

# ÉTUDE DE LA TOXICITÉ D'EFFLUENTS MINIERS À FORTES SALINITÉS

Présentée par:

Yves Thomassin, ing. f., M.Sc.A.

Directeur de projets miniers

[yves.thomassin@roche.ca](mailto:yves.thomassin@roche.ca)

# ÉTUDES DE LA TOXICITÉ D'EFFLUENTS MINIERS À FORTES SALINITÉS

- Site minier localisé au Québec
- Cas particulier par rapport à l'ensemble des sites miniers (métaux, azote ammoniacal, réactifs)
- Réponse aux interrogations des autorités
- Deux effluents distincts pour MDDEP
- Un effluent combiné pour Environnement Canada

# DÉMARCHE GÉNÉRALE – ÉTUDE DE PHASE #1 (2000)

1. Étude des données antérieures
2. Détermination des paramètres potentiellement responsables
3. Réalisation d'une caractérisation extensive (physico-chimique et toxicologique)
4. Utilisation d'un échantillon reconstitué
5. Utilisation d'un modèle théorique
6. Détermination d'un ratio exhaure/parc non toxique

# CARACTÉRISTIQUES DE L'EFFLUENT DES EAUX D'EXHAURE

1. Teneurs en métaux très faibles
2. Teneurs en azote ammoniacal significative
3. Teneurs en ions majeurs (Cl, Mg, Ca, Na) élevés et donc dureté élevée
4. Aucune toxicité pour la truite arc-en-ciel (avant 2000)
5. Toxicité répétée pour *Daphnia magna*

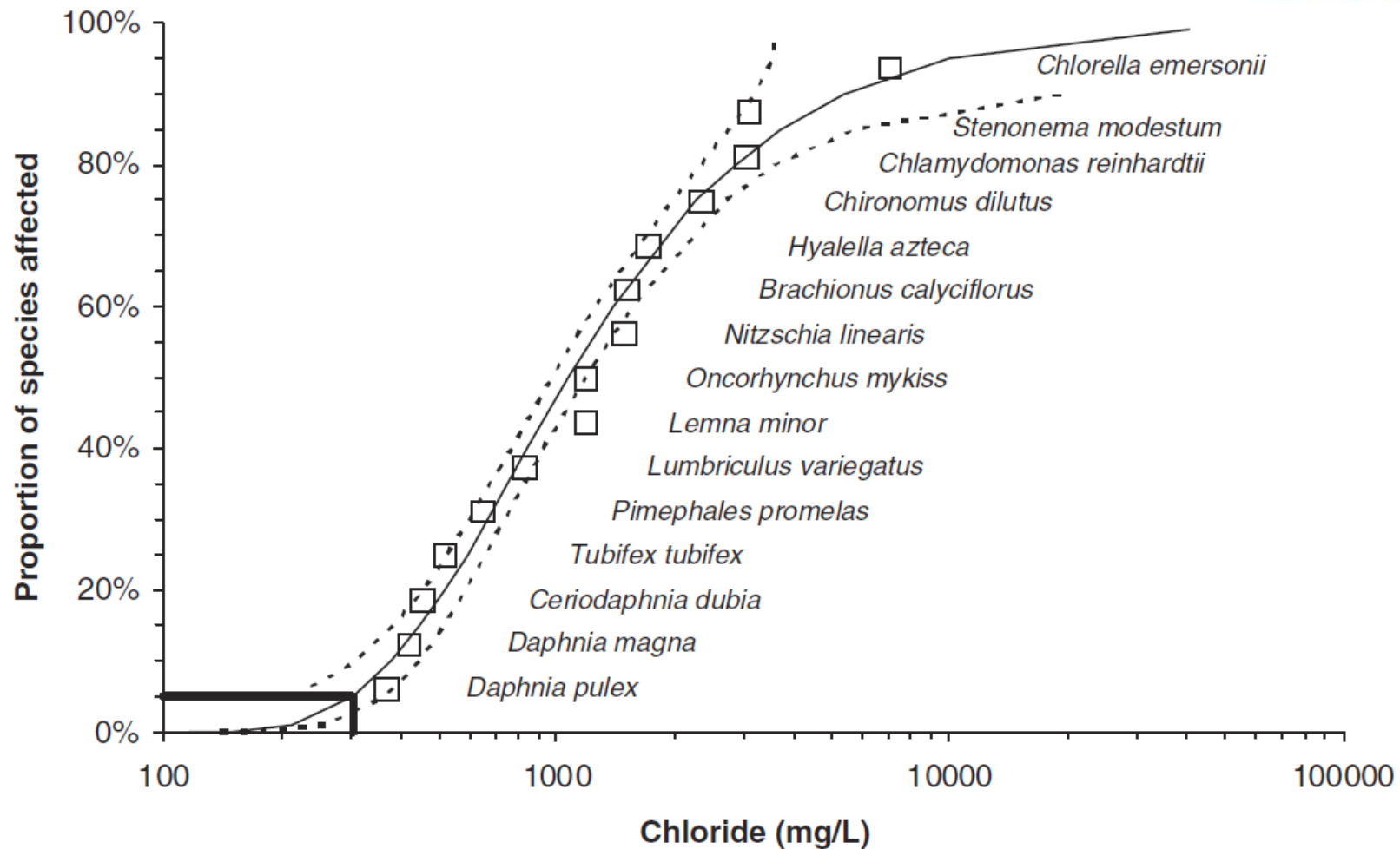
# CARACTÉRISTIQUES DE L'EFFLUENT DES EAUX D'EXHAURE – AZOTE AMMONIACAL

Concentrations (mg/L)	pH	Criteria de toxicite aigue (10°C)
2,9	7,5	12,7
2,4	7,7	11,2
3,1	7,9	8,25
2,4	7,7	11,2
5,2	7,7	11,2

