

Université du Québec  
INRS-Eau

T 229

**LES LARVES DE L'INSECTE *CHAOBORUS* COMME INDICATEUR DU  
NIVEAU DE CONTAMINATION EN CADMIUM DES LACS:  
AMÉLIORATION D'UN MODÈLE DE PRÉDICTION**

Par  
Marie-Noële Croteau  
(B.Sc. Biologie)

Mémoire présenté  
pour l'obtention  
du grade de Maître ès sciences (M.Sc.)

Jury d'évaluation

Examineur externe

Norman Yan  
Ministère Ontarien de l'En-  
vironnement et de l'Énergie

Examineur interne

Peter G. Campbell  
INRS-Eau

Directeur de recherche

Landis Hare  
INRS-Eau

Décembre 1997

«THE MURDERED HITCHHIKER-On 19 August 1971, the badly decayed corpse of a young woman was discovered at Inkoo, south Finland, an area subject to mercury pollution. Final instar blowfly larvae collected from the cadaver were allowed to pupate and the concentrations of mercury were determined in the adults which emerged. The flies contained less than  $0.15 \mu\text{g g}^{-1}$  (fresh weight) of mercury which indicated that the insects had developed in uncontaminated biological material... It was concluded that the murdered girl had not lived in the mercury-polluted area. Later when the corpse was identified, it was discovered that she had lived as a student in the city of Turku, an area not subject to mercury pollution. This provided the first indication that analysis of this kind may find application in forensic practice...»

Hopkins, 1989

## AVANT-PROPOS

Ce mémoire de type «par article» comporte d'abord une synthèse qui fait principalement état de la problématique et de la pertinence de mon sujet de recherche. L'article soumis à la revue *Environmental Science and Technology* constitue le huitième chapitre de ce mémoire.

La contribution des auteurs de l'article au projet de recherche s'établit comme suit:

- |                       |  |
|-----------------------|--|
| Marie-Noëlle Croteau: | <ul style="list-style-type: none"><li>- Réalisation du projet:<ul style="list-style-type: none"><li>- Échantillonnage</li><li>- Analyses chimiques</li><li>- Taxonomie</li><li>- Traitement des données</li></ul></li><li>- Rédaction de la synthèse</li><li>- Rédaction initiale de l'article</li></ul> |
| Landis Hare:          | <ul style="list-style-type: none"><li>- Conception du projet</li><li>- Rédaction finale de l'article</li></ul>   |
| André Tessier:        | <ul style="list-style-type: none"><li>- Conception du projet</li><li>- Rédaction de l'article</li></ul>  |



