

Caractérisation bioanalytique des eaux usées de l'usine de la Société d'électrolyse et de chimie Alcan ltée à Shawinigan

TD
428
.M47
A84
1955
C.1

CENTRE DE DOCUMENTATION CSL
105, MCGILL, 2ième étage
MONTREAL (Québec) H2Y 2E7
Tél.: (514) 283-2762
Fax: (514) 283-9451

22-6-95

Richard Legault
Écotoxicologie et chimie environnementale
Laboratoire régional

CENTRE DE DOCUMENTATION CSL
105, MCGILL, 2ième étage
MONTREAL (Québec) H2Y 2E7
Tél.: (514) 283-2762
Fax: (514) 283-9451

Centre Saint-Laurent
Conservation de l'environnement
Environnement Canada - Région du Québec

Avril 1995

COMMENTAIRES DES LECTEURS

Veillez adresser vos commentaires sur le contenu du présent rapport au Centre Saint-Laurent, Direction de la conservation de l'environnement, Environnement Canada, région du Québec, 105, rue McGill, 4^e étage, Montréal (Québec) H2Y 2E7.

Centre de documentation CSL
105, rue McGill, 4^e étage
Montréal (Québec) H2Y 2E7
Tél. (514) 283-2765
Fax (514) 283-2761

Centre de documentation CSL
105, rue McGill, 4^e étage
Montréal (Québec) H2Y 2E7
Tél. (514) 283-2765
Fax (514) 283-2761

On devra citer la publication comme suit :

Legault, R. 1995. *Caractérisation bioanalytique des eaux usées de l'usine de la Société d'électrolyse et de chimie Alcan liée à Shawinigan*. Environnement Canada, région du Québec, Conservation de l'environnement, Centre Saint-Laurent. Rapport scientifique et technique ST-12, 48 pages.

Collaborateurs

Ont participé à la supervision et(ou) à la réalisation des bioessais :

*Personnel du laboratoire régional
d'Environnement Canada*

Manon Harwood, M. Sc.
Brian Walker, B. Sc.
Edith Francoeur, M. Sc.
Christine Girard, M. Sc.
Denis Évrard, D.E.C.
Lisa Dufour, B. Sc.

Personnel Analex inc.

Lyne Paquette, B. Sc.
Sophie Picard, T. SC.
Sylvain Boulianne, T. Sc.
Éric Fortin, T. Sc.
Christian Sasseville, T. Sc.

Remerciements

Sincères remerciements à M^{me} Michèle Létienne-Prévost pour la mise en pages et les corrections judicieuses apportées à ce rapport.



Perspective de gestion

Ce rapport est publié dans le cadre du plan d'action fédéral-provincial Saint-Laurent Vision 2000 (SLV 2000). L'un des objectifs à long terme du plan d'action SLV 2000 est d'éliminer le rejet de substances toxiques persistantes et bioaccumulables dans le Saint-Laurent. Le volet Protection du plan SLV 2000 consiste essentiellement à surveiller la diminution de ces rejets dans les effluents des 50 établissements industriels prioritaires caractérisés au cours du Plan d'action Saint-Laurent (PASL, 1988 à 1993), et à caractériser les eaux usées de 56 autres établissements situés le long du fleuve et de quelques tributaires.

Management perspective

This report is published within the framework of the federal-provincial St. Lawrence Vision 2000 (SLV 2000) action plan. One of SLV 2000 action plan objectives is aimed at the long-term elimination of persistent and bioaccumulable toxic substances to the St. Lawrence River. The protection initiative of SLV 2000 will monitor reductions of toxic discharges at the 50 priority industrial plants characterized under the the Saint Lawrence Action Plan (1988 to 1993), and undertake characterizations at an additional 56 plants located along the St. Lawrence River and a few of its tributaries.



Résumé

Ce rapport présente les résultats de la caractérisation bioanalytique réalisée sur les eaux usées de l'usine de la Société d'électrolyse et de chimie Alcan (SÉCAL) à Shawinigan. Un ensemble de bioessais couvrant une gamme d'effets toxiques ont été réalisés sur un échantillon composé des émissaires B et C de l'usine. Le potentiel (géo)toxique de cet échantillon a été évalué à l'aide de bactéries, d'algues, de microcrustacés et de poissons. Une portion de l'échantillon fut aérée cinq jours afin de vérifier la persistance des effets observés. L'intégration des données de toxicité et de débit des effluents a mené au calcul de l'indice BEEP (Barème d'effets écotoxiques potentiels).

Abstract

This report presents the results of a bioanalytical characterization of the wastewaters of the Alcan Smelters and Chemicals, Shawinigan plant. A series of bioassays covering a large spectrum of toxicological effects were conducted on a composite sample of outfalls B and C. Bacteria, algae, microcrustaceans and fishes were used to estimate the (geno)toxic potential of the reconstituted sample. A portion of the composite sample was aerated five days in order to determine the persistency of the observed effects. The integration of the toxicity results and of the flow of the effluents lead to the determination of the PEEP index (Potential ecotoxic effects probe).



Table des matières

RÉSUMÉ – ABSTRACT	vii
LISTE DES FIGURES	xi
LISTE DES TABLEAUX	xii
LISTE DES ABRÉVIATIONS	xiii
1 INTRODUCTION	1
2 MÉTHODOLOGIE	2
2.1 Échantillons	2
2.2 Échantillonnage	2
2.3 Préparation, traitement et subdivision des échantillons	2
2.4 Tests biologiques	4
2.4.1 Aération de l'échantillon	8
2.4.2 Bioessai avec bactéries luminescentes	8
2.4.3 Bioessai de génotoxicité	9
2.4.4 Bioessai avec algues	11
2.4.5 Bioessai avec microcrustacés	12
2.4.6 Bioessai avec larves de tête-de-boule	13
2.4.7 Bioessai avec truites arc-en-ciel	14
2.5 Assurance et contrôle de la qualité	15
3 RÉSULTATS ET DISCUSSIONS	16
3.1 Formule et calcul de l'indice BEEP	16
3.1.1 Indice BEEP de l'effluent SÉCAL (Shawinigan)	18
3.2 Bioessai avec bactéries luminescentes (<i>V. fischeri</i>)	18
3.3 Bioessai de génotoxicité (<i>E. coli</i> PQ37)	19
3.4 Bioessai avec algues (<i>S. capricornutum</i>)	21
3.5 Bioessai avec microcrustacés (<i>C. dubia</i>)	21
3.6 Bioessai avec tête-de-boule (<i>P. promelas</i>)	22
3.7 Bioessai avec truites arc-en-ciel (<i>O. mykiss</i>)	24

x

3.8	Résultats de COT et de pH de l'échantillon aéré	24
3.9	Contrôle de la qualité	24
4	CONCLUSIONS	27
	RÉFÉRENCES	28
	ANNEXE Mesures des débits des émissaires B et C de SÉCAL – usine de Shawinigan	31

Liste des figures

- | | | |
|---|---|----|
| 1 | Préparation et division des échantillons | 3 |
| 2 | Moyennes et écarts types (\bar{x}) des poids secs des larves de tête-de-boule après une exposition à l'échantillon composé des effluents de SÉCAL – usine de Shawinigan | 23 |

Liste des tableaux

1	Paramètres physico-chimiques de l'échantillon composé des émissaires B et C de SÉCAL – usine de Shawinigan	4
2	Caractéristiques descriptives des bioessais utilisés pour l'évaluation écotoxicologique	6
3	Principales conditions d'essai	7
4	Sommaire des résultats des bioessais effectués sur l'échantillon composé des émissaires B et C de SÉCAL – usine de Shawinigan	17
5	Pourcentage d'inhibition de la luminescence chez <i>V. fischeri</i> : échantillon composé des effluents de SÉCAL – usine de Shawinigan	19
6	Inhibition de la Pal (cytotoxicité) chez <i>E. coli PQ37</i> et seuil d'effet ponctuel (SEP) : échantillon composé des effluents de SÉCAL – usine de Shawinigan	20
7	Induction de la β -gal (génotoxicité) chez <i>E. coli PQ37</i> et seuil d'effet ponctuel (SEP) : échantillon composé des effluents de SÉCAL – usine de Shawinigan	20
8	Taux d'inhibition de la croissance chez <i>S. capricornutum</i> : échantillon composé des effluents de SÉCAL – usine de Shawinigan	21
9	Résultats de survie et effet sur la reproduction (nombre de nouveaux-nés) chez <i>C. dubia</i> : échantillon composé des effluents de SÉCAL – usine de Shawinigan	22
10	Résultats de survie et effet sur la croissance (poids secs des larves) chez <i>P. promelas</i> : échantillon composé non aéré des effluents de SÉCAL – usine de Shawinigan	23
11	Résultats de survie chez <i>O. mykiss</i> : échantillon composé non aéré des effluents de SÉCAL – usine de Shawinigan	24
12	Produits toxiques de référence en usage pour les différents bioessais, résultats d'analyse et données statistiques des fiches de contrôle	25