# CARACTÉRISTIQUES DE L'EFFLUENT DES EAUX D'EXHAURE

<b>Chlorure (mg/l)</b>	<b>Conductivite <math>\mu</math>mhos/cm</b>	<b>Durete (mg/l)</b>	<b>LC50-48 hres <i>Daphnia magna</i> (%)</b>	<b>Unite toxique</b>
-	24 100	3 086	35,7	2,8
10 880	15 580	3 868	40,6	2,46
11 000	28 600	4 013	44,2	2,3
11 343	33 500	4 159	35,4	2,8
9 739	24 900	3 123	70,7	1,4

# TOXICITÉ DES CHLORURES (ELPHICK, 2011)



# TOXICITÉ DES CHLORURES (ELPHICK, 2011)

---

Genus	Acute test LC50 (mg/L Cl)	Chronic test IC25 (mg/L Cl)
<i>Ceriodaphnia</i>	1,068 (603–1,533) <sup>b</sup>	454 (251–819) <sup>b</sup>
<i>Daphnia</i>	3,630 (3,172–4,154)	421 (262–825)
<i>Oncorhynchus</i>	6,030 (5,916–6,145)	1,174 (733–1,344)
<i>Pimephales</i>	4,079 (3,644–4,565)	704 (486–973)
<i>Lumbriculus</i>	3,100 (2,759–3,483)	825 (549–1,256)
<i>Tubifex</i>	5,648 (5,219–6,111)	606 (391–632)
<i>Chironomus</i>	5,867 (5,452–6,313)	2,590 (2,118–2,590)
<i>Hyaella</i>	1,382 (1,276–1,496)	1,186 (693–1,516) <sup>c</sup>
<i>Brachionus</i>	1,645 (1,588–1,703)	1,505 (540–1,670)
Geometric mean acute-to-chronic ratio		

---

# TOXICITÉ THÉORIQUE DES CHLORURES POUR DAPHNIA MAGNA

Teneur en Cl (mg/l)	CL50- 48 hre (%)	Concentration toxique en Cl (mg/l)	Reference
-	-	2 050	Dowden, 1961
-	-	3 560	Dowden et Bennett, 1965
-	-	3 040	Hoke <u>et al.</u> , 1992
-	-	2 890	Mount <u>et al.</u> , 1997
10 880	40,6	4 417	-
11 000	44,2	4 862	-
11 343	35,4	4 015	-
9 739	70,7	6 885	-

# CARACTÉRISTIQUES DE L'EFFLUENT DU PARC À RÉSIDUS

<b>Chlorures (mg/l)</b>	<b>Conduct. <math>\mu</math>mhos/cm</b>	<b>Durete (mg/l)</b>	<b>LC50-48 hre (%) <i>Daphnia magna</i></b>	<b>U.T. <i>Daphnia magna</i></b>	<b>U.T. Truite arc- en-ciel</b>
926	-	1 448	-	-	< 1
-	3 360	1 101	n.c.	< 1	< 1
1 015	2 840	1 093	n.c.	< 1	< 1
1 100	3 670	1 180	n.c.	< 1	< 1
1 254	4 070	1 358	n.c.	< 1	< 1

# CARACTÉRISTIQUES DES ÉCHANTILLONS UTILISÉS POUR L'ÉTUDE

Type d'effluent	Conduct (µmhos/cm)	Durete (mg/l CaCO <sub>3</sub> )	Chlorures (mg/l)	Sulfates (mg/l)	Na (mg/l)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	K (mg/l)
Exhaure	30 400	5 994	10 280	443	5 500	1 200	320	140
Parc	3 830	-	749	340	310	360	150	34

# TOXICITÉ DES ÉCHANTILLONS ET TOXICITÉ THÉORIQUE

Teneur en chlorures dans l'effluent (mg/l)	CL50- 48 hre (%)	Concentration toxique en Cl (mg/l)	Reference
		2 050	Dowden, 1961
		3 560	Dowden et Bennett, 1965
		3 040	Hoke <u>et al.</u> , 1992
		2 890	Mount <u>et al.</u> , 1997
10 280	37,3	3 834	-
	36,7	3 773	-
	39,5	4 061	-
	37,8	3 886	-

# CONCLUSIONS CONCERNANT L'ÉCHANTILLON D'EAUX D'EXHAURE

- Teneur toxique en chlorures rapportée dans la littérature est d'environ 3 000 à 3 500 mg/l .
- Les bioessais réalisés indiquent une teneur toxique à environ 3 900 mg/l.
- Une eau est moins toxique si on y retrouve plus d'un cation en quantité importante (Gas Research Institute, 1994).
- Eaux d'exhaure montrent des teneurs importantes en Na et en Ca. La littérature porte sur NaCl.

