

Rapport final

31 mars 1996

Projet de recherche exploratoire en environnement
Ministère de l'**Environnement** et de la Faune du Québec

PRÉDICTION DES CONCENTRATIONS EN MÉTAUX TRACES CHEZ LES INVERTÉBRÉS AQUATIQUES

Landis **Hare**, André Tessier et Peter G.C. Campbell

institut national de la recherche scientifique - Eau (INRS-Eau)
C.P. 7500, Sainte-Foy, Québec, **G1V 4C7**

Partenaire:

Conseil **de** Recherches en Sciences naturelles et en Génie du Canada

CONTENU

GLOSSAIRE DES SYMBOLES UTILISÉS

1. PROBLÉMATIQUE

2. NOTRE APPROCHE SCIENTIFIQUE

3. OBJECTIFS ET MÉTHODOLOGIES GÉNÉRAUX

- 3.1 Vérifier et tenir compte **spécifiquement** dans un modèle de prédiction de l'effet atténuateur de $[H^+]$ sur $[M(org)]$ observé pour des lacs acides
- 3.2. **Améliorer** la prédiction de $[M^{2+}]$ à partir des variables sédimentaires dans le **sous-modèle géochimique**
- 3.3. Mesurer la variabilité en $[M(org)]$ à un site donné
- 3.4.. Étudier en laboratoire l'influence de $[M^{2+}]$ et du pH sur la bioaccumulation
- 3.5. Déterminer la provenance du Cd bioaccumulé - l'eau versus la nourriture
- 3.6. Déterminer l'influence du comportement sur la bioaccumulation chez Chironomus

4. MÉTHODOLOGIE

- 4.1. Méthodologie: vérification de l'effet atténuateur de H^+
- 4.2. Méthodologie: prédiction de $[M^{2+}]$ à partir des variables sédimentaires
- 4.3. **Méthodologie**: variabilité de $[M(org)]$ à un site donné
- 4.4. Méthodologie: influence de $[M^{2+}]$ et du pH sur la bioaccumulation en laboratoire
- 4.5. Méthodologie: provenance du Cd accumulé - l'eau versus la nourriture
- 4.6. Méthodologie: influence du comportement sur l'accumulation chez *Chironomus*

5. RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

- 5.1. Résultats: vérification de l'effet atténuateur de H^+
 - 5.1.1. *Chaoborus*
 - 5.1.2. *Chironomus*
- 5.2. Résultats: prédiction de $[M^{2+}]$ à partir des variables sédimentaires
- 5.3. Résultats: variabilité en $[M(org)]$ à un site donné
- 5.4. Résultats: influence de $[M^{2+}]$ et du pH sur la bioaccumulation en laboratoire
- 5.5. Résultats: provenance de cadmium accumulé - l'eau versus la nourriture
- 5.6. Résultats: influence du comportement sur l'accumulation chez *Chironomus*

6. CONCLUSIONS ET RETOMBÉES DU PROJET

7. DIFFUSION DES RÉSULTATS

- 7.1. Articles
- 7.2. Conférences

8. RÉFÉRENCES

1. PROBLÉMATIQUE

L'industrialisation a **eue comme conséquence d'augmenter la concentration** plusieurs métaux toxiques **dans l'environnement (Förstner & Wittmann 1981)**. La pollution de l'environnement **aquatique par ces métaux est importante au Québec**. On rencontre, en effet, plusieurs industries **d'extraction et de raffinage des métaux** (ex. Cu, Pb et **Zn** dans la **région** de Rouyn-Noranda; Cu dans la **région** de Chibougamau). **À ces sources, s'ajoutent d'autres apports plus diffus dus au transport atmosphérique et à l'altération des minéraux des bassins versants par les précipitations acides.** Une partie importante de ces métaux, une fois introduits dans le milieu aquatique, se trouve associée aux sédiments. Leur toxicité pour les organismes aquatiques a conduit à un intérêt accru pour **cette** question de la part des spécialistes de l'environnement et des autorités gouvernementales.

En principe, des actions correctives telles que la réduction des rejets, les **traitements** chimiques *in situ*, le recouvrement ou le dragage peuvent être entreprises (IJC 1990). Ces actions, qui peuvent impliquer des coûts importants de plusieurs **natures** (monétaires, sociaux), doivent s'appuyer sur une connaissance des processus qui contrôlent l'accumulation **des métaux** dans les organismes aquatiques, ainsi que sur une évaluation objective **des effets** de ces métaux sur l'écosystème aquatique. Plus précisément, les **gestionnaires** responsables de la restauration des milieux contaminés ont besoin de **modèles prédictifs**, qui leur permettront d'évaluer la biodisponibilité des métaux dans l'environnement afin de prendre des **décisions** éclairées quant aux options de **restauration** (ex.: intervenir directement *in situ* pour décontaminer les sédiments; diminuer les rejets et laisser agir les processus naturels de décontamination; draguer). Plus les modèles seront déterministes, (c.-à.-d. **meilleures** sera leur base théorique et leur compréhension des processus géochimiques et biologiques impliqués), **meilleures** seront leurs prédictions pour des milieux autres que ceux qui ont servi à les calibrer.