Liste des abréviations

A405	absorbance à 405 nm
A620	absorbance à 620 nm
ACLAE	Association canadienne des laboratoires d'analyse environnementale
ADN	acide désoxyribonucléique
APHA	American Public Health Association
BEEP	barème d'effets écotoxiques potentiels
β -gal	β -galactosidase
°C	degré Celsius
CI ₅₀	concentration inhibitrice 50 %
CL ₅₀	concentration létale 50 %
CMEO	concentration minimale avec effet observé
CSEO	concentration minimale sans effet observé
CRT	chlore résiduel total
CSE	concentration seuil d'effet
CV	coefficient de variation
d	jour (<i>dies</i>)
DPD	N,N-di-éthyl- <i>p</i> -phénylène-diamine
FI	facteur d'induction
FICV	facteur d'induction corrigé pour la viabilité
FR	facteur de réduction
L	litre
LIA	limite inférieure d'avertissement
LIS	limite supérieure d'avertissement
log ₁₀	logarithme à la base 10
MEF	ministère de l'Environnement et de la Faune du Québec
m ³ /h	mètre cube par heure
min	minute
mL	millilitre
N	solution de concentration normale
nm	nanomètre
Pal	phosphatase alcaline
PASL	Plan d'action Saint-Laurent
% v/v	pourcentage volume sur volume
s	écart type

xiv

S9	fraction microsomale de foie de rat
SEP	seuil d'effet ponctuel
SET	seuil d'effet temporel
SLV 2000	Saint-Laurent Vision 2000
UG _{SC}	unité de génotoxicité sublétales chronique
μL	microlitre
URL	unité relative de lumière
UT _L	unité de toxicité létale
UT _{SA}	unité de toxicité sublétales aiguë
UT _S	unité de toxicité sublétales
UT _{SC}	unité de toxicité sublétales chronique
(\bar{x})	moyenne

2 Méthodologie

2.1 ÉCHANTILLONS

L'étude de caractérisation a porté sur un échantillon composé des émissaires B (Point 1) et C (Point 2) de l'usine SÉCAL à Shawinigan. Le premier regroupait les eaux de refroidissement de la coulée et les eaux de ruissellement du stationnement, le deuxième comprenait les eaux de refroidissement des redresseurs, des compresseurs, de l'usine de pâte et les eaux de ruissellement des toitures et des aires de procédés. L'émissaire B représentait 80 % de l'échantillon composé. L'eau d'alimentation (eau potable du réseau municipal) qui est chlorée n'a pas été échantillonnée.

2.2 ÉCHANTILLONNAGE

Les eaux usées des émissaires B et C ont été échantillonnées selon les directives du *Guide général de caractérisation SLV 2000* (Environnement Canada, octobre 1994). Les travaux d'échantillonnage ont été confiés à la firme Environnement E.S.A. inc. (Drummondville) et ont eu lieu du 6 au 7 mars 1995 pour la caractérisation bioanalytique. Au total, cinq échantillons de 60 L ont été prélevés : quatre de l'émissaire B et un de l'émissaire C. Les eaux usées des deux émissaires ont été échantillonnées proportionnellement à leur débit respectif. Les échantillons ont été livrés au laboratoire régional d'Environnement Canada le 8 mars 1995 à 17 h.

2.3 PRÉPARATION, TRAITEMENT ET SUBDIVISION DES ÉCHANTILLONS

La figure 1 illustre la préparation et la division des échantillons. Dès leur réception au laboratoire, les récipients qui ont servi à l'échantillonnage ont été entreposés à 4 °C. Le mélange des échantillons en un seul a été effectué le 9 mars 1995. Une caractérisation physico-chimique sommaire de l'échantillon composé a été faite aussitôt le mélange préparé. À cette fin, la température, le pH, l'oxygène dissous, la conductivité et le chlore résiduel total ont été mesurés (tableau 1). Les analyses ont été effectuées selon des méthodes normalisées (APHA *et al.*, 1992) et des protocoles élaborés au laboratoire régional d'Environnement Canada.

1 Introduction

La présente étude de caractérisation a été entreprise à la demande de la Direction de la protection de l'environnement (Environnement Canada) et du ministère de l'Environnement et de la Faune du Québec. La supervision et la réalisation des travaux bioanalytiques ont été assumées par la section Écotoxicologie et chimie environnementale du Centre Saint-Laurent.

Le potentiel écotoxique d'un échantillon composé des eaux résiduelles de l'usine de la Société d'électrolyse et de chimie Alcan ltée (SÉCAL) à Shawinigan a été évalué à l'aide de l'indice BEEP (Barème d'effets écotoxiques potentiels). Cet indice permet, entre autres, d'évaluer et de comparer la toxicité des rejets industriels. Le concept et l'application de l'indice BEEP sont discutés en détails dans la publication de Costan *et al.* (1993). En résumé, les unités BEEP sont déterminées à partir d'une formule (voir la section 3.1) qui intègre trois variables : a) la somme des effets (géno)toxiques; b) la multispécificité des effets; et c) le débit du ou des effluents étudiés. L'ensemble des résultats des caractérisations BEEP effectuées au cours du PASL (1988 à 1993) a été publié par Bermingham et Boudreau (1994). Ces auteurs ont joint aux résultats des recommandations sur l'orientation et le développement de l'indice BEEP.

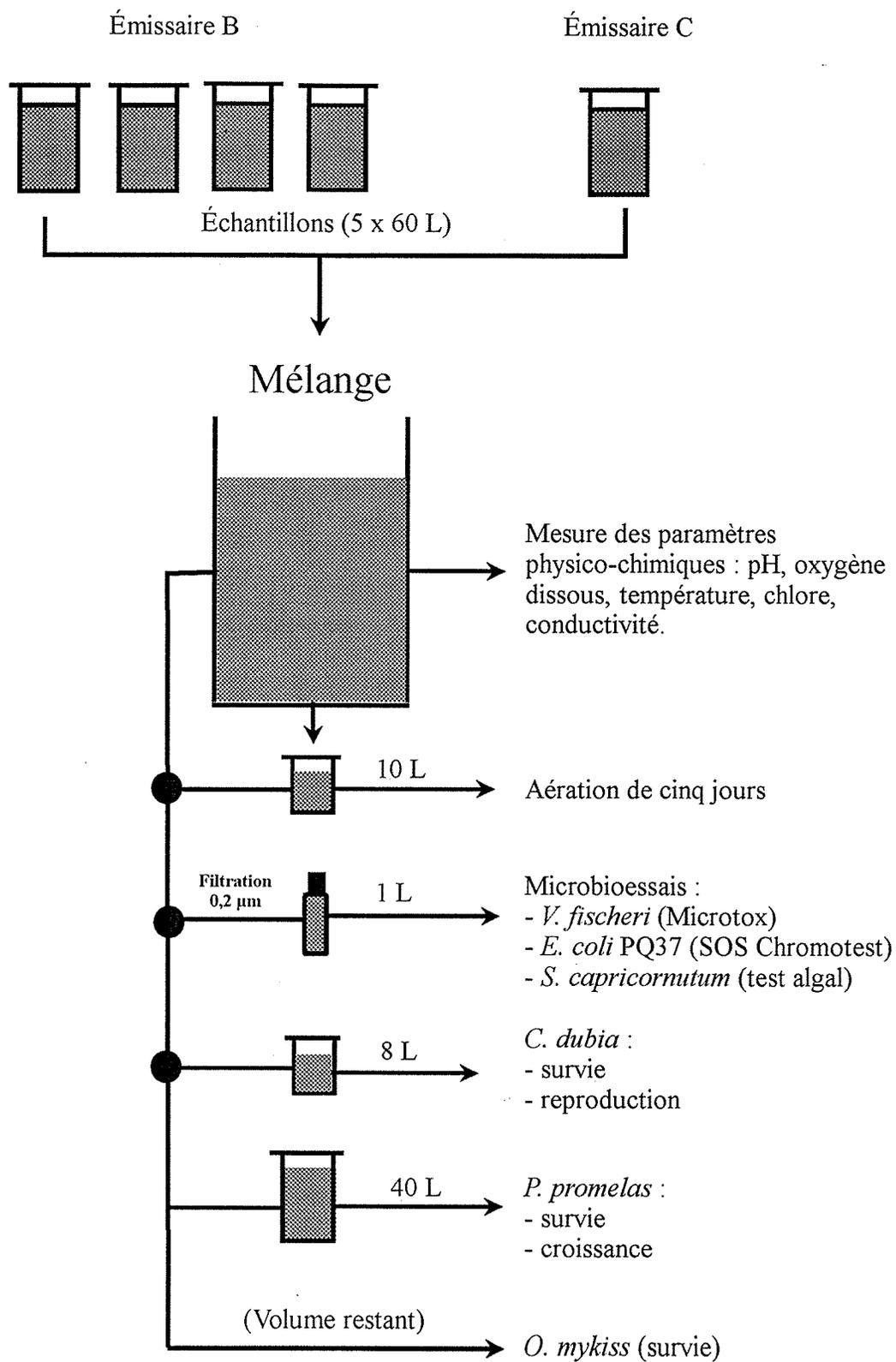


Figure 1 Préparation et division des échantillons en laboratoire

Puisque l'usine SÉCAL s'approvisionne en eau potable chlorée du réseau municipal, le chlore résiduel total (CRT) de l'échantillon a été neutralisé par l'ajout de 2 mL de thiosulfate de sodium 1 N. Une concentration de CRT inférieure au seuil de détection de la méthode DPD, c'est-à-dire < 0,01 mg/L, a été mesurée après l'ajout du produit neutralisant.

