

ESEE

Étude du suivi des effets sur l'environnement

Rapport d'interprétation du suivi final des ESEE



**Ministère des Ressources naturelles
et de la Faune du Québec**
Mine East Malartic

Alliance
Environnement

Juin 2008

**Rapport d'interprétation du
suivi final des ESEE**

**Ministère des Ressources naturelles et
de la Faune du Québec
Mine East Malartic**

N/Réf. : A7381

présenté au
**Ministère des Ressources naturelles et
de la Faune du Québec**

par
Alliance Environnement inc.



Sommaire

Le présent document constitue le rapport d'interprétation du suivi final de l'étude de suivi des effets sur l'environnement (ESEE) de la mine East Malartic. Cette étude était requise en vertu du *Règlement sur les effluents de mines de métaux* (REMM) découlant de la *Loi sur les pêches* du Canada. Le site minier East Malartic est situé à 2 km au sud-est de la ville de Malartic. L'effluent final se déverse dans le ruisseau Raymond, tributaire de la rivière Piché. Ces cours d'eau sont situés dans le bassin versant de la rivière Harricana.

Les données de la caractérisation de l'effluent et du suivi de la qualité de l'eau du milieu récepteur servent à mieux interpréter les résultats du suivi biologique. En 2007, l'effluent de la mine a respecté les normes de rejet des substances nocives. L'effluent de la mine ne cause aucune augmentation des dépassements des critères de protection de la vie aquatique en zone d'exposition.

L'échantillonnage des poissons a eu lieu du 16 au 23 octobre 2007 dans la rivière Piché. Les espèces sentinelles étaient la barbotte brune (*Ameiurus nebulosus*) et le méné émeraude (*Notropis atherinoides*). L'effluent de la mine East Malartic a un effet chez les deux espèces sentinelles étudiées. Les résultats des analyses statistiques ont démontré que la croissance des barbottes des deux sexes et la condition des barbottes femelles sont plus faibles en zone d'exposition. La baisse de croissance et de condition est une réponse typique d'une exposition à un effluent de mine de métal. En effet, la croissance des poissons peut être affectée négativement par l'exposition aux métaux. L'alimentation des poissons avec des invertébrés contaminés induit une baisse des activités d'alimentation et une dégénérescence des cellules des caecum pyloriques impliqués dans la digestion. Les coûts métaboliques plus élevés engendrés par l'exposition aux contaminants pourraient être responsables de ce phénomène. La baisse de croissance en zone d'exposition peut également être expliquée en partie par la compétition intraspécifique qui semble plus élevée en zone d'exposition. La baisse de condition des barbottes femelles ne dépasse pas le seuil des effets critiques établi par Environnement Canada. Les différences observées entre les ménés émeraude des deux zones d'échantillonnage est l'augmentation de la condition des ménés en zone d'exposition et l'augmentation du poids du foie chez les femelles de la zone d'exposition. L'exposition aux contaminants cause habituellement une baisse de condition des poissons. L'augmentation de la condition et du poids du foie pourrait être attribuable à une plus grande disponibilité de ressources alimentaires en zone d'exposition. Dans le cas où l'augmentation du poids du foie serait due à une agression toxique, on aurait pu s'attendre à une diminution de la condition, ce qui n'a pas été observé dans la présente étude. L'effluent semble donc avoir un effet d'enrichissement sur les ménés émeraude de la zone d'exposition. L'augmentation de la condition et du poids du foie des femelles ne dépasse pas le seuil des effets critiques établi par Environnement Canada.

Le benthos a été échantillonné avec une benne Ponar standard (0,052 m²) le 22 octobre 2007. Les zones de référence et d'exposition ont été échantillonnées à raison de cinq stations par zone et de trois sous-échantillons par station. L'effluent de la mine East Malartic semble avoir un effet sur les invertébrés retrouvés en zone d'exposition. La densité des organismes, l'indice de régularité de Simpson et le coefficient de Bray-Curtis variaient de manière significative entre la zone de référence et la zone d'exposition. Les différences observées entre les deux zones au niveau de ces trois descripteurs ne dépassaient pas le seuil d'effet critique établi par Environnement Canada. Aucune différence significative n'a été observée entre les zones au niveau de la richesse taxonomique et de l'indice de diversité de Simpson. L'analyse des correspondances (AC) a démontré qu'il y avait une différence dans la structure de la communauté benthique des zones de référence et d'exposition. La communauté d'invertébrés de la zone d'exposition était surtout caractérisée par l'abondance des vers *Tubificidae* alors que la communauté de la zone de référence était caractérisée par les éphémères de la famille des *Ephemeridae*. Selon la littérature, les *Tubificidae* sont considérés comme plutôt tolérants aux métaux alors que les éphémères de la famille des *Ephemeridae* y sont sensibles. L'absence d'éphémères de la famille des *Ephemeridae* en zone d'exposition suggère que l'effluent influence la communauté benthique en fonction de la tolérance des organismes aux métaux.

Cet effet ne semble cependant pas très prononcé puisque certains organismes considérés comme sensibles aux métaux sont retrouvés en plus grande abondance en zone d'exposition qu'en zone de référence. C'est le cas des éphémères de la famille des *Caenidae* et des mollusques de la famille des *Planorbidae* qui sont considérés comme sensibles aux métaux. Le substrat en zone d'exposition était composé de limon et d'argile alors que le substrat de la zone de référence était composé de limon et de sable. Cette différence granulométrique pourrait expliquer en partie les différences observées dans les communautés benthiques des deux zones. En effet, certains organismes benthiques ont des préférences pour les substrats fins comme les *Tubificidae* retrouvés en abondance en zone d'exposition.

Quatre séries de tests de toxicité sublétales ont été effectués avec l'effluent de la mine par le MRNF pour les ESEE. Pour les quatre séries de tests effectués, l'effluent final n'a présenté aucune toxicité létale pour le méné tête-de-boule et la cériodaphnie. L'effluent n'a causé aucune inhibition de la croissance pour les essais effectués avec l'algue verte, la lentille d'eau et le méné tête-de-boule. L'effluent n'a causé aucune inhibition de la reproduction de la cériodaphnie. Dans le cas des essais réguliers de toxicité létale, l'effluent n'a présenté aucune toxicité létale en 2007 pour la daphnie *Daphnia magna* et la truite arc-en-ciel.

Équipe de réalisation

Ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec

880, chemin Sainte-Foy, bureau 3.00
Québec (Qc)
G1S 4X4

Louis Marcoux, ing.

Direction du développement et du milieu
miniers, responsable du dossier

Malek Zetchi, chim. M. Sc.

Direction du développement et du milieu
miniers, adjoint au dossier

Alliance Environnement inc.

2, rue Fusey,
Trois-Rivières (Québec) G8T 2T1

Claudie Gagnon, biologiste, M. Sc.

Directrice de projet

Raymond Faucher, biologiste

Conseiller en écologie aquatique et logistique

Guillaume Lapierre, biologiste, M. Sc.

Analyse statistique, rédaction et travaux de
terrain

Isabelle Villemure, biologiste

Rédaction

Martin Beauchesne, biologiste

Travaux de terrain et de laboratoire

Marie-Andrée Gagnon, technicienne

Travaux de laboratoire

François Turgeon, technicien

Lectures d'âge

Yannick Bergeron, technicien

Compilation des données

Jean-Pierre Hamelin, cartographe

Cartographie

Michèle Gagnon, secrétaire

Traitement de texte et édition du rapport

Référence à citer :

Alliance Environnement inc. 2008. *Rapport d'interprétation du suivi final des ESEE*. 72 pages et annexes.

Table des matières

Sommaire	v
Équipe de réalisation	vii
Table des matières	ix
Introduction	1
1 Mise à jour des informations	5
1.1 Modifications au protocole de terrain.....	5
1.2 Modifications au milieu récepteur.....	5
1.3 Opérations du parc à résidus.....	5
1.4 Délimitation du panache de l'effluent.....	5
1.4.1 Méthodologie.....	6
1.4.2 Résultats.....	6
2 Qualité de l'effluent et de l'eau du milieu récepteur	7
2.1 Caractérisation de l'effluent.....	7
2.1.1 Méthodologie.....	7
2.1.2 Résultats et discussion.....	7
2.2 Suivi de la qualité de l'eau du milieu récepteur effectué en vertu du REMM.....	9
2.2.1 Méthodologie.....	9
2.2.2 Résultats et discussion.....	10
2.3 Suivi de la qualité de l'eau du milieu récepteur lors du suivi biologique.....	12
2.3.1 Méthodologie.....	12
2.3.2 Résultats et discussion.....	12
3 Étude des poissons	15
3.1 Méthodologie.....	15
3.1.1 Travaux de terrain.....	15
3.1.2 Travaux de laboratoire.....	15
3.1.2.1 Mesures morphométriques.....	15
3.1.2.2 Estimation de la fécondité.....	16
3.1.2.3 Détermination de l'âge.....	16

3.1.3	Analyse statistique des données.....	16
3.1.3.1	Analyse de covariance.....	17
3.1.3.2	Analyse de variance.....	19
3.1.3.3	Respect des conditions d'application des analyses statistiques.....	19
3.2	Résultats.....	20
3.2.1	Conformité de l'échantillonnage.....	20
3.2.2	Succès de pêche et composition des captures.....	20
3.2.3	Caractéristiques des poissons.....	21
3.2.4	Résultats des analyses statistiques.....	25
3.2.4.1	Croissance.....	26
3.2.4.2	Conditions des poissons.....	32
3.2.4.3	Poids du foie.....	32
3.2.4.4	Investissement reproducteur.....	38
3.2.4.5	Âge.....	38
3.3	Discussion.....	39
3.3.1	Effets sur la barbotte brune.....	39
3.3.2	Effets sur le méné émeraude.....	39
3.3.3	Effets sur le potentiel d'utilisation du poisson.....	40
4	Étude des communautés d'invertébrés benthiques.....	41
4.1	Méthodologie.....	41
4.1.1	Travaux de terrain.....	41
4.1.1.1	Échantillonnage du benthos.....	41
4.1.1.2	Qualité des sédiments et autres observations.....	41
4.1.2	Travaux en laboratoire.....	42
4.1.3	Analyse des données.....	43
4.1.3.1	Descripteurs univariés.....	43
4.1.3.2	Analyses multivariées.....	45
4.2	Résultats.....	46
4.2.1	Caractérisation de l'habitat aux stations d'échantillonnage.....	46
4.2.2	Communauté d'invertébrés benthiques.....	48

4.2.2.1	Fréquence relative des invertébrés.....	49
4.2.2.2	Comparaison des descripteurs univariés.....	51
4.2.2.3	Analyses multivariées	51
4.3	Discussion	55
5	Essais toxicologiques de l'effluent	61
5.1	Matériel et méthodes	61
5.2	Résultats et discussion.....	61
6	Bilan des études	65
6.1	Conclusion générale.....	65
6.2	Recommandations pour la réouverture du site.....	68
	Références.....	69

Annexes

Annexe A :	Délimitation du panache de l'effluent
Annexe B :	Détail des positions des stations, engins et efforts de pêche
Annexe C :	Liste des anomalies externes des poissons
Annexe D :	Validation des lectures d'âge des poissons par l'expert externe
Annexe E :	Données brutes des mesures morphométriques sur les poissons
Annexe F :	Certificats d'analyse de la qualité des sédiments
Annexe G :	Rapport final d'analyse du benthos des laboratoires SAB inc. et validation par l'expert externe
Annexe H :	Matrices des données brutes du recensement des invertébrés benthiques
Annexe I :	Résultats bruts de l'analyse des correspondances

Tableaux

Tableau 1 :	Suivi de l'effluent final à la mine East Malartic	8
Tableau 2 :	Paramètres de la qualité de l'eau du milieu récepteur mesurés dans le cadre du REMM en 2007.....	11
Tableau 3 :	Physico-chimie de l'eau aux stations d'échantillonnage du benthos.....	13
Tableau 4 :	Espèces et nombre de spécimens capturés dans les zones d'exposition et de référence	21

