatif.

Diagramme de contrôle - Diagramme des valeurs de toxicité moyennes préparé en vue des essais de produits toxiques de référence. Les résultats d'une série d'essais consécutifs sont tracés sur un diagramme dont l'abscisse indique la date des essais et l'ordonnée, la concentration correspondant à un effet précis. Le diagramme indique également la variabilité prévue des résultats bioanalytiques.

Limite d'avertissement - Valeur équivalant à plus ou moins 2 écarts types d'une moyenne géométrique historique d'un bioessai avec un produit toxique de référence. Elle est calculée sur une base logarithmique.

Test de toxicité - Voir bioessai.

Toxicité - Capacité propre d'une substance ou d'une matrice (p. ex. un échantillon d'effluent industriel) de provoquer des effets nocifs chez l'organisme exposé.

Unité toxique - Unité relative de toxicité d'un échantillon expérimental. Pour un effluent, le calcul est effectué comme suit :

$$\text{Unité toxique} = \frac{100 \%}{\text{résultat de toxicité (p.ex. CI}_{50} = x \%)}$$

Liste d'abréviations

°C	degré Celsius
cm	centimètre
CMEO	concentration minimale avec effet observé
CSE	concentration-seuil d'effet
CSEO	concentration minimale sans effet observé
CSL	Centre Saint-Laurent
CV	coefficient de variation
h	heure
L	litre
LIA	limite inférieure d'avertissement
LSA	limite supérieure d'avertissement
mL	millilitre
mL	microlitre
mm	micromètre
nm	nanomètre
% v/v	pourcentage volume sur volume
rpm	rotation par minute
s	écart type
<	plus petit que
>	plus grand que

1 Introduction

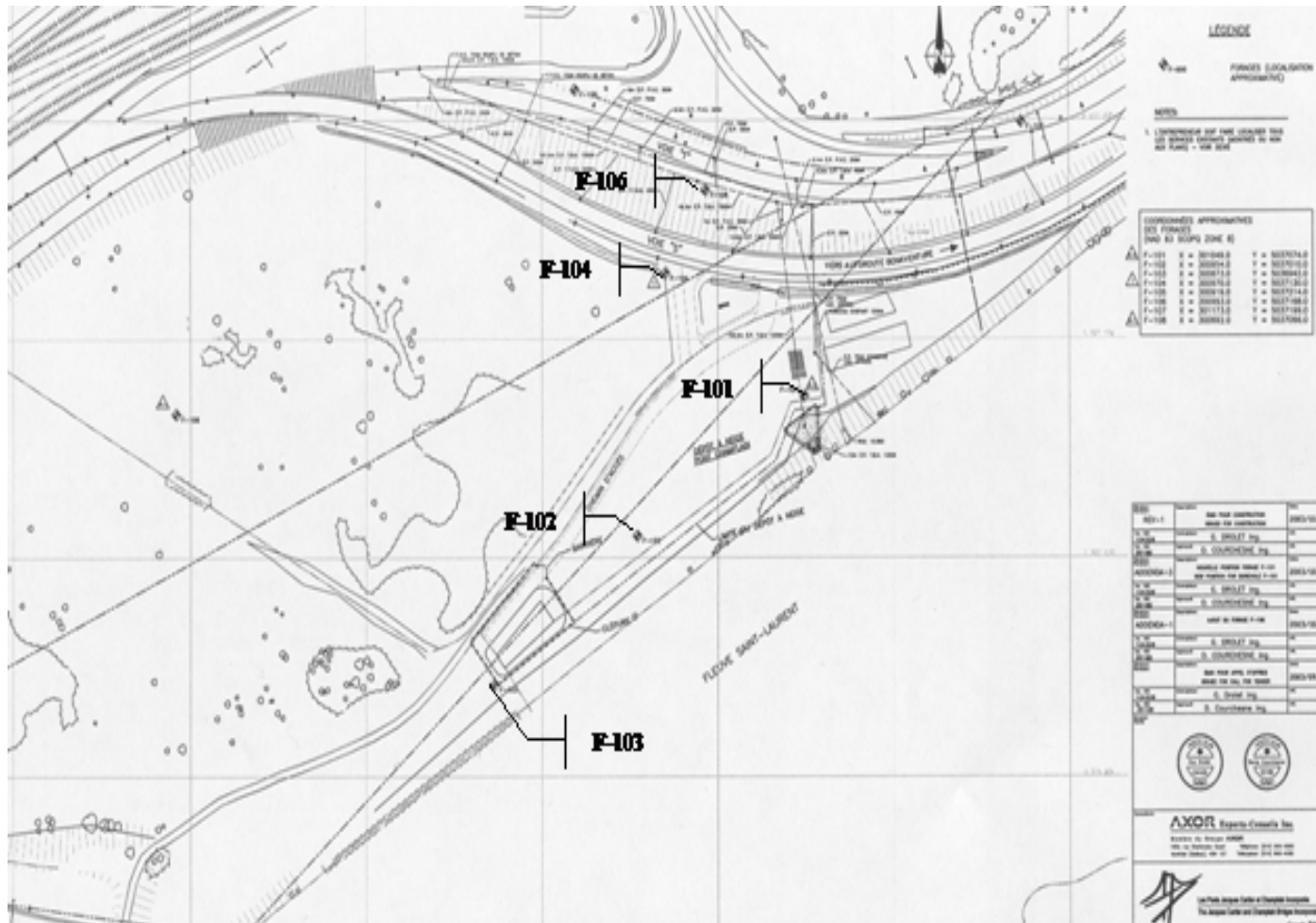
Le présent rapport est publié dans le cadre de travaux de caractérisation des eaux souterraines provenant de cinq puits d'observation situés dans la section 12 des terrains gérés par Les Ponts Jacques-Cartier et Champlain Incorporée. Cette étude est le fruit d'une entente de collaboration entre Environnement Canada (Direction de la protection de l'environnement) et Les Ponts Jacques-Cartier et Champlain Incorporée. Elle vise à évaluer l'impact du potentiel de contamination de ce secteur vers l'écosystème fluvial du Saint-Laurent. C'est dans ce contexte que la Direction de la protection de l'environnement a mandaté le laboratoire du Centre Saint-Laurent (CSL) de procéder à une partie de la caractérisation bioanalytique.

Nous présentons ici les résultats de la caractérisation bioanalytique des échantillons des eaux souterraines analysées au laboratoire du CSL et rapportons sommairement les résultats de toxicité. Il importe de préciser qu'il n'est pas question dans ce rapport des niveaux de contamination, des causes possibles de la toxicité observée dans les bioessais, des effets sur le milieu récepteur, des facteurs environnementaux du milieu récepteur qui peuvent modifier la toxicité des contaminants (p. ex., la présence d'autres sources de contamination), ni des phénomènes de bioaccumulation.

