

Université du Québec  
Institut National de la Recherche Scientifique, INRS-Eau

**COMPORTEMENT FOUISSEUR ET STRUCTURES  
BIOGÉNIQUES DES INSECTES AQUATIQUES RÉVÉLÉS  
PAR LA RADIOGRAPHIE (RAYONS-X) DES SÉDIMENTS.**

Par

Patrick Charbonneau  
Baccalauréat en biologie, option écologie

Mémoire présenté  
pour l'obtention  
du grade de Maître ès sciences (M. Sc.) en sciences de l'eau,  
discipline: écotoxicologie, option comportement animal

Jury d'évaluation

Examineur externe

Joseph Rasmussen  
Département de biologie  
Université McGill

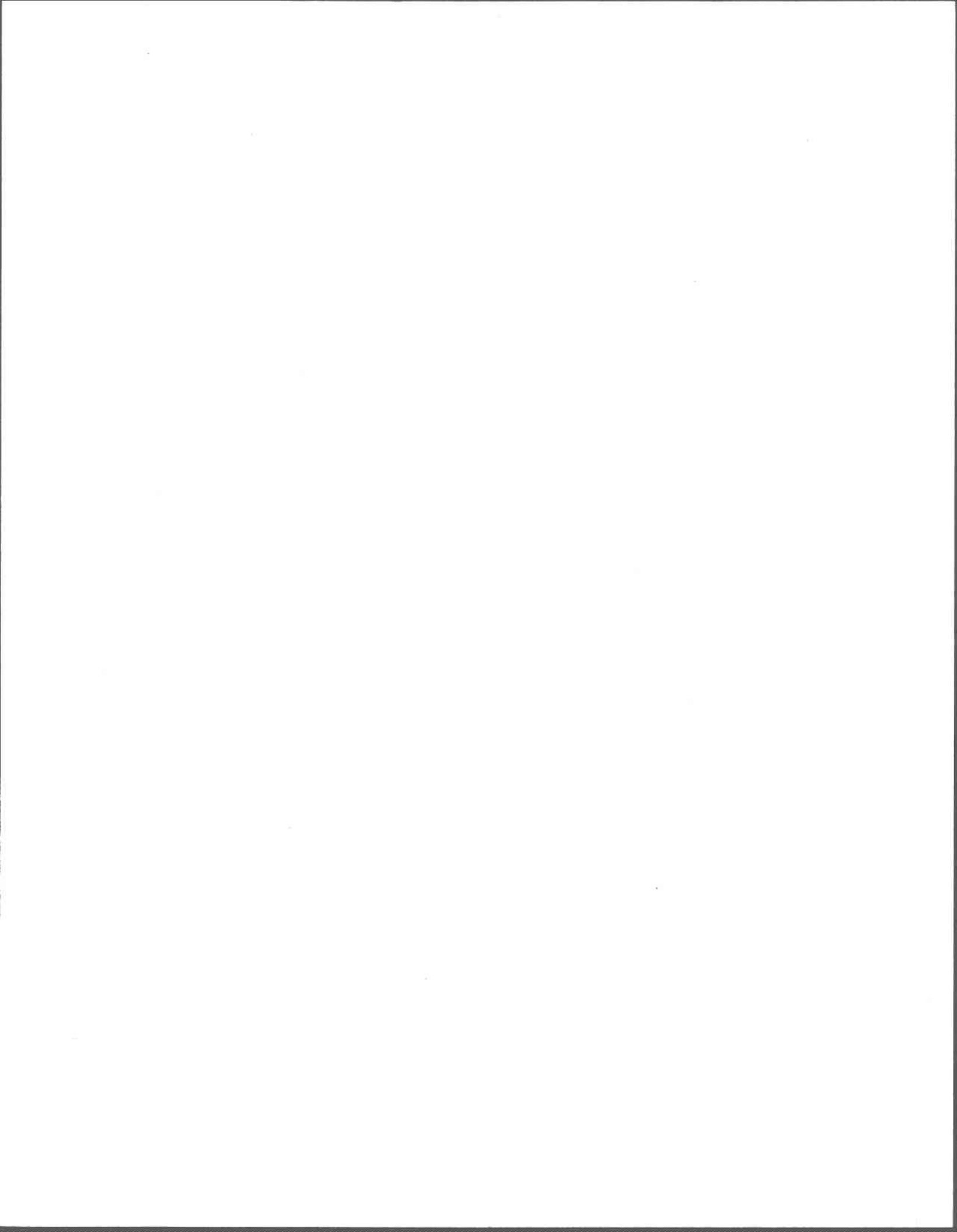
Examineur interne

André Tessier  
Équipe métaux traces  
INRS-Eau

Directeur de recherche

Landis Hare  
Équipe métaux traces  
INRS-Eau

juillet 1997



à Violaine

### **PAYSAGE FAUVE**

« Les arbres comme autant de vieillards rachitiques,  
Flanqués vers l'horizon sur les escarpements,  
Ainsi que des damnés sous le fouet des tourments,  
Tordent de désespoir leurs torsos fantastiques.

C'est l'Hiver; c'est la Mort; sur les neiges arctiques,  
Vers le bûcher qui flambe aux lointains campements,  
Les chasseurs vont frileux sous leurs lourds vêtements,  
Et galopent, fouettant leurs chevaux athlétiques.

La bise hurle; il grêle; il fait nuit, tout est sombre;  
Et voici que soudain se dessine dans l'ombre  
Un farouche troupeau de grands loups affamés;

Ils bondissent, essaims de fauves multitudes,  
Et la brutale horreur de leurs yeux enflammés,  
Allume de points d'or les blanches solitudes. »

- Émile Nelligan



# REMERCIEMENTS

Cette étude n'aurait pu être réalisée sans la collaboration, de près ou de loin, de plusieurs personnes.

Je tiens tout d'abord à remercier mon directeur de recherche M. Landis Hare pour son professionnalisme, sa disponibilité, sa confiance ainsi que son encadrement tout au long de cette maîtrise. Un gros merci à M. Richard Carignan qui m'a permis d'utiliser son matériel de laboratoire et de terrain. Sans ces deux hommes, le projet CRX (C: comportement et RX: rayons-X), n'aurait pu voir le jour.