Tableau 5 :	Statistiques descriptives des paramètres morphométriques mesurés chez la barbotte brune.....	22
Tableau 6 :	Statistiques descriptives des paramètres morphométriques mesurés chez le méné émeraude.....	23
Tableau 7 :	Longueur et poids moyens (\pm é. t.) des spécimens non viables des espèces de poissons autres que les espèces sentinelles.....	24
Tableau 8 :	Anomalies externes observées chez les poissons des zones d'exposition et de référence.....	24
Tableau 9 :	Résultats des analyses de covariance utilisant les paramètres morphométriques mesurés chez la barbotte brune.....	27
Tableau 10 :	Résultats des analyses de covariance utilisant les paramètres morphométriques mesurés chez le méné émeraude.....	33
Tableau 11 :	Coordonnées de l'émissaire et des stations d'échantillonnage du benthos (datum : NAD83).....	42
Tableau 12 :	Nature du substrat, profondeur de l'eau, vitesse du courant et autres observations prises aux stations d'échantillonnage du benthos.....	47
Tableau 13 :	Valeurs moyennes des descripteurs univariés des communautés benthiques dans les zones d'exposition et de référence.....	51
Tableau 14 :	Contribution aux axes 1 et 2, densité et fréquence relative des principaux taxons d'invertébrés caractéristiques des deux zones d'échantillonnage (contribution \geq 5 %).....	54
Tableau 15 :	Tolérance aux métaux des principaux taxons des zones de référence et d'exposition.....	56
Tableau 16 :	Résultats des bioessais de toxicité sublétales effectués sur l'effluent final de la mine East Malartic.....	63
Tableau 17 :	Synthèse des différences mesurées entre les zones d'échantillonnage.....	65

Figures

Figure 1 :	Relations entre les paramètres morphométriques mesurés chez les barbottes brunes mâles.....	28
Figure 2 :	Relations entre les paramètres morphométriques mesurés chez les barbottes brunes femelles.....	30
Figure 3 :	Relations entre les paramètres morphométriques mesurés chez les ménés émeraude mâles.....	34
Figure 4 :	Relations entre les paramètres morphométriques mesurés chez les ménés émeraude femelles.....	36
Figure 5 :	Fréquence relative des invertébrés benthiques dans la zone de référence et la zone d'exposition.....	50

Figure 6 :	Dispersion des stations et des principaux taxons responsables de la formation des axes 1, 2 et 3 de l'AC.....	52
Figure 7 :	Dispersion des stations et des principaux taxons responsables de la formation des axes 1 et 2 de l'AC.....	53

Cartes

Carte 1 :	Localisation du site minier East Malartic	3
Carte 2 :	Localisation des stations d'échantillonnage pour l'étude des poissons et du benthos.....	59

Introduction

Ce document constitue le rapport d'interprétation du suivi final d'étude de suivi des effets sur l'environnement (ESEE) de la mine East Malartic (carte 1). Cette étude était requise en vertu du *Règlement sur les effluents de mines de métaux* (REMM) de la *Loi sur les pêches du Canada*. Le site minier est situé à 2 km au sud-est de la ville de Malartic et à environ 30 km à l'ouest de la ville de Val-d'Or. L'effluent final du parc à résidus se déverse dans le ruisseau Raymond qui rejoint la rivière Piché, située dans le bassin versant de la rivière Harricana.

Les travaux de terrain réalisés comprennent l'étude des poissons, l'étude des communautés d'invertébrés benthiques et la mesure des variables environnementales de support. Ces travaux ont été réalisés à l'automne 2007. Le rapport présente aussi le suivi de la qualité de l'eau du milieu récepteur et les résultats des bioessais de toxicité sublétales réalisés par le ministère des Ressources naturelles et de la faune du Québec (MRNF), tests découlant également des exigences du REMM. Ces résultats seront discutés dans le rapport d'interprétation avec les autres volets de l'ESEE.

De façon générale, les travaux ont été réalisés suivant le protocole de terrain du 1^{er} cycle (Alliance Environnement, 2007) soumis à Environnement Canada par la mine. Ce protocole de terrain est basé sur le plan d'étude du 1^{er} cycle des ESEE (Harvey et Wood, 2003) et sur la lettre d'autorisation de l'étude d'Environnement Canada (juillet 2004). Le plan d'étude pour l'étude de 1^{er} cycle a été rédigé en 2003 par la firme Groupe Conseil Génivar. Les travaux de terrain qui étaient prévus pour l'automne 2004 n'ont pas été réalisés en raison de la mise en faillite du propriétaire de l'époque, les Mines McWatters Inc. Ainsi, en octobre 2004, le site East Malartic devenait un site abandonné. Le MRNF assure depuis la sécurité et l'intégrité des lieux. Si les bâtiments et les infrastructures du site ont été vendus depuis, les parcs à résidus, le bassin de sédimentation et le bassin de polissage restent sous la responsabilité du MRNF qui en assure le suivi environnemental selon les normes réglementaires en vigueur.

En octobre 2005, le MRNF a transmis un avis écrit à Environnement Canada afin de faire reconnaître la mine East Malartic comme une mine fermée. Pour respecter en partie les exigences du statut de mine fermée reconnue, la mine est tenue de soumettre à Environnement Canada un plan d'étude de suivi biologique dans les six mois qui suivent la présentation de l'avis de fermeture écrit. C'est ainsi que le 25 avril 2006, le MRNF a indiqué à Environnement Canada qu'il comptait utiliser le plan d'étude de suivi initial soumis par les Mines McWatters Inc. (Harvey et Wood, 2003). Environnement Canada a accepté de recevoir le plan d'étude initial comme le plan d'étude final de l'ESEE.

Les activités réalisées à l'automne 2007 sont bien différentes de celles qui étaient prévues au plan d'étude rédigé en 2003. Pour cette raison, le présent document ne présente pas de réponses aux questions formulées par Environnement Canada dans la lettre d'autorisation de l'étude émise en 2004.

Le rapport d'interprétation du suivi final des ESEE présente premièrement une mise à jour des informations de préconception. Viennent ensuite les résultats et l'interprétation de l'étude proprement dite, soit le suivi de la qualité de l'eau du milieu récepteur, l'étude des poissons, l'étude du benthos et les résultats des bioessais. Enfin, la conclusion fait le bilan des résultats obtenus avec les différents volets de l'étude et établit des recommandations pour la réouverture du site.



Alliance A.7381 Carte: 1 vf1 08.04.23

Carte 1: Localisation du site minier East Malartic

1 Mise à jour des informations

1.1 Modifications au protocole de terrain

Aucune modification importante n'est survenue au protocole de terrain déposé à Environnement Canada en octobre 2007.

1.2 Modifications au milieu récepteur

Aucune modification importante n'a été observée dans le milieu récepteur depuis la réalisation du plan d'étude de 1^{er} cycle (Harvey et Wood, 2003), notamment au niveau de l'hydrographie du milieu, de l'hydrologie, des caractéristiques physiques du milieu récepteur, des infrastructures liées au transport et aux loisirs, des prises d'eau, des effluents pluviaux et industriels

1.3 Opérations du parc à résidus

Bien qu'on signale un arrêt de l'exploitation du minerai, aucune modification n'est survenue au système de traitement des effluents depuis la présentation du plan d'étude de 1^{er} cycle (Harvey et Wood, 2003) (F. Beaudet, comm. pers., janvier 2008¹).

La mine East Malartic a rejeté un effluent de façon sporadique durant la dernière année. Il y a eu écoulement d'un effluent final dans le milieu récepteur durant les périodes suivantes :

- 26 mai au 1^{er} juin, débit total de 287 360 m³ (47 893 m³/j);
- 1^{er} au 7 juin, débit total de 222 220 m³ (37 037 m³/j);
- 11 au 30 septembre, débit total de 838 410 m³ (44 127 m³/j);
- 30 septembre au 30 octobre, débit total de 1 101 088 m³ (36 703 m³/j);
- 30 octobre au 30 novembre, débit total de 849 405 m³ (27 400 m³/j).

1.4 Délimitation du panache de l'effluent

L'effluent final de la mine East Malartic se jette dans un fossé conduisant au ruisseau Raymond, lequel se déverse dans la rivière Piché, à 5 km à l'est du site.

Une première délimitation du panache a été réalisée en octobre 2003 à l'aide de mesures de la conductivité (Harvey et Wood, 2003). La conductivité de l'effluent était alors de 1 000 µmhos/cm. La conductivité de l'eau jusqu'à 250 m en aval de l'émissaire était également de 1 000 µmhos/cm, soit une concentration de 100 %. Aucune délimitation du

¹ François Beaudet, Consultant, communication personnelle, avril 2008.

panache n'a été effectuée plus en aval. Une nouvelle délimitation du panache a donc été effectuée dans le ruisseau Raymond et la rivière Piché à l'automne 2007.

1.4.1 Méthodologie

La nouvelle étude de délimitation du panache *in situ* utilisant la conductivité comme traceur de l'effluent a été réalisée le 15 octobre 2007. Le débit de l'effluent final du 15 octobre n'est malheureusement pas disponible. Toutefois, les débits pour les 12, 16, 17 et 18 octobre sont respectivement de 1 536 m³/h, 1 379 m³/h, 1 354 m³/h et 1 372 m³/h. Ces débits seraient représentatifs de la journée du 15 octobre, nous considérons donc la moyenne de ces valeurs comme débit de l'effluent pour le 15 octobre, soit 1 410,25 m³/h ou 33 846 m³/j.

Les mesures de conductivité ont été prises à l'aide d'un conductivimètre de type YSI multi 550A (précision : ± 0,5 % pleine échelle). Au terrain, des transects verticaux (surface et fond) et latéraux (rive gauche, centre, rive droite) ont été effectués à plusieurs endroits dans le ruisseau Raymond et la rivière Piché afin de déterminer le patron de dispersion de l'effluent dans le cours d'eau, en largeur ainsi qu'en profondeur. Les stations ont été positionnées à l'aide d'un appareil GPS de marque Garmin modèle 72 (la précision dépend des satellites captés et est généralement inférieure à 10 m). Les positions des stations de mesure de la conductivité sont présentées à la carte 2 et à l'annexe A. La carte 2 permet un repérage visuel des éléments de caractérisation du milieu récepteur et présente le positionnement des zones d'échantillonnage de l'ESEE. Nous invitons le lecteur à déployer maintenant cette carte, placée à la fin du chapitre 4 du document, pour accompagner la lecture de celui-ci.

Les mesures de conductivité prises sur le terrain ont été converties en concentrations relatives d'effluent à l'aide de la formule suivante :

$$C_r = [(C_a - C_b) / (C_e - C_b)] * 100$$

où, C_r est la concentration relative de l'effluent dans le milieu récepteur (%), C_a est la conductivité mesurée ($\mu\text{S/cm}$), C_b est la conductivité du milieu ambiant ($\mu\text{S/cm}$) et C_e est la conductivité de l'effluent ($\mu\text{S/cm}$).

1.4.2 Résultats

Lors de la campagne d'échantillonnage, la conductivité de l'effluent non dilué (C_e) était de 650 $\mu\text{S/cm}$ (station R-01) (carte 2). Il a été observé que la concentration d'effluent se maintenait à près de 100 % jusqu'au barrage de castor situé à la confluence du ruisseau Raymond et de la rivière Piché (station E-3). À quelques mètres en aval du barrage de castor, la conductivité de la rivière Piché est de 207 $\mu\text{S/cm}$, soit une concentration d'effluent 29 % (station E-04). Plus en aval, la concentration d'effluent est stable à 25 % jusqu'à une distance d'environ 15 km de l'émissaire (station E-12). Dans le ruisseau Raymond et la rivière Piché, le panache est uniformément distribué dans la colonne d'eau et se répartit de façon homogène sur toute la largeur du cours d'eau. La conductivité du milieu ambiant (C_b), soit la conductivité de la rivière Piché en amont de sa confluence avec le ruisseau Raymond, était de 23 $\mu\text{S/cm}$ (carte 2 et annexe A).

2 Qualité de l'effluent et de l'eau du milieu récepteur

2.1 Caractérisation de l'effluent

Les résultats complets de la caractérisation de l'effluent effectuée en vertu de l'annexe 5 du REMM ont été présentés par le MRNF à Environnement Canada dans son rapport électronique soumis annuellement. Nous présentons ici les résultats pour l'année 2007, soit l'année où le suivi biologique dans le milieu récepteur a été effectué. La station d'échantillonnage du suivi de la caractérisation de l'effluent est présentée à la carte 2.

2.1.1 Méthodologie

En vertu de l'annexe 5 du REMM, les compagnies minières sont tenues d'effectuer une caractérisation de l'effluent. Ce suivi est effectué quatre fois par année. Les analyses physico-chimiques demeurent sous la responsabilité de la mine.

Dans le cadre de ce suivi, des échantillons instantanés ont été prélevés et envoyés dans un laboratoire accrédité pour procéder aux analyses suivantes : dureté, alcalinité, métaux totaux (Al, Cd, Fe, Hg, Mo), ammoniac et nitrates. Le REMM exige également d'effectuer des mesures hebdomadaires des substances nocives : As, Cu, Pb, Ni, Zn, cyanures (si utilisés dans les réactifs), matière en suspension et radium 226.

Les valeurs obtenues pour les différents paramètres ont été comparées avec les concentrations moyennes mensuelles maximales permises pour certaines substances nocives du REMM, lorsque disponibles.