2 Méthodologie

2.1 PRÉLÈVEMENT, MANUTENTION, TRANSPORT ET ENTREPOSAGE DES ÉCHANTILLONS

Les travaux de terrain, la manutention, le transport et l'entreposage ont été confiés au groupe Axor Expert-Conseils Inc. Le personnel de la Direction de la protection de l'environnement a pris part à certaines de ces opérations. Les échantillons ont été recueillis dans quatre secteurs d'étude (F-101, F-102, F-103, F-104) à trois périodes distinctes soit entre les 14 et 15 novembre 2003, les 28 et 29 novembre 2003 et les 12 et 13 décembre 2003. Le secteur F-106 a également fait l'objet d'une caractérisation bioanalytique lors des prélèvements effectués les 12 et 13 décembre 2003. La figure 1 montre l'emplacement des puits d'observation échantillonnés. Les stations F-101, F-102 et F-103 sont localisées dans la portion sud du secteur d'étude et en bordure du fleuve Saint-Laurent. Les stations F-104 et F-106 se situent au sud des voies S et T respectivement et à la limite de propriété. Les échantillons ont été prélevés des puits d'observation après stabilisation des paramètres suivis en continu (pH, conductivité et température) ou après le retrait d'un volume jugé suffisant. Les échantillons ont été soutirés à l'aide de pompes et pour chaque secteur d'étude, deux échantillons instantanés de 60 L et un échantillon de 1 L ont été prélevés et livrés le jour même au laboratoire du Centre Saint-Laurent (Section services scientifiques et techniques). Les types de récipients utilisés et les conditions d'entreposage respectaient les recommandations émises par Environnement Canada. Les échantillons ont été maintenus à 4 ± 3 °C jusqu'à la réalisation des analyses. Toutes les analyses ont été entreprises à l'intérieur des délais prescrits dans les protocoles.



Source : Axor Expert-Conseils Inc.

Figure 1 Plan du site et localisation des points d'échantillonnage

2.2 PRÉPARATION, TRAITEMENT ET SUBDIVISION DES ÉCHANTILLONS

Avant les analyses, les échantillons ont été mélangés (ou recomposés) au laboratoire du CSL. La figure 2 illustre la préparation et la division de l'échantillon composé. Une caractérisation physicochimique sommaire de chacun des échantillons a été réalisée sur la portion de 1 L recueillie. Des portions aliquotes de 100 mL de l'échantillon ont été filtrées à 0,45 µm (polycarbonate, Nuclepore™) et conservées à 4 °C pour la réalisation des micro-bioessais avec algue. Les paramètres physicochimiques ont été mesurés avant et après la filtration.

2.3 PARAMÈTRES DE SOUTIEN À L'INTERPRÉTATION BIOANALYTIQUE

Plusieurs facteurs abiotiques peuvent influencer les résultats des tests de toxicité effectués avec des organismes aquatiques. Par exemple, les changements de pH peuvent affecter la solubilité, la polarité, la volatilisation et la spéciation des composés chimiques et par le fait modifier leur biodisponibilité et leur toxicité. Par ailleurs, la température et l'oxygène dissous sont mesurés de façon routinière dans la plupart des tests de toxicité puisque des changements importants de ces paramètres peuvent modifier les résultats des bioessais (Rand, 1995).

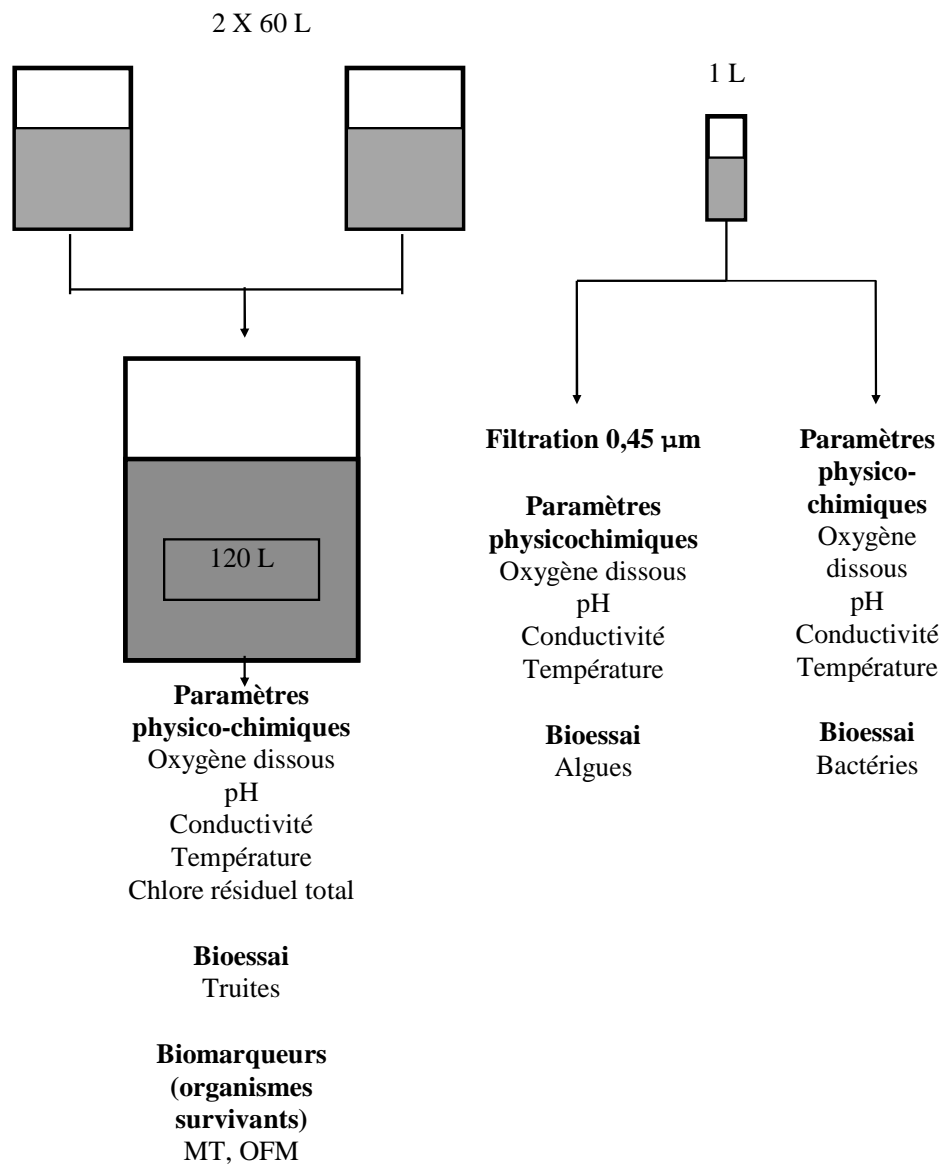


Figure 2 Préparation et division en laboratoire des échantillons d'eaux souterraines destinés aux bioessais et aux analyses physicochimiques