Merci aux techniciens Alain Dionne et Jean-François Houle qui ont aidé au développement de la méthode. Je remercie particulièrement Julie Bernier, Marie-Renée Doyon, Martial Lebrun, Carl Mathieu et René Rodrigue pour leur aide sur le terrain, et leur patience.

Un merci spécial à mon père, le docteur Fernand Charbonneau (Hôpital Maisonneuve-Rosemont, Montréal) pour son soutien et le prêt d'un système d'éclairage pour radiographie.

Merci à Albert Craig, Joseph Rasmussen et André Tessier pour leurs idées et commentaires judicieux.

Merci à mes collègues de travail et amis Steeve Dufresne, Olivier Errecalde, Éric Gaudreau et Joël Gauthier.

Enfin, l'étude a été réalisée grâce au support financier du Conseil de Recherche en Sciences Naturelles et en Génie du Canada (CRSNG).



# AVANT-PROPOS

Ce mémoire comprend 2 publications auxquelles ont participé Patrick Charbonneau, Landis Hare et Richard Carignan. La contribution des auteurs se répartit comme suit:

1. Charbonneau, P., L. Hare et R. Carignan. Use of X-ray images and a contrasting agent to study the behavior of animals in soft sediments (sous presse dans *Limnology and Oceanography*, # 96-344N).

**P. Charbonneau:** Réalisation du projet, montage du système expérimental, analyse des données, rédaction initiale et finale du manuscrit.

**L. Hare:** Conception du projet et rédaction finale.

**R. Carignan:** Conception du projet et rédaction finale.

2. Charbonneau, P. et L. Hare. Burrowing behavior and biogenic structures of mud-dwelling insects (en préparation).

**P. Charbonneau:** Conception et réalisation du projet, montage du système expérimental, analyse des données, rédaction initiale et finale du manuscrit.