## REMERCIEMENTS

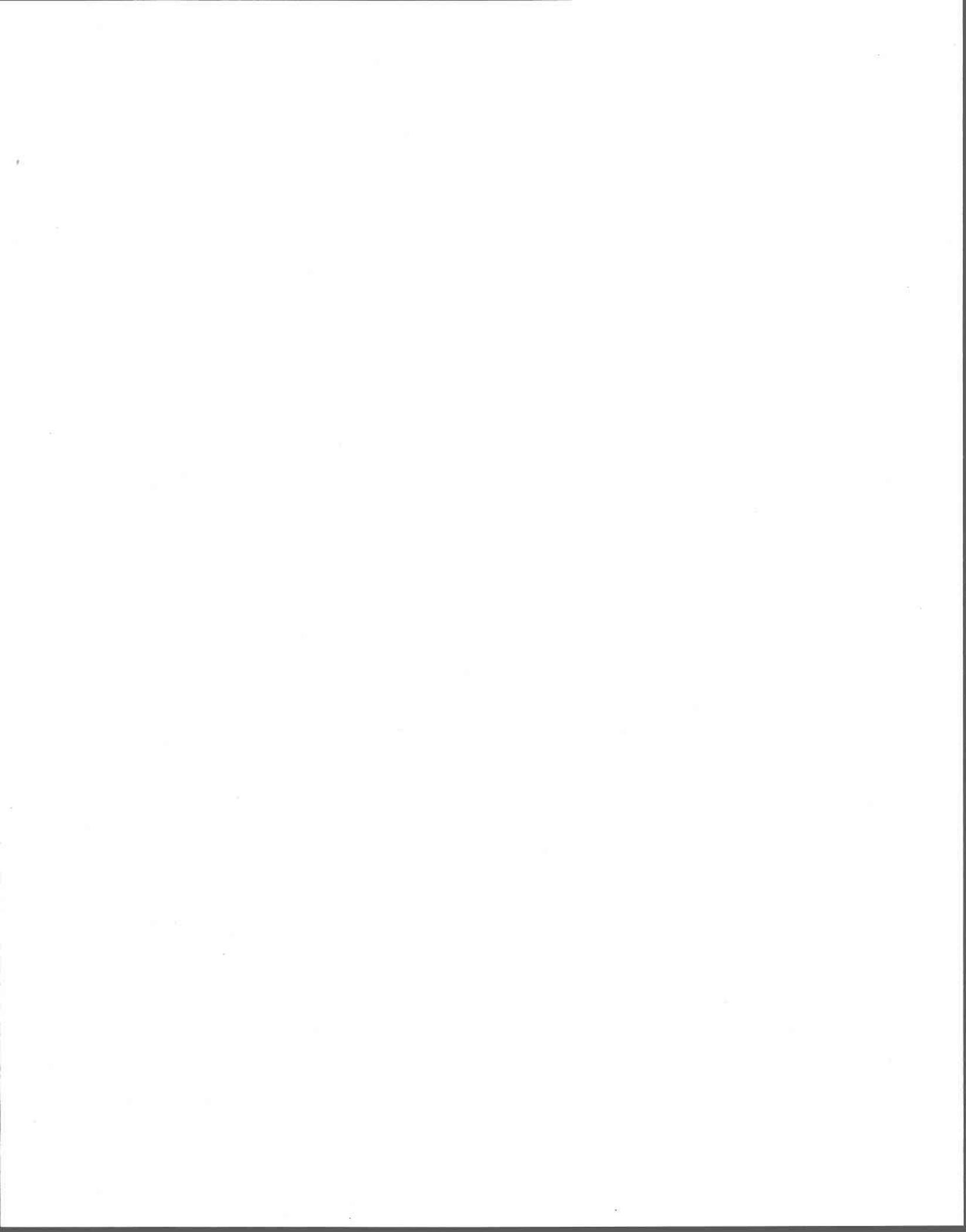
Je tiens d'abord à remercier mon directeur de recherche, Landis Hare, pour l'opportunité qu'il m'a donnée de travailler sur ce projet dès plus intéressant. La confiance qu'il m'a témoignée tout au cours de la réalisation de ce projet, sa grande disponibilité, de même que ses conseils judicieux méritent à bien des égards ces quelques lignes de remerciement.

J'aimerais également remercier son collègue, André Tessier, pour ses précieux conseils «géochimiques» prodigués tant lors de la planification que lors de la réalisation de mon projet de recherche.

Des remerciements s'adressent également à Julie Bernier pour son aide technique sur le terrain de même qu'aux techniciennes et techniciens du laboratoire de l'INRS-Eau pour leur aide et leurs conseils lors des analyses chimiques. Je pense ici tout particulièrement à Michèle G. Bordeleau, René Rodrigue, Sylvie St-Pierre et Bernard Veilleux. Dans le même ordre d'idée, j'aimerais également remercier Marie-Renée Doyon et Lise Rancourt, toutes deux assistantes de recherche respectivement au sein des équipes recherche de Landis Hare et d'André Tessier.

Je voudrais enfin remercier mes amis, pour leur effet «psychothérapeutique» lors de ces deux années d'études intensives. Je pense notamment à Chantal et Catherine. De plus, je ne saurais passer sous silence l'appui et le soutien indéfectibles de mes parents qui ont su croire en moi depuis déjà 25 ans.

Ce projet de recherche a été rendu possible grâce aux supports financiers du Conseil de Recherche en Sciences Naturelles et Génie du Canada, des Fonds pour la Formation de Chercheurs et l'Aide à la Recherche, du Ministère de l'Éducation du Québec, du Ministère Fédéral des Ressources Humaines et de l'U.S. Environmental Protection Agency.