# COMPARAISON AVEC LE MODÈLE PRÉDICTIF GRI

- Le Gas Research Institute (1994): modèle de prédiction de la toxicité des ions communs à partir des données de la littérature. Prend en compte les teneurs de plusieurs cations en quantité importante.
- Si toxicité mesurée est plus grande que celle prédite => un autre composé contribue à la toxicité.
- Si toxicité mesurée est moindre ou égale à la toxicité prédite => toxicité est entièrement attribuable à un ion commun montrant une forte teneur.

# COMPARAISON AVEC LE MODÈLE PRÉDICTIF GRI

- Les quatre bioessais ont montré une concentration létale moyenne de 37,8 % (2,6 U.T.).
- La concentration létale prédite par le modèle GRI à partir des teneurs mesurées en Cl, SO<sub>4</sub>, Ca, Mg, Na et K est de 34 % (2,9 U.T.).
- Concentration létale mesurée étant légèrement plus grande que la concentration létale théorique => seuls les ions communs contribuent à la toxicité mesurée.

# UTILISATION D'UN ÉCHANTILLON RECONSTITUÉ

- Échantillon reconstitué (« mock sample ») créé par ajout de divers sels ( $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{NaCl}$ ,  $\text{NaHCO}_3$  et  $\text{MgSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) à de l'eau pure. Un bioessai avec *Daphnia magna* a été réalisé sur cet échantillon reconstitué.
- Si la toxicité observée sur l'échantillon reconstitué est similaire à la toxicité mesurée sur l'échantillon « réel » => toxicité est attribuable à un ion commun montrant une teneur particulièrement élevée.

# UTILISATION D'UN ÉCHANTILLON RECONSTITUÉ

- L'échantillon reconstitué no. 1 : pH = 7,4, conductivité = 31 000  $\mu\text{mhos/cm}$ , dureté = 5 900 mg/l, Cl = 9 900 mg/L, Ca = 1 200 mg/l, Na = 5 600 mg/l. Les deux bioessais ont montré des CL50 de 32,0 et 34,4 % (soit 3,1 et 2,9 U.T.).
- L'échantillon reconstitué no. 2: pH = 7,6, conductivité = 33 000  $\mu\text{mhos/cm}$ , dureté = 6 300 mg/l, Cl = 11 000 mg/L, Ca= 1 200 mg/l, Na = 5 100 mg/l. Les deux bioessais ont montré des CL 50–48 hres de 30,4 et 32,6 % (soit 3,3 et 3,1 U.T.).
- La toxicité observée sur les échantillons reconstitués (moyenne de 3,1 U.T.) est similaire à la toxicité théorique prédit par le modèle GRI pour des teneurs similaires en chlorures (2,9 U.T. pour une teneur en chlorures de 10 280 mg/l).

# DÉTERMINATION D'UN RATIO VOLUMÉTRIQUE EXHAURE/PARC NON TOXIQUE

- Bioessais réalisés avec le protocole d'Environnement Canada (SPE1/RM/14) et avec le protocole du ministère de l'Environnement du Québec (MENVIQ.92/800-D.mag.1.1).
- Un échantillon d'eau du parc a été utilisé comme eau de dilution.
- Un mélange constitué de 31 % d'eaux d'exhaure et de 69 % d'eaux du parc ne devraient pas montré de toxicité

# DÉTERMINATION D'UN RATIO VOLUMÉTRIQUE EXHAURE/PARC NON TOXIQUE

<b>Bioessai</b>	<b>CL50- 48 hres (%)</b>	<b>Unite toxique</b>
Protocole Env. Can. – Replicat 1	30,9	3,2
Protocole Env. Can. – Replicat 2	31,1	3,2
Protocole MENV – Replicat 1	31,4	3,2
Protocole MENV – Replicat 2	31,8	3,2
Moyenne	31,3	3,2