2.4 BIOESSAIS

La liste des bioessais réalisés au CSL lors de cette étude est présentée au tableau 1. Comme l'indique ce dernier, les espèces utilisées occupent des échelons trophiques variés : décomposeurs, producteurs primaires et consommateurs primaires. Trois groupes taxinomiques y sont représentés : bactéries, algues et poissons. Le type d'effet mesuré, plus particulièrement le niveau d'organisation biologique qu'il représente, varie également. Au niveau de l'organisme, les paramètres incluent l'inhibition de croissance et la mortalité, alors qu'au niveau cellulaire, l'inhibition de la luminescence et l'induction de l'activité enzymatique sont mesurées. Par ailleurs, différents niveaux de toxicité (sublétalité aiguë et chronique, létalité) sont évalués. Tout laisse croire que le spectre relativement large d'organismes, de types d'effet et de niveaux de toxicité considérés par la présente batterie d'essais permet d'évaluer adéquatement le potentiel écotoxique des eaux souterraines.

Quoique les protocoles expérimentaux de chaque bioessai diffèrent, il n'en demeure pas moins qu'une démarche commune s'applique à tous. Il s'agit d'exposer, en conditions contrôlées, des organismes vivants à une série de dilutions de l'échantillon, puis à observer et à quantifier les effets toxiques. Les principales conditions d'essais sont présentées au tableau 2.

2.4.1 Bioessai avec bactéries luminescentes (*V. fischeri*)

2.4.1.1 Méthode

L'essai avec la bactérie marine *Vibrio fischeri* (souche NRRL B-11177) est commercialisé sous le nom Microtox™ par la compagnie Strategic Diagnostics Inc. Ce biotest repose sur la capacité de *V. fischeri* à émettre de la lumière, un processus métabolique qui implique une série d'enzymes, dont la luciférase (Woodland Hastings *et al.*, 1985). L'essai Microtox™ offre une excellente concordance avec de nombreux autres bioessais (Kaiser et Palabrica, 1991). Les effets toxiques mesurés à l'aide de la bactérie *V. fischeri* sont de type sublétaux aigus. Le tableau 2 présente les caractéristiques descriptives du bioessai et énumère les principales conditions d'essai.

Le test Microtox™ a été effectué sur les eaux souterraines selon le protocole établi par Environnement Canada (1992a) et suivant certaines modifications apportées au nombre de concentrations et de répétitions testées ainsi qu'à l'emplacement des cuvettes dans l'incubateur du

photomètre. Ces modifications sont décrites dans la procédure d'opération normalisée LB-MIL-931007 (Environnement Canada, 1995).

Tableau 1
Caractéristiques descriptives des bioessais utilisés pour l'évaluation de la toxicité

Organismes	Espèce	Niveau trophique	Niveau de toxicité	Variabes d'effet	Paramètres de mesure	Unité de mesure*
Bactéries	<i>Vibrio fischeri</i> (Microtox™)	Décomposeur	Subléthalité aiguë	Inhibition de la luminescence	CI ₂₅ , CI ₅₀ , CMEO, CSEO, CSE	UT _{sa}
Algues	<i>Selenastrum capricornutum</i>	Producteur	Subléthalité chronique	Inhibition de la croissance	CI ₂₅ , CI ₅₀ , CMEO, CSEO, CSE	UT _{sc}
Poissons	<i>Onchorynchus mykiss</i>	Consommateur	Létalité aiguë	Mortalité	CL ₅₀	UT ₁
Poissons (MT et OFM)	<i>Onchorynchus mykiss</i>	Consommateur	Subcellulaire	Induction de l'activité enzymatique	Différence statistique significative	% v/v

* Consulter la liste des abréviations pour connaître leur signification.

2.4.1.2 Traitement des données

L'intensité lumineuse des groupes traités et du groupe témoin est mesurée avec un photomètre (Microtox™ Toxicity Analyser, modèle M500). Ces mesures sont exprimées en unités relatives de lumière (URL). La quantité de lumière émise par les bactéries dans chacune des concentrations testées est comparée à celle mesurée dans le témoin. Les pourcentages d'inhibition et les valeurs gamma (γ , rapport lumière perdue/lumière restante) sont ensuite calculés afin de déterminer les paramètres de mesure. Il s'agit de la CMEO, qui est déterminée par le test de Mann-Whitney, et de la CI₂₅ et CI₅₀ (concentration qui inhibe soit 25 % ou 50 % de l'activité lumineuse), qui est calculée par régression linéaire simple. Les paramètres de mesure sont rapportés en unités sublétales aiguës (UT_{sa}). Pour que la CMEO soit significative, le pourcentage de réduction de luminescence associé à cette concentration doit être égal ou supérieur

au seuil de détection de la méthode. Ce seuil, déterminé expérimentalement, a été fixé à 10 % d'inhibition et correspond en fait à la valeur arrondie de deux seuils définis expérimentalement, à savoir celui de 11 % calculé à partir de 98 données historiques recueillies au CSL (Environnement Canada, 1993a) et celui de 12 % rapporté par le Bureau de normalisation du Québec (1987) à partir de 236 données historiques.

2.4.2 Bioessai avec algues (*S. capricornutum*)

2.4.2.1 Méthode

Le bioessai avec algues a été réalisé sur les eaux souterraines, en microplaques de 96 puits selon la méthode mise au point par Environnement Canada (1992b) avec les modifications apportées en 1996. Soumises à une étude d'intercalibration (Thellen *et al.*, 1989), cette méthode normalisée est maintenant reconnue et adoptée par de nombreux laboratoires.

L'espèce utilisée, *Selenastrum capricornutum*, appartient à l'ordre des Chlorophycées. Cette algue verte non mobile et unicellulaire abonde dans les eaux douces presque partout en Amérique du Nord. Comme producteurs primaires, les algues jouent un rôle vital dans la chaîne alimentaire. Elles servent de nourriture à de nombreux organismes (par exemple les daphnies), et leurs sécrétions et leur activité photosynthétique participent de façon importante à l'apport d'éléments nutritifs et d'oxygène au milieu aquatique (Bold et Wynne, 1978). Par contre, lorsqu'elles sont trop abondantes, les algues peuvent entraîner l'eutrophisation des plans d'eau. *S. capricornutum* est particulièrement sensible aux métaux. Par exemple, les concentrations inhibitrices 50 % (CI₅₀) du cadmium, du cuivre, du nickel et du zinc sont inférieures à 100 µg.L⁻¹ (Blaise *et al.*, 1986; St-Laurent *et al.*, 1992).