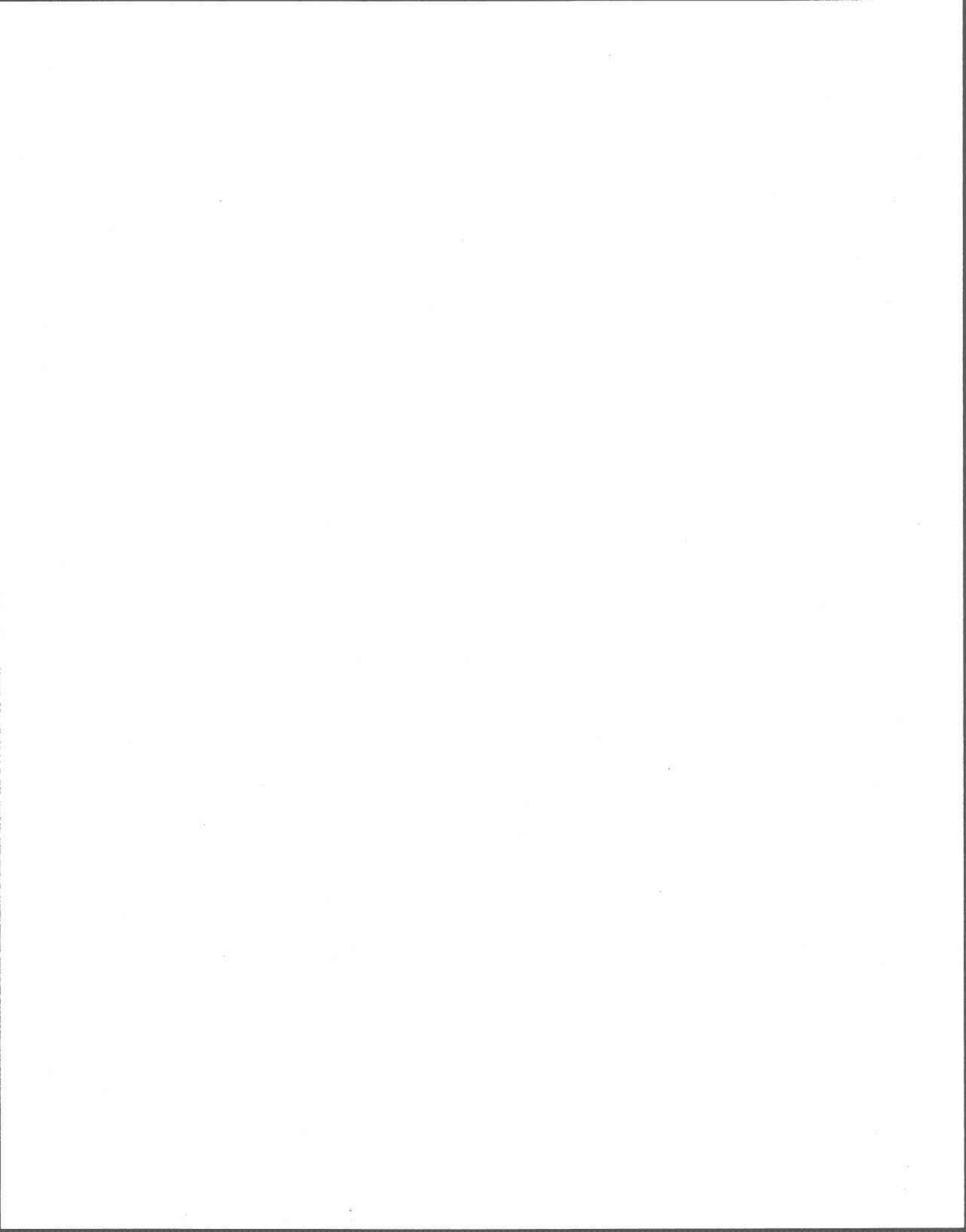
## RÉSUMÉ

L'industrie minière a contribué à disperser dans l'environnement lacustre d'importantes quantités de contaminants inorganiques comme le cuivre, le zinc, le plomb, le nickel et le cadmium. Ces métaux sont reconnus pour occasionner chez les organismes exposés des effets toxiques pouvant nuire tant à leur développement qu'à leur survie. La détermination du niveau de contamination en métaux de ces écosystèmes s'avère donc essentielle afin d'être en mesure de juger du danger qu'encourent les organismes exposés.