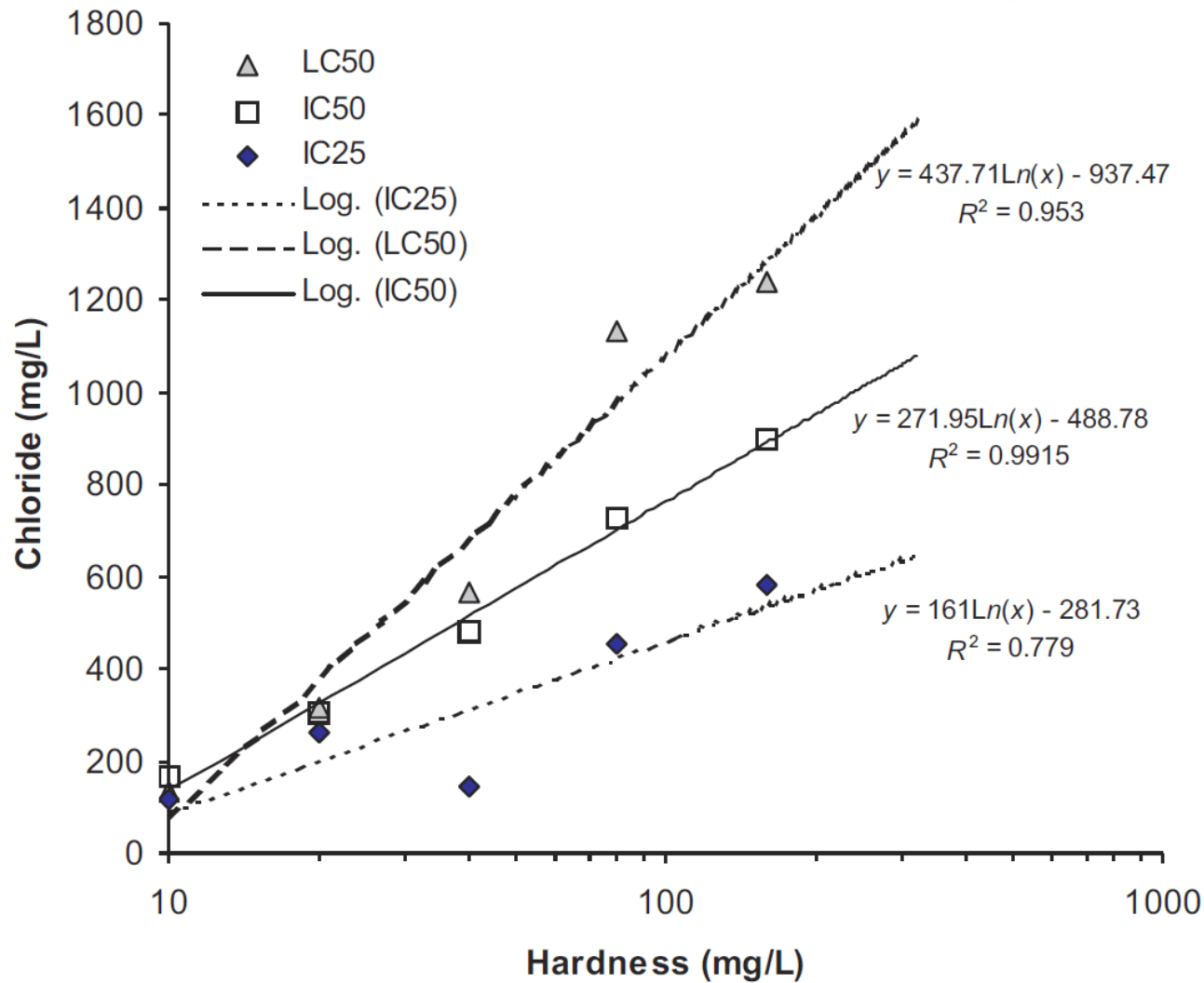
# ÉTUDES DE LA TOXICITÉ OCCASIONNELLE DE L'EFFLUENT DES EAUX D'EXHAURE POUR LA TRUITE ARC-EN-CIEL - ÉTUDE DE PHASE #2 (2004)

- Une toxicité pour la truite arc-en ciel est observé de manière occasionnelle
- LC50 de 6 700 mg/l pour une dureté de 50 mg/l (Spehar, 1987)
- Analyse exhaustive des données: les deux échantillons présentant la plus forte mortalité montrent les ratios dureté mesuré/sodium les plus faibles (0,67 et 0,63)

# ÉTUDES DE LA TOXICITÉ OCCASIONNELLE DE L'EFFLUENT DES EAUX D'EXHAURE POUR LA TRUITE ARC-EN-CIEL

- Selon Davis et Simco (1978), les fortes teneurs en calcium augmentent la tolérance à la salinité de certaines espèces de poissons d'eau douce.
- Hypothèse: la toxicité de l'effluent est moindre lorsque l'importance relative du sodium diminue par rapport à l'importance relative du calcium et du magnésium, c'est-à-dire lorsque le ratio dureté/Na est plus grand.

# RELATION TOXICITÉ DES CHLORURES VS DURETÉ (ELPHICK, 2011)



# ÉTUDES DE LA TOXICITÉ OCCASIONNELLE DE L'EFFLUENT DES EAUX D'EXHAURE POUR LA TRUITE ARC-EN-CIEL

- Échantillon original: Cl = 11 700 mg/L, Na = 6 500 mg/l Ca = 1 208 mg/l, Mg= 340 mg/l. Ratio dureté (calcique)/Na = 0,68. Le ratio dureté mesurée/Na = 0,75.
- Les ajouts de sels (NaCl, CaCl<sub>2</sub>, et MgCl<sub>2</sub>) ont permis d'obtenir des ratios (dureté mesurée/Na) variant de 0,56 à 0,94. Le protocole visait également à étudier l'effet du ratio Ca/Mg.
- Bioessais réalisés au laboratoire A et au laboratoire de contrôle B.