2. NOTRE APPROCHE SCIENTIFIQUE

Un modèle de type **déterministe** a **été développé** par notre **équipe** pour **prédire** la concentration de **métaux** dans les organismes **benthiques**; basé sur les concepts de l'interaction ion libre - organismes biologiques et de **la** complexation de surface, il permet de relier la concentration du **métal, M, dans** les organismes, **[M(org)]**, à celles dans l'eau ou dans les **sédiments** oxygènes superficiels (Tessier et *al.* 1993). Ce modèle a été vérifié avec succès *in situ* dans le cas de l'accumulation de Cd dans des bivalves d'eau douce récoltés dans des lacs dont **le pH varie entre** 6 et 7.5, couvrant une aire géographique d'environ 350 000 km². D'un point de vue pratique, cette approche a généré des équations de prédiction des concentrations de Cd dans les bivalves qui ne requièrent que des variables géochimiques (**prédictives**) mesurées assez facilement dans l'eau (pH) et dans les sédiments (concentration totale de Cd, concentrations de matière organique et d'oxyhydroxydes de fer).

Cependant, des résultats préliminaires obtenus pour d'autres organismes comme des larves d'insectes (*ex. Chaoborus*), qui peuvent être trouvées dans des lacs de faible pH (aussi faible que pH 4), ont suggérés que dans les lacs acides les valeurs mesurées de [M(org)] peuvent être plus faibles que celles attendues du modèle. Ces résultats peuvent être interprétés **comme** une compétition entre **H⁺** et M dissous pour les sites biologiques de prise en charge qui, étant donnée la valeur de la constante d'acidité des sites de prise en charge, ne devient appréciable qu'à de faibles valeurs de pH. Dans le présent projet, nous avons réalisé des études pour tester cette hypothèse. Nous abordons aussi la question de la provenance des métaux traces chez les invertébrés aquatiques en répondant à la question; est-ce que la relation qu'on voit entre **[M(org)]** et la concentration du métal dissous dans l'eau (plus précisément l'ion libre) reflète une prise en charge **directe** du métal de l'eau ou une entrée indirecte via la nourriture. De telles informations seront importantes dans le raffinement du modèle pour **prédire** la concentration de **métaux** dans les organismes benthiques.

6. CONCLUSIONS ET RETOMBÉES DU PROJET

Les **métaux** traces sont des polluants importants des **milieux** en **régions** minières. Les gestionnaires responsables de ces **milieux** ont besoin de **modèles prédictifs** qui leur permettront **d'évaluer la dose** de métaux traces auxquelles les **vivants** qui y habitent. Dans le présent projet, nous **avons** développé un modèle théorique qui utilise des **insectes aquatiques** **comme** bioindicateurs du **niveau de contamination**. Pour **établir** les relations entre les concentrations de métaux traces dans leur environnement, nous nous sommes appuyés sur des données expérimentales. Nous **avons** vérifié que le modèle théorique résultant **permet** d'estimer les concentrations de métaux traces dans les animaux aquatiques *in situ* pour un **grand nombre** de sites. Les prédictions théoriques s'avèrent, en général, supérieures aux **mesures** effectuées sur le terrain. Les modèles théoriques sont **performants** en dehors de l'ensemble de données **qui** ont été utilisées pour les développer.

Dans le développement d'un modèle théorique **pour** estimer les concentrations de métaux traces chez des insectes aquatiques, nous **avons** **supposé** que :

- la réponse biologique aux métaux traces est **fonction** de la concentration du métal libre et de celle d'autres métaux traces. Cette hypothèse est à la base du modèle dit de **Haldane** (1930) et utilisé abondamment depuis **pour expliquer** les relations entre les concentrations de métaux traces dans les organismes biologiques en laboratoire.
- qu'il y a compétition, pour des sites de **transport**, entre les métaux traces. Cette hypothèse est à la base du modèle dit de **Haldane** (1930) et utilisé abondamment depuis **pour expliquer** les relations entre les concentrations de métaux traces dans les organismes biologiques en laboratoire.

Ces hypothèses ont été traduites en **réactions d'équilibre** au niveau des sites de transport **biologiques**. Le modèle théorique a été utilisé pour estimer la concentration de métal chez un insecte en **fonction** de la concentration du métal libre et celles **d'autres** métaux traces. Le modèle théorique a été testé avec **succès** en nature pour un **grand nombre** de sites de contamination en métaux et de géochimie **vulnérables**.

géographique (**50 000 km²**) au **Québec** et en Ontario. Ces travaux représentent **une des** premières démonstrations de l'utilité du **modèle** de l'ion libre **à l'extérieur du laboratoire**:

Parmi les insectes **récoltés**, le prédateur *Chaoborus* et le mangeur de sédiments *Chironomus* ont **particulièrement retenu notre** attention **parce qu'ils présentent certaines qualités** de bons bioindicateurs, notamment:

- ils sont présents dans des **lacs** couvrant une grande gamme de pH et de concentrations en matière organique et en **métaux** traces;
- ces taxa ont la capacité d'accumuler les métaux traces sans présenter d'effet **néfaste** apparent;
- on peut obtenir suffisamment de tissus de **ces** animaux pour y effectuer **les** analyses de métaux;
- ils sont une source importante de nourriture pour les poissons, avec une possibilité de transfert trophique des métaux.

Les résultats les plus complets ont été obtenus pour l'insecte *Chaoborus* et pour le métal **cadmium**.

Dans le cas du métal cadmium (Cd) et de l'insecte *Chaoborus*, ~~on a mis en évidence une~~ compétition **H⁺-Cd²⁺** pour des sites de prise en **charge**. L'équation 6.1, qui prend explicitement en **compte** cette compétition, explique **86%** de la **variabilité** de Cd chez *Chaoborus punctipennis*.

$$[\text{Cd}(\text{Chaoborus})] = 20500 \frac{[\text{Cd}^{2+}]}{[\text{H}^+] + (1.9 \times 10^{-6})} \quad (6.1)$$