2.4.2.2 Traitement des données

Le nombre de cellules est fixé par comptage électronique (CoulterTM, modèle ZM). Les pourcentages d'inhibition de croissance sont d'abord déterminés, puis la CI₅₀ et la CMEO sont calculées. La CI₅₀ est estimée par régression linéaire simple, tandis que la CMEO est déterminée par le test de Mann-Whitney (Zar, 1984). Le pourcentage d'inhibition associé à la CMEO doit cependant être égal ou supérieur à 20 (limite de détection pour ce test) qui représente en fait la

valeur arrondie du seuil de 22 % calculé à partir de 586 données historiques (Environnement Canada, 1993b). Les résultats sont exprimés en unité de toxicité sublétales chronique (UT_{sc}).

2.4.3 Bioessai avec Truites arc-en-ciel (*O. mykiss*)

2.4.3.1 Méthode

La Truite arc-en-ciel (*Oncorhynchus mykiss*) est une espèce qui appartient à la famille des Salmonidés, et son aire de distribution couvre tout le pays. La Truite arc-en-ciel est devenue dans le monde entier l'espèce de choix pour les tests de toxicité en eau douce et il existe une quantité importante de données toxicologiques à son sujet (Environnement Canada, 2000). Elle sert d'espèce étalon pour l'application des lois et des règlements.

Les essais avec truites servent normalement à mesurer les effets létaux aigus. À noter que depuis quelques années, on utilise les Salmonidés dans des recherches qui portent sur la mise en évidence d'effets sublétaux indicateurs de stress (Gagné et Blaise, 1993). Tous les bioessais avec Truite arc-en-ciel ont été réalisés selon les méthodes normalisées d'Environnement Canada (1990, 2000).

2.4.3.2 Traitement des données

Les mortalités sont notées quotidiennement, et le nombre de poissons morts par concentration testée est comptabilisé à la fin de l'essai. Le calcul de la CL_{50} s'effectue par l'utilisation d'une version du programme de C.E. Stephan, obtenue du laboratoire d'Environnement Canada de la région de l'Atlantique.

2.5 BIOMARQUEUR DE MESURE DE L'INDUCTION DES MÉTALLOTHIONÉINES ET DES OXYDASES À FONCTION MIXTE

À la fin de la période d'exposition des truites de l'essai de toxicité aiguë avec la Truite arc-en-ciel, les truites survivantes des groupes témoins et exposés ont été utilisées pour la réalisation des mesures de l'induction des métallothionéines (MT) et des mesures de l'induction des oxydases à fonction mixte (OFM). Il faut noter que les analyses ont été effectuées avec les foies de poissons provenant des truites survivantes et que les analyses n'ont pas été réalisées aux concentrations ayant causé 100 % de mortalité. De plus, les observations générées aux

concentrations où l'on a observé des mortalités partielles pourraient moduler à la hausse ou à la baisse l'induction des MT ou des OFM mesurée.

2.5.1 Mesure de l'induction des métallothionéines

2.5.1.1 Méthode

La faune aquatique peut être exposée à des métaux lourds dans l'environnement. L'exposition des poissons à ce type de contaminants provoque des changements physiologiques qui peuvent être considérés comme des mécanismes d'adaptation ou de protection contre la présence de métaux lourds.

Chez les poissons exposés à certains métaux, il peut en résulter l'induction d'une protéine nommée métallothionéine (MT). Cette protéine est principalement localisée dans le foie, les branchies et les reins du poisson. En conditions physiologiques normales, la MT lie principalement le cuivre et le zinc et est responsable de leurs régulations physiologiques. Cette protéine est induite par les métaux comme le cadmium, le cuivre, le mercure et le zinc et à la capacité de les chélater selon leurs affinités respectives. La mesure hépatique de la MT nous offre un indice sur la biodisponibilité des métaux et nous renseigne sur la réaction développée par le poisson contre leur présence dans le milieu.

L'activité des métallothionéines a été déterminée par mesure spectrophotométrique de la fraction purifiée obtenue par acidification (Viarengo, 1997). La concentration de cet extrait acidifié a été quantifiée à l'aide du réactif Ellman.

2.5.1.2 Traitement des données

Les concentrations sont normalisées selon la quantité de protéines totales présente dans la fraction S10. Les protéines sont quantifiées selon la méthode de Bradford (1976). Des analyses statistiques sont effectuées afin de détecter des différences significatives entre les groupes témoins et les groupes exposés.

2.5.2 Biomarqueur de mesure de l'induction des oxydases à fonction mixte

2.5.2.1 Méthode

Les contaminants organiques comme les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) et les biphényles polychlorés (BPC) sont susceptibles d'engendrer des effets néfastes pour

la faune aquatique. Lorsque le poisson est exposé à des composés organiques liposolubles, il les transformera en les rendant plus hydrosolubles par l'addition, l'exposition ou la conjugaison de groupements chimiques polaires, facilitant ainsi leur élimination. Le foie et les reins sont les principaux organes de la biotransformation. Le principal complexe multi-enzymatique de la biotransformation se situe au niveau du cytochrome P-450. La présence de produits organiques dans l'organisme peut induire ce système enzymatique.

L'induction de ce système enzymatique constitue un événement précoce et critique dans le développement de la toxicité. Les métabolites peuvent entraîner dans certains cas des dommages irréversibles. La mesure de l'induction des cytochromes P-450 ainsi que les activités enzymatiques s'y rapportant constitue donc un indicateur sensible des effets toxiques potentiels des xénobiotiques organiques présents dans le milieu.

L'activité de l'oxygénase à fonction mixte est mesurée selon la méthode de Prough *et al.* (1978). Cette enzyme catalyse la dééthylation de la 7-éthoxyrésorufine en 7-hydroxyrésorufine. Le produit hydroxylé est directement détecté par fluorescence à 582 nm lorsque excité à 535 nm. Le produit est ensuite quantifié à l'aide d'un standard externe de 7-hydroxyrésorufine.

2.5.2.2 Traitement des données

Les unités de fluorescence sont converties en activité enzymatique à l'aide d'une courbe standard et cette activité est normalisée selon la quantité de protéines totales présente dans la fraction S10. Les protéines sont quantifiées selon la méthode de Bradford (1976). Des analyses statistiques sont effectuées afin de détecter des différences significatives entre les groupes témoins et les groupes exposés.