# ÉTUDES DE LA TOXICITÉ OCCASIONNELLE DE L'EFFLUENT DES EAUX D'EXHAURE POUR LA TRUITE ARC-EN-CIEL

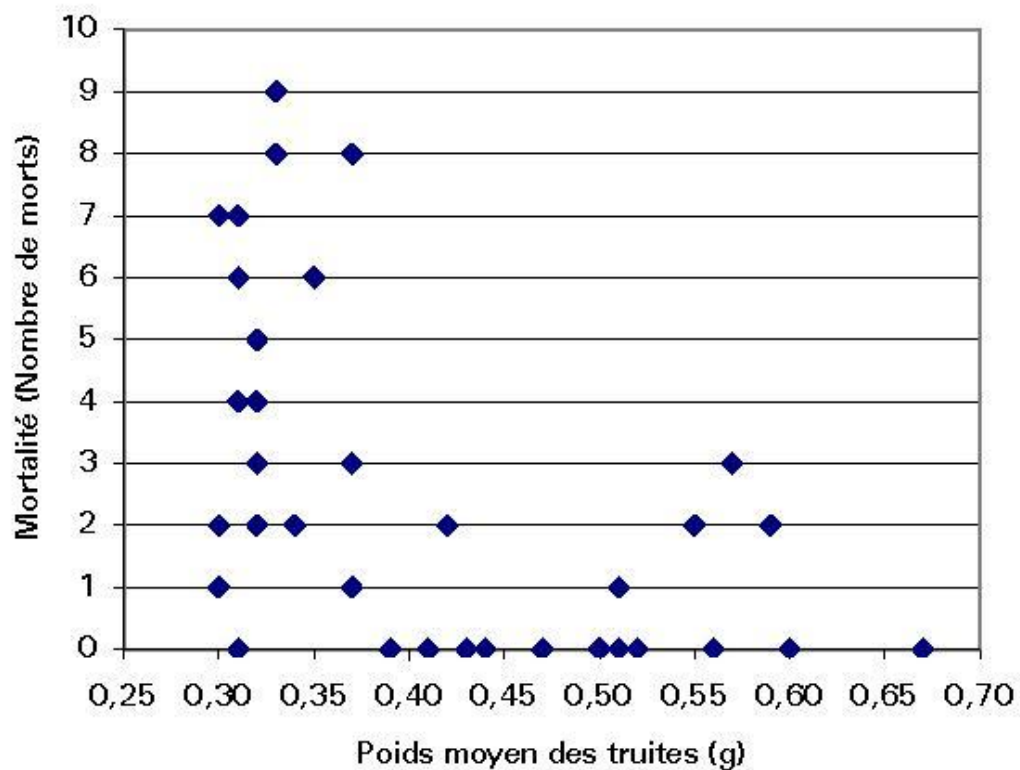
- Tous les bioessais réalisés au laboratoire A ont montré des taux de mortalité supérieurs à 50 % .
- Les bioessais réalisés au laboratoire de contrôle sur les échantillons modifiés #1 et #8 ont montré moins de toxicité. Les deux bioessais réalisés avec l'échantillon modifié #1 qui devait être le plus toxique (dureté mesurée/Na = 0,48) ont montré 3 et 5 mortalités par rapport à 10 mortalités pour ceux du laboratoire A.
- Pour l'échantillon modifié #8 qui devait être non toxique (dureté mesurée/Na = 0,84), les deux bioessais réalisés au laboratoire de contrôle ont montré 3 et 4 mortalités, comparativement à 6 mortalités pour ceux effectués au laboratoire A.

# ÉTUDES DE LA TOXICITÉ OCCASIONNELLE DE L'EFFLUENT DES EAUX D'EXHAURE POUR LA TRUITE ARC-EN-CIEL

- Les résultats obtenus ne valident pas l'hypothèse: tous les échantillons mis à part les échantillons modifiés #1 et #2 (ratios dureté mesurée/Na de 0,56 et 0,70, respectivement) n'auraient pas dû être toxiques pour la truite arc-en-ciel.
- Le poids moyen des truites utilisées pour les bioessais au laboratoire A (0,36 g) est inférieur au poids moyen des truites utilisées au laboratoire de contrôle (0,48g).
- Le procédure SPE 1/RM/13 stipule que le poids frais moyen des poissons soit être compris entre 0,3 et 2,5 g.

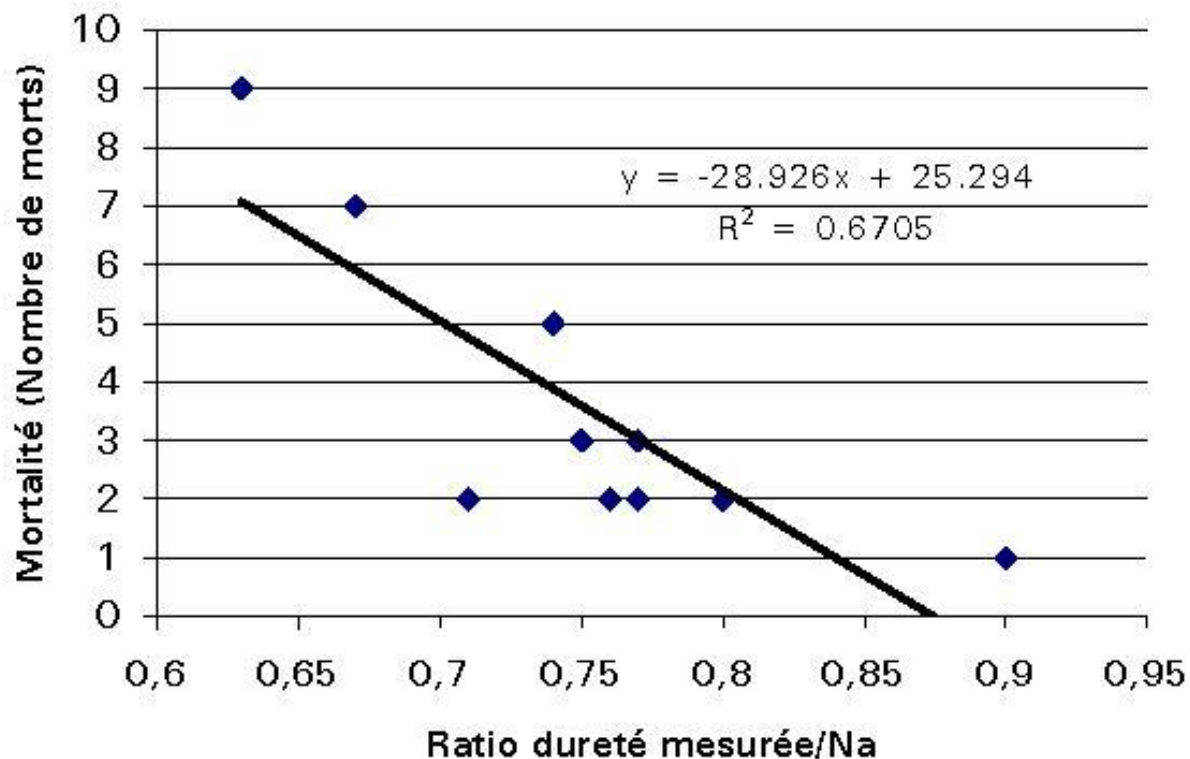
# RELATION ENTRE LE POIDS MOYEN DES TRUITES ET LA MORTALITÉ (1993-2003)