**L. Hare:** Conception du projet et rédaction finale du manuscrit.





# TABLE DES MATIÈRES

<b>REMERCIEMENTS</b>	v
<b>AVANT-PROPOS</b>	vii
<b>TABLE DES MATIÈRES</b>	ix
<b>LISTE DES FIGURES</b>	xi
<b>LISTE DES TABLEAUX</b>	xiii
<b>SYNTHÈSE</b>	1
<b>1- Introduction</b>	1
1.1- Le comportement fouisseur	1
1.2- Les méthodes utilisées pour l'étude du comportement fouisseur des animaux marins et d'eau douce	2
1.3- L'utilisation de la radiographie en géologie et en biologie	3
<b>2- Objectifs</b>	3
<b>3- Matériel et Méthodes</b>	4
3.1- Le matériel biologique	4
3.2- Les sédiments, le Mo <sub>2</sub> C et la radiographie (rayons-X)	7
3.3- Le marquage	9
3.4- Application <i>in situ</i>	10
<b>4- Résultats</b>	11
4.1- Méthodes développées	11
4.2- Mesures du développement spatial et temporel des structures biogéniques	15
4.2.1- Formes et caractéristiques des structures biogéniques	15
4.2.2- Évolution spatiale et temporelle des structures biogéniques	19
4.2.3- Rythme de fouissage	21
4.3- Comparaison entre trois espèces de <i>Chironomus spp.</i>	23
4.4- Résultats <i>in situ</i>	26
<b>5- Discussion</b>	27
5.1- Synthèse des résultats	27
5.1.1- Formes et caractéristiques physiques des structures biogéniques	27
5.1.2- Évolution spatiale et temporelle des structures biogéniques	30
5.1.3- Rythme de fouissage	31
5.2- Perspectives de recherches	32
5.2.1- Biologie et écologie environnementale	32
5.2.1.1- L'influence de variables environnementales sur le comportement fouisseur des insectes	32
5.2.1.2- Applications de la méthode à des animaux autres que les insectes aquatiques	33
5.2.1.3- Écotoxicologie	33
5.2.2- Biogéochimie	34
5.2.2.1- La bioturbation	34
5.2.2.2- La sédimentation causée par la bioturbation	35
5.2.2.3- La surface des structures biogéniques	36
5.2.2.4- Couplage de techniques	36
5.3- Limites de la méthode	37
5.3.1- Mise en garde	37
5.3.2- La taille des animaux	38
5.3.3- Les parois des aquariums	38
5.4- Suggestions d'amélioration de la technique de la radiographie	38
5.4.1- Les agents de contraste	38

5.4.2- Le marquage des individus	39
5.4.3- Échographie (ultrasons)	39
5.4.4- Mesures <i>in situ</i>	40
5.4.5- La mesure du pourcentage d'eau des sédiments (laboratoire et <i>in situ</i> )	40
<b>6- Références</b>	<b>42</b>
<b>7- Liste des articles du mémoire</b>	<b>52</b>
<b>CHAPITRE 1: MÉTHODOLOGIE (Article 1)</b>	<b>53</b>
1.1- Résumé	55
1.2- Acknowledgments	57
1.3- Abstract	57
1.4- The use of X-ray images and a contrasting agent to study the behavior of animals in soft sediments.	58
1.5- References	64
1.6- Figure captions and figures	66
<b>CHAPITRE 2: COMPORTEMENT FOUISSEUR ET STRUCTURES BIOGÉNIQUES (Article 2)</b>	<b>73</b>
2.1- Résumé	75
2.2- Acknowledgments	77
2.3- Abstract	77
2.4- Burrowing behavior and biogenic structures of mud-dwelling insects.	78
2.4.1- Introduction	78
2.4.2- Methods	79
2.4.3- Results and discussion	80
2.4.3.1- Burrow forms and dimensions	80
2.4.3.2- Spatial and temporal evolution of biogenic structures	82
2.4.3.3- Burrowing rate	83
2.4.3.4- Variation among congeners	83
2.4.3.5- Application of X-ray images to the study of bioturbation	84
2.5- References	86
2.6- Figure captions and figures	90
<b>ANNEXES</b>	<b>99</b>
<b>Annexe A: Fiche technique.</b>	<b>99</b>
<b>Annexe B: Protocole pour l'addition de carbure de molybdène (Mo<sub>2</sub>C) dans les sédiments</b>	<b>101</b>
<b>Annexe C: Protocole pour le développement des radiographies.</b>	<b>102</b>
<b>Annexe D: Résultat du développement réussi d'une radiographie (<i>Hexagenia limbata</i>).</b>	<b>103</b>
<b>Annexe E: Estimation de la bioturbation par <i>Hexagenia limbata</i>.</b>	<b>104</b>
<b>Annexe F: Idée à l'origine du projet CRX.</b>	<b>105</b>
<b>Annexe G: Contenu du boîtier prélevé sur le terrain.</b>	<b>106</b>