2.1.2 Résultats et discussion

Le tableau 1 présente le rapport d'analyses de l'effluent du site minier East Malartic. Ces analyses se rapportent toutes à l'effluent final pour 2007.

Aucun dépassement des concentrations moyennes mensuelles maximales permises pour les substances nocives n'a été observé en 2007. L'effluent de la mine respecte ainsi les normes de rejet des substances nocives.

Tableau 1 : Suivi de l'effluent final à la mine East Malartic

Date	Volume d'effluent (m ³ /j)	Alcalinité (mg CaCO ₃ /L)	Al (mg/L)	Azote amm. (mg/L N)	Nitrates (mg/L N)	As (mg/L)	Cd (mg/L)	Cu (mg/L)	CN (mg/L)	Fe (mg/L)	Hg (mg/L)	Pb (mg/L)	Mo (mg/L)	Ni (mg/L)	Zn (mg/L)	TSS (mg/L)	Radium 226 (Bq/L)	pH
2007-05-30	65 400					0,001		0,01	0,013			0,001		0,01	0,01	2	0,002	8,07
2007-06-05	36 000					0,001		0,01	0,008			0,001		0,01	0,02	2	0,002	7,97
2007-09-11	34 656					0,001		0,019	0,005			0,002		0,002	0,002	3	0,005	7,93
2007-09-19	51 528					0,002		0,009	0,005			0,001		0,003	0,006	3	0,002	7,89
2007-09-25	47 496					0,004		0,007	0,005			0,001		0,004	0,008	2	0,004	7,85
2007-10-02	47 688					0,001		0,007	0,005			0,001		0,002	0,001	2	0,002	7,87
2007-10-09	39 216					0,001		0,008	0,005			0,001		0,003	0,005	3	0,003	7,79
2007-10-17	32 496	40	0,141	1,17	0,47	0,001	0,0001	0,021	0,005	0,24	0,00002	0,002	0,0020	0,005	0,029	4	0,002	7,78
2007-10-23	36 120					0,002		0,006	0,007			0,001		0,005	0,007	5	0,002	7,7
2007-10-30	21 912					0,001		0,01	0,005			0,001		0,008	0,008	2	0,002	7,7
2007-11-06	30 288					0,001		0,007	0,005			0,002		0,01	0,019	4	0,003	7,49
2007-11-13	33 360					0,0008		0,0005	0,009			0,001		0,0083	0,01	3	0,002	7,48
2007-11-21	14 832	47	0,097	1,60	0,37	0,0006	0,0001	0,0021	0,005	0,19	0,00002	0,0047	0,0015	0,0084	0,002	4	0,002	7,66
2007-11-27	45 048					0,0005		0,0044	0,009			0,0009		0,0099	0,005	4	0,003	7,21
Moy. annuelle	38 289					0,0013		0,0086	0,007			0,0015		0,0063	0,009	3,07	0,003	7,74

2.2 Suivi de la qualité de l'eau du milieu récepteur effectué en vertu du REMM

Les résultats complets du suivi de la qualité de l'eau effectué en vertu de l'annexe 5 du REMM ont été présentés par le MRNF à Environnement Canada dans son rapport électronique soumis annuellement. Nous présentons ici les résultats pour l'année 2007, soit l'année où le suivi biologique dans le milieu récepteur a été effectué. Les stations d'échantillonnage du suivi de la qualité de l'eau sont présentées à la carte 2.

2.2.1 Méthodologie

Dans le cadre du REMM, les compagnies minières sont tenues d'effectuer un suivi de la qualité du cours d'eau récepteur (zone exposée et zone de référence). Ce suivi est effectué quatre fois par année. Les analyses physico-chimiques pour la qualité de l'eau dans le milieu récepteur demeurent sous la responsabilité de la mine. Dans le cadre de ce suivi, des échantillons instantanés ont été prélevés et envoyés dans un laboratoire accrédité pour procéder aux analyses suivantes : température, oxygène dissous, pH, dureté, alcalinité, métaux totaux (As, Al, Cd, Cu, Fe, Hg, MO, Pb, Ni, Zn), ammoniac, nitrates, cyanures (si utilisés dans les réactifs), matière en suspension et radium 226.

Dans le présent rapport, les valeurs obtenues pour les différents paramètres ont été comparées avec les critères de protection de la vie aquatique (CVAC) du ministère du Développement Durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec (MDDEP, 2008) et les recommandations du Conseil canadien des ministres de l'Environnement (CCME, 2003). Les critères pour certains métaux ont été calculés en fonction de la dureté de l'eau.

De plus, un indice mesurant l'ampleur des dépassements des recommandations de MDDEP a été calculé pour chaque date d'échantillonnage de la qualité de l'eau. La formule utilisée pour calculer cet indice provient de l'étude de Clements (2004). Dans cet article, l'indice est appelé « cumulative criterion unit » (CCU) qui sera traduit ici par indice de dépassement cumulatif de critères. Il s'agit de calculer le ratio de la valeur mesurée sur la concentration permise par le critère provincial et de faire la somme pour tous les paramètres mesurés selon la formule suivante :

$$CCU = \sum M_i / C_i$$

où M représente la valeur du paramètre i mesuré et C la valeur limite du critère pour le paramètre i . Les paramètres qui ont été utilisés pour le calcul de l'indice sont : l'aluminium, l'azote ammoniacal, l'arsenic, le cadmium, le cuivre, les cyanures, le fer, le molybdène, le nickel, les nitrates, le plomb, le mercure et le zinc. L'indice des unités de dépassement cumulatif de critères a été calculé afin d'obtenir un point de comparaison avec la littérature et de mesurer l'ampleur des dépassements de critères de façon précise. L'indice CCU a été utilisé par de nombreux chercheurs afin d'évaluer l'ampleur des dépassements de différents critères de protection de l'environnement (Clements, 2004, Clements et al., 2000, Hickey et al., 1999, Hickey et Golding, 2002).

2.2.2 Résultats et discussion

Le tableau 2 présente le suivi de la qualité du milieu récepteur pour l'année 2007 sous la responsabilité de la mine. Des dépassements des critères ont été observés en amont et en aval du point de rejet de l'effluent concernant l'aluminium, le cuivre, les cyanures et le fer. Des dépassements des critères ont été observés uniquement en zone de référence pour le cadmium, le nickel, le pH, le plomb et le zinc. Aucun dépassement de critère n'a été observé uniquement en zone d'exposition.

Dans l'article de Clements *et al.* (2000), les communautés benthiques de quatre catégories de ruisseaux ont été comparées (ruisseaux de référence, peu pollués, moyennement pollués et très pollués). Les ruisseaux ont été catégorisés en fonction de l'indice de dépassement cumulatif des critères de protection de la vie aquatique (CCU). Les ruisseaux peu pollués avaient une valeur de dépassement cumulatif de critère allant de 1 à 2 unités, les ruisseaux moyennement pollués présentaient des valeurs de 2 à 10 unités alors que les ruisseaux fortement pollués présentaient des valeurs de plus de 10 unités de dépassement cumulatif de critère. Le choix de ces échelles de valeurs était arbitraire, on ne peut donc pas s'y référer pour déterminer le niveau de pollution des cours d'eau de la présente étude. Toujours dans l'article de Clements *et al.* (2000), les populations benthiques de ces trois catégories de ruisseaux ont été comparées avec celle des ruisseaux de référence. Bien qu'elles n'étaient pas significatives, des différences dans les communautés benthiques ont été décelées entre les ruisseaux peu pollués et les ruisseaux de référence. Des effets significatifs ont par contre été décelés dans les ruisseaux moyennement et fortement pollués (plus de 2 unités CCU).

Dans la présente étude, les indices de dépassement des critères de protection de la vie aquatique (CCU) calculés dans le milieu récepteur de la mine East Malartic (zones de référence et exposée) présentent des valeurs variant de 2,2 à 139,2 unités CCU. Les valeurs élevées de CCU sont principalement associées à la mesure de l'aluminium dans l'eau et ce, particulièrement dans la zone de référence en mai 2007 (tableau 2). Pour les quatre séries de mesures, le CCU est plus élevé dans la zone de référence comparativement à la zone exposée à l'effluent. Il faut mentionner que le fait que la dureté soit plus élevée en zone d'exposition influence grandement la sommation de tous les dépassements car plusieurs critères du MDDEP (2008) augmentent avec l'élévation de la dureté.

Les données de qualité de l'eau recueillies sont utilisées pour obtenir des mesures de variables environnementales d'appui susceptibles de faciliter l'interprétation des résultats du suivi biologique (études des poissons et de la communauté d'invertébrés benthiques) et des évaluations de la toxicité sublétales. Dans le cas présent, il serait difficile de relier un effet de l'effluent chez les poissons ou le benthos avec les données de qualité de l'eau puisque les dépassements de critères de protection de la vie aquatique sont plus fréquents en zone de référence.

Les données amassées permettent également de suivre l'évolution des conditions environnementales dans les eaux réceptrices. Elles permettent également d'obtenir des informations sur la variabilité de la qualité de l'effluent et les tendances temporelles ou saisonnières. Dans la présente étude, les concentrations de fer et d'aluminium semblent plus élevées aux mois de mai et de novembre.

Tableau 2 : Paramètres de la qualité de l'eau du milieu récepteur mesurés dans le cadre du REMM en 2007

Paramètre	2007-05-30		2007-09-19		2007-10-17		2007-11-21		Critères	
	Réf.	Exp.	Réf.	Exp.	Réf.	Exp.	Réf.	Exp.	MDDEP (2008)	CCME (2003)
Alcalinité (mg CaCO ₃ /L)	2	75	60	55	30	50	13	48	-	-
Al (mg/L)	9,570	0,440	0,109	0,042	0,674	0,070	1,270	0,147	0,087	0,005 - 0,1 ^a
Azote ammoniacal (mg N/L)	0,050	0,050	0,220	0,050	0,110	0,260	0,050	0,240	1,53 - 2,08 ^a	2,22 - 231 ^a
As (mg/L)	0,001	0,0010	0,0040	0,0010	0,0010	0,0010	0,0012	0,0005	0,15	0,005
Cd (mg/L)	<i>0,0003</i>	0,0003	0,0001	0,0001	<i>0,0001</i>	0,0001	<i>0,0001</i>	0,0001	4,9E-05-0,001 ^b	0,0046-0,151 ^b
Cu (mg/L)	0,0100	0,0100	0,0040	0,0040	0,0030	0,0040	0,0034	0,0005	0,0013-0,042 ^b	0,002 - 0,004 ^b
CN tot. (mg CN/L)	0,0090	0,0120	0,0050	0,0050	0,0050	0,0050	0,0090	0,0110	0,005	0,005
Dureté (mg CaCO ₃ /L)	10,0	298,0	425,0	521,0	14,0	550,0	16,0	584,0	-	-
Fe (mg/L)	1,040	0,640	0,760	0,280	0,740	0,160	1,500	0,200	1,3	0,3
MES (mg/L)	15	16	2	2	13	4	37	1	Augmentation de 5	-
Hg (mg/L)	0,00010	0,00010	0,00010	0,00010	0,00002	0,00002	0,00002	0,00002	0,00091	0,0001
Mo (mg/L)	0,0100	0,0100	0,0030	0,0040	0,0010	0,0020	0,0005	0,0018	3,2	0,073
Ni (mg/L)	<i>0,0100</i>	0,0100	0,0110	0,0080	0,0010	0,0070	0,0040	0,0081	0,007-0,232 ^b	0,025-0,15 ^b
Nitrates (mg N/L)	0,040	0,040	0,070	0,070	0,010	1,000	0,040	0,980	40	-
O ₂ dissous (mg/L)	8,68	7,89	8,02	8,41	9,66	9,54	10,74	10,54	>5	>5,5
pH	7,18	7,61	7,28	7,44	6,91	7,45	6,23	6,98	6,5 - 9,0	6,5 - 9,0
Pb (mg/L)	<i>0,0010</i>	0,0010	0,0010	0,0010	0,0020	0,0010	0,0028	0,0005	0,00017-0,030 ^b	0,001-0,007 ^b
Température (°C)	16,7	14,8	12,5	13,4	6,8	6,5	0,2	0,0	-	-
Ra 226 (Bq/L)	0,009	0,002	0,004	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	-	-
Zn (mg/L)	0,090	0,020	0,005	0,006	0,014	0,014	0,003	0,001	0,017-0,534 ^b	0,03
Indice CCU ^c	139,2	9,3	3,5	2,2	21,2	2,4	30,3	4,4	-	-

^a : Critère établi en fonction de la température et ou du pH spécifiques de l'échantillon.

^b : Critère établi en fonction de la dureté spécifique de l'échantillon.

^c : Indice CCU : indice de dépassement cumulatif des critères.