Tableau 1
Paramètres physico-chimiques de l'échantillon composé des émissaires B et C de SÉCAL – usine de Shawinigan

Paramètre	Échantillon composé
Température (°C)	9,4
pH	6,4
Oxygène dissous (mg/L)	11,5
Conductivité (µmS/cm)	220
Chlore résiduel total (mg/L)*	0,13

* Déterminé par la méthode DPD (trousse Hach™).

Une fois les différents paramètres physico-chimiques mesurés et le chlore neutralisé, un litre de l'échantillon composé a été filtré à 0,2 µm (polycarbonate, Nuclepore™) et conservé à 4 °C jusqu'à la réalisation des microbioessais. Des volumes de 8 L et 40 L ont été prélevés pour les bioessais avec microcrustacés et larves de tête-de-boule. Ces sous-échantillons ont été transvidés dans des seaux de plastique blanc opaque de 10 L et 20 L et conservés à 4 °C jusqu'à leur livraison au laboratoire contractuel. Une portion de 10 L a immédiatement été soumise à une aération de cinq jours (voir la section 2.4.1). Le volume restant dans le réservoir de mélange a servi à la réalisation du bioessai avec truites arc-en-ciel.

2.4 TESTS BIOLOGIQUES

Les bioessais réalisés au cours de cette étude sont présentés au tableau 2. Comme l'indique ce tableau, les espèces utilisées occupent des échelons trophiques variés : bactérie, algue, crustacé, poisson. Cette particularité ainsi que la détection de différents degrés de toxicité

(sublétalité aiguë et chronique, létalité aiguë) et la mesure de nombreuses variables d'effets (inhibition de croissance et de reproduction, génotoxicité, mortalité) rendent possible l'évaluation du potentiel écotoxique du rejet d'eaux usées industrielles ou autres dans l'environnement aquatique.

Les bioessais du tableau 2 se répartissent en deux groupes : les microbioessais et les macrobioessais. Le premier groupe comprend les essais réalisés avec les bactéries *Vibrio fischeri* (Microtox™) et *Escherichia coli* PQ37 (SOS Chromotest™) et l'essai effectué avec la microalgue *Selenastrum capricornutum*. Le second groupe exploite des organismes de plus grande taille tels des microcrustacés (*Ceriodaphnia dubia*), des larves du poisson tête-de-boule (*Pimephales promelas*) et des truites arc-en-ciel (*Oncorhynchus mykiss*). Ce dernier bioessai ainsi que les microbioessais ont été effectués par le personnel du laboratoire régional d'Environnement Canada. Les essais avec microcrustacés et larves de tête-de-boule ont été réalisés par le personnel de la firme Analex inc. (Laval).

À l'exception des essais avec larves de tête-de-boule et truites arc-en-ciel, tous les bioessais présentés au tableau 2 ont été effectués sur la portion non aérée (échantillon original)¹ et la portion aérée (voir 2.4.1). Comme on l'explique à la section 3.1, le calcul de l'indice BEEP nécessite la détermination de la concentration seuil d'effet (CSE), qui elle résulte de la moyenne géométrique de la concentration minimale avec effet observé (CMEO) et de la concentration sans effet observé (CSEO). La CMEO est déterminée par différentes méthodes statistiques, alors que la CSEO correspond à la concentration testée immédiatement sous la CMEO. Cette approche expérimentale exige la préparation d'un minimum de trois à quatre répétitions par concentration testée. Quoique les protocoles expérimentaux de chaque bioessai diffèrent, il n'en demeure pas moins qu'une stratégie 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'essai sont présentées au tableau 3. À l'exception du SOS Chromotest qui a été exécuté selon un protocole développé au laboratoire régional d'Environnement Canada, tous les autres bioessais ont été exécutés selon les méthodes normalisées d'Environnement Canada.

¹ Dans ce rapport, «échantillon original» et «échantillon non aéré» sont synonymes.

Tableau 2
Caractéristiques descriptives des bioessais utilisés pour l'évaluation écotoxicologique

Organisme	Espèce	Niveau trophique	Niveau de toxicité	Variable d'effet	Paramètre de mesure*	Unité de mesure*
Bactérie	<i>Vibrio fischeri</i> ** (Microtox™)	Décomposeur	Subléthalité aiguë	Inhibition de la luminescence	CI ₅₀ , CME0, CSEO	UT _{SA}
Bactérie	<i>Escherichia coli</i> PQ37 (SOS Chromotest™)	Décomposeur	Subléthalité chronique	Génotoxicité et cytotoxicité	CME0, CSEO	UG _{sc} , UT _{sc}
Algue	<i>Selenastrum capricornutum</i>	Producteur primaire	Subléthalité chronique	Inhibition de la division cellulaire	CI ₅₀ , CME0, CSEO	UT _{sc}
Cladocère (microcrustacé)	<i>Ceriodaphnia dubia</i>	Consommateur primaire	Létalité et subléthalité chronique	Mortalité et inhibition de la reproduction	CL ₅₀ , CME0, CSEO	UT _L , UT _{sc}
Poisson (larve)	<i>Pimephales promelas</i> (fête-de-boule)	Consommateur secondaire	Létalité et subléthalité chronique	Mortalité et inhibition de la croissance	CL ₅₀ , CME0, CSEO	UT _L , UT _{sc}
Poisson	<i>Oncorhynchus mykiss</i> *** (truite arc-en-ciel)	Consommateur secondaire	Létalité aiguë	Mortalité	CL ₅₀	UT _L

* Voir la liste des abréviations pour leur signification.

** Espèce autrefois connue sous le nom de *Photobacterium phosphoreum*.

*** Espèce autrefois connue sous le nom de *Salmo gairdneri*.

Tableau 3
Principales conditions d'essai

Conditions d'essai	Bioessais (espèces)					
	<i>V. fischeri</i>	<i>E. coli</i> PQ37	<i>S. capricornutum</i>	<i>C. dubia</i>	<i>P. promelas</i>	<i>O. mykiss</i>
Méthode	Statique	Statique	Statique	Renouvellement quotidien	Renouvellement quotidien	Statique
Provenance des organismes	Microbics ^a	EBPP ^b	UTEX ^c	Paprican ^d	USEPA ^e	Pisciculture d'Arthabasca
Durée	15 min	2 h	3 d	7 d	7 d	4 d
Température (°C)	15 ± 0,3	37 ± 1	24 ± 2	25 ± 1	25 ± 1	15 ± 1
Type de récipient	Cuvette de verre 12 x 50 mm	Microplaque 96 puits	Microplaque 96 puits	Gobelet de 30 mL	Aquarium de verre	Seau de plastique de 25 L
Volume biotesté	1 mL	200 µL	200 µL	15 mL	500 mL	20 L
Photopériode lumière/obscurité (h)	s.o. ^f	s.o.	24/0	16/8	16/8	16/8
Nombre de concentrations testées	6	9	10	5	5	4
Nombre de répétitions par concentration	4	4	3	10	4	3
Nombre d'organismes par récipient d'essai	10 µl de réactif bactérien	3 × 10 ⁶	10 000	1	10	5

^a Microbics Corp. (Carlsbad, California).

^b Environmental Bio Detection Products (Brampton, Ontario).

^c Université du Texas (souche 1648).

^d Institut de recherche sur les pâtes et papiers (Pointe-Claire, Québec).

^e United States Environmental Protection Agency (Duluth, Minnesota).

^f Sans objet.

2.4.1 Aération de l'échantillon

Une portion (10 L) de l'échantillon recomposé a été aérée dans le but d'évaluer la persistance et(ou) les modifications de la toxicité, transformations pouvant résulter, d'une part, de l'activité microbienne naturellement présente dans l'échantillon et, d'autre part, de phénomènes physico-chimiques liés à l'aération même : volatilisation, oxydation et(ou) modification du pH. La méthode d'aération consiste à aérer [$\approx 5 \text{ mL}/(\text{min}/\text{L})$] l'échantillon à la température de la pièce ($20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$) pendant cinq jours. Le degré de biodégradation est déterminé en mesurant les concentrations de carbone organique total (COT) au début et à la fin de l'essai. Une portion aliquote de 1 L de l'échantillon aéré est également filtrée à $0,2 \mu\text{m}$ pour la réalisation des microbioessais. Le pH est mesuré après filtration.

2.4.2 Bioessai avec bactéries lumineuses

2.4.2.1 Méthode

L'essai avec la bactérie marine *Vibrio fischeri* (souche NRRL B-11177) a été réalisé essentiellement selon la méthode d'Environnement Canada (1992a). Certaines modifications ont été apportées au nombre de concentrations et de répétitions (réplica) testées ainsi qu'à l'emplacement des cuvettes dans l'incubateur du photomètre. L'essai avec *V. fischeri* est commercialisé sous le nom «Microtox™» par la compagnie Microbics (Carlsbad, Californie). 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 : a) l'inhibition de luminescence n'indique pas nécessairement la mort cellulaire; b) la période de contact entre les bactéries exposées et l'échantillon n'est que de 15 minutes; et c) l'essai est réalisé sur une population plutôt que sur plusieurs générations.