Il est possible d'estimer le niveau de contamination des systèmes lacustres en mesurant directement les concentrations de métal dans les organismes. Certains invertébrés sont en effet reconnus pour accumuler et concentrer les polluants. L'accumulation de Cd par les larves de l'insecte *Chaoborus punctipennis* peut d'ailleurs être raisonnablement bien prédite par les concentrations de Cd libre dans le milieu en se basant sur le modèle théorique de l'ion libre et en prenant en considération la compétition entre les protons et les ions libres de Cd pour les sites d'absorption biologique.

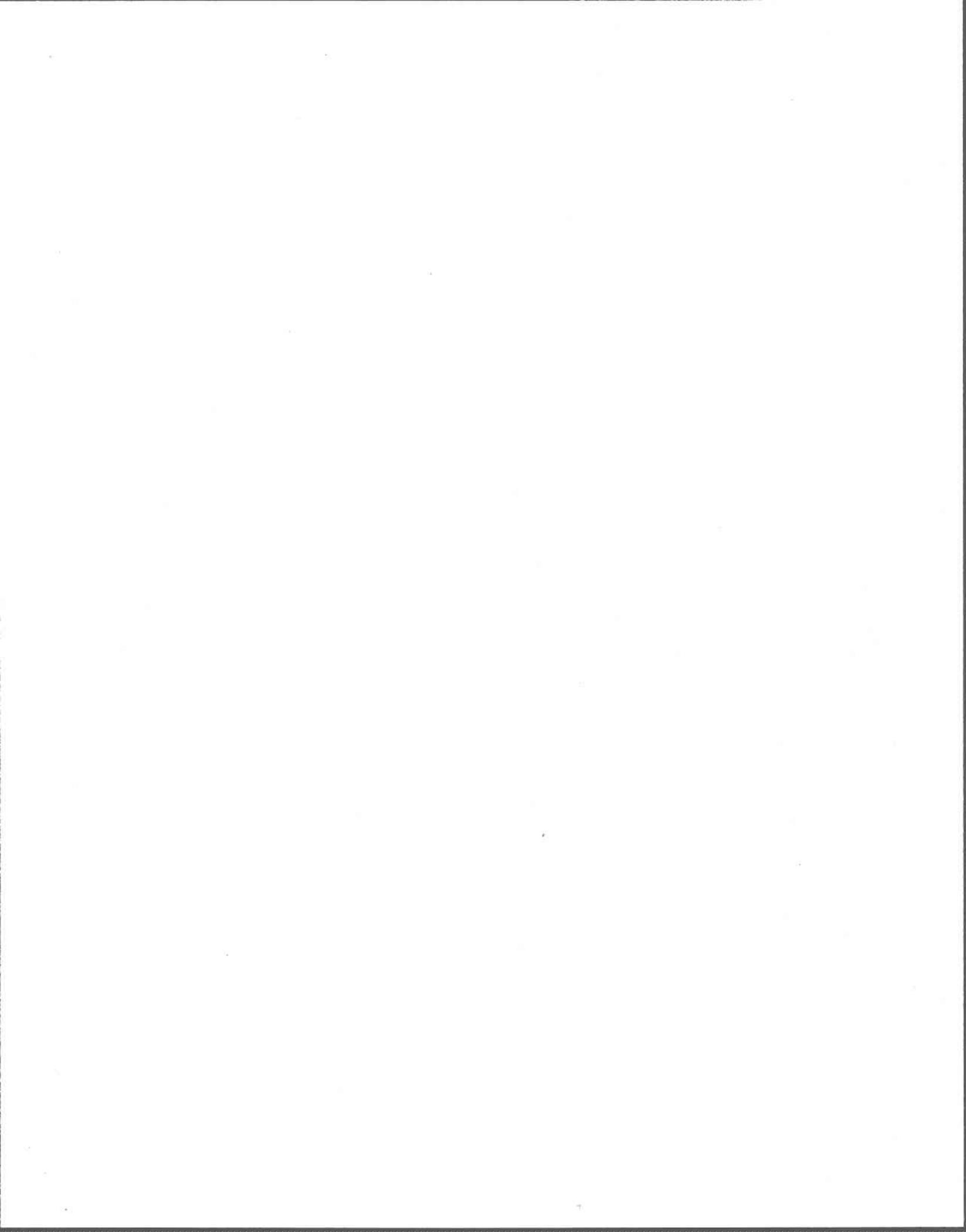
L'échantillonnage de neuf lacs fortement acides et hautement contaminés en métaux traces a permis de démontrer que l'accumulation de Cd chez cette larve d'insecte n'est pas influencée par la présence d'autres métaux traces (Cu, Zn) ou de cations majeurs (Ca). Nous avons de plus démontré qu'omettre le travail nécessaire à l'identification à l'espèce des larves du genre *Chaoborus* ne réduisait que faiblement le pouvoir prédictif du modèle.