Tableau 2
Principales conditions d'essai

Conditions d'essai	<i>V. fischeri</i>	<i>S. capricornutum</i>	<i>O. mykiss</i> *
Méthodes	Statique	Statique	Statique
Provenance des organismes	Strategic Diagnostic Inc. Newark, USA	Université du Texas (souche 1648)	Aquipro, St-Appolinaire, Québec
Durée	15 min	3 d	96 h
Température	15 ± 0,3	24 ± 2	15 ± 1
Type de récipient	Cuvettes de verre 12 X 50 mm	Microplaques 96 puits	Seaux de 60 L
Volume par récipient d'essai	1 mL	200 µL	60 L
Photopériode lumière / obscurité (h)	s.o.	24 / 0	6/ 8
Nombre de concentrations testées	6	10	5
Nombre de répétitions par concentration	4	3	1
Nombre d'organismes par récipient d'essai	1 x 10 ⁶	10 000	10

* Les truitelles survivantes ont été utilisées pour les mesures d'induction des OFM et des MT.

3 Résultats et discussion

3.1 PHYSICOCHEMIE

Pour les raisons évoquées précédemment, une caractérisation physicochimique sommaire a été réalisée sur les échantillons composés dès que les mélanges ont été préparés en laboratoire. À cette fin, la température, le pH, l'oxygène dissous, la conductivité et le chlore résiduel total (CRT) ont été mesurés selon des méthodes normalisées (APHA, AWWA et WEF, 1992) et des protocoles élaborés au CSL. Les résultats des paramètres physico-chimiques mesurés sur les échantillons recomposés sont présentés au tableau 3. C'est au site F-102 que les valeurs de conductivité sont les plus élevées, suivi par le site F-101. Les valeurs de conductivité du site F-104 sont supérieures à celles des sites F-103 et F-106. Quant aux valeurs de pH mesurées, celles-ci se situent autour du point de neutralité pour l'ensemble des échantillons analysés.

3.2 BIOESSAIS

Un sommaire des résultats des bioessais effectués sur les échantillons prélevés dans le secteur d'étude est présenté aux tableaux 4, 5 et 6. Les résultats spécifiques à chacun des tests sont brièvement discutés et présentés sous forme de tableau dans les sections qui suivent.

3.2.1 Toxicité chez la bactérie *V. fischeri*

Lors des trois campagnes d'échantillonnage et en dépit des inhibitions de l'activité bioluminescente (tableau 7) observées avec les eaux souterraines de certains échantillons des secteurs à l'étude, seul l'échantillon F-103 lors de la première campagne a démontré un potentiel toxique faible représenté par un pourcentage d'inhibition de 25,8 p. 100 à une concentration testée de 50 % v/v ($CI_{25} \sim 2$). Tous les autres échantillons n'ont pas démontré de toxicité chez l'espèce bactérienne exposée. Plusieurs des échantillons soumis aux essais avec *Vibrio fischeri* ont stimulé de façon significative l'activité bioluminescente de cette espèce bactérienne.

Tableau 3
Résultats des paramètres physico-chimiques mesurés des eaux souterraines

Période de prélèvement	Station	Paramètres				
		Température °C	pH	Oxygène dissous (%)	Conductivité (mS/cm)	Chlore résiduel total (mg/L)
2003/11/14-15	F-101	21,0	7,0	36	5,5	<0,02
	F-102	16,2	7,1	77	6,0	<0,02
	F-103	21,0	7,2	69	2,5	<0,02
	F-104	20,9	7,1	84	4,0	<0,02
2003/11/28-29	F-101	12,7	7,1	61	5,1	<0,02
	F-102	12,6	7,0	59	6,0	<0,02
	F-103	12,7	7,2	64	3,2	<0,02
	F-104	13,0	7,1	55	3,8	<0,02
2003/12/12-13	F-101	14,9	7,1	85	4,2	<0,02
	F-102	14,9	7,0	60	6,3	<0,02
	F-103	14,9	7,1	59	3,3	<0,02
	F-104	15,9	7,1	52	4,0	<0,02
	F-106	15,2	7,3	83	2,5	<0,02

3.2.2 Toxicité pour l'algue *S. capricornutum*

Tous les échantillons ont présenté une inhibition de la croissance cellulaire chez *S. capricornutum* aux plus fortes concentrations testées. Cependant, à des concentrations inférieures à 6,25 p. 100, on observe une stimulation de la croissance cellulaire chez cette algue verte avec des pourcentages de stimulation dépassant les 150 p. 100 (tableau 8). Lors de la première campagne d'échantillonnage, les stations F-102 et F-104 présentent une toxicité rapportée avec une valeur de CSE se situant à 6,2 UT comparativement à une valeur de 3,1 UT pour les stations F-101 et F-103. Lors de la deuxième campagne, les stations F-101 et F-104 sont les plus toxiques (CSE = 12,4 UT) comparativement aux stations F-102 et F-103, avec des valeurs de CSE de 2,1 et 3,1 respectivement. Quant à la troisième campagne, on remarque une toxicité plus importante des stations F-101 et F-102 comparativement aux stations F-103, F-104 et F-106. Globalement, les stations F-104 et F-102 ont occasionné une toxicité similaire pendant la première campagne

d'échantillonnage alors que l'on dénote toxicité semblable pour les stations F-104 et F-101 lors de la deuxième campagne. Enfin, pour tous les échantillons soumis à ce bioessai, aucun ne dépasse le critère générique pour les sols et pour les eaux souterraines qui définit à 100 UT_C la toxicité chronique (ministère de l'Environnement du Québec).

Les concentrations élevées de zinc dans certains échantillons (données non montrées) et/ou l'interaction de certains métaux lourds pourraient expliquer la toxicité des échantillons. En effet, une corrélation positive existe entre la toxicité observée chez les algues et les concentrations de zinc dans les échantillons (0,88, $p < 0,05$).

3.2.3 Toxicité pour la truite *O. mykiss*

Chez la Truite arc-en-ciel, des patrons de toxicité similaires ont été observés lors des trois campagnes d'échantillonnage. Premièrement, tous les échantillons ont provoqué des effets létaux sur la truite avec des valeurs de CL₅₀ supérieures à 1 UT. Le lecteur pourra consulter le tableau 9 afin de connaître les pourcentages de mortalité. Deuxièmement, les eaux souterraines de l'échantillon F-103 ont occasionné une plus faible toxicité comparativement aux échantillons des puits F-101, F-102 et F-104 avec des valeurs de CL₅₀ variant de 1,7 à 2,8 UT. Cette tendance s'est manifestée lors des trois périodes d'échantillonnage. De plus, bien que la toxicité observée avec les échantillons provenant des puits F-101 et F-102 s'avère globalement supérieure à l'effet délétère des échantillons du puits F-104, les différences de toxicité ne sont pas significatives. Quant à l'échantillon F-106 prélevé lors de la dernière campagne d'échantillonnage, celui-ci a occasionné une toxicité marginale avec une valeur de CL₅₀ rapportée de 1,9 UT. Les résultats de ce bioessai peuvent être interprétés selon les critères génériques pour les sols et pour les eaux souterraines indiqués à la rubrique « Paramètres intégrateurs » qui définit à 1 UTA la toxicité aiguë (ministère de l'environnement du Québec). Tous les sites d'échantillonnage présentent un dépassement de ce critère. Les concentrations élevées d'azote ammoniacal retrouvées dans les échantillons pourraient avoir affecté cet organisme aquatique. En effet, une corrélation positive existe entre la toxicité observée et la concentration d'azote ammoniacal dans les échantillons (0.87, $p < 0,05$).