2.4.2.2 Traitement des données

Les intensités lumineuses des groupes traités et du groupe témoin sont mesurées avec un photomètre (Microtox™ toxicity analyser, M500). Ces mesures sont exprimées en unités relative de lumière (URL). La quantité de lumière émise par les bactéries dans chacune des

concentrations testées est comparée avec celle mesurée dans le témoin. Les pourcentages d'inhibition et les valeurs gammas (γ , ratio de la lumière perdue sur celle restante) sont ensuite calculés afin de déterminer les paramètres de mesure. Il s'agit de la CMEO et de la CI_{50} (concentration qui inhibe 50 % de l'activité lumineuse). La CMEO est déterminée par le test de Mann-Whitney (Zar, 1984). De plus, pour que la CMEO soit significative, le pourcentage de réduction de luminescence qui y est associé doit être égal ou supérieur au seuil de détection de la méthode, seuil qui a été fixé à 10 % d'inhibition. Quant à la CI_{50} , elle est calculée par régression linéaire simple :

$$Y = a + bX$$

où Y : $\log_{10}(\gamma)$; X : \log_{10} (% v/v); a : ordonnée à l'origine, et b : pente (Zar, 1984).

Tous les calculs sont effectués à l'aide d'une feuille de travail élaborée avec un chiffrier électronique (Lotus 123™, version 2.4). Les paramètres de mesure sont rapportés en unités sublétales aiguës (UT_{SA}). Les unités toxiques se calculent en divisant le nombre 100 par le paramètre de mesure exprimé en % v/v. Par exemple, si la CMEO est de 5 % v/v, le résultat sera de 20 UT_{SA} . Le calcul des unités toxiques est le même, peu importe le niveau de toxicité, qu'il soit létal, sublétal ou chronique.

2.4.3 Bioessai de génotoxicité

2.4.3.1 Méthode

Le bioessai utilisé pour dépister les substances génotoxiques est commercialisé sous l'appellation «SOS Chromotest» par la compagnie Environmental Bio Detection Products (EBPI, Brampton, Ontario). Ce bioessai a été réalisé selon un protocole mis au point au laboratoire régional d'Environnement Canada (1993). Le SOS Chromotest est un essai colorimétrique à court terme utilisé pour détecter les substances provoquant des lésions primaires à l'ADN chez *Escherichia coli* PQ37. Chez cette bactérie, le gène *lacZ* qui code pour la β -galactosidase (β -gal) et le gène *sula* ont été fusionnés par manipulation génétique (Quillardet et Hofnung, 1985). Le gène *sula* appartient au système SOS, un mécanisme de réparation de l'ADN sujet à erreurs (Walker, 1987; Devoret, 1992). Lorsque l'ADN bactérien est agressé par un produit chimique

génétoxique, le gène *sulA* est activé, entraînant ainsi la synthèse de l'enzyme β -gal. La région *lacZ* normale ayant été retirée du génome de la souche *E. coli* PQ37, la production de β -gal résulte donc directement d'agressions à l'ADN. La souche *E. coli* PQ37 porte également un gène constitutif (non réprimé) pour la phosphatase alcaline (Pal). Cette enzyme est utilisée comme un indicateur de la synthèse protéique totale, et son dosage permet de déterminer le degré de cytotoxicité ou de perte de viabilité cellulaire. Les concentrations relatives de β -gal et de Pal sont mesurées après l'ajout de leur substrat respectif. Une augmentation appréciable de la coloration bleue indique une activité génotoxique, alors qu'une diminution significative de la coloration jaune reflète la présence de molécules cytotoxiques.

Les essais SOS Chromotest sont réalisés avec et sans un mélange d'activation mammalien. Ce mélange comprend la fraction microsomale (S9) de foie de rats traités à l'Arochlor 1254 et des cofacteurs. La fraction S9 renferme notamment le cytochrome P-450 qui joue normalement un rôle de détoxification dans le foie, mais qui à l'occasion peut aussi activer le potentiel mutagène ou cancérigène des substances chimiques (De Robertis et De Robertis, 1983). L'utilisation de S9 rend donc possible la détection de substances dites «progénotoxiques», c'est-à-dire de molécules qui une fois métabolisées ont le potentiel d'endommager le matériel génétique. Pour vérifier l'intégrité des fonctions SOS chez *E. coli* PQ37, des génotoxiques de référence sont testés à chaque essai. Il s'agit du nitro-4 quinoléine-*n*-oxyde (en anglais, le 4-nitroquinoline-*n*-oxide ou 4NQO) pour les tests sans S9 et du amino-2 anthracène (en anglais, le 2-aminoanthracene ou 2AA) pour les tests avec S9.

2.4.3.2 *Traitement des données*

Les concentrations relatives de Pal (jaune) et de β -gal (bleu) sont lues avec un spectrophotomètre à microplaque (Multiskan™, MCC340) à 405 nm (A405) et à 620 nm (A620), respectivement. Les moyennes (\bar{x}), écarts types (s) et coefficients de variation (CV) des valeurs d'absorbance des groupes traités et témoins sont d'abord calculés. Les facteurs de réduction (FR) de la Pal, les facteurs d'induction (FI) de la β -gal, ainsi que les facteurs d'induction corrigés pour la viabilité (FICV) sont ensuite déterminés selon les formules présentées ci-après. Les FICV normalisent l'induction de la β -gal en fonction de la biomasse bactérienne.

$$FR = \bar{x} \text{ A405 traité} / \bar{x} \text{ A405 témoin}$$

$$FI = \bar{x} \text{ A620 traité} / \bar{x} \text{ A620 témoin}$$

$$FICV = FI/FR$$

Chez les groupes témoins, la limite inférieure de l'intervalle de confiance à 95 % des A405 et la limite supérieure de l'intervalle de confiance à 95 % des A620 sont déterminées afin de fixer les seuils d'effets ponctuels (SEP) qui sont calculés comme suit :

$$\text{SEP de la Pal} = (\bar{x} \text{ A405} - 2 s) / \bar{x} \text{ A405}$$

$$\text{SEP de la } \beta\text{-gal} = (\bar{x} \text{ A620} + 2 s) / \bar{x} \text{ A620}$$

Afin de tenir compte de la variabilité dans le temps, des seuils d'effets temporels (SET) ou historiques ont été déterminés. Le SET de la Pal a été fixé à 0,90 et celui de la β -gal à 1,20. Pour la cytotoxicité, la plus petite des valeurs entre le SEP et le SET est sélectionnée pour déterminer la CME0. Pour la génotoxicité, la plus grande des valeurs entre le SEP et le SET est choisie pour déterminer la CME0. L'interprétation des résultats de génotoxicité est d'abord effectuée à partir des valeurs FI. Lorsque qu'une valeur FI parmi les concentrations analysées répond au critère stipulé précédemment, les FICV sont alors utilisés pour fixer la CME0. Selon la variable d'effet mesurée, les paramètres de mesure sont rapportés en unités toxiques (UT_{sc}) ou en unités génotoxiques (UG_{sc}) sublétales chroniques. Le traitement des données est effectué à l'aide d'une feuille de travail élaborée avec un chiffrier électronique (Quattro Pro, version 3). À noter qu'ici, l'indice BEEP ne tient compte que du critère d'effet génotoxique.

2.4.4 Bioessai avec algues

2.4.4.1 Méthode

Le bioessai avec algues a été réalisé sur une microplaque de 96 puits selon la méthode mise au point par Environnement Canada (1992b). Soumise à une étude d'intercalibration (Thellen *et al.* 1989), cette méthode ou technique est adoptée maintenant dans de nombreux laboratoires. L'algue *Selenastrum capricornutum*, l'espèce utilisée, appartient à l'ordre des Chlorophycées. C'est une algue verte non mobile et unicellulaire qui 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 contribuent un apport important d'éléments nutritifs et d'oxygène au milieu aquatique (Bold et Wynne, 1978). Par contre, en trop grande abondance, 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/mL (Blaise *et al.*, 1986; St-Laurent *et al.*, 1992).

2.4.4.2 *Traitement des données*

Le nombre de cellules est déterminé par comptage électronique (Coulter™, 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. Le pourcentage d'inhibition associé à la CMEO doit cependant être égal ou supérieur à 20, ce qui représente la limite de détection pour cet essai. Les résultats sont exprimés en unités de toxicité sublétales chroniques (UT₅₀).

2.4.5 **Bioessai avec microcrustacés**

2.4.5.1 *Méthode*

La méthode d'Environnement Canada (1992c) a été appliquée pour ce bioessai. Le microcrustacé *Ceriodaphnia dubia* appartient à l'ordre des Cladocères et à la famille des Daphniidés. Ces microcrustacés représentent un maillon important de la chaîne alimentaire puisqu'ils convertissent les algues et les bactéries en protéines animales. Ils se retrouvent en abondance dans les plans d'eau douce d'Amérique du Nord où ils constituent une source essentielle de nourriture pour les poissons. Ce bioessai donne à la fois une indication de la sévérité des effets létaux (survie) et des effets sublétaux chroniques (reproduction). En raison de sa sensibilité, cette espèce est couramment utilisée pour caractériser la toxicité des effluents industriels (EPA, 1989; Ankley *et al.*, 1990; Mazidji *et al.*, 1990).