Bien que les larves de l'insecte *Chaoborus* présentent le potentiel pour «bioindiquer» efficacement les concentrations en Cd dans les systèmes lacustres, ces dernières semblent réguler leurs concentrations en cuivre et en zinc de sorte que *Chaoborus* ne pourrait être un bon biocicateur pour ces métaux essentiels.



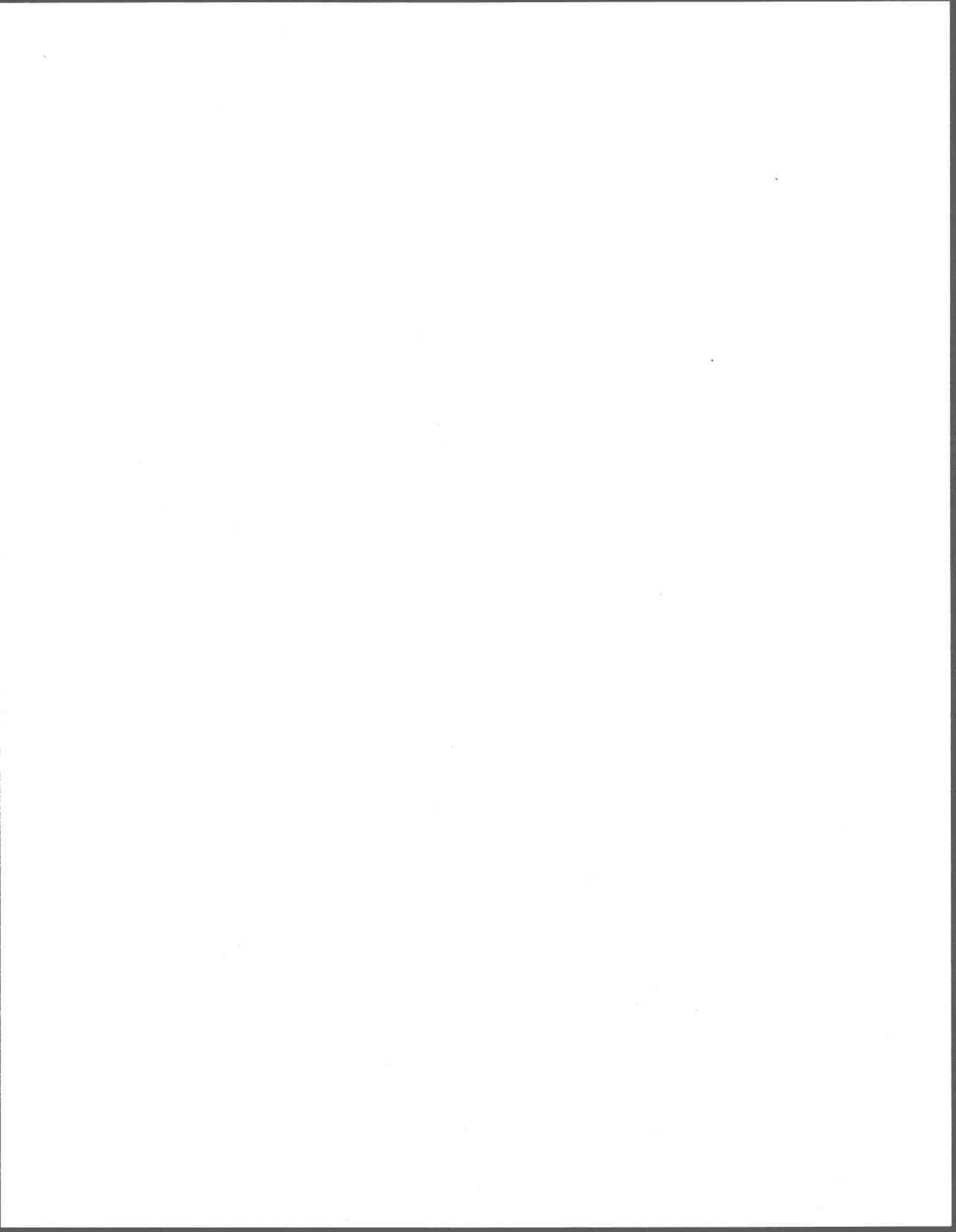
# TABLE DES MATIÈRES

	Page
AVANT-PROPOS.....	iii
REMERCIEMENTS.....	v
RÉSUMÉ.....	vii
TABLE DES MATIÈRES.....	ix
LISTE DES TABLEAUX.....	xi
LISTE DES FIGURES.....	xiii
1.0 INTRODUCTION.....	1
1.1 Les métaux traces dans l'environnement.....	1
1.2 Interactions entre les métaux traces et les organismes aquatiques.....	2
1.3 Les invertébrés aquatiques: organismes bioindicateurs du niveau de contamination.....	4
1.4 <i>Chaoborus punctipennis</i> : bioindicateur du niveau de contamination en Cd des lacs.....	5
1.5 Modèle biogéochimique.....	7
1.5.1 Modèle de l'ion libre.....	7
1.5.2 Bioaccumulation du Cd par <i>Chaoborus</i> : Effet du pH.....	10
1.5.3 Modèles de compétition.....	12
2.0 PROBLÉMATIQUE.....	17
2.1 Doutes sur la validité des modèles de prédiction.....	17
3.0 OBJECTIFS ET HYPOTHÈSES.....	19
4.0 RÉGIONS D'ÉTUDE.....	21
5.0 MÉTHODES.....	23
6.0 RÉSULTATS ET DISCUSSION.....	25
6.1 Vérification des hypothèses.....	25
6.2 Utilisation de <i>C. punctipennis</i> comme organisme sentinelle.....	25
6.3 Perspectives de recherche.....	27
7.0 BIBLIOGRAPHIE.....	29
8.0 ARTICLE.....	35