<i>Italique</i>	Dépassement du critère de protection de la vie aquatique, toxicité chronique, MDDEP (2008).
normal	Dépassement de la recommandation du CCME (2003) pour la protection de la vie aquatique.
Gras	Dépassement des deux critères (MDDEP et CCME).

2.3 Suivi de la qualité de l'eau du milieu récepteur lors du suivi biologique

2.3.1 Méthodologie

Lors de la réalisation des travaux de suivi biologique, des mesures de la qualité de l'eau ont été effectuées par les techniciens d'Alliance Environnement. La température ($\pm 0,1$ °C), la concentration en oxygène dissous ($\pm 0,01$ mg/L), le pH ($\pm 0,01$ unité pH) et la conductivité de l'eau ($\pm 0,1$ μ S/cm) ont été mesurés à toutes les stations d'échantillonnage du benthos, à 30 cm sous la surface de l'eau. Les mesures ont été prises avant que les échantillons de benthos ne soient prélevés car la mise en suspension des sédiments par la benne auraient pu fausser les données. L'appareil de mesure utilisé est un multi-sonde de marque YSI modèle 550A. Les sondes ont été calibrées sur le terrain avant la prise des mesures. Les valeurs mesurées ont été comparées avec le CVAC (MDDEP, 2008) et les recommandations du CCME (2003).

2.3.2 Résultats et discussion

À toutes les stations d'échantillonnage, la concentration en oxygène dissous était supérieure à la recommandation du MDDEP (2008) et du CCME (2003) (tableau 3). La conductivité était plus élevée en zone d'exposition (moyenne de 654 μ S/cm) comparativement à la zone de référence (moyenne de 22 μ S/cm). Le pH mesuré dans la zone d'exposition respectait les critères du CCME (2003) et du MDDEP (2008), soit un pH se situant entre 6,5 et 9,0. Par contre, le pH mesuré dans la zone de référence était inférieur aux critères à toutes les stations. L'effluent influencerait donc de manière positive le pH du milieu récepteur.

Tableau 3 : Physico-chimie de l'eau aux stations d'échantillonnage du benthos

Station	Date des mesures	Température (°C)	Oxygène dissous (mg/L)	pH	Conductivité (µS/cm)
<i>Exposition</i>					
E 1	2007/10/22	11,49	10,37	7,10	654
E 2	2007/10/22	11,48	10,41	7,09	654
E 3	2007/10/22	11,50	10,41	7,09	654
E 4	2007/10/22	11,49	11,00	7,11	654
E 5	2007/10/22	11,49	10,80	7,05	654
Moyenne (± écart-type)		11,49 (± 0,01)	10,60 (± 0,29)	7,09 (± 0,02)	654,0 (± 0,0)
<i>Référence</i>					
R 1	2007/10/22	11,65	11,14	6,04	22
R 2	2007/10/22	11,66	11,15	6,09	22
R 3	2007/10/22	11,66	11,15	6,02	22
R 4	2007/10/22	11,61	11,05	6,00	23
R 5	2007/10/22	11,63	11,05	6,01	23
Moyenne (± écart-type)		11,64 (± 0,02)	11,11 (± 0,05)	6,03 (± 0,04)	22,4 (± 0,5)

3 Étude des poissons

3.1 Méthodologie

3.1.1 Travaux de terrain

L'échantillonnage des poissons a eu lieu du 16 au 23 octobre 2007. Les poissons ont été capturés dans la rivière Piché (carte 2).

Toutes les stations d'échantillonnage des poissons ont été positionnées avec un appareil GPS de marque *Garmin* avec correction différentielle *Waas* offrant une précision inférieure à 3 m. Les positions des stations sont présentées à l'annexe B. Une seine de rivage, des verveux, des nasses artisanales et des trappes de type Alaska ont été utilisés pour capturer les poissons. Les détails concernant le type d'engin et la durée de pêche à chaque station sont présentés à l'annexe B.

Tous les poissons capturés ont été dénombrés et identifiés à l'espèce selon la clé d'identification de Scott et Crossman (1974). Les espèces sentinelles choisies étaient la barbotte brune (*Ameiurus nebulosus*) et le méné émeraude (*Notropis atherinoides*). Les barbottes brunes ont été conservées sur la glace et les mesures morphométriques ont été prises au laboratoire de terrain. Les ménés émeraude ont quant à eux été conservés dans une solution de formaldéhyde (10 %) et rapportés aux laboratoires d'Alliance Environnement pour la prise de mesures morphométriques. Les poissons autres que les espèces sentinelles qui étaient vivants au moment de leur capture ont été remis à l'eau.

3.1.2 Travaux de laboratoire

3.1.2.1 Mesures morphométriques

Les mesures prises sur les espèces sentinelles sont la longueur totale (± 1 mm), le poids corporel ($\pm 0,1$ g), le poids du foie ($\pm 0,001$ g), le poids des gonades ($\pm 0,001$ g), le sexe, la fécondité, l'état externe et l'âge (± 1 an). La fécondité des ménés émeraude n'a pu être déterminée en raison du faible avancement du développement des gonades. Chez les espèces autres que sentinelles, les mesures prises sont la longueur totale, le poids corporel et l'état externe.

La longueur a été mesurée avec une règle graduée. Les poids ont été pris avec une balance électronique. L'état externe des poissons a été évalué en vérifiant la présence de toutes les anomalies indiquées sur la liste de vérification apparaissant dans le *Guide technique pour les fabriques de pâtes et papiers* (Environnement Canada, 2005) et présentée à l'annexe C.

Les ovaires des barbottes brunes femelles ont été extraits et conservés dans une solution de formaldéhyde à 10 % pour la détermination ultérieure de la fécondité.

La saisie informatique de toutes les données de l'étude des poissons a été vérifiée par deux techniciens afin de s'assurer de la concordance avec les données originales (méthode lecture/écoute).

3.1.2.2 Estimation de la fécondité

L'estimation de la fécondité des barbottes brunes a été réalisée pour chaque femelle par méthode gravimétrique. Tous les œufs ont été retirés des gonades formolées, puis pesés. Ensuite, 3 échantillons de 100 œufs ont été comptés et pesés. Un coefficient de variation ajusté (CV_{aj}) a été calculé pour chaque gonade. Lorsque le CV_{aj} était supérieur à 20 %, un nouvel échantillon de 100 œufs a été retiré de la gonade et pesé, puis le CV_{aj} a été recalculé. Cette procédure itérative a été répétée jusqu'à ce que le CV_{aj} devienne inférieur à 20 %. Finalement, la fécondité a été estimée par une règle de trois.

3.1.2.3 Détermination de l'âge

La détermination de l'âge (± 1 an) des espèces sentinelles a été réalisée par des techniciens expérimentés, suivant les principes et techniques présentés par DeVries et Frie (1996) et Chalanchuk (1984).

La détermination de l'âge des barbottes brunes a été effectuée à partir de coupes transversales de rayons épineux de la nageoire pectorale préalablement coulés dans de la résine pour fibre de verre. Les coupes avaient une épaisseur d'environ 0,5 mm et ont été montées sur des lames. Le décompte des annuli a été effectué à l'aide d'une loupe stéréoscopique.

La détermination de l'âge des ménés émeraude a été effectuée à partir des écailles montées sur des lames. Les écailles ont été prélevées sur le côté gauche de l'animal au-dessus de la ligne latérale et derrière la nageoire dorsale. Le décompte des annuli de chaque structure a été effectué avec une loupe stéréoscopique.

Un sous-échantillon de 10 % des structures a été confié à un spécialiste externe pour vérification indépendante des lectures d'âge. L'expert retenu est le biologiste René Perreault, qui a lu de nombreux spécimens de plusieurs espèces depuis près de 15 ans, entre autres pour le compte du MRNF. Le pourcentage de concordance entre l'âge déterminé par les professionnels d'Alliance Environnement et celui déterminé par l'expert externe était de 100 % pour la barbotte brune (annexe D). Pour le méné émeraude, le pourcentage de concordance entre les estimations de l'expert et celles d'Alliance Environnement était de 93 %. La totalité des différences notées entre les deux déterminations d'âge était de seulement 1 an.

3.1.3 Analyse statistique des données

L'analyse de covariance (ANCOVA) et l'analyse de variance à un critère de classification (ANOVA) ont été utilisées pour vérifier s'il existait des différences significatives entre les populations de poissons de la zone d'exposition et celles de la zone de référence.

Toutes les analyses statistiques ont été réalisées avec le logiciel SYSTAT, version 11.0.

3.1.3.1 Analyse de covariance

L'ANCOVA a été utilisée pour comparer les relations morphométriques suivantes entre les poissons des deux zones d'échantillonnage :

Renseignements sur la croissance :

- longueur en fonction de l'âge;
- poids corporel en fonction de l'âge.

Renseignements sur la condition des poissons :

- poids corporel en fonction de la longueur.

Renseignements sur les réserves énergétiques ou l'activité hépatique :

- poids du foie en fonction de la longueur;
- poids du foie en fonction du poids corporel.

Renseignements sur l'investissement reproducteur :

- poids des gonades en fonction du poids corporel;
- poids des gonades en fonction de la longueur;
- fécondité en fonction de la longueur;
- fécondité en fonction du poids corporel.

▪ Description de l'ANCOVA

Les paramètres morphométriques (longueur, poids corporel, poids du foie) varient en fonction de l'âge et/ou de la taille des poissons. On ne peut donc pas comparer directement les valeurs brutes de ces paramètres entre les poissons des deux zones lorsque ceux-ci sont d'âge ou de taille différents. L'ANCOVA sert à contourner ce problème. On peut résumer le principe de l'ANCOVA de la façon suivante : une régression linéaire simple est utilisée pour simuler les valeurs de la variable dépendante (ex. : poids des gonades) qui auraient été observées si tous les poissons capturés avaient été du même âge ou de la même taille, puis une analyse de variance sert à tester si ces valeurs simulées présentent des différences significatives entre les deux zones (voir Sokal et Rohlf, 1995, pour plus de détails sur l'analyse de covariance).

Plusieurs étapes ont été suivies afin de s'assurer du respect des conditions d'application de l'ANCOVA et de la validité des résultats, soit : l'identification des valeurs aberrantes, la vérification de la linéarité et de la signification de la relation entre la variable dépendante et la covariable, la vérification de l'homogénéité des variances et de la normalité des distributions, le test de l'homogénéité des pentes et la comparaison des ordonnées à l'origine.

▪ **Identification des valeurs aberrantes**

Les valeurs aberrantes ont été identifiées visuellement, au moyen de graphiques portant en ordonnée les valeurs de la variable dépendante (ex. : poids des gonades) et en abscisse les valeurs de la covariable (ex. : longueur) et ce, pour chaque espèce, pour chaque sexe et pour chaque zone d'échantillonnage. Les valeurs aberrantes ont été exclues des analyses.

▪ **Linéarité et signification de la relation**

Une prémisses de l'ANCOVA est que la relation entre la variable dépendante (Y) et la covariable (X) soit linéaire et significative. La linéarité a été vérifiée visuellement au moyen d'un graphique des valeurs de Y en fonction de X et par l'examen des résidus du modèle de régression de Y sur X (résidus du modèle vs valeurs prédites). Aussi, le coefficient de détermination (R^2) de la régression a été utilisé pour vérifier l'ajustement du modèle et déterminer, lorsque requis, si la transformation logarithmique des données permettait de rendre plus linéaire la relation de Y sur X .

La signification de la régression a été vérifiée au moyen d'un test de signification de R^2 (par analyse de variance). Ce test permet de vérifier si la pente de la régression est significativement différente de zéro.

▪ **Homogénéité des variances et normalité des distributions**

L'homogénéité des variances a été évaluée visuellement par un graphique portant en ordonnée les résidus du modèle d'ANCOVA et en abscisse les valeurs prédites du modèle.

La normalité des distributions a été vérifiée à l'aide du test de Lilliefors (SYSTAT, 1998). Ce test transforme automatiquement les variables en valeurs centrées réduites afin de les comparer à une distribution normale centrée et réduite et présente l'avantage d'être plus puissant que le test de Kolmogorov-Smirnov ordinaire (Lilliefors, 1967; Sokal et Rohlf, 1995). Le test de Lilliefors a été appliqué aux résidus du modèle d'ANCOVA et ce, séparément pour chacune des zones d'échantillonnage.

Lorsqu'une hétérogénéité des variances ou une non-normalité de la distribution était notée, une transformation logarithmique était appliquée aux données. Le choix de la transformation logarithmique est justifié par le fait que la plupart des relations biologiques s'apparentent à des fonctions logarithmiques ou exponentielles (Peters, 1983).