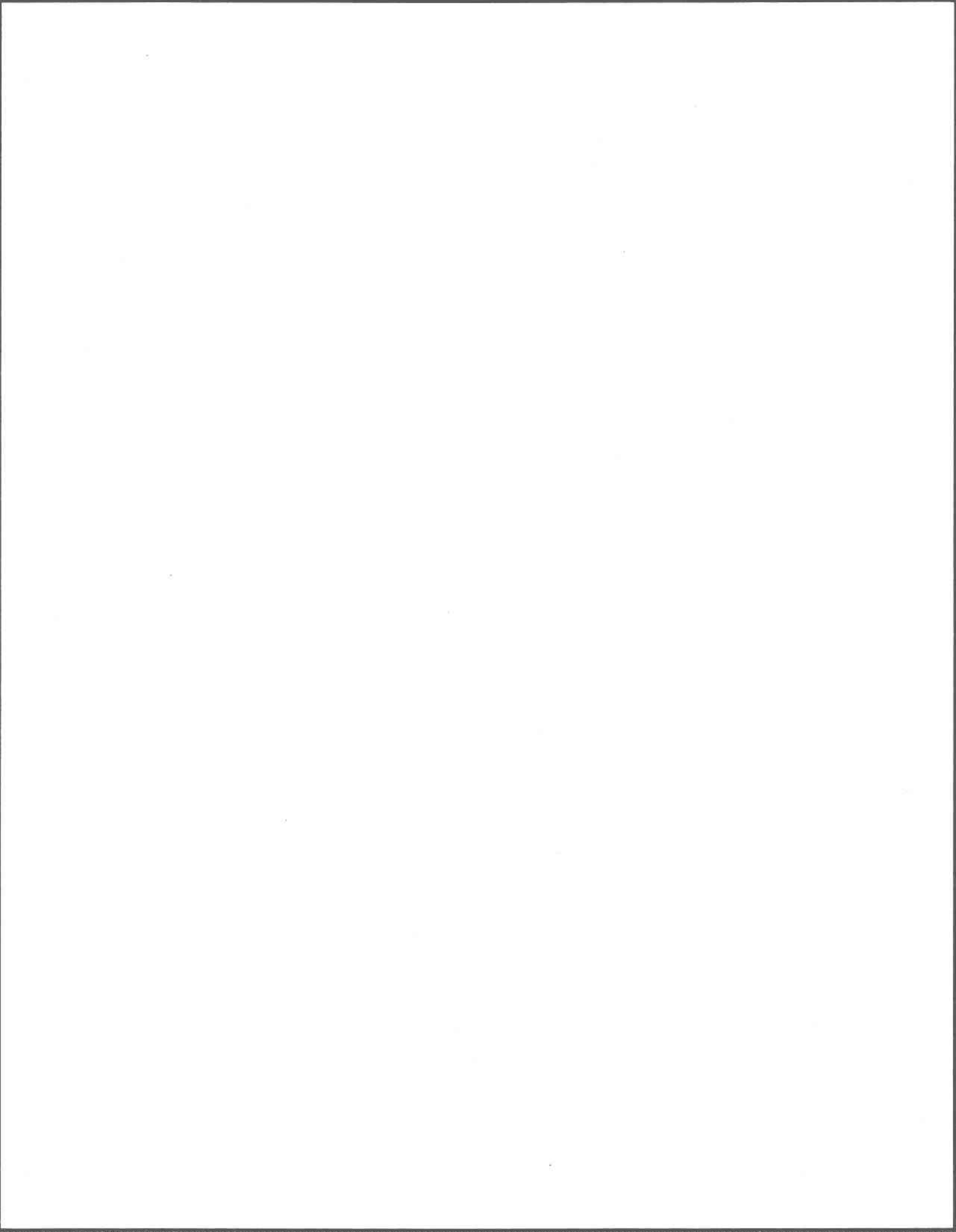
## LISTE DES FIGURES

- Figure 1. Taxa à l'étude: A) *Hexagenia limbata* (Ephemeroptera), B) *Sialis* sp. (Megaloptera), C) *Polycentropus* sp. (Trichoptera), D) *Chironomus* sp. (Diptera), E) *Glyptotendipes* sp. (Diptera) et F) *Procladius* (*Holotanypus* gr.) sp. (Diptera). (Taille moyenne des individus utilisés pour l'étude  $\pm$  erreur-type). .....6
- Figure 2. Montage en laboratoire. Microcosme et disposition pour la radiographie. ....8
- Figure 3. Radiographies des tubes faits par *Chironomus* spp. dans des sédiments de faible densité (95% d'eau par unité de poids) mélangés avec plusieurs concentrations d'agent contrastant, le carbure de molybdène ( en g Mo<sub>2</sub>C L<sup>-1</sup>): (A) 0, (B) 8, (C) 16, (D) 24, (E) 32, (F) 40. Les flèches marquent la position des tubes. Le tube en (C) est agrandi ( $\approx$  1.5x) (la région pâle près du tube est un artefact suite au développement de la radiographie). .....12
- Figure 4. Radiographies montrant l'utilisation du carbure de molybdène (Mo<sub>2</sub>C) pour augmenter le contraste entre les sédiments de densité modérée (70% d'eau par unité de poids) et les tunnels de l'éphémère *Hexagenia limbata*: A) aucune addition de Mo<sub>2</sub>C aux sédiments, B) et C) 8 g Mo<sub>2</sub>C L<sup>-1</sup> ajoutés aux sédiments. Les flèches grises marquent les vieilles structures biogéniques (vieux tunnels) et les flèches noires marquent la position des individus marqués, sur le dos du thorax, avec un mélange d'agent contrastant et d'epoxy (Mo<sub>2</sub>C-epoxy). .....14
- Figure 5. Radiographies des structures biogéniques faites par les larves d'insectes de: (A) l'éphémère *Hexagenia limbata*, (B) le mégaloptère *Sialis* sp., (C) le trichoptère *Polycentropus* sp., et les chironomides (D) *Chironomus* spp., (E) *Glyptotendipes* sp., (F) *Procladius* (*Holotanypus* gr.) sp. Les médaillons en E et F sont des dessins provenant des radiographies originales. ....16
- Figure 6. Profondeurs moyennes ( $\pm$  erreurs-types), minimales, et maximales des structures biogéniques, après 3 jours, des insectes des taxa suivants: *Hexagenia limbata*, *Sialis* sp., *Polycentropus* sp., *Chironomus* spp., *Glyptotendipes* sp et *Procladius* (*Holotanypus* gr.) sp. ....17
- Figure 7. Relation entre la taille moyenne ( $\pm$  erreur-type) des individus de chaque taxa et la longueur moyenne d'un tunnel, ou tube, simple de chacun des taxa. ....18