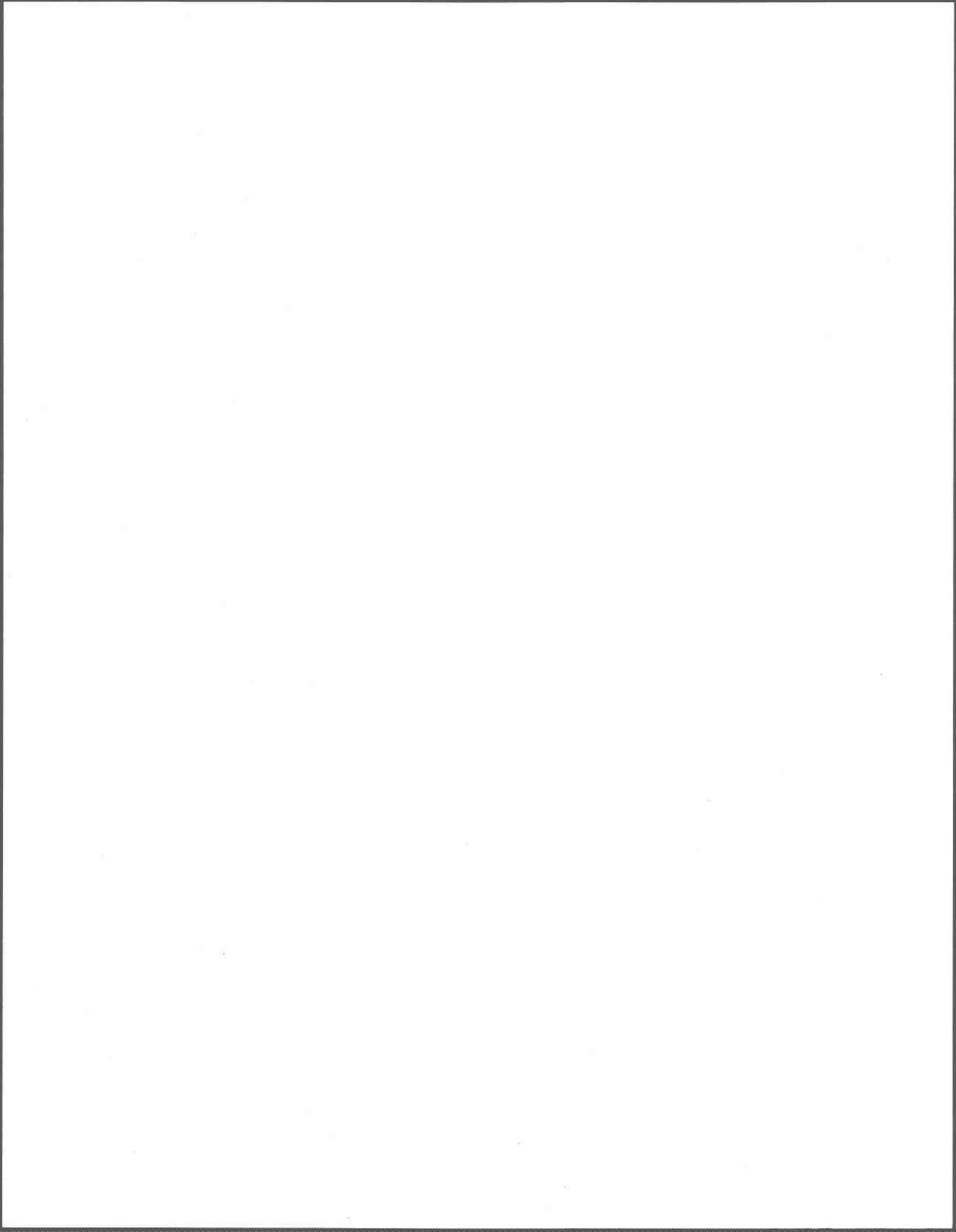
# LISTE DES TABLEAUX

	Page
TABLEAU 1. Concentrations de Cd mesurées chez <i>C. punctipennis</i> et conditions physico-chimiques dans lesquelles les larves ont été retrouvées.....	6
TABLEAU 2. pH et concentrations en ions libres de Cd, Cu, Zn et Ni (estimées avec le logiciel de spéciation WHAM: [Tipping 1994]) pour des lacs provenant de différentes régions (Données non-publiées de Hare et Tessier).....	12
TABLEAU 3. Coefficients de corrélation de Pearson pour les relations entre les concentrations de métaux traces et d'ions hydrogène ( $p < 0.05$ pour toutes les relations) (Modifié de [Croteau et al. 1997]).....	17



## LISTE DES FIGURES

	Page
FIGURE 1. Relation entre les concentrations de Cd libre dans l'eau et dans <i>C. punctipennis</i> échantillonnés dans 23 lacs du Bouclier canadien.....	8
FIGURE 2. Relation entre les concentrations de Cd chez <i>C. punctipennis</i> échantillonnés dans 23 lacs du Bouclier canadien et l'expression de la compétition entre les ions hydrogène et $\text{Cd}^{2+}$ pour les sites d'absorption membranaire.....	11