2.4.5.2 *Traitement des données*

Le nombre de jeunes crustacés (nouveaux-nés) ainsi que les organismes morts sont quotidiennement énumérés. Les effets sur la survie sont quantifiés par la CL_{50} et la CME0 et ceux sur la reproduction par la CME0. Les méthodes statistiques appliquées pour déterminer ces paramètres de mesure varient selon les résultats observés. Ainsi, la CL_{50} peut être déterminée par trois techniques : probit, moyenne mobile et binomiale. Une analyse de comparaison intergroupes (par exemple Dunnett, Bonneferroni, Tukey, Williams) est utilisée lorsque les données suivent une distribution normale et que les variances sont homogènes. Lorsque ces deux dernières conditions ne sont pas respectées, une analyse non paramétrique (par exemple Wilcoxon, Steel Many-One Rank) est appliquée. La version 3.11 (1985) du programme de C.E. Stephan (1977) sert au calcul de la CL_{50} , tandis que le logiciel Toxstat® (Guley, 1989) est utilisé pour la détermination de la CME0. Les résultats sont rapportés en unités de toxicité létale (UT_L) pour la survie et en unités de toxicité sublétale chronique (UT_{SC}) pour la reproduction. Les résultats des essais avec *C. dubia* sur la portion aérée de l'échantillon composé ne sont pas utilisés dans le calcul de l'indice BEEP.

2.4.6 **Bioessai avec larves de tête-de-boule**

2.4.6.1 *Méthode*

Le bioessai avec larves de tête-de-boule (*Pimephales promelas*) a été fait avec la méthode d'Environnement Canada (1992d). *P. promelas* appartient à la famille des Cyprinidés qui regroupe les carpes et les ménés. La tête-de-boule est un poisson omnivore indigène de la plupart des régions du Canada, y compris celle du sud-ouest du Québec. Le régime alimentaire de ce poisson comprend des invertébrés (par exemple *C. dubia*) et des végétaux. Quoique la durée de l'essai avec larves de tête-de-boule est courte (sept jours) par rapport à la durée de la vie du poisson, les facteurs affectant la croissance sont quand même considérés comme ayant des effets chroniques. Chez les poissons, comme chez d'autres organismes, le stade larvaire en est un qui est normalement jugé parmi les plus vulnérables dans le cycle biologique.

2.4.6.2 *Traitement des données*

Les lectures de mortalité sont enregistrées quotidiennement, et lorsque l'essai est terminé, les larves sont comptées, séchées et pesées. Cette dernière mesure permet d'évaluer les effets sur la croissance. L'approche statistique pour le traitement des données du test avec larves de tête-de-boule est essentiellement la même que celle pour l'essai avec microcrustacés : le même programme et le même logiciel sont utilisés (voir la section 2.4.5.2). La CL_{50} est rapportée en unités de toxicité létale (UT_L) et la CMEO et la CSEO, en unités de toxicité sublétale (UT_S). Quoique faisant partie de ce rapport, les résultats des essais avec larves de tête-de-boule ne sont pas considérés dans le calcul de l'indice BEEP.

2.4.7 **Bioessai avec truites arc-en-ciel**

2.4.7.1 *Méthode*

Le bioessai avec truites arc-en-ciel (*Oncorhynchus mykiss*) a été réalisé selon les méthodes d'Environnement Canada (1990a; 1990b). *O. mykiss* est une espèce qui appartient à la famille des Salmonidés, et son aire de distribution couvre tout le pays. La sensibilité des Salmonidés envers les contaminants aquatiques est reconnue. Les essais avec truites servent normalement à mesurer les effets létaux aigus. Toutefois, 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). La truite arc-en-ciel sert d'espèce étalon pour l'application des lois et des règlements (Gouvernement du Québec, 1992; Gouvernement du Canada, 1992).

2.4.7.2 *Traitement des données*

Des lectures de mortalité sont effectuées quotidiennement, et le nombre de poissons morts par concentration testée est comptabilisé à la fin de l'essai. Le choix de la méthode statistique pour évaluer la CL_{50} , qui est rapportée en unités de toxicité létale (UT_L), dépend des données obtenues, par exemple :

- a) la méthode probit est utilisée lorsque plusieurs concentrations produisent des taux de mortalité de moins de 100 %;
- b) la méthode de la moyenne mobile est appliquée lorsqu'une seule concentration produit un taux de mortalité de moins de 100 %;

- c) la méthode binomiale sert lorsque des concentrations voisines produisent des taux de mortalité de 0 % et de 100 %.

La version 3.11 du programme de Stephan est utilisée pour le traitement des données. Les résultats de l'essai avec truites n'ont également pas servi au calcul de l'indice BEEP. Tout comme les essais avec tête-de-boule, ceux avec truites ont été réalisés pour des fins de développement de modèles et de techniques et sont présentés dans ce rapport à titre informatif.

2.5 ASSURANCE ET CONTRÔLE DE LA QUALITÉ

Le souci de générer des résultats de qualité est partagé par tout le personnel du laboratoire régional d'Environnement Canada. De plus, les laboratoires contractuels auxquels des analyses sont confiées doivent faire la preuve qu'ils appliquent un programme d'assurance et de contrôle de la qualité et qu'ils sont accrédités par un organisme officiel (par exemple le MEF, l'ACLAE). La qualité des bioessais est assurée, entre autres, par :

- a) l'application de modes opératoires normalisés qui couvrent tous les aspects de la production des données;
- b) la participation à des essais interlaboratoires;
- c) l'utilisation de produits toxiques de référence et la mise à jour de fiches de contrôle (Environnement Canada, 1990c), voir la section 3.9.

3 Résultats et discussions

Le tableau 4 contient un sommaire des résultats des bioessais. Suivent ensuite, sous forme de tableaux ou de figures, les données spécifiques à chacun des bioessais ainsi qu'une brève discussion. Les dates de début d'analyse sont affichées dans les divers tableaux de données.

3.1 FORMULE ET CALCUL DE L'INDICE BEEP

Afin de permettre la comparaison des valeurs BEEP générées au cours du PASL à celles qui seront produites au cours du plan d'action SLV 2000, seuls les résultats des bioessais réalisés avec *V. fischeri*, *E. coli* PQ37 (génotoxicité uniquement), *S. capricornutum* et *C. dubia* (échantillon non aéré seulement) ont servi au calcul de l'indice BEEP.

L'indice BEEP est déterminé à partir des concentrations-seuils d'effets (CSE) (voir le tableau 4). Lorsqu'une CSE «plus petite» est rapportée (p. ex. < 2), on lui attribue alors la valeur zéro (0). Le calcul de l'indice BEEP s'effectue selon la formule suivante :

$$BEEP = \log_{10} \left[1 + n \left(\frac{\sum_{i=1}^N T_i}{N} \right) Q \right]$$

où

\log_{10} : logarithme à la base 10;

1 : nombre ajouté de manière à ne pas avoir de valeur négative;

n : nombre de bioessais ayant démontré un effet cytotoxique ou génotoxique;

N : nombre total de bioessais utilisés pour calculer l'indice;

$\sum T_i$: somme des CSE des portions non aérées et aérées;

Q : débit en mètres cubes à l'heure (m^3/h).

Tableau 4
Sommaire des résultats des bioessais effectués sur l'échantillon composé
des émissaires B et C de SÉCAL : usine de Shawinigan

Bioessai	Unité de mesure	Paramètre de mesure	Échantillon composé	
			non aéré	aéré
<i>V. fischeri</i>	UT _{SA}	CL ₅₀	< 2	< 2
		CME0	4	< 2
		CSEO	8	2
		CSE	5,7	< 2
<i>E. coli</i> PQ37 (- S9) Génotoxicité	UG _{SC}	CME0	< 2	< 2
		CSEO	2	2
		CSE	< 2	< 2
<i>E. coli</i> PQ37 (+ S9) Génotoxicité	UG _{SC}	CME0	< 2	< 2
		CSEO	2	2
		CSE	< 2	< 2
<i>E. coli</i> PQ37 (- S9) Cytotoxicité *	UT _{SC}	CME0	< 2	< 2
		CSEO	2	2
		CSE	< 2	< 2
<i>E. coli</i> PQ37 (+ S9) Cytotoxicité *	UT _{SC}	CME0	< 2	< 2
		CSEO	2	2
		CSE	< 2	< 2
<i>S. capricornutum</i>	UT _{SC}	CL ₅₀	< 1	< 1
		CME0	< 1	2
		CSEO	1	4
		CSE	< 1	3
<i>C. dubia</i> Survie	UT _L	CL ₅₀	< 1	< 1
		CME0	< 1	< 1
		CSEO	1	1
		CSE	< 1	< 1 *
<i>C. dubia</i> Reproduction	UT _{SC}	CME0	1	31,2
		CSEO	1,8	100
		CSE	1,3	56 *
<i>P. promelas</i> * Survie	UT _L	CL ₅₀	< 1	n.t. **
		CME0	< 1	n.t.
		CSEO	1	n.t.
		CSE	< 1	n.t.
<i>P. promelas</i> * Croissance	UT _{SC}	CME0	< 1	n.t.
		CSEO	1	n.t.
		CSE	< 1	n.t.
<i>O. mykiss</i> *	UT _L	CL ₅₀	< 1	n.t.