- Figure 8. Progression temporelle des tunnels des nymphes *Hexagenia limbata* (la taille des individus varie entre 22-28 mm en excluant les cerci) illustrant la variabilité individuelle de l'activité de fouissage. Les dessins ont été tracés directement sur les radiographies qui ont été prises par intervalles de 24 heures. ....20

Figure 9.	Longueur cumulatives des structures biogéniques (moyenne $\pm$ erreur-type) construits par les larves des 6 taxa étudiés pendant 3 jours. ....	21
Figure 10.	Distribution des longueurs des structures biogéniques pour 6 genres d'insectes autour d'une médiane. L'extrême gauche de la boîte indique le 75 <sup>ième</sup> percentile, la ligne à l'intérieur de la boîte marque la médiane, et l'extrême droite indique le 25 <sup>ième</sup> percentile. La barre d'erreur sur le côté gauche de la boîte indique le 90 <sup>ième</sup> percentile alors que celle de droite indique le 10 <sup>ième</sup> percentile. Les cercles représentent les points se trouvant à l'extérieur des bornes des 90 <sup>ième</sup> et 10 <sup>ième</sup> percentiles. ....	22
Figure 11.	Profondeurs moyennes ( $\pm$ erreurs-types), minimales et maximales des tubes de <i>Chironomus staegeri</i> , <i>Chironomus tigris</i> et <i>Chironomus (decorus gr.)</i> sp., après 9 jours dans les sédiments. ....	23
Figure 12.	Longueur cumulative des tubes (moyenne $\pm$ erreur-type) construits par <i>Chironomus staegeri</i> , <i>Chironomus tigris</i> and <i>Chironomus (decorus gr.)</i> sp. pendant 9 jours. ....	24
Figure 13.	Distribution des longueurs de tubes pour 3 espèces de <i>Chironomus</i> spp. autour d'une médiane. L'extrême gauche de la boîte indique le 75 <sup>ième</sup> percentile, la ligne à l'intérieur de la boîte marque la médiane, et l'extrême droite indique le 25 <sup>ième</sup> percentile. La barre d'erreur sur le côté gauche de la boîte indique le 90 <sup>ième</sup> percentile alors que celle de droite indique le 10 <sup>ième</sup> percentile. Les cercles représentent les points se trouvant à l'extérieur des bornes des 90 <sup>ième</sup> et 10 <sup>ième</sup> percentiles. ....	25
Figure 14.	Radiographie montrant les structures biogéniques <i>in situ</i> de 2 insectes. Les structures biogéniques sont mises en évidence par l'injection de l'agent de contraste (Mo <sub>2</sub> C) directement sur le terrain. ....	26
Figure B1.	Processus pour mélanger le carbure de molybdène (Mo <sub>2</sub> C) aux sédiments et obtenir un milieu homogène (pour 15 microcosmes). ....	101
Figure D1.	Résultat du développement réussi d'une radiographie. Tunnels d' <i>Hexagenia limbata</i> . ....	103
Figure F1.	Radiographie d'un colon humain, non sain, après un lavement barité (injection d'une solution de sulfate de baryum). ....	105