Tableau 4
Sommaire des résultats bioanalytiques des échantillons d'eaux souterraines prélevés
les 14 et 15 novembre 2003 pour les essais réalisés au Centre Saint-Laurent

Bioessai	Unité de mesure	Paramètre de mesure	Identification des échantillons			
			F-101	F-102	F-103	F-104
<i>V. fischeri</i> (15 min.)	UT _{sa}	CI ₅₀	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0
		CI ₂₅	< 2,0	< 2,0	2,0	< 2,0
		CME0	2,0	< 2,0	2,0	4,0
		CSEO	4,0	2,0	4,0	8,0
		CSE	2,8	< 2,0	2,8	5,7
<i>S. capricornutum</i>	UT _{sc}	CI ₅₀	1 < CI ₅₀ < 2	1 < CI ₅₀ < 2	2 < CI ₅₀ < 4	4 < CI ₅₀ < 8
		CI ₂₅	2 < CI ₂₅ < 4	1 < CI ₂₅ < 2	2 < CI ₂₅ < 4	4 < CI ₂₅ < 8
		CME0	2,2	4,4	2,2	4,4
		CSEO	4,4	8,8	4,4	8,8
		CSE	3,1	6,2	3,1	6,2
<i>O. mykiss</i>	UT _L	CL ₅₀	11,3	6,1	2,8	5,7
Induction des OFM chez les truites exposées	% v/v		n.d. ¹	n.d.	n.d.	n.d.
Induction des MT chez les truites exposées	% v/v		n.d.	12,5 ²	n.d.	n.d.

1 n.d. : non détecté.

2 La concentration 12,5 % v/v représente la seule concentration à laquelle une induction significative des MT a été observée.

Tableau 5
Sommaire des résultats bioanalytiques des échantillons d'eaux souterraines prélevés
les 28 et 29 novembre 2003 pour les essais réalisés au Centre Saint-Laurent

Bioessai	Unité de mesure	Paramètre de mesure	Identification des échantillons			
			F-101	F-102	F-103	F-104
<i>V. fischeri</i> (15 min.)	UT _{sa}	CI ₅₀	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0
		CI ₂₅	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0
		CMEO	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0
		CSEO	2,0	2,0	2,0	2,0
		CSE	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0
<i>S. capricornutum</i>	UT _{sc}	CI ₅₀	6,8	2,5	2 < CI ₅₀ < 4	8 < CI ₅₀ < 16
		CI ₂₅	8 < CI ₂₅ < 16	4,2	2 < CI ₂₅ < 4	8 < CI ₂₅ < 16
		CMEO	8,8	2,2	2,2	8,8
		CSEO	17,6	4,4	4,4	17,6
		CSE	12,4	2,1	3,1	12,4
<i>O. mykiss</i>	UT _L	CL ₅₀	5,7	8	2	3,7
Induction des OFM chez les truites exposées	% v/v		n.d. ¹	n.d.	n.d.	n.d.
Induction des MT chez les truites exposées	% v/v		n.d.	n.d.	n.d.	n.d.

1 n.d. : non détecté.

Tableau 6
Sommaire des résultats bioanalytiques des échantillons d'eaux souterraines prélevés
les 12 et 13 décembre 2003 pour les essais réalisés au Centre Saint-Laurent

Bioessai	Unité de mesure	Paramètre de mesure	Identification des échantillons				
			F-101	F-102	F-103	F-104	F-106
<i>V. fischeri</i> (15 min.)	UT _{sa}	CI ₅₀	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0
		CI ₂₅	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0
		CMEO	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0
		CSEO	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
		CSE	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0
<i>S. capricornutum</i>	UT _{sc}	CI ₅₀	4 < CI ₅₀ < 8	4 < CI ₅₀ < 8	2 < CI ₅₀ < 4	2 < CI ₅₀ < 4	1 < CI ₅₀ < 2
		CI ₂₅	4 < CI ₂₅ < 8	4 < CI ₂₅ < 8	2 < CI ₂₅ < 4	2 < CI ₂₅ < 4	2 < CI ₂₅ < 4
		CMEO	4,4	4,4	2,2	2,2	2,2
		CSEO	8,8	8,8	4,4	4,4	4,4
		CSE	6,2	6,2	3,1	3,1	3,1
<i>O. mykiss</i>	UT _L	CL ₅₀	5,3	6,1	1,7	5	1,9
Induction des OFM chez les truites exposées	% v/v		n.d. ¹	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Induction des MT chez les truites exposées	% v/v		n.d.	n.d.	50 ²	n.d.	n.d.

1 n.d. : non détecté.

2 La concentration 50 % v/v représente la seule concentration à laquelle une induction significative des MT a été observée.

Tableau 7
Taux moyen d'inhibition de la luminescence chez *V. fischeri* pour les essais réalisés sur les eaux souterraines

Station	Échantillon	Concentration (% v/v)					
		50,0	25,0	12,5	6,25	3,13	1,56
14 et 15 novembre 2003							
F-101	03-3622	13,2	1,6	-1,3	-2,2	-2,7	-5,1
F-102	03-3623	-19,5	-14,6	-6,0	-7,4	-3,2	-3,4
F-103	03-3624	25,8	4,4	-0,6	0,6	-0,3	-2,2
F-104	03-3625	22,1	10,8	5,6	2,5	1,4	-0,8
28 et 29 novembre 2003							
F-101	03-3748	0,7	-8,9	-7,7	-5,6	-4,3	-6,3
F-102	03-3749	-37,7	-29,0	-21,4	-17,2	-16,0	-11,3
F-103	03-3750	-41,2	-34,0	-21,4	-15,2	-14,7	-13,8
F-104	03-3751	-9,5	-12,7	-13,4	-9,0	-8,1	-8,5
12 et 13 décembre 2003							
F-101	03-3961	-55,3	-46,5	-28,3	-21,0	-16,4	-17,7
F-102	03-3962	-76,0	-49,0	-32,6	-18,5	-14,7	-13,7
F-103	03-3963	-66,4	-53,0	-32,9	-19,6	-15,9	-14,3
F-104	03-3964	-13,7	-17,5	-12,2	-10,3	-8,9	-8,0
F-106	03-3965	-62,8	-39,7	-19,5	-16,1	-11,3	-8,4