▪ **Test de l'homogénéité des pentes**

Pour être valide, l'ANCOVA nécessite que les pentes des deux droites de régression (une droite pour les poissons de chaque zone d'échantillonnage) soient parallèles. L'homogénéité des pentes a été testée au moyen d'une analyse de variance. Par exemple, pour la régression du poids des gonades en fonction de la longueur, le test d'homogénéité des pentes a été réalisé à l'aide du modèle d'analyse de variance suivant :

$$\text{Poids des gonades} = \text{constante} + \text{zone} + \text{longueur} + \text{longueur} \cdot \text{zone}$$

Si la valeur de probabilité P associée au terme d'interaction ($\text{longueur} \cdot \text{zone}$) est supérieure à 0,05, on considère alors que les pentes des droites de régression sont parallèles.

▪ Comparaison des ordonnées à l'origine

La dernière étape de l'ANCOVA consiste à vérifier s'il existe des différences au niveau des ordonnées à l'origine des deux droites de régression ou, ce qui revient au même, à vérifier si la « hauteur » des droites est la même. Par exemple, pour la régression du poids des gonades en fonction de la longueur, si le test précédent indique que les pentes des deux droites de régression sont parallèles et que le test de comparaison des ordonnées à l'origine indique une différence significative ($P < 0,05$), on peut alors conclure que, peu importe leur longueur, les poissons présentent toujours des gonades plus grosses dans une zone que dans l'autre.

Lors de l'ANCOVA, les moyennes ajustées de la variable dépendante ont été estimées automatiquement pour chaque zone par le logiciel d'analyses statistiques. Ces valeurs ont été utilisées pour calculer le pourcentage de différence observé entre les poissons des deux zones pour chaque variable morphométrique.

3.1.3.2 Analyse de variance

L'ANOVA à un critère de classification a été utilisée pour comparer l'âge moyen des poissons entre les deux zones d'échantillonnage. Le seuil de significativité (P) était de 0,05.

Les conditions d'application de l'ANOVA sont la normalité des distributions et l'homogénéité des variances (homoscédasticité). La normalité a été vérifiée au moyen du test de Lilliefors. L'homogénéité des variances a été vérifiée au moyen du test de Levene.

Lorsque l'une des conditions d'application n'était pas respectée, on tentait de transformer les données pour normaliser les distributions et/ou homogénéiser les variances. Si la transformation des données ne permettait pas de respecter les conditions d'application, un test t pour variances séparées était appliqué lorsque seule la condition d'homogénéité des variances n'était pas respectée, alors qu'un test non paramétrique de Kruskal-Wallis était appliqué dans les cas de violation de l'hypothèse de normalité des distributions (avec ou sans violation de l'hypothèse d'homoscédasticité).

3.1.3.3 Respect des conditions d'application des analyses statistiques

Dans le cas de la comparaison de l'âge des barbottes brunes entre les zones de référence et d'exposition, les conditions de normalité des distributions n'ont pu être respectées chez les individus des deux sexes. Le test non paramétrique de Kruskal-Wallis a donc été utilisé pour la comparaison de l'âge des individus entre les zones d'échantillonnage.

Pour toutes les autres relations étudiées chez la barbotte brune, toutes les conditions d'application des tests statistiques ont été respectées.

Chez les ménés émeraude des deux sexes, la condition d'homogénéité des variances n'a pu être respectée pour toutes les relations concernant l'étude de la croissance. Chez les ménés émeraude mâles, la condition de normalité des données n'a pu être respectée pour la relation « poids du foie vs longueur ». La condition d'homogénéité des variances n'a pu être respectée pour la relation « poids du foie vs poids corporel » et les relations impliquant le poids des gonades. Les analyses de covariance ont tout de même été appliquées à ces relations puisqu'il s'agit d'une analyse robuste à l'hétérogénéité des variances et à la non normalité des distributions (Zar, 1996).

Chez les ménés émeraude femelles, la condition de normalité des données n'a pu être respectée pour les relations « poids du foie vs longueur » et « poids du foie vs poids corporel ». Les analyses de covariance ont tout de même été appliquées à ces relations puisqu'il s'agit d'une analyse robuste à la non-normalité des distributions (Zar, 1996). Dans le cas des relations impliquant le poids des gonades, l'analyse de covariance n'a pu être complétée puisque les pentes des droites de régression n'étaient pas parallèles.

Dans le cas de la comparaison de l'âge des ménés émeraude entre les zones de référence et d'exposition, les conditions de normalité des distributions n'ont pu être respectées chez les deux sexes. Le test non paramétrique de Kruskal-Wallis a donc été utilisé pour la comparaison de l'âge des individus entre les zones d'échantillonnage. Pour toutes les autres relations étudiées chez le méné émeraude, toutes les conditions d'application des tests statistiques ont été respectées.

3.2 Résultats

3.2.1 Conformité de l'échantillonnage

Les deux zones d'échantillonnage étant séparées par une distance d'environ 1 km, il est peu probable que les poissons se déplacent de façon active entre celles-ci. De plus, une section de rapides difficilement franchissable par les poissons sépare les deux zones d'échantillonnage. À ces égards, l'emplacement des zones d'exposition et de référence est tout à fait conforme.

3.2.2 Succès de pêche et composition des captures

L'échantillonnage des poissons a permis la capture de 12 espèces de poissons pour un total de 2 965 poissons dans la zone d'exposition et de 1 299 poissons dans la zone de référence (tableau 4). L'effort de pêche déployé dans la zone d'exposition est plus important (99 engins-jour) que dans la zone de référence (67 engins-jour) puisque les ménés émeraude y étaient moins abondants.

Tableau 4 : Espèces et nombre de spécimens capturés dans les zones d'exposition et de référence

Espèce	Zone d'échantillonnage	
	Exposition	Référence
Barbotte brune (<i>Ameiurus nebulosus</i>)	2 541	762
Méné émeraude (<i>Notropis atherinoides</i>)	190	209
Queue à tache noire (<i>Notropis hudsonius</i>)	139	192
Lotte (<i>Lota lota</i>)	43	44
Meunier noir (<i>Catostomus commersoni</i>)	23	6
Perchaude (<i>Perca flavescens</i>)	12	14
Grand brochet (<i>Esox lucius</i>)	11	2
Omisco (<i>Percopsis omiscomaycus</i>)	5	67
Fouille-roche zébré (<i>Percina caprodes</i>)	1	0
Doré jaune (<i>Sander vitreus</i>)	0	1
Doré noir (<i>Sander canadensis</i>)	0	1
Chabot tacheté (<i>Cottus bairdi</i>)	0	1
Effectif total	2 965	1 299
Effort (CPUE ^a entre parenthèses)		
Trappe Alaska	29 (87,8)	19 (56,9)
Verveux	2 (0,5)	0 (0,0)
Nasse artisanale	33 (4,7)	20 (1,0)
Seine à ménés	35 (7,5)	28 (7,0)
Effort total	99 (29,9)	67 (19,3)

^a : CPUE : Captures par unité d'effort.

L'effort de pêche est exprimé en engin-jour. Un coup de seine a été considéré comme un engin-jour.

3.2.3 Caractéristiques des poissons

Les statistiques descriptives pour les paramètres morphométriques mesurés sur les poissons sont présentées aux tableaux 5 et 6. Les données brutes sont présentées à l'annexe E.

Les barbottes brunes capturées en zone d'exposition ont présenté une longueur moyenne de 148 mm chez les mâles et de 153 mm chez les femelles. En zone de référence, les longueurs moyennes des mâles et des femelles étaient de 166 et 168 mm respectivement.

Les ménés émeraude capturés en zone d'exposition ont présenté une longueur moyenne de 65 mm chez les mâles, de 61 mm chez les femelles et de 62 mm chez les immatures.

En zone de référence, la longueur moyenne des mâles était de 69 mm, celle des femelles était de 65 mm alors que celle des immatures était de 55 mm.

Chez les espèces autres que sentinelles, la longueur et le poids corporel des spécimens non remis à l'eau ont été mesurés. Ces données apparaissent au tableau 7.

Tableau 5 : Statistiques descriptives des paramètres morphométriques mesurés chez la barbotte brune

Paramètre	n ^a	Moyenne	Écart-type	Erreur-type	Médiane	Minimum-maximum
Barbotte brune mâle						
<i>Zone d'exposition</i>						
Longueur totale (mm)	25	147,7	21,0	4,2	141	122 - 192
Poids corporel (g)	25	39,88	18,46	3,69	33,82	22,20 - 78,25
Poids du foie (g)	25	1,177	0,557	0,111	1,018	0,501 - 2,397
Poids des gonades (g)	25	0,059	0,045	0,009	0,040	0,013 - 0,150
Âge (an)	25	2,2	0,7	0,1	2	1 - 4
<i>Zone de référence</i>						
Longueur totale (mm)	25	165,7	22,8	4,6	162	133 - 232
Poids corporel (g)	25	57,17	28,67	5,73	51,28	25,55 - 154,34
Poids du foie (g)	25	1,722	0,798	0,160	1,510	0,704 - 4,234
Poids des gonades (g)	25	0,082	0,053	0,011	0,067	0,025 - 0,239
Âge (an)	25	2,3	0,6	0,1	2	2 - 4
Barbotte brune femelle						
<i>Zone d'exposition</i>						
Longueur totale (mm)	25	152,7	24,8	5,0	144	116 - 201
Poids corporel (g)	25	44,84	23,08	4,62	35,85	18,80 - 107,33
Poids du foie (g)	25	1,502	0,863	0,173	1,102	0,699 - 3,889
Poids des gonades (g)	25	0,665	0,374	0,075	0,468	0,199 - 1,428
Fécondité	24	1292	596	122	1151,5	539 - 2795
Âge (an)	25	2,5	0,8	0,2	2	2 - 4
<i>Zone de référence</i>						
Longueur totale (mm)	25	168,2	22,8	4,6	160	132 - 248
Poids corporel (g)	25	60,26	29,83	5,97	50,22	30,27 - 177,28
Poids du foie (g)	25	1,967	0,940	0,188	1,712	1,000 - 5,331
Poids des gonades (g)	25	0,956	0,518	0,104	0,738	0,423 - 2,701
Fécondité	25	1795	740	148	1682	858 - 4361
Âge (an)	25	2,4	0,7	0,1	2	1 - 4

^a : Les effectifs varient car les paramètres n'ont pu être mesurés sur tous les spécimens.

Tableau 6 : Statistiques descriptives des paramètres morphométriques mesurés chez le méné émeraude

Paramètre	n ^a	Moyenne	Écart-type	Erreur-type	Médiane	Minimum-maximum
Méné émeraude mâle						
<i>Zone d'exposition</i>						
Longueur totale (mm)	35	64,6	5,7	1,0	64	56 - 82
Poids corporel (g)	35	1,87	0,61	0,10	1,74	1,12 - 3,86
Poids du foie (g)	25	0,033	0,010	0,002	0,030	0,022 - 0,058
Poids des gonades (g)	25	0,006	0,004	0,001	0,004	0,003 - 0,021
Âge (an)	26	1,1	0,3	0,05	1	1 - 2
<i>Zone de référence</i>						
Longueur totale (mm)	25	69,1	8,6	1,7	66	56 - 83
Poids corporel (g)	25	2,24	0,87	0,17	1,87	1,24 - 3,91
Poids du foie (g)	25	0,035	0,014	0,003	0,035	0,017 - 0,069
Poids des gonades (g)	25	0,006	0,003	0,001	0,005	0,003 - 0,012
Âge (an)	24	1,3	0,4	0,1	1	1 - 2
Méné émeraude femelle						
<i>Zone d'exposition</i>						
Longueur totale (mm)	34	61,0	3,9	0,7	60	51 - 67
Poids corporel (g)	34	1,57	0,32	0,06	1,49	0,93 - 2,32
Poids du foie (g)	31	0,027	0,006	0,001	0,026	0,017 - 0,043
Poids des gonades (g)	31	0,026	0,006	0,001	0,027	0,011 - 0,035
Âge (an)	31	1,0	0,2	0,03	1	0 - 1
<i>Zone de référence</i>						
Longueur totale (mm)	54	64,8	10,8	1,5	61	46 - 95
Poids corporel (g)	54	1,95	1,24	0,17	1,42	0,73 - 6,52
Poids du foie (g)	25	0,043	0,023	0,005	0,039	0,014 - 0,102
Poids des gonades (g)	25	0,063	0,041	0,008	0,046	0,019 - 0,169
Âge (an)	26	1,3	0,5	0,1	1	1 - 2
Méné émeraude immature						
<i>Zone d'exposition</i>						
Longueur totale (mm)	25	61,6	3,6	0,7	62	56 - 68
Poids corporel (g)	25	1,57	0,28	0,06	1,59	1,15 - 2,24
Âge (an)	25	1	0	0	1	1 - 1
<i>Zone de référence</i>						
Longueur totale (mm)	26	54,8	10,0	2,0	57	25 - 68
Poids corporel (g)	26	1,12	0,48	0,09	1,16	0,12 - 1,99
Âge (an)	25	0,6	0,5	0,1	1	0 - 1

^a : Les effectifs varient car les paramètres n'ont pu être mesurés sur tous les spécimens.