* Résultat non intégré dans la formule BEEP.

** Non testé.

L'indice BEEP se compose en fait de deux mesures. Il s'agit de la toximesure et de la toxicharge dont les formules apparaissent ci-après. La première représente l'importance relative de l'étendue de l'intensité toxique et exprime, en unités d'effet, la concentration des substances biodisponibles. La deuxième, qui est le produit de la toximesure par le débit, permet d'évaluer la contribution relative d'un effluent à la toxicité de l'ensemble des industries (Birmingham et Boudreau 1994).

$$\text{Toximesure} = n \left(\frac{\sum_{i=1}^N T_i}{N} \right)$$

$$\text{Toxicharge} = n \left(\frac{\sum_{i=1}^N T_i}{N} \right) Q$$

Lorsque plusieurs émissaires sont échantillonnés, la valeur Q correspond au total des débits mesurés au moment de la caractérisation bioanalytique.

3.1.1 Indice BEEP de l'effluent SÉCAL (Shawinigan)

Les débits des émissaires B et C pour la période du 6 au 7 mars 1995 ont été de 4156 et 800 m³/d, respectivement. Ces mesures ont été prises par la firme Environnement E.S.A. inc. (annexe 1). À partir des débits mesurés et des résultats des bioessais (tableau 4), on obtient une toximesure de 2,9, une toxicharge de 609 et un BEEP de 2,8 lorsque $n : 3$; $N : 10$; $\sum T_i : 9,8$; et $Q : 207$.

3.2 BIOESSAI AVEC BACTÉRIES LUMINESCENTES (*V. FISCHERI*)

Les résultats des essais avec bactéries luminescentes sont affichés au tableau 5. Comme on peut le constater, les portions non aérées et aérées se sont révélées peu toxiques pour *V. fischeri*. Seules les concentrations à 25 % et 50 % v/v de l'échantillon original ont occasionné des baisses de luminescence supérieures au seuil de détection de cet essai.

Tableau 5
Pourcentage d'inhibition de la luminescence chez *V. fischeri* :
échantillon composé des effluents de SÉCAL – usine de Shawinigan

Concentration (% v/v)	Taux d'inhibition (%)	
	Échantillon composé non aéré (analyse du 10-03-95)	Échantillon composé aéré 5 d (analyse du 15-03-95)
50	23,8	4,0
25	10,4	0
12,5	0	0
6,25	0	0
3,13	0	0
1,57	0	0

3.3 BIOESSAI DE GÉNOTOXICITÉ (*E. COLI* PQ37)

Comme en témoignent les résultats présentés aux tableaux 6 et 7, l'effluent de l'usine SÉCAL n'a causé aucune baisse significative de la synthèse de la Pal (cytotoxicité) ni aucune hausse significative de la synthèse de la β -gal (génétoxicité). Une augmentation importante de la biomasse bactérienne a été observée aux concentrations de 12,5 % à 50 % v/v de la portion non aérée de l'échantillon, sans activation métabolique (- S9) (voir le tableau 6), ce qui, avec cet essai, représente un événement plutôt rare. La présence de microéléments ou de macronutriments aurait pu favoriser la division cellulaire chez *E. coli* PQ37.

Quoique les résultats de l'échantillon original n'indiquent aucune activité génotoxique significative (tableau 7), des doutes sont entretenus quant à la présence de molécules susceptibles d'endommager l'ADN chez *E. coli* PQ37. En effet, une analyse reprise quatre jours plus tard a produit un résultat positif (FICV > 1,20) avec une concentration de l'échantillon à 25 % v/v.

Tableau 6
Inhibition de la Pal (cytotoxicité) chez *E. coli* PQ37 et seuil d'effet ponctuel (SEP) :
échantillon composé des effluents de SÉCAL – usine de Shawinigan

Concentration (% v/v)	Facteur de réduction (FR)			
	Échantillon composé non aéré (analyse du 10-03-95)		Échantillon composé aéré 5 d (analyse du 20-03-95)	
	- S9	+ S9	- S9	+ S9
50	2,28	1,10	1,04	1,10
25	1,45	1,06	1,09	1,06
12,5	1,16	1,05	1,07	1,00
6,25	1,07	1,03	1,05	0,99
3,13	1,05	1,02	1,02	0,99
1,57	1,02	1,03	1,04	0,96
0,78	1,01	1,03	1,02	0,95
0,39	1,01	1,01	1,02	0,96
0,20	1,00	1,00	1,00	1,00
<i>Seuil d'effet ponctuel (SEP)</i>	<i>0,94</i>	<i>0,93</i>	<i>0,96</i>	<i>0,90</i>

Tableau 7
Induction de la β -gal (génotoxicité) chez *E. coli* PQ37 et seuil d'effet ponctuel (SEP) :
échantillon composé des effluents de SÉCAL – usine de Shawinigan

Concentration (% v/v)	Facteur d'induction corrigé pour la viabilité (FICV)			
	Échantillon composé non aéré (analyse du 10-03-95)		Échantillon composé aéré 5 d (analyse du 20-03-95)	
	- S9	+ S9	- S9	+ S9
50	1,05	1,15	1,14	1,15
25	1,19	1,05	1,16	1,08
12,5	1,09	1,01	1,06	1,04
6,25	1,11	0,98	1,07	0,97
3,13	1,10	0,96	1,09	1,09
1,57	1,11	1,00	1,17	1,11
0,78	1,05	1,01	1,11	1,04
0,39	1,10	1,00	0,99	1,04
0,20	1,05	0,99	1,20	1,02
<i>Seuil d'effet ponctuel (SEP)</i>	<i>1,13</i>	<i>1,09</i>	<i>1,08</i>	<i>1,25</i>

3.4 BIOESSAI AVEC ALGUES (*S. CAPRICORNUTUM*)

À la lumière des résultats affichés au tableau 8, l'effluent SÉCAL ne semble pas renfermer de substances hautement phytotoxiques. *S. capricornutum* étant habituellement très sensible aux métaux, on peut penser que l'échantillon composé n'en contenait que de faibles quantités. Seule la concentration 50 % v/v de la portion aérée a révélé un taux d'inhibition significatif (20,7 %) de la croissance des algues. Cependant, l'absence de concentration-réponse démontré par ce même échantillon dénote un niveau de toxicité peu préoccupant. Quant à la portion non aérée de l'échantillon, un effet de stimulation de 30 % de la croissance a été observé à la concentration de 100 % v/v. Avec cet essai, ce phénomène est assez fréquent lorsque des mélanges complexes peu ou pas toxiques sont analysés. Dans ce cas-ci, des métaux présents à l'état de traces pourraient être à l'origine de l'accroissement de la division cellulaire chez *S. capricornutum*.

Tableau 8
Pourcentage d'inhibition de la croissance chez *S. capricornutum* :
échantillon composé des effluents de SÉCAL – usine de Shawinigan

Concentration (% v/v)	Taux d'inhibition (%)	
	Échantillon composé non aéré (analyse du 14-03-95)	Échantillon composé aéré 5 d (analyse du 14-03-95)
100	0	15,4
50	3,8	20,7
25	0	0
12,5	0	1,6
6,25	4,7	1,0
3,13	3,1	5,2

3.5 BIOESSAI AVEC MICROCRUSTACÉS (*C. DUBIA*)

Comme le démontrent les résultats du tableau 9, l'effluent SÉCAL n'a pas révélé de toxicité létale pour *C. dubia*. Par contre, des effets sublétaux chroniques se sont manifestés comme en témoignent les plus faibles taux de naissances dans les portions non aérée et aérée de

l'échantillon composé non dilué (100 % v/v). Avec une CMEO de 31,2 UT_{SC}, l'échantillon composé aéré a produit des effets plus marqués sur la reproduction de *C. dubia* que l'échantillon composé original (CMEO de 1 UT_{ST}). Il semble peu probable que cette situation découle du traitement aérobie subi par l'échantillon. La variabilité dans le nombre de naissances chez les témoins (134 vs 168) expliquerait davantage la source de cette différence. Quoi qu'il en soit, l'indice BEEP ne s'en trouve pas affecté puisque le résultat de l'essai sur la portion aérée n'est pas intégré dans le calcul de l'indice.