Figure 4.1 Relation entre le poids moyen des truites et la mortalité



# RELATION ENTRE LA MORTALITÉ ET LE RATIO DURETÉ MESURÉE/NA POUR LES PETITES TRUITES

Figure 2: Relation entre la mortalité et le ratio dureté mesurée/Na



## CONCLUSIONS

- Les petites truites sont moins résistantes aux chlorures que les grosses truites;
- Les grosses truites ( $> 0,45$  g) peuvent survivre à des teneurs très élevées en chlorures. La mortalité a été moindre que 50 % pour des concentrations de plus de 15 200 mg/L;
- Pour les concentrations en chlorures inférieures à 15 000 mg/L, les petites truites sont plus sensibles aux chlorures lorsque le ratio dureté/Na est faible.

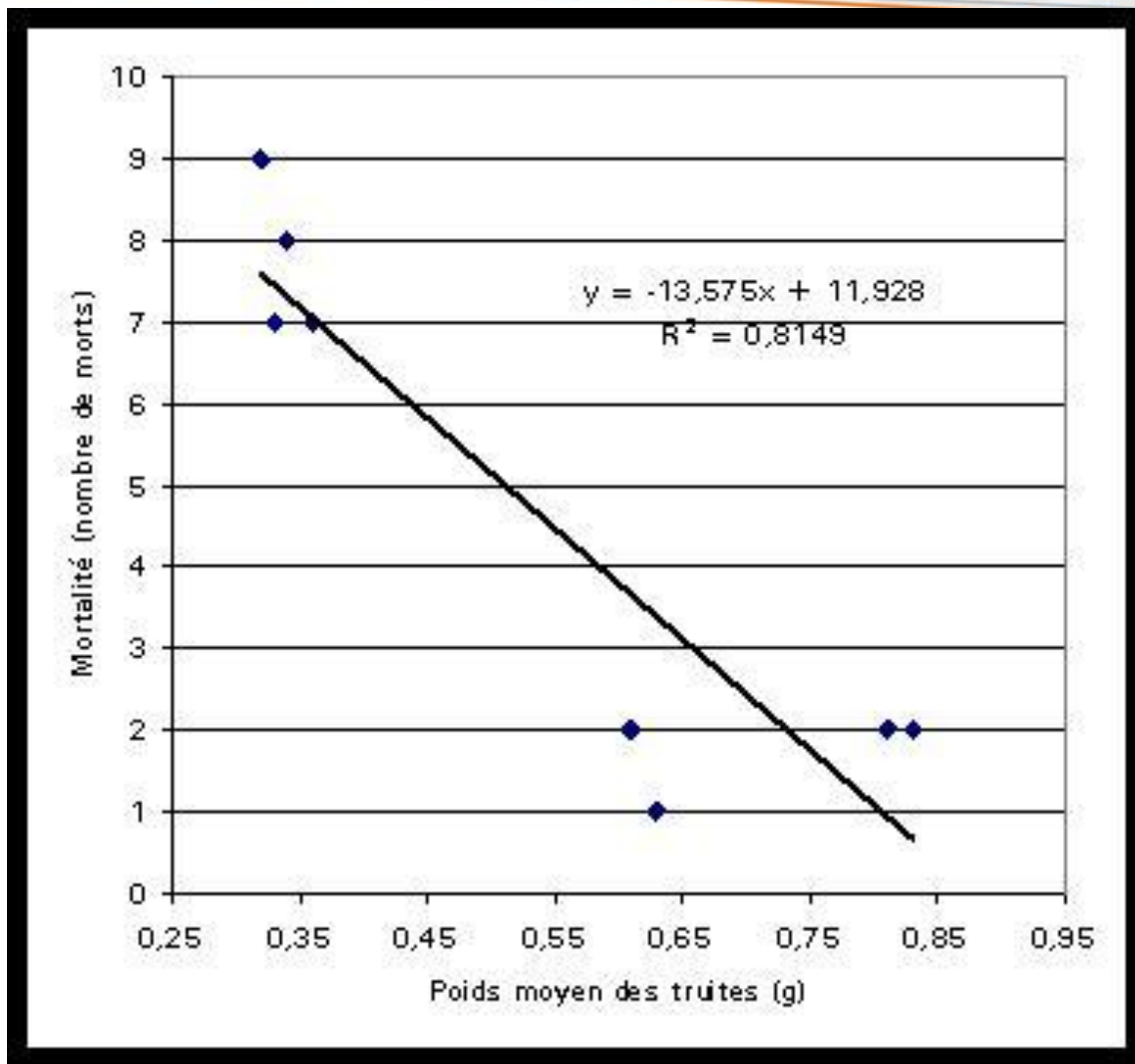
# ÉTUDES DE LA SENSIBILITÉ AUX CHLORURES EN FONCTION DU POIDS DES TRUITES – PHASE #3 (2004)