Tableau 7 : Longueur et poids moyens (\pm é. t.) des spécimens non viables des espèces de poissons autres que les espèces sentinelles

Espèce	Zone	<i>n</i>	Longueur totale (mm) ^a	Poids (g)
Queue à tache noire	Exposition	58	47 \pm 10 (35 – 96)	1,02 \pm 1,37 (0,24 – 8,49)
	Référence	90	52 \pm 17 (20 – 90)	1,63 \pm 1,90 (0,06 – 6,81)
Omisco	Exposition	5	78 \pm 3 (75 – 82)	4,40 \pm 0,80 (3,74 – 5,73)
	Référence	65	78 \pm 12 (43 – 108)	4,88 \pm 2,25 (0,73 – 13,31)

^a : les valeurs minimales et maximales apparaissent entre parenthèses.

L'examen des anomalies externes a permis d'établir que celles-ci sont très peu fréquentes chez les espèces de poissons examinées. En effet, la prévalence globale des anomalies (pourcentage des poissons présentant au moins une anomalie) est de 4 % chez les barbottes brunes des zones d'exposition et de référence (tableau 8).

Tableau 8 : Anomalies externes observées chez les poissons des zones d'exposition et de référence

Numéro de l'anomalie	Type d'anomalie	Proportion d'individus atteints (%)	
		Zone d'exposition	Zone de référence
<i>Barbotte brune (n = 50 en zone d'exposition, 50 en zone de référence)</i>			
25	Parasites sur les nageoires	2,0	0,0
26	Nageoires hémorragiques	2,0	4,0
Total (proportion des poissons avec au moins une anomalie)		4,0	4,0
<i>Méné émeraude (n = 94 en zone d'exposition, 209 en zone de référence)</i>			
11	Parasites sur la surface du corps	2,1	0,5
25	Parasites sur les nageoires	2,1	0,0
30	Nageoires pelviennes érodées	0,0	0,5
32	Nageoire caudale érodée	0,0	2,4
Total (proportion des poissons avec au moins une anomalie)		4,3	3,3
<i>Omisco (n = 5 en zone d'exposition, 65 en zone de référence)</i>			
32	Nageoire caudale érodée	0,0	1,5
Total (proportion des poissons avec au moins une anomalie)		0,0	1,5

Les anomalies observées consistaient à des parasites sur les nageoires ainsi qu'à l'observation de nageoires hémorragiques. Chez les ménés émeraude, les anomalies observées étaient des parasites à la surface du corps et des nageoires érodées. La prévalence des anomalies était similaire en zone d'exposition (4,3 %) et de référence (3,3 %). Étant donné que très peu d'omiscos ont été capturés en zone d'exposition (n=5), la comparaison de la prévalence des anomalies ne peut s'effectuer entre les zones pour cette espèce.

3.2.4 Résultats des analyses statistiques

Avant de présenter les résultats des analyses statistiques, il apparaît pertinent d'expliquer les effets de l'exposition aux métaux chez les populations de poissons tels que rapportés dans la littérature.

Communauté

La contamination de l'eau par les activités minières peut avoir un effet sur la structure des communautés de poissons en place. Dans les milieux fortement contaminés, les abondances relatives des espèces de poissons changent en fonction de la tolérance des espèces à l'exposition aux métaux (Maret et MacCoy, 2002, Sherwood, *et al.*, 2000). La tolérance et le taux de contamination dépendent du mode de vie des poissons. Les poissons benthivores sont souvent plus contaminés que les poissons planctonophages ou omnivores (Hebert et Haffner, 1991). Dans certains cas, on peut observer des abondances plus faibles de poissons dans les zones contaminées. Ces baisses d'abondance peuvent être attribuables à un taux de mortalité plus élevé ou à un comportement d'évitement des poissons (Goldstein, *et al.*, 1999).

Dans la présente étude, les espèces sentinelles sont la barbotte brune et le méné émeraude. La barbotte brune est une espèce omnivore qui se nourrit d'invertébrés, de poissons et même de matières végétales. Le méné émeraude est plutôt zooplanctonophage mais peut se nourrir également d'invertébrés benthiques et d'algues.

Croissance et survie

La croissance des poissons peut être affectée négativement par l'exposition aux métaux (Rajotte et Couture, 2002). L'alimentation des poissons avec des invertébrés contaminés induit une baisse des activités d'alimentation et une dégénérescence des cellules des caecum pyloriques impliqués dans la digestion. Farag *et al.*, (1999), avancent que les métaux tels que le plomb, le cadmium et le zinc peuvent réduire la croissance et même la survie des poissons. Gagen *et al.* (1993) ont remarqué des taux de mortalité plus élevés chez les chabots visqueux exposés à de fortes concentrations d'aluminium et des faibles valeurs de pH.

Condition

L'exposition aux métaux (Cd, Cu, Zn) peut occasionner des coûts métaboliques totaux plus élevés chez les populations de poissons (Sherwood *et al.*, 2000, Rajotte et Couture, 2002). Il en résulte un indice d'embonpoint généralement plus faible chez ces populations. Les métaux en suspension affectent négativement les échanges gazeux au niveau des

branchies des poissons et réduisent les capacités aérobiques des poissons (capacité natatoire).

Poids du foie

L'exposition aux métaux peut également avoir un effet sur le poids du foie des poissons. Selon les cas, les poissons exposés pourraient présenter un poids du foie supérieur, égal ou inférieur à ceux capturés dans une zone non contaminée. Une augmentation du poids du foie pourrait être induite par une augmentation des fonctions de détoxification du foie, par un dérèglement du métabolisme des lipides et du glycogène ou par un plus grand stockage d'énergie (AETE, 1998). À l'opposé, une diminution du poids du foie pourrait être le résultat de coûts métaboliques plus élevés chez les poissons exposés aux métaux. Compte tenu de ces résultats différents, il pourrait être difficile de relier une variation du poids du foie avec une cause précise puisque ce paramètre varie en fonction de l'allocation de l'énergie du poisson entre la croissance somatique, le stockage d'énergie dans le foie et l'énergie utilisée pour la reproduction. La variation du poids du foie pourrait être attribuable selon les cas, à l'exposition aux contaminants ou à une disponibilité de ressources alimentaires différente entre les zones exposées et les zones de référence.

Poids des gonades

Le poids des gonades peut également varier en fonction de l'exposition à des contaminants (Hontela *et al.*, 1995). AETE (1998) rapporte que les naseux des rapides, les meuniers et les perchaudes exposés aux effluents de mine allouaient plus d'énergie dans la croissance somatique et moins d'énergie dans le développement des gonades. La fécondité des femelles pourrait également être affectée négativement par l'exposition à des effluents de mines.

3.2.4.1 Croissance

▪ **Barbotte brune**

Chez les barbottes brunes mâles, la croissance était significativement inférieure en zone d'exposition comparativement à celle observée chez les individus de la zone de référence. En effet, la longueur ajustée en fonction de l'âge était significativement inférieure de 8,8 % en zone d'exposition alors que le poids corporel ajusté en fonction de l'âge y était inférieur de 24,0 % (figure 1, tableau 9).

Chez les barbottes brunes femelles, la croissance était significativement inférieure en zone d'exposition comparativement à celle observée chez les individus de la zone de référence. En effet, la longueur ajustée en fonction de l'âge était significativement inférieure de 10,7 % en zone d'exposition alors que le poids corporel ajusté en fonction de l'âge y était inférieur de 30,5 % (figure 2, tableau 9).

Tableau 9 : Résultats des analyses de covariance utilisant les paramètres morphométriques mesurés chez la barbotte brune

Régression	Poissons retirés de l'analyse (n° de spécimen)	<i>n</i>		Test d'homogénéité des pentes (valeur de <i>P</i>)	Test d'homogénéité des ordonnées à l'origine (valeur de <i>P</i>)	Erreur quadratique moyenne (EQM)	Moyenne ajustée des valeurs de la variable dépendante (<i>Y</i>) (unités non transformées)		Différence entre les zones (%)
		Exp.	Réf.				Exp.	Réf.	
Mâles									
Longueur vs âge	-	25	25	0,302	0,004	282,8	149,5	163,9	- 8,8 ^a
Poids corporel (log) vs âge (log)	-	25	25	0,257	0,006	0,021	38,02	50,00	- 24,0 ^a
Poids corporel (log) vs longueur (log)	-	25	25	0,175	0,988	0,001	43,55	43,65	- 0,2
Poids du foie (log) vs longueur (log)	16	25	24	0,948	0,198	0,007	1,247	1,352	- 7,8
Poids du foie (log) vs poids corporel (log)	16	25	24	0,634	0,174	0,007	1,245	1,355	- 8,1
Poids des gonades vs longueur	-	25	25	0,541	0,058	< 0,001	0,077	0,064	+ 20,3
Poids des gonades (log) vs poids corporel (log)	-	25	25	0,077	0,533	0,025	0,057	0,053	+ 7,5
Femelles									
Longueur (log) vs âge (log)	-	25	25	0,237	< 0,001	0,001	150,0	167,9	- 10,7 ^a
Poids corporel (log) vs âge (log)	-	25	25	0,174	< 0,001	0,009	39,45	56,75	- 30,5 ^a
Poids corporel (log) vs longueur (log)	82	24	25	0,320	0,005	0,001	46,45	48,64	- 4,5 ^a
Poids du foie vs longueur	82	24	25	0,420	0,706	0,111	1,757	1,719	+ 2,2
Poids du foie (log) vs poids corporel (log)	-	25	25	0,229	0,861	0,004	1,552	1,542	+ 0,6
Poids des gonades (log) vs longueur (log)	80, 82	23	25	0,898	0,087	0,004	0,697	0,753	- 7,4
Poids des gonades (log) vs poids corporel (log)	80	24	25	0,708	0,549	0,004	0,714	0,733	- 2,6
Fécondité (log) vs longueur (log)	-	24	25	0,928	0,080	0,013	1309	1507	- 13,1
Fécondité (log) vs poids corporel (log)	-	24	25	0,581	0,135	0,011	1330	1489	- 10,7

^a : Différence statistiquement significative.

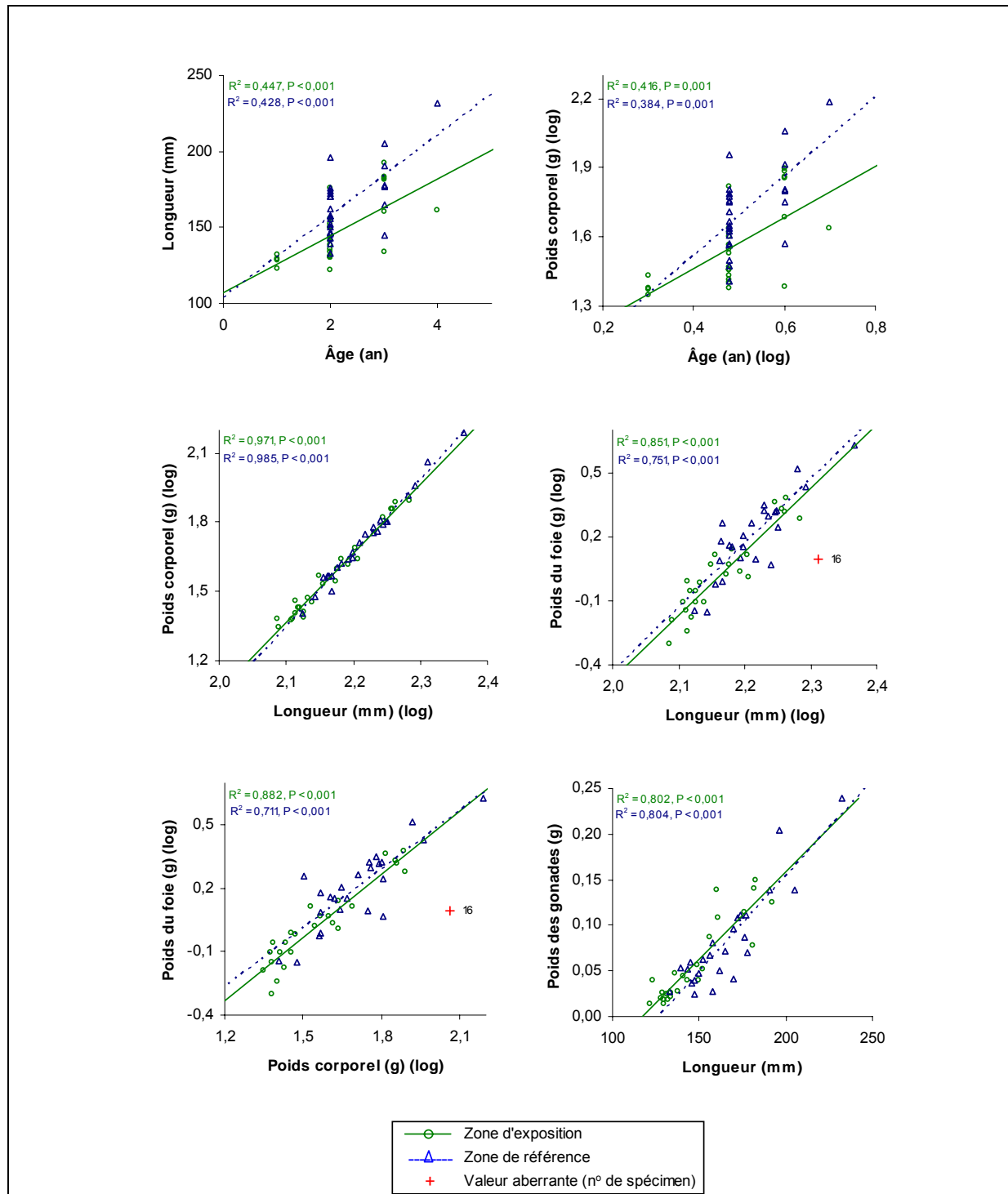


Figure 1 : Relations entre les paramètres morphométriques mesurés chez les barbottes brunes mâles