FIGURE 3. Relation entre la concentration de Cd accumulée par <i>C. punctipennis</i> provenant de 23 lacs du Bouclier canadien et l'expression de la compétition entre (A) $\text{Cd}^{2+}$ et $\text{Cu}^{2+}$ [Éqn. 16] et (B) entre $\text{Cd}^{2+}$ , $\text{Cu}^{2+}$ et $\text{H}^+$ ([Éqn. 17]) .....	14



# 1. INTRODUCTION

---

## 1.1 Les métaux traces dans l'environnement

L'industrie minière, par la production pyrométallurgique de métal non-ferreux, a contribué à rejeter dans l'environnement des quantités importantes de contaminants inorganiques comme le cuivre, le cadmium, le plomb, le zinc et le nickel [Environnement Canada 1991; Winterhalder 1995]. En 1983, l'émission de ces métaux dans l'atmosphère se chiffrait à l'échelle mondiale (en tonnes par année) à 7 570 pour le Cd, à 35 370 pour le Cu, à 332 350 pour le Pb, à 131 880 pour le Zn et finalement, à 55 650 pour le nickel [Nriagu and Pacyna 1988]. En 1992, la contribution canadienne au bilan des émissions de Cd s'élevait à approximativement 160 tonnes par année. Plus de 58% de ces émissions originaient de l'Ontario [Malley 1996].