- Poids des truites selon protocole expérimental: 0,30g, 0,50g, 0,75g et 1,0g.
- Échantillon original: **Cl = 13 500 mg/L**, Na = 6 000 mg/l, Ca = 1 200 mg/l, Mg= 295 mg/l. Ratio dureté (calcique)/Na = 0,70.
- Échantillon Modifié #1: **Cl = 15 600 mg/L**, Na = 6900 mg/l, Ca = 1 350 mg/l, Mg= 340 mg/l. Ratio dureté (calcique)/Na = 0,70.
- Échantillon Modifié #2: **Cl = 17 300 mg/L**, Na = 7950 mg/l, Ca = 1 550 mg/l, Mg= 400 mg/l. Ratio dureté (calcique)/Na =0,70.

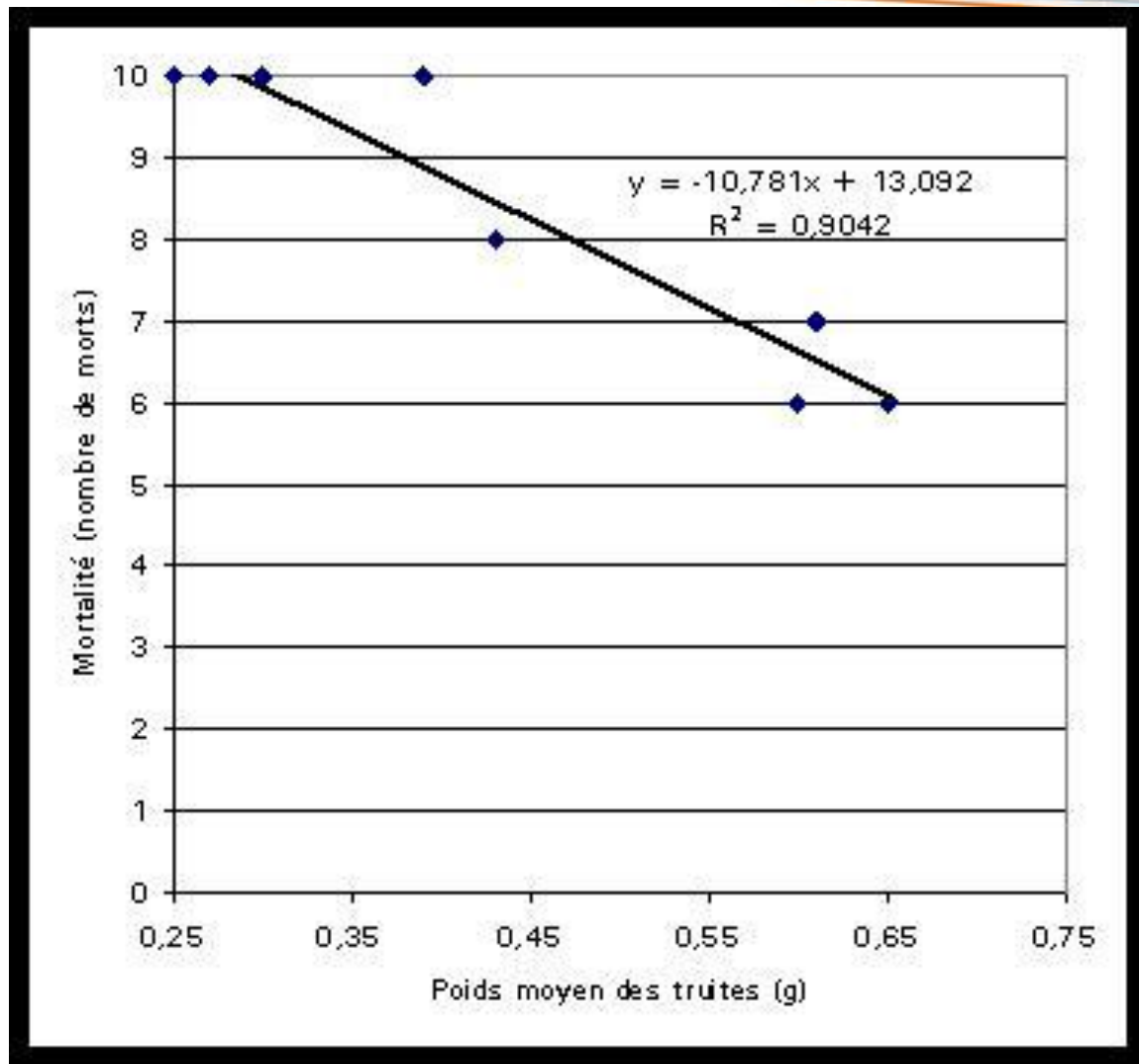
# RELATION ENTRE LE POIDS MOYEN DES TRUITES ET LA MORTALITÉ POUR UNE TENEUR EN CL DE 13 500 MG/L