Tableau 8
Taux d'inhibition de la croissance cellulaire chez *S. capricornutum*

Station	Échantillon	Concentration (% v/v)									
		100,0	50,0	25,0	12,5	6,25	3,13	1,56	0,78	0,39	0,20
14 et 15 novembre 2003											
F-101	03-3622	84,3	39,3	-50,6	-51,5	-47,2	-52,0	n.d	n.d	n.d	n.d
F-102	03-3623	78,5	20,5	32,0	-131,3	-157,0	-128,9	n.d	n.d	n.d	n.d
F-103	03-3624	87,4	74,1	-18,5	-51,7	-59,4	-65,2	n.d	n.d	n.d	n.d
F-104	03-3625	97,2	85,3	84,8	-0,7	-2,6	-12,3	n.d	n.d	n.d	n.d
28 et 29 novembre 2003											
F-101	03-3748	96,4	85,6	56,9	44,5	-88,5	-98,4	n.d	n.d	n.d	n.d
F-102	03-3749	86,5	62,6	19,3	-69,7	-95,9	-106,2	n.d	n.d	n.d	n.d
F-103	03-3750	85,0	72,6	-21,5	-104,5	-142,7	-114,4	n.d	n.d	n.d	n.d
F-104	03-3751	95,0	97,6	97,2	68,7	-62,3	-118,1	n.d	n.d	n.d	n.d
12 et 13 décembre 2003											
F-101	03-3961	94,8	96,1	62,9	-15,3	-101,7	-100,3	n.d	n.d	n.d	n.d
F-102	03-3962	75,5	91,0	63,8	-96,0	-180,5	-188,3	n.d	n.d	n.d	n.d
F-103	03-3963	87,2	79,3	-79,6	-143,7	-143,7	-151,6	n.d	n.d	n.d	n.d
F-104	03-3964	80,4	55,3	-72,6	-120,4	-150,4	-148,0	n.d	n.d	n.d	n.d
F-106	03-3965	74,5	45,8	-155,5	-182,1	-183,6	-161,3	n.d	n.d	n.d	n.d

3 n.d. : non déterminé.

4 Les valeurs négatives indiquent une stimulation plutôt qu'une inhibition.

Tableau 9
Pourcentage de mortalité après 96 heures pour les essais réalisés avec la Truite arc-en-ciel

Station	Échantillon	Concentration (% v/v)				
		100,0	50,0	25,0	12,5	6,25
14 et 15 novembre 2003						
F-101	03-3612	100	100	100	100	0
F-102	03-3615	100	100	100	10	0
F-103	03-3618	100	100	0	0	0
F-104	03-3621	100	100	100	0	0
28 et 29 novembre 2003						
F-101	03-3738	100	100	100	0	0
F-102	03-3741	100	100	100	50	0
F-103	03-3744	100	50	0	0	0
F-104	03-3747	100	100	40	0	0
12 et 13 novembre 2003						
F-101	03-3948	100	90	100	0	0
F-102	03-3951	100	100	100	10	0
F-103	03-3954	100	30	0	0	0
F-104	03-3957	100	100	70	10	0
F-106	03-3960	100	40	0	0	0

3.2.4 Toxicité pour le microcrustacé *Ceriodaphnia dubia*

L'essai de survie et de reproduction sur le cladocère *Ceriodaphnia dubia* réalisé par les laboratoires privés (données non montrées) indique que les échantillons provenant des puits F-101, F-102, F-103 et F-104 ont démontré des effets néfastes sur la survie et la reproduction de ce cladocère. Plus précisément, les échantillons des puits F-101, F-103 et F-104 provoquent de faibles mortalités chez les organismes exposés alors que les échantillons du puits F-102 occasionnent une toxicité légèrement supérieure par rapport aux autres sites. Quant aux effets sur la reproduction de *C. dubia*, tous les échantillons présentent des effets inhibiteurs comparables. Seul l'échantillon du puits F-104 lors de la première campagne a produit une inhibition de la reproduction importante représentée par une valeur de CI_{25} de 18 UT. Quant à l'échantillon provenant du puits F-106, celui-ci n'a pas occasionné de mortalité alors qu'un effet inhibiteur marginal sur la reproduction de *C. dubia* a été enregistré ($CI_{25} = 2,0$).

3.2.5 Mesure d'induction des OFM et des MT chez les truites exposées

Une induction significative des MT chez les truites exposées à 12,5 % v/v de l'échantillon F-102 est observée lors des prélèvements effectués les 14 et 15 novembre 2003. De plus un accroissement des niveaux de MT est noté chez les truites exposées à 50 % v/v de l'échantillon F-103 lors de la troisième campagne d'échantillonnage. Les analyses de MT ont été effectuées sur les truites survivantes exposées aux différentes concentrations. Pour tous les échantillons, aucune induction des MFO n'a été observée.

3.2.6 Contrôle de la qualité

Les résultats des essais effectués avec des produits ou matériaux toxiques de référence sont présentés au tableau 10. La LIA (limite inférieure d'avertissement) correspond à la moyenne dont on a soustrait deux écarts types, alors que la LSA (limite supérieure d'avertissement) représente la moyenne à laquelle on a ajouté deux écarts types (Environnement Canada, 1990).

Les résultats des essais effectués avec les produits ou matériels toxique de référence montrent que la sensibilité des organismes et la reproductibilité des essais se situent à l'intérieur des limites historiques établies dans nos laboratoires.

Tableau 10
Résultats d'analyse des produits toxiques de référence et données statistiques des diagrammes de contrôle

Bioessais	Variables mesurés	Paramètres	Substance testée	Date d'analyse	Résultats	Données de contrôle		
						Moyenne historique	LIA	LSA
<i>V. fischeri</i>	Inhibition de la luminescence	CI ₅₀	Zn ⁺⁺	2003/11/11	1,30	1,4	0,48	2,36
		mg.L ⁻¹		2003/12/01	1,47	1,4	0,48	2,36
<i>S. capricornutum</i>	Inhibition de la croissance	CI ₅₀	Cu ⁺⁺	2003/11/17	24,5	26,7	13,1	40,3
		µg.L ⁻¹	Zn ⁺⁺	2003/12/01	30,0	25,5	12,5	38,5
<i>O. mykiss</i>	Létalité aiguë	CL ₅₀	Zn ⁺⁺	2003/11/10	0,33	0,63	0,26	1,05
		mg.L ⁻¹		2003/12/08	0,54	0,63	0,26	1,05

4 Conclusion

Des échantillons d'eaux souterraines prélevés dans cinq secteurs localisés à la section 12 du Pont Champlain ont été soumis à une batterie bioanalytique afin d'évaluer leur potentiel toxique chez des espèces aquatiques appartenant à divers niveaux trophiques (bactérie, algue, poisson). L'objectif de la présente caractérisation était d'évaluer le potentiel toxique des eaux souterraines des cinq secteurs à l'étude.