Tableau 9
Résultats de survie et effet sur la reproduction (nombre de nouveaux-nés) chez
***C. dubia* : échantillon composé des effluents de SÉCAL – usine de Shawinigan**

Concentration (% v/v)	Échantillon composé non aéré (analyse du 10-03-95)		Échantillon composé aéré 5 d (analyse du 16-03-95)	
	Nombre de morts	Nombre de nouveaux-nés	Nombre de morts	Nombre de nouveaux-nés
100	0/10	57	0/10	26
32	0/10	94	0/10	96
10	1/10	103	0/10	107
3,2	0/10	103	0/10	91
1	1/9	89	0/10	121
Témoin	2/10	134	1/10	168

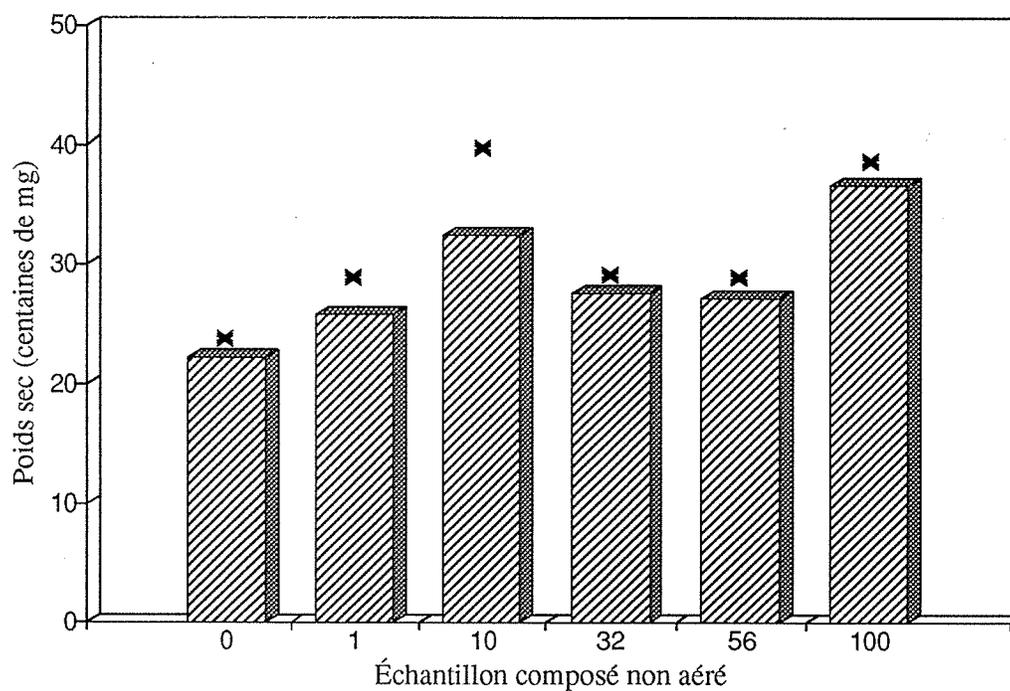
3.6 BIOESSAI AVEC TÊTE-DE-BOULE (*P. PROMELAS*)

Seul l'échantillon composé original (non aéré) a été testé avec *P. promelas*. Après analyse statistique, les résultats du tableau 10 indiquent que l'effluent de SÉCAL n'exerce aucun effet négatif sur la survie et la croissance des larves de tête-de-boule. Encore un fois, un phénomène de stimulation de la croissance a été observé avec cette espèce (figure 2). En effet, selon le test de Mann-Whitney, les larves exposées à l'échantillon composé non dilué (100 % v/v) ont montré un gain de poids significatif ($p < 0,05$) par rapport aux larves témoins. Il est toujours possible que les larves placées dans l'échantillon composé au départ de l'essai aient été

Tableau 10
Résultats de survie et effet sur la croissance (poids secs des larves) chez *P. promelas* :
échantillon composé non aéré des effluents de SÉCAL – usine de Shawinigan

Concentration (% v/v)	Analyse du 10-03-95							
	Nombre de morts				Poids sec des larves mg × 100			
	A	B	C	D	A	B	C	D
100	0/9	1/9	0/11	0/11	32	36	36	42
56	0/9	1/10	1/10	0/10	31	23	28	26
32	0/11	0/9	1/9	0/9	23	30	28	29
10	0/10	0/10	0/11	0/10	30	19	48	*
1	0/11	1/11	1/9	1/11	23	23	22	35
Témoin	2/9	1/7	0/10	1/9	19	25	24	21

* Valeur retirée à la suite d'une erreur de manipulation.



Remarque. - Le témoin avait une concentration de 0 % v/v.

Figure 2 Moyennes et écarts types (x) des poids secs des larves de tête-de-boule après une exposition à l'échantillon composé des effluents de SÉCAL – usine de Shawinigan

plus grosses que celles placées dans le témoin. Cependant, une sélection aléatoire des larves empêche habituellement une telle situation de survenir.

3.7 BIOESSAI AVEC TRUITES ARC-EN-CIEL (*O. MYKISS*)

Comme dans le cas de l'essai avec *P. promelas*, l'échantillon composé des effluents de SÉCAL ne s'est pas révélé toxique pour la truite arc-en-ciel (tableau 11). En outre, les poissons n'ont démontré aucun comportement anormal durant l'essai.

Tableau 11
Résultats de survie chez *O. mykiss* :
échantillon composé non aéré des effluents de SÉCAL – usine de Shawinigan

Concentration (% v/v)	Nombre de morts (analyse du 10-03-95)		
	A	B	C
100	0/5	0/5	0/5
50	0/5	0/5	0/5
25	0/5	0/5	0/5
10	0/5	0/5	0/5
Témoin	0/5	0/5	0/5

3.8 RÉSULTATS DE COT ET pH DE L'ÉCHANTILLON AÉRÉ

Avec une teneur en COT de 4,9 mg/L, l'échantillon composé de SÉCAL montre un faible contenu en matières organiques. L'aération de cinq jours n'a causé qu'une diminution de 0,3 mg/L (6,1 %) de la teneur en COT et qu'une légère augmentation du pH (0,3).

3.9 CONTRÔLE DE LA QUALITÉ

Les résultats des essais effectués avec des produits toxiques de référence sont présentés au tableau 12. Ce dernier indique : a) le produit utilisé; b) la date d'analyse du produit, c'est-à-dire celle qui se rapproche le plus des essais effectués sur les échantillons et le résultat correspondant à cette date d'analyse; c) la date de mise à jour de la fiche de contrôle; d) le

Tableau 12
Résultats d'analyse des produits toxiques de référence
et données statistiques des fiches de contrôle

Bioessai	Variable	Substance	Date (d-m-a)		Paramètre et unité de mesure	Résultat de l'analyse	Données des fiches de contrôle		
			d'analyse de la substance	de mise-à-jour de la fiche			Moyenne (n)	LIC	LSC
<i>V. fischeri</i>	Inhibition de la luminescence	Sulfate de zinc	11-01-95	13-01-95	CL ₅₀ mg/L Zn**	0,72	0,74 (n = 26)	0,47	1,01
<i>E. coli</i> PQ37	Génotoxicité	4NQO (-S9)	20-03-95	05-10-94	SOSIP	68	72 (n = 45)	32	112
		2AA (+S9)	20-03-95	05-10-94	SOSIP	2,3	4,2 (n = 45)	1,2	7,2
<i>S. capricornutum</i>	Inhibition de la croissance	NaCl	14-03-95	13-03-95	CL ₅₀ mg/L	2025	2239 (n = 16)	1740	2740
<i>C. dubia</i>	Survie	NaCl	14-03-95	14-03-95	CME0 mg/L	3,2	2,32 (n = 3)	-0,2	4,8
	Inhibition de la reproduction				CME0 mg/L	0,32	0,63 (n = 3)	0,06	1,2
<i>P. promelas</i>	Survie	NaCl	14-02-95	14-02-95	CL ₅₀ g/L	6,5	2,9 (n = 22)	-0,74	6,6
	Inhibition de la croissance		14-02-95	14-02-95	CL ₅₀ g/L	8,2	4,8 (n = 22)	-0,62	10,1
<i>O. mykiss</i>	Survie	Sulfate de zinc	08-03-95	24-01-94	CL ₅₀ mg/L Zn**	0,56	0,6 (n = 27)	0	1,2

paramètre (par exemple CI_{50}) et l'unité de mesure (par exemple mg/L); et e) les données statistiques de la fiche de contrôle, qui comprennent la moyenne, le nombre (n) de résultats utilisés pour calculer cette moyenne, la limite inférieure (LIC) et la limite supérieure (LSC) de contrôle. La limite inférieure de contrôle correspond à la moyenne moins deux écarts types, alors que la limite supérieure de contrôle représente la moyenne plus deux écarts types (Environnement Canada, 1990c). Comme on pourra le constater, les résultats des tests avec les produits toxiques de référence se situent tous à l'intérieur des limites de contrôle. L'essai avec *C. dubia* a nouvellement été adopté chez Analex inc., d'où un faible nombre de points pour fixer les limites de contrôle. Par conséquent, les limites pour cet essai peuvent être qualifiées de provisoires. Les critères et la fréquence de réalisation des essais avec des produits toxiques de références sont stipulés dans les procédures d'opérations normalisées propres à chaque laboratoire.

4 Conclusions

L'échantillon composé des émissaires B et C de l'usine SÉCAL à Shawinigan s'est révélé dans l'ensemble peu toxique. Seulement l'échantillon composé original (non aéré) a démontré des effets sublétaux aigus pour *V. fischeri* (Microtox™) et sublétaux chroniques pour *C. dubia* (reproduction). Des CSE de 5,7 UT_{SA} et de 1,3 UT_{SC} ont été respectivement obtenues avec ces deux bioessais. Exprimée par l'indice BEEP, la toxicité potentielle de l'échantillon composé n'est que de 2,8. Cette valeur se situe dans la gamme des indices BEEP déterminés au cours du PASL pour sept alumineries (Boudreau *et al.*, 1993). En effet, six des sept indices BEEP déterminés à partir des effluents d'alumineries ont varié de 1,3 à 3,0. Bien qu'aucun seuil BEEP n'ait encore été fixé pour indiquer un niveau de préoccupation moindre, tout porte à croire qu'un indice de 3,0 ou moins traduirait une situation non inquiétante à court terme. En utilisant comme point de comparaison la somme des rejets des 49 industries évaluées lors du PASL, la contribution des effluents de l'usine SÉCAL à la charge toxique totale serait inférieure à 0,001 %.