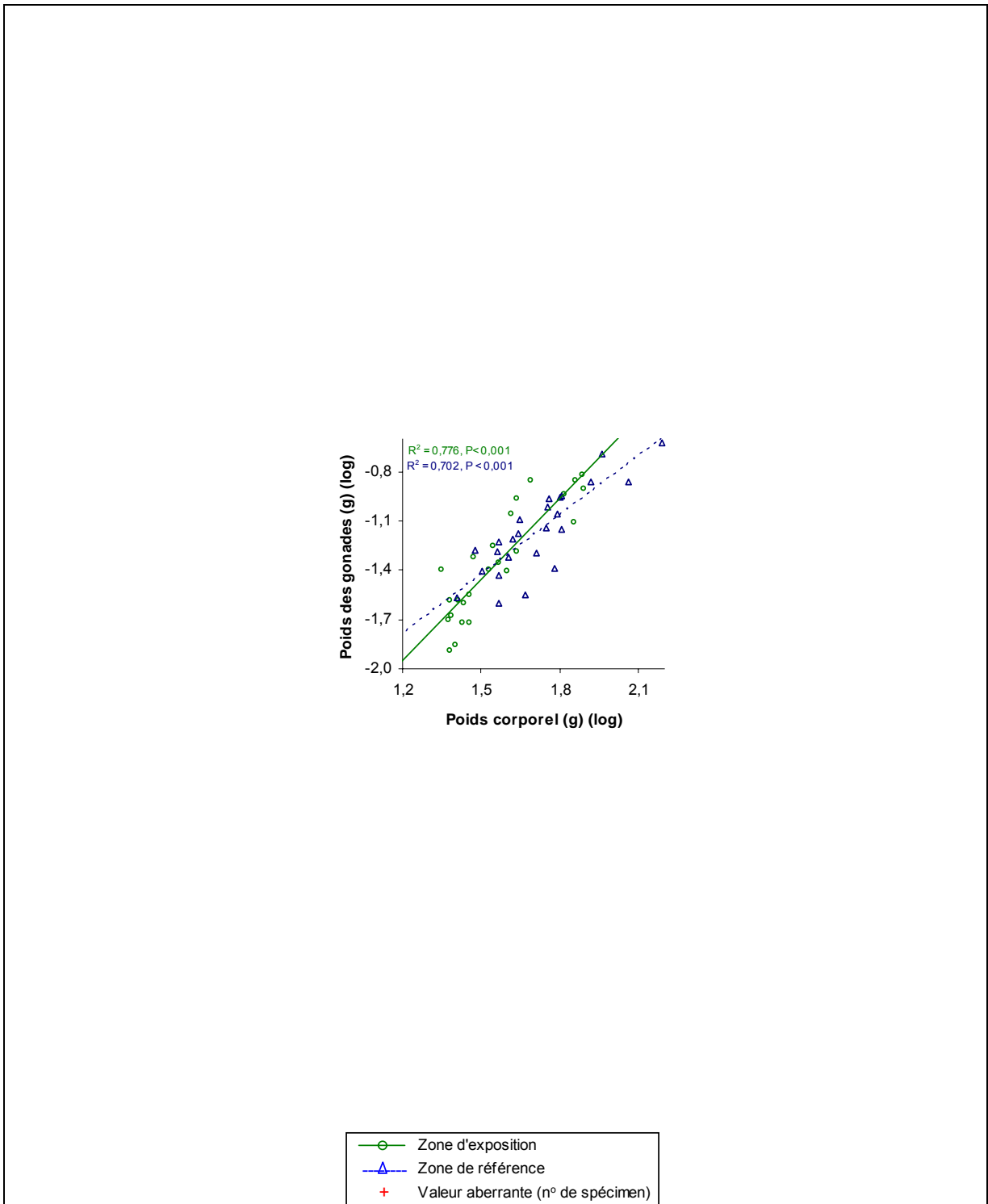


Figure 1 : Relations entre les paramètres morphométriques mesurés chez les barbottes brunes mâles (suite)

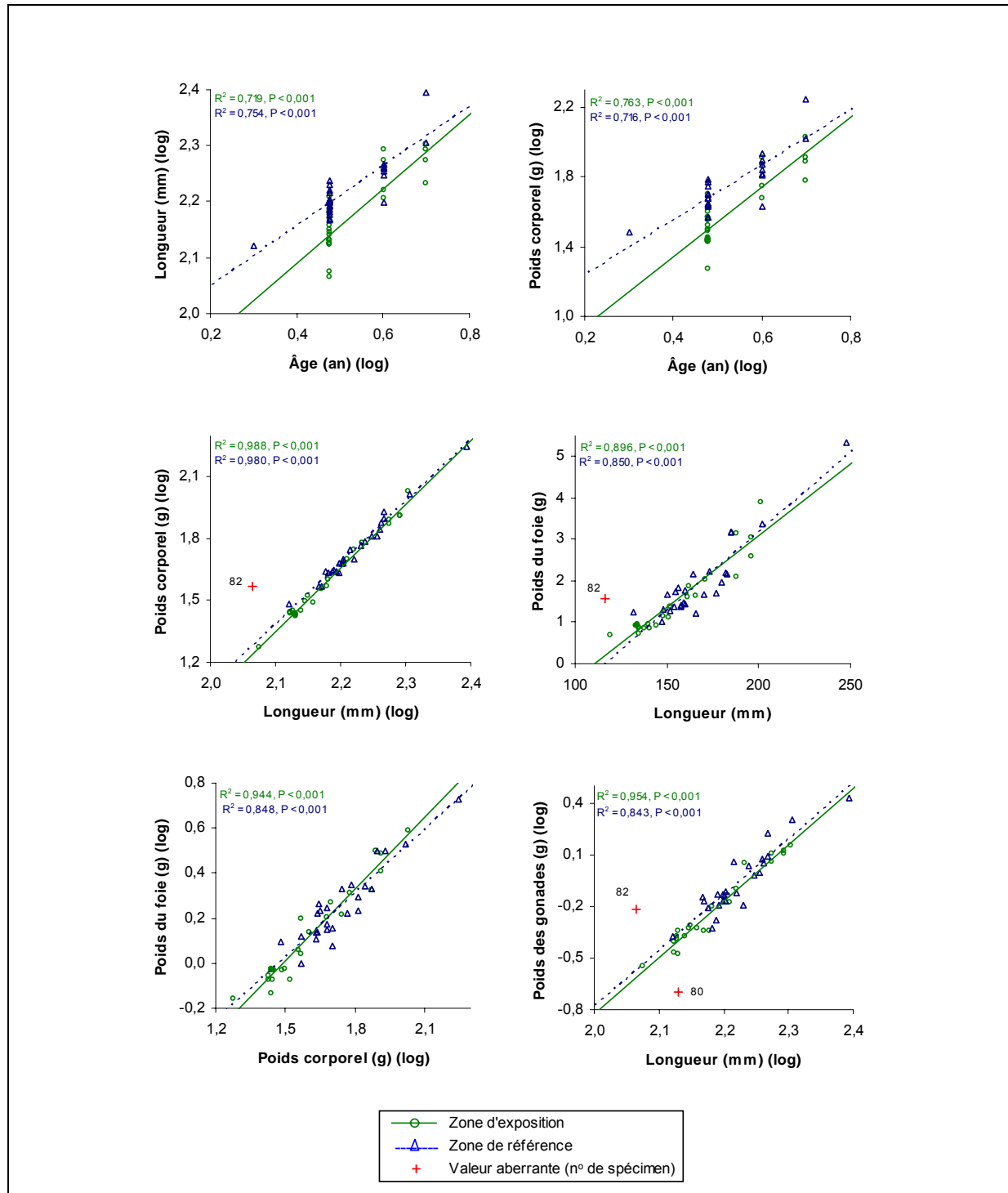


Figure 2 : Relations entre les paramètres morphométriques mesurés chez les barbottes brunes femelles

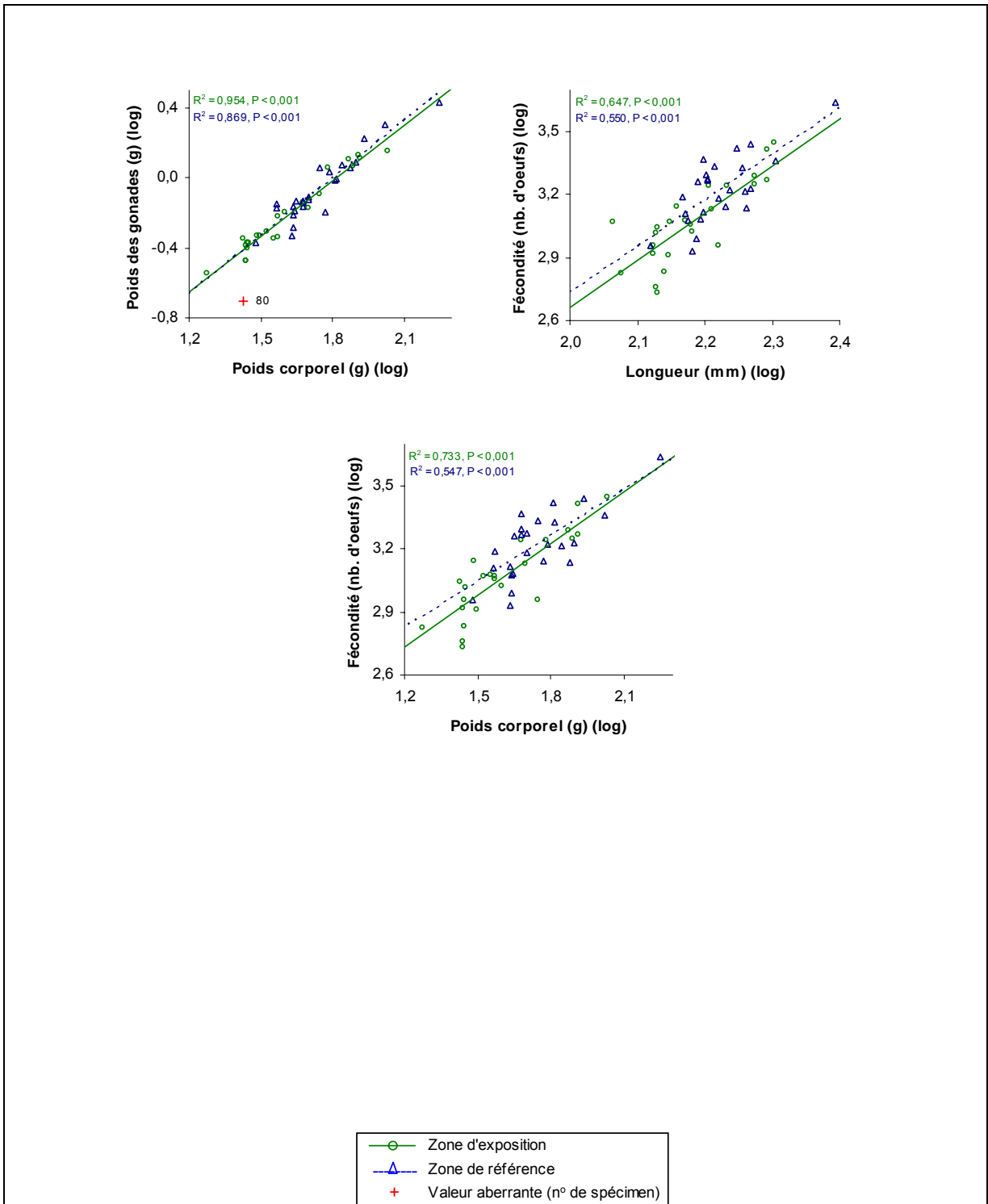


Figure 2 : Relations entre les paramètres morphométriques mesurés chez les barbottes brunes femelles (suite)

- **Méné émeraude**

Chez les ménés émeraude mâles (avec les individus immatures intégrés aux analyses), aucune différence significative de croissance n'a été décelée entre les zones de référence et d'exposition (figure 3 et tableau 10).