Tous les échantillons d'eaux souterraines provenant des puits d'observation F-101, F102, F103, F-104 et F-106 ont causé des effets délétères chez la Truite arc-en-ciel *O. mykiss*. Les résultats de létalité avec le cladocère *C. dubia* et soumis par le laboratoire externe démontrent une toxicité de faible à modérée pour les échantillons F-101 à F-104 alors qu'il y a absence de mortalité pour l'échantillon F-106. Au niveau de la sublétalité, des effets nocifs sont observés pour les échantillons de tous les puits dans les essais sur l'algue *S. capricornutum* et/ou le cladocère *C. dubia*. Quant aux essais avec la bactérie *V. fischeri*, l'échantillon F-103 a présenté une toxicité marginale lors de la première campagne d'échantillonnage. Les résultats des biomarqueurs indiquent une induction des MT à 12,5 p. 100 v/v pour le site F-102 (1^{er} campagne) et à 50 % v/v pour le site F-103 (3^e campagne).

En résumé, tous les échantillons d'eaux souterraines prélevés dans les puits F-101, F-102, F-103, F-014 et F-106 ont présenté un potentiel toxique létal et/ou sublétal. La toxicité observée pourrait être associée au lieu géographique de prélèvement des échantillons potentiellement affectés par d'autres zones contaminées, aux propriétés chimiques et aux propriétés physiques des sites telles que le sens d'écoulement des eaux souterraines qui suit généralement une trajectoire perpendiculaire au fleuve selon l'axe nord-sud.

Références

- APHA, AWWA et WEF (1992). *Standard methods for the examination of water and wastewater*, 18th ed., American Public Health Association, American Water Works Association and Water Environment Federation, Washington, D.C. 10 sections & figures.
- Blaise, C., R. Legault, N. Bermingham, R. Van Coillie et P. Vasseur (1986). «A simple microplate algal assay technique for aquatic toxicity assessment», *Toxicity Assessment*, 1 : 261-281.
- Bold, H.C. et M.J. Wynne (1978). *Introduction to the Algae: Structure and Reproduction*, Prentice-Hall Inc., Englewood NJ. ISBN 0-13-477786-7, chapitre 1.
- Bradford, M.M (1976). «A rapid and sensitive method for the quantification of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding» *Anal. Biochem.*, 72 : 248-251.
- Bureau de normalisation du Québec (1987). *Norme - eaux - détermination de la toxicité, méthode avec la bactérie bioluminescente Photobacterium phosphoreum*, Gouvernement du Québec, Ministère de l'Industrie et du Commerce, Québec. NQ 3600-205. 24 pages.
- Environnement Canada (2000). *Méthode d'essai biologique : méthode de référence pour la détermination de la létalité aiguë d'effluents chez la Truite arc-en-ciel*, Conservation et Protection, Ottawa, Rapport SPE 1/RM/13. 22 pages.
- Environnement Canada (1995). *Préparation et exécution des essais de toxicité sur la bactérie luminescente Vibrio fischeri - phase liquide*, Conservation et Protection de l'environnement, Région du Québec Centre Saint-Laurent, LB-MIL-931007-1. 21 pages (édition de mars 1995).
- Environnement Canada (1993a). *Procédures de contrôle de qualité : test de toxicité avec la bactérie bioluminescente Photobacterium phosphoreum*, Version 1, Région du Québec, Conservation et Protection de l'environnement, Centre Saint-Laurent. 22 pages.
- Environnement Canada (1993b). *Procédures de contrôle de qualité : test d'inhibition de croissance en microplaque avec l'algue verte Selenastrum capricornutum*, Version 1, Conservation et Protection, Région du Québec, Centre Saint-Laurent. 37 pages.

- Environnement Canada (1992a). *Méthode d'essai biologique : essai de toxicité sur la bactérie luminescente Photobacterium phosphoreum*, Direction du développement technologique, Environnement Canada, Ottawa, Ontario. 65 pages.
- Environnement Canada (1992b). *Méthode d'essai biologique: essai d'inhibition de la croissance de l'algue d'eau douce Selenastrum capricornutum*, Conservation et Protection, Ottawa, Rapport SPE 1/RM/25. 43 pages.
- Environnement Canada (1990). *Méthode d'essai biologique : essai de létalité aiguë sur la Truite arc-en-ciel*, Conservation et Protection, Ottawa, Rapport SPE 1/RM/9. 53 pages.
- Gagné, F. et C. Blaise (1993). «Hepatic Metallothionein Level and Mixed Function Oxidase Activity in Fingerling Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*) after Acute Exposure to Pulp and Paper Mill Effluents», *Water Research*, 27 : 1669-1682
- Kaiser, L.E. et V.S. Palabrica (1991). «*Photobacterium phosphoreum* toxicity data index», *Water Poll. Res. J. Canada*, 26 (3) : 361-431.
- Prough, R. A., M.D. Surke et R.T. Mayer (1978). «Direct fluorometric methods for measuring mixed-function oxidase activity », *Method in enzymology*, 52 : 372-376.
- Rand, G.M. (1995). *Fundamentals of aquatic toxicology : effects, environmental fate, and risk assessment*, 2^e ed., Taylor & Francis, Washington, D.C. 1125 pages.
- St-Laurent, D., C. Blaise, P. MacQuarrie, R. Scroggins et B. Trottier (1992). «Comparative assessment of herbicides phytotoxicity to *Selenastrum capricornutum* using microplate and flask bioassay procedures», *Environmental Toxicology and Water Quality*, 7 : 35-48.
- Thellen, C., C. Blaise, Y. Roy et C. Hickey (1989). «Round robin with the *Selenastrum capricornutum* microplate assay», *Hydrobiologia*, 188/189 : 259-268.
- Woodland Hastings, J., C.J. Potrikus, S.C. Gupta, M. Kurfüst et J.C. Makemson (1985). «Biochemistry and physiology of bioluminescent bacteria», *Advances in Microbial Physiology*, 26 : 235-291.
- Viarengo, A, E. Ponzanon, F. Dondero et R. Fabbri (1997). «A simple spectrophotometric method for metallothionein evaluation in marine organisms : an application to Mediterranean and Antarctic molluscs», *Marine Environmental Research*, 44(1) : 69-84.
- Zar, J.H. (1984). *Biostatistical Analysis*, 2nd ed. Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs NJ, ISBN 0-13-077925-3. 718 pages.