Références

- Ankley, G.T., G.S. Peterson, J.R. Amato et J.J. Jenson (1990). «Evaluation of sucrose as an alternative to sodium chloride in the Microtox assay: Comparison to fish and cladocerans tests with freshwater effluents». *Environmental Toxicology and Chemistry*, (9) : 1305-1310.
- Bermingham, N. et D. Boudreau (1994). *Synthèse de l'application du barème d'effets écotoxiques potentiels (BEEP) et recommandations d'orientation pour son développement*. Environnement Canada, région du Québec, Conservation de l'environnement, Centre Saint-Laurent. Rapport technique et scientifique, 30 p.
- Blaise, C., R. Legault, N. Bermingham, R. Van Collie 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.
- Boudreau, D., G. Costan, N. Bermingham, et R. Legault (1993). «Évaluation écotoxicologique sommaire des effluents de sept alumineries». Environnement Canada, région du Québec, Conservation de l'environnement, Centre Saint-Laurent. Rapport technique et scientifique, 44 p.
- Costan, G., N. Bermingham, C. Blaise et J.-F. Férard (1993). «Potential ecotoxic effects probe: A novel index to assess and compare the toxic potential of industrial effluents». *Environmental Toxicology and Water Quality*, 8 (2) : 115-140.
- De Robertis, E.P.D. et E.M.F. De Robertis fils (1983). *Biologie cellulaire et moléculaire*. S.A. Maloine, Paris, et Presses de l'Université Laval, Québec, pp. 236-257.
- Devoret, R. (1992). «Les fonctions SOS ou comment les bactéries survivent aux lésions de leur ADN». *Annales de l'Institut Pasteur – Actualités*, Elsevier, Paris, (1) : 11-20.
- Environnement Canada (1992a). *Méthode d'essai biologique : essai de toxicité sur la bactérie Photobacterium phosphoreum*. Rapport SPE 1/RM/24.
- Environnement Canada (1992b). *Méthode d'essai biologique : essai d'inhibition de la croissance de l'algue d'eau douce Selenastrum capricornutum*. Rapport SPE 1/RM/25.
- Environnement Canada (1992c). *Méthode d'essai biologique : essai de reproduction et de survie sur le cladocère Ceriodaphnia dubia*. Rapport SPE1/RM/21.

- Environnement Canada (1992d). *Méthode d'essai biologique : essai de croissance et de survie de la tête-de-boule*. Rapport SPE/RM/22.
- Environnement Canada (1990a). *Méthode d'essai biologique : méthode de référence pour la détermination de la létalité aiguë d'effluents chez la truite arc-en-ciel*. Rapport SPE/RM/13.
- Environnement Canada (1990b). *Méthode d'essai biologique : essai de létalité aiguë sur la truite arc-en-ciel*. Rapport SPE/RM/9.
- Environnement Canada (1990c). *Document d'orientation sur le contrôle de la précision des essais de toxicité au moyen de produits toxiques de référence*. Rapport SPE/RM/12.
- Environnement Canada, région du Québec (1994). *Guide général de caractérisation SLV 2000*. Saint-Laurent Vision 2000, octobre 1994.
- Environnement Canada, région du Québec (1993). *Test de génotoxicité avec la bactérie Escherichia coli PQ37 (SOS Chromotest^{MC}) : protocole pour échantillons aqueux*. Version 1.2.
- EPA (1985). *Short-term Methods for Estimating the Chronic Toxicity of Effluents and Receiving Waters to Freshwater Organisms. Second Edition*. United States Environmental Protection Agency, EPA/600/4-89/001, 249 p.
- 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 (11) : 1669-1682.
- Gouvernement du Canada (1992). *Suivi des effets sur l'environnement aquatique par les fabriques de pâtes et papiers et les installations extérieures de traitement visées par le Règlement sur les effluents des fabriques de pâtes et papiers de la Loi sur les pêches*. Annexe 1, 21 p.
- Gouvernement du Québec (1992). *Règlements sur les fabriques de pâtes et papiers*. Q-2, r.12 et Q-2, r.12.1. ISBN2-551-15446-4.
- Gulley, D.D., A.M. Boelter et H.L. Bergman (1991). *TOXSTAT Release 3.3*. Laramie Wy, University of Wyoming, 20 p.
- Kaiser, L.E. et V.S. Palabrica (1991). «*Photobacterium phosphoreum* toxicity data index». *Water Pollution Research Journal of Canada*, 26 (3) : 361-431.
- Mazidji, C. N., B. Koopman, G. Bitton et G. Voiland (1990). «Use of the Microtox and *Ceriodaphnia* bioassays in wastewaters fractionation». *Toxicity Assessment*, 5 : 265-277.

- Quillardet, P. et M. Hofnung (1985). «The SOS Chromotest, a bacterial assay for genotoxins: Procedures». *Mutation Research*, 147 : 65-78.
- Stephan, C. E. (1977). «Methods for calculating an LC50», dans F. L. Mayer et J. L. Hamelink (éd.), *Aquatic Toxicology and Hazard Evaluation*. American Society for Testing and Materials, PA, pp. 65-84.
- 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.
- Walker, G.C. (1987). «The SOS Response of *Escherichia coli*», dans F.C. Neidhart, J.L. Ingraham, B. Magasanik, K.B. Low, M. Schaechter et H.E. Umbarger (éd.), *Escherichia coli and Salmonella thyphimurium, Cellular and Molecular Biology*. American Society for Microbiology, Washington DC, volume 2, pp. 1346-1357.
- 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.
- Zar, J.H. (1984). *Biostatistical Analysis. Second Edition*. Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs NJ, ISBN 0-13-077925-3, 718 p.

Annexe

**Mesures des débits des émissaires B et C de SÉCAL
– usine de Shawinigan**



RÉSUMÉ DES MESURES DE DÉBITS

PROJET : Caractérisation industrielle	PÉRIODE DES MESURES : Dimanche 5 mars au mercredi 8 mars 1995
LOCALITÉ : Shawinigan	JAUGE : Canal Palmer Bowlus 381 mm
CLIENT : Société d'électrolyse et de chimie Alcan ltée	DÉBIT MAXIMAL DE CALIBRATION : 8887,7 m ³ /d à 298 mm
STATION : Point n° 1 – Émissaire «B»	

VARIABLES	DATES DES MESURES DE DÉBITS		
	5 au 6 mars 1995	6 au 7 mars 1995	7 au 8 mars 1995
Volume total (m ³)	4699,9	4156,1	4790,9
Débit maximal (m ³ /d)	8377,3	8379,1	8495,5
Max./moy.	1,78	2,02	1,77
Débit moyen (m ³ /d)	4699,9	4156,1	4790,9
Débit minimal (m ³ /d)	100,5	423,1	608,7
Min./moy.	0,02	0,10	0,13
Volume d'eau de 13 h à 16 h (m ³)	652,7	64,8	246,1
Volume d'eau de 16 h à 24 h (m ³)	1541,8	1482,7	1846,5
Volume d'eau de 0 h à 8 h (m ³)	1317,5	1856,8	1753,8
Volume d'eau de 8 h à 13 h (m ³)	1187,9	751,8	944,4
Volume total	13 647,0 m ³ sur 72,0 h		
Débit moyen	4549,0 m ³ /d		

Source : Environnement E.S.A. inc.

RÉSUMÉ DES MESURES DE DÉBITS

PROJET : Caractérisation industrielle	PÉRIODE DES MESURES : Dimanche 5 mars au mercredi 8 mars 1995
LOCALITÉ : Shawinigan	JAUGE : Canal Parshall de 152,4 mm
CLIENT : Société d'électrolyse et de chimie Alcan ltée	DÉBIT MAXIMAL DE CALIBRATION : 9327,4 m ³ /d à 450 mm
STATION : Point n° 2 – Émissaire «C»	

VARIABLES	DATES DES MESURES DE DÉBITS		
	5 au 6 mars 1995	6 au 7 mars 1995	7 au 8 mars 1995
Volume total (m ³)	796,7	799,8	1545,9
Débit maximal (m ³ /d)	857,2	865,0	4271,4
Max./moy.	1,08	1,08	2,76
Débit moyen (m ³ /d)	796,7	799,8	1545,9
Débit minimal (m ³ /d)	623,2	627,9	637,2
Min./moy.	0,78	0,79	0,41
Volume d'eau de 13 h à 16 h (m ³)	100,0	101,9	98,1
Volume d'eau de 16 h à 24 h (m ³)	258,2	268,5	310,2
Volume d'eau de 0 h à 8 h (m ³)	275,3	273,2	476,3
Volume d'eau de 8 h à 13 h (m ³)	163,1	156,1	661,3
Volume total	3142,4 m ³ sur 72,0 h		
Débit moyen	1047,5 m ³ /d		

Source : Environnement E.S.A. inc.