Transportés dans l'atmosphère, ces métaux parviennent à contaminer des territoires et des plans d'eau situés à plus de 100 km des fonderies [Keller 1992; Keller et al. 1992; Winterhalder 1995]. Bewers et al. (1987) rapportent d'ailleurs que le cadmium peut être transporté à plus de 1 000 km de son point d'émission avant de se déposer sous forme de précipitations sèches. Dans les régions minières de Sudbury et Rouyn-Noranda, l'eau de certains lacs présente des concentrations en Cd, en Cu et en Zn cent et parfois même mille fois supérieures à celles retrouvées dans les lacs des régions non contaminées [Conroy et al. 1975; Hare and Tessier 1996; Croteau et al. 1997]. A ces sources de contamination anthropiques s'ajoutent les précipitations acides et l'inondation de territoires pour la création de réservoirs hydroélectriques qui favorisent le relargage et le transport de certains métaux traces du sol vers les écosystèmes aquatiques [Jackson 1988; Lazerte et al. 1989]. Au niveau mondial, Malley (1996) rapporte qu'environ 1 300 tonnes de Cd par année (i.e., ≈20% des émissions totales) sont mobilisées naturellement par les feux de forêts, l'activité volcanique de même que par l'altération du sol et de la roche mère.

Métal potentiellement carcinogène, le cadmium provoque chez les organismes exposés des effets toxiques se caractérisant notamment par des retards de croissance, par l'altération du

système immunologique et par des dommages histopathologiques et biochimiques aux reins, aux organes reproducteurs, au foie, aux poumons et aux intestins [Wong 1987; Wright and Welbourn 1994; Maley 1996]. La toxicité du cadmium surpasse d'ailleurs celles du zinc, du cuivre et du plomb [Maley 1996], ce qui en fait un métal d'intérêt prioritaire.

## **1.2 Interactions entre les métaux traces et les organismes aquatiques**

Pour les animaux aquatiques exposés à ces métaux, l'entrée du contaminant s'effectue soit à partir de la forme dissoute [Luoma 1983] ou de la forme particulaire du métal, i.e., la nourriture [Luoma 1983; Munger and Hare 1997]. Le taux d'entrée d'un métal dans un organisme est grandement influencé par les conditions physico-chimiques du milieu. Ainsi, le pH [Borgmann 1983; Campbell and Stokes 1985; Yan et al. 1990], la matière organique [Winner and Gauss 1986; Playle et al. 1993; Tipping 1994], la présence d'autres métaux traces [Simkiss and Taylor 1989; 1995] et les composantes responsables de la dureté [Wright 1977; Stephenson and Mackie 1989] et de la salinité de l'eau [Sunda et al. 1978] peuvent accroître ou réduire l'accumulation de métal chez un organisme.

Le transport des métaux à travers la membrane cellulaire des organismes peut s'effectuer par l'intermédiaire de protéines de transport [Luoma 1983] ou de canaux protéiques [Simkiss and Taylor 1995]. Chez certaines cellules, le cadmium est d'ailleurs reconnu pour diffuser vers le cytosol à travers les canaux destinés au transport du calcium [Hinkle et al. 1987]. Certains métaux comme le cuivre, le zinc et le cadmium peuvent de plus former des complexes liposolubles dans des conditions chimiques particulières et traverser la bicouche lipidique par simple diffusion [Simkiss and Taylor 1995]. De plus, l'engouffrement de particules métalliques par la membrane cellulaire menant à la formation de vésicules intracellulaires (i.e., endocytose) constitue une voie d'entrée possible pour le fer [Simkiss and Taylor 1989] et le plomb [Schulz-Baldes 1977].