Labo A								Labo B (controle)	
Original A-1 (0,3 g)	Original A-2 (0,3 g)	Original B-1 (0,5 g)	Original B-2 (0,5 g)	Original C-1 (0,75 g)	Original C-2 (0,75 g)	Original D-1 (1,0 g)	Original D-2 (1,0 g)	Original B-1 (0,5 g)	Original B-2 (0,5 g)
Poids des truites (g)									
0,35	0,23*	0,28*	0,46	0,82	0,56	0,62	0,37	0,40	0,34
0,38	0,26*	0,41	0,41	0,69	0,72	0,77	0,74	0,43	0,30
0,39	0,29*	0,46	0,46	0,73	0,64	0,73	0,78	0,34	0,41
0,25	0,34	0,38	0,38	0,63	0,44	0,52	1,00	0,48	0,37
0,39	0,33	0,45	0,40	0,74	0,57	0,80	0,70	0,31	0,38
0,35	0,34	0,44	0,44	0,76	0,79	0,54	0,73	0,35	0,43
0,32	0,29*	0,40	0,44	0,53	0,55	0,57	1,10	0,33	0,30
0,27*	0,30	0,43	0,39	0,76	0,60	0,69	0,76	0,30	0,31
0,28*	0,35	0,42	0,44	0,65	0,64	0,93	0,82	0,30	0,33
0,34	0,30	0,40	0,42	0,63	0,79	0,69	0,79	0,32	0,36

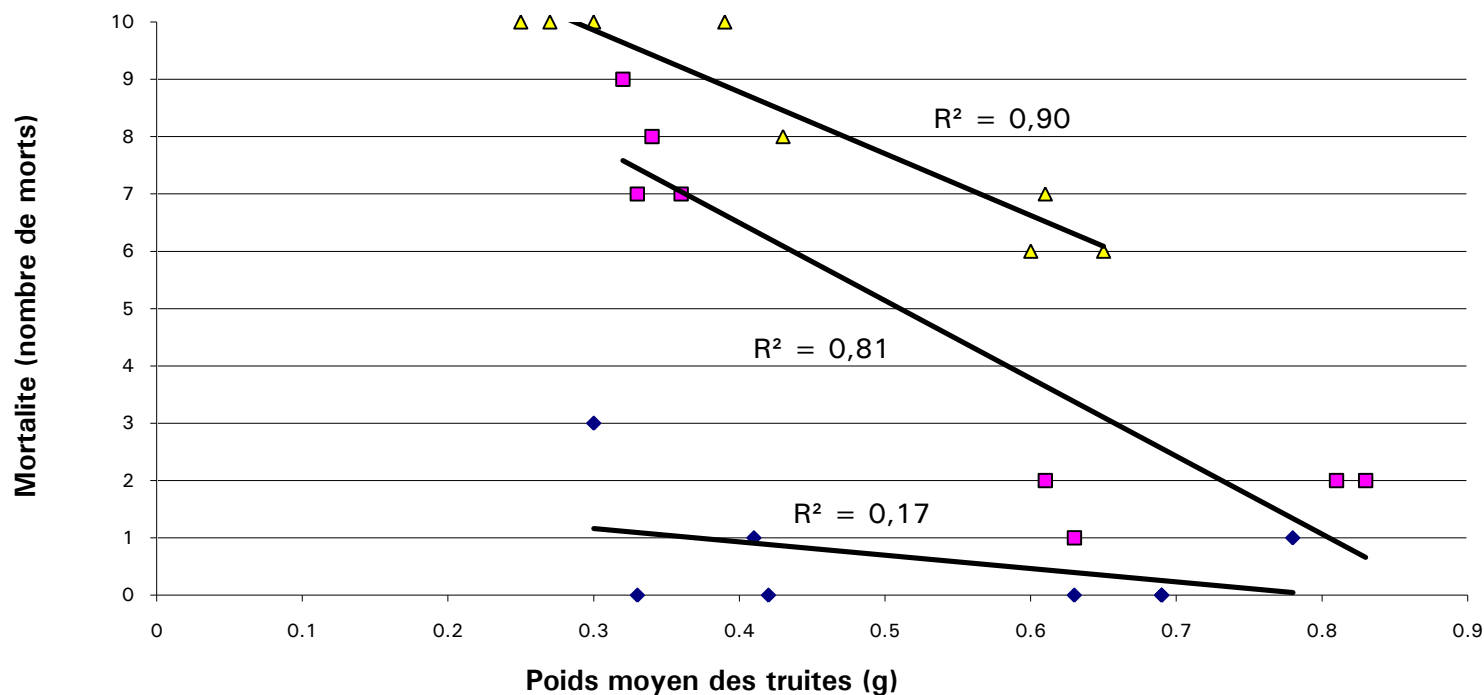
# RELATION ENTRE LE POIDS MOYEN DES TRUITES ET LA MORTALITÉ POUR UNE TENEUR EN CL DE 15 600 MG/L



# RELATION ENTRE LE POIDS MOYEN DES TRUITES ET LA MORTALITÉ POUR UNE TENEUR EN CL DE 17 300 MG/L



# RELATION ENTRE LE POIDS MOYEN DES TRUITES ET LA MORTALITÉ



## CONCLUSIONS

- Les petites truites sont moins résistantes aux chlorures que les grosses truites;
- Pour les concentration en chlorures supérieures à 16 000 - 17 000 mg/L, il faut s'assurer que des truites de bonne masse sont utilisées.
- Le procédure SPE 1/RM/13 stipule que le poids frais moyen des poissons soit être compris entre 0,3 et 2,5 g.

# Merci

---