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1.	Longueur, poids humide (moyenne $\pm$ erreur-type), nombre d'individus et statut trophique (Merritt et Cummins 1996) des 6 genres à l'étude. ....	18
Tableau 2.	Taille, poids humide (moyenne $\pm$ erreur-type) et nombre d'individus des trois espèces de <i>Chironomus</i> étudiés. ....	23
Tableau E1.	Estimation du volume de sédiments déplacé par l'activité des larves de l'éphémère <i>Hexagenia limbata</i> à partir de 12 études provenant de la littérature. ....	104
Tableau G1.	Identification et dénombrement des genres et espèces contenus dans les sédiments du boîtier radiographié sur le terrain. ....	106



# SYNTHÈSE

---

## 1- Introduction

### 1.1- Le comportement fouisseur

Des études en écotoxicologie, en écologie et en comportement animal ont effleuré les domaines du comportement fouisseur chez les animaux aquatiques. Par contre, les études visant principalement ce domaine ne sont pas nombreuses, et il n'existe que peu d'informations sur le comportement fouisseur des insectes aquatiques. Ce type de comportement est très important pour la survie des insectes benthiques; il assure aux animaux une protection relative face à la prédation (Hershey 1985, 1987) et, pour la plupart d'entre eux, il fait partie intégrante du mode d'alimentation (Zimmerman 1977; Macchiusi et Baker 1991; Walshe 1947, 1951). De plus c'est un comportement assez répandu chez les larves, notamment chez les chironomides (Ashe *et al.* 1987).

Des données sur le comportement fouisseur et les structures biogéniques des insectes benthiques sont d'une grande utilité, pour déterminer, par exemple, les niches des taxa coexistant dans l'apparente uniformité des sédiments (Downing 1984; Berg 1995; Pinder 1995). Aussi, ces données sont pertinentes pour mieux cerner l'influence des animaux benthiques sur les sédiments (Jónasson 1996). Pour les biogéochimistes, ces données comportementales seraient nécessaires pour quantifier la bioturbation et la bioirrigation; et plus particulièrement pour tenter d'expliquer le profil vertical des éléments nutritifs, des métaux traces et autres éléments retrouvés sous l'interface eau-sédiment (Henriksen *et al.* 1983; Carignan *et al.* 1994; Hare *et al.* 1994).

En écotoxicologie, nous savons que les contaminants influencent le comportement fouisseur (Percy 1977; Pesch *et al.* 1995). Une méthode pouvant nous permettre d'observer les animaux dans les sédiments faciliterait la mesure des effets des polluants sur les organismes benthique. Dans ce contexte, il est important de connaître le comportement des insectes benthiques car il peut influencer l'accumulation des métaux traces (Hare *et al.* 1996) et il pourrait expliquer les différences d'accumulation entre espèces de même genre (Martin 1992). Il est d'autant plus important de connaître ce comportement si ces insectes benthiques sont utilisés comme bioindicateur de la qualité de l'environnement.