Chez les femelles (avec les individus immatures intégrés aux analyses), aucune différence significative de croissance n'a été décelée par la relation « poids corporel vs âge ». Cependant, une différence significative de croissance a été décelée par la relation « longueur vs âge ». En effet, la longueur ajustée en fonction de l'âge était inférieure de 5,2 % en zone d'exposition comparativement à la zone de référence (figure 4, tableau 10).

3.2.4.2 Conditions des poissons

- **Barbotte brune**

La condition des barbottes brunes mâles, exprimée par la relation « poids corporel vs longueur », ne présentait pas de différences significatives entre les zones (figure 1, tableau 9). Cependant, la condition des barbottes brunes femelles était significativement inférieure de 4,5 % en zone d'exposition comparativement à la zone de référence (figure 2, tableau 9).

- **Méné émeraude**

La condition des ménés émeraude mâles était significativement supérieure de 4,2 % en zone d'exposition comparativement à la zone de référence (figure 3, tableau 10). De la même façon, la condition des ménés émeraude femelles était significativement supérieure de 7,4 % en zone d'exposition (figure 4, tableau 10).

3.2.4.3 Poids du foie

- **Barbotte brune**

Chez les barbottes brunes mâles et femelles, le poids du foie ne variait pas significativement entre les zones et ce, pour les deux relations étudiées (figures 1 et 2, tableau 9).

- **Méné émeraude**

Chez les ménés émeraude mâles, aucune différence du poids du foie n'a été décelée et ce, pour les deux relations étudiées (figure 3, tableau 10).

Chez les femelles, le poids du foie était significativement supérieur en zone d'exposition. En effet, le poids du foie ajusté en fonction de la longueur était supérieur de 30,8 % et le poids du foie ajusté en fonction du poids corporel était supérieur de 14,3 % en zone d'exposition (figure 4, tableau 10).

Tableau 10 : Résultats des analyses de covariance utilisant les paramètres morphométriques mesurés chez le méné émeraude

Régression	Poissons retirés de l'analyse (n° de spécimen)	<i>n</i>		Test d'homogénéité des pentes (valeur de <i>P</i>)	Test d'homogénéité des ordonnées à l'origine (valeur de <i>P</i>)	Erreur quadratique moyenne (EQM)	Moyenne ajustée des valeurs de la variable dépendante (Y) (unités non transformées)		Différence entre les zones (%)
		Exp.	Réf.				Exp.	Réf.	
Mâles									
Longueur vs âge ^c	-	51	49	0,544	0,622	29,6	63,0	63,6	- 1,0
Poids corporel (log) vs âge (log) ^c	-	51	49	0,213	0,776	0,017	1,629	1,603	+ 1,6
Poids corporel (log) vs longueur (log)	-	35	25	0,129	0,022	0,001	1,941	1,862	+ 4,2 ^a
Poids du foie (log) vs longueur (log)	-	25	25	0,824	0,101	0,006	0,034	0,031	+ 9,7
Poids du foie (log) vs poids corporel (log)	-	25	25	0,952	0,456	0,005	0,033	0,032	+ 3,1
Poids des gonades (log) vs longueur (log)	-	25	25	0,542	0,219	0,027	0,006	0,005	+ 20,0
Poids des gonades (log) vs poids corporel (log)	-	25	25	0,585	0,500	0,025	0,005	0,005	0,0
Femelles									
Longueur (log) vs âge (log) ^c	-	56	51	0,201	0,005	0,002	60,7	64,0	- 5,2 ^a
Poids corporel (log) vs âge (log) ^c	-	56	51	0,127	0,072	0,018	1,507	1,679	- 10,3
Poids corporel (log) vs longueur (log)	213	34	53	0,489	< 0,001	0,001	1,679	1,563	+ 7,4 ^a
Poids du foie (log) vs longueur (log)	205, 181	30	24	0,186	0,001	0,007	0,034	0,026	+ 30,8 ^a
Poids du foie (log) vs poids corporel (log)	205	31	24	0,085	0,026	0,007	0,032	0,028	+ 14,3 ^a
Poids des gonades vs longueur	-	31	25	< 0,001			Interaction significative ^b		
Poids des gonades vs poids corporel	-	31	25	< 0,001			Interaction significative ^b		

^a : Différence statistiquement significative.

^b : Les pentes des droites de régression ne sont pas parallèles.

^c : Les individus immatures des zones d'échantillonnage respectives ont été intégrés aux analyses.

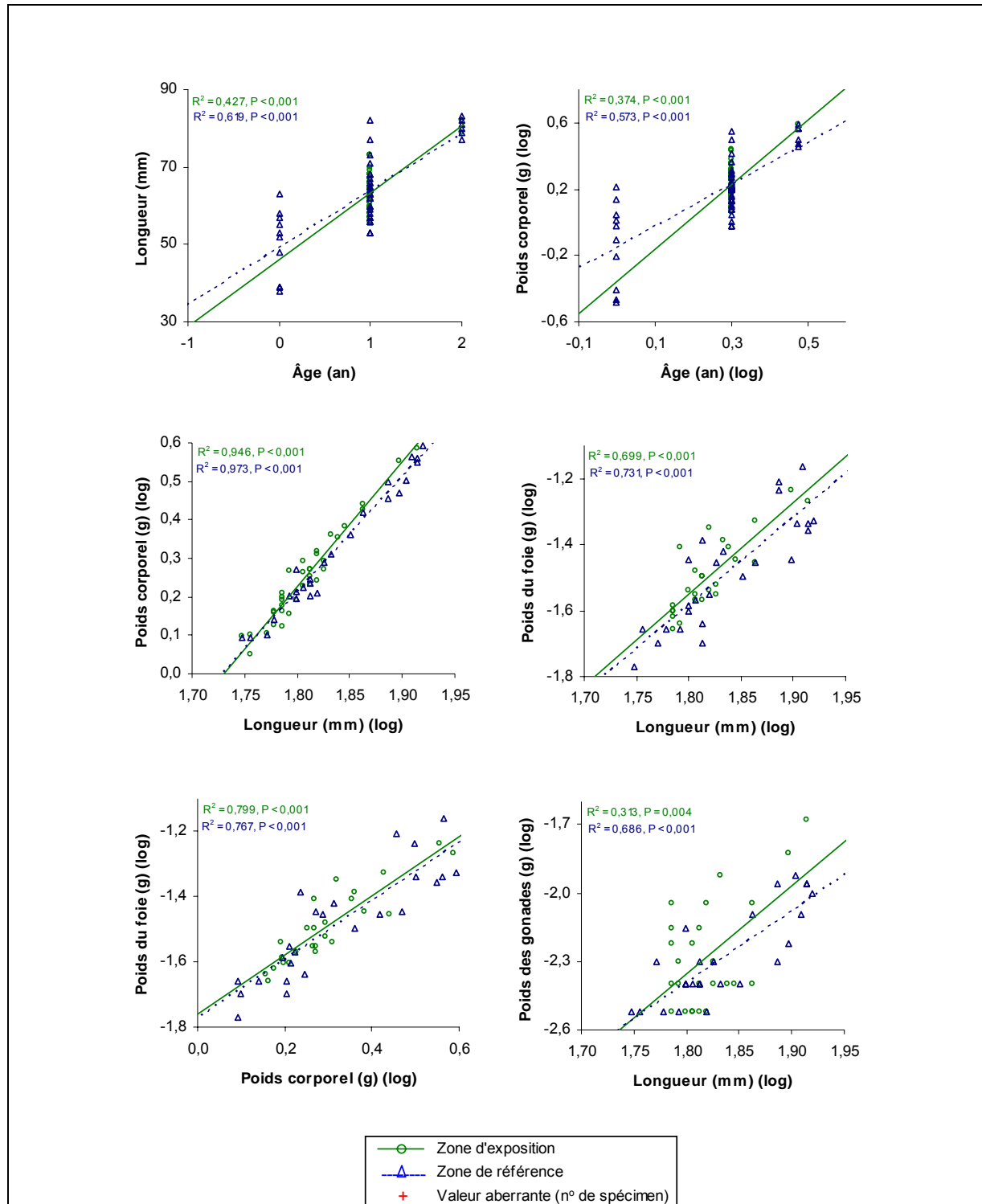


Figure 3 : Relations entre les paramètres morphométriques mesurés chez les ménés émeraude mâles

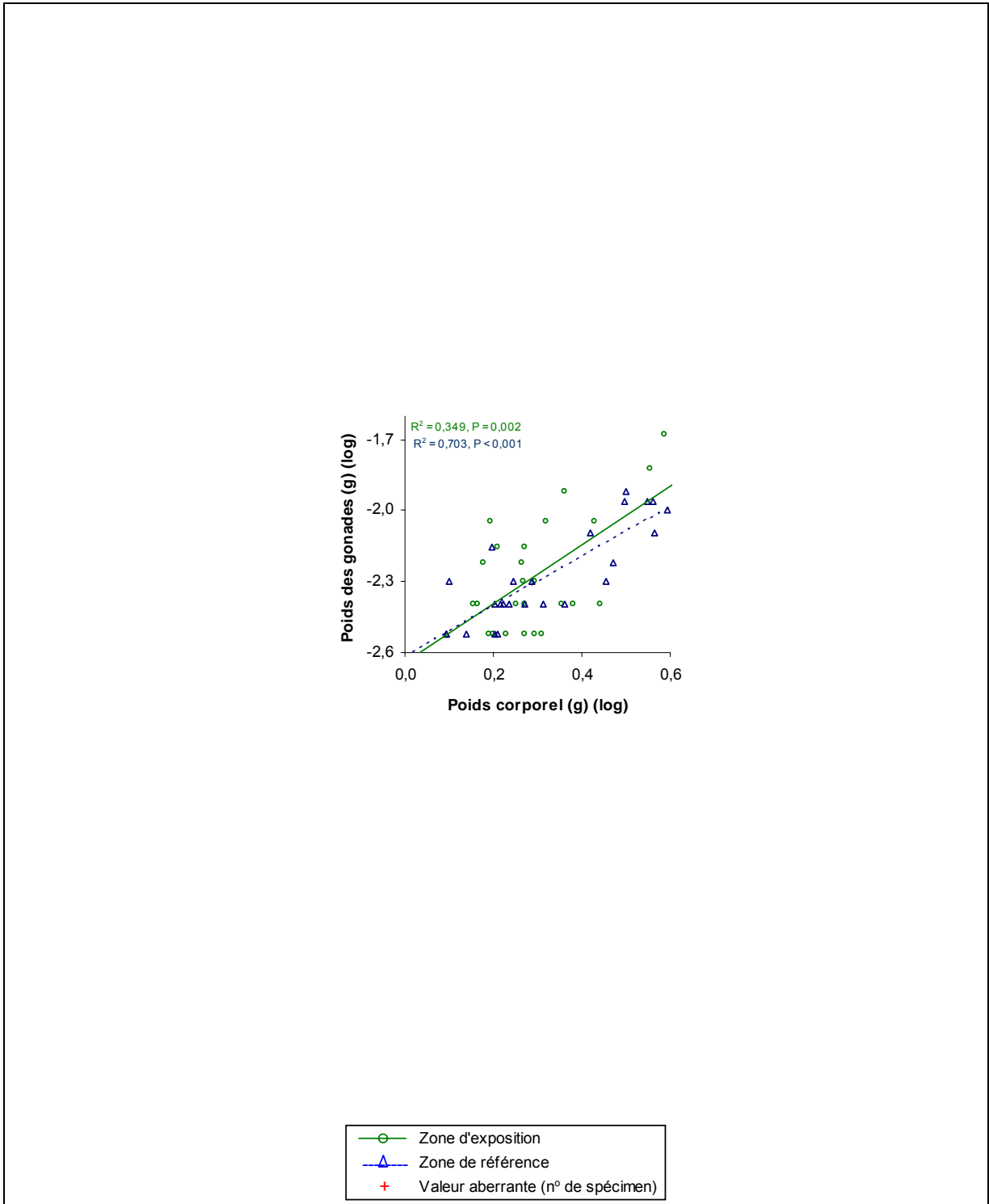


Figure 4 : Relations entre les paramètres morphométriques mesurés chez les ménés émeraude mâles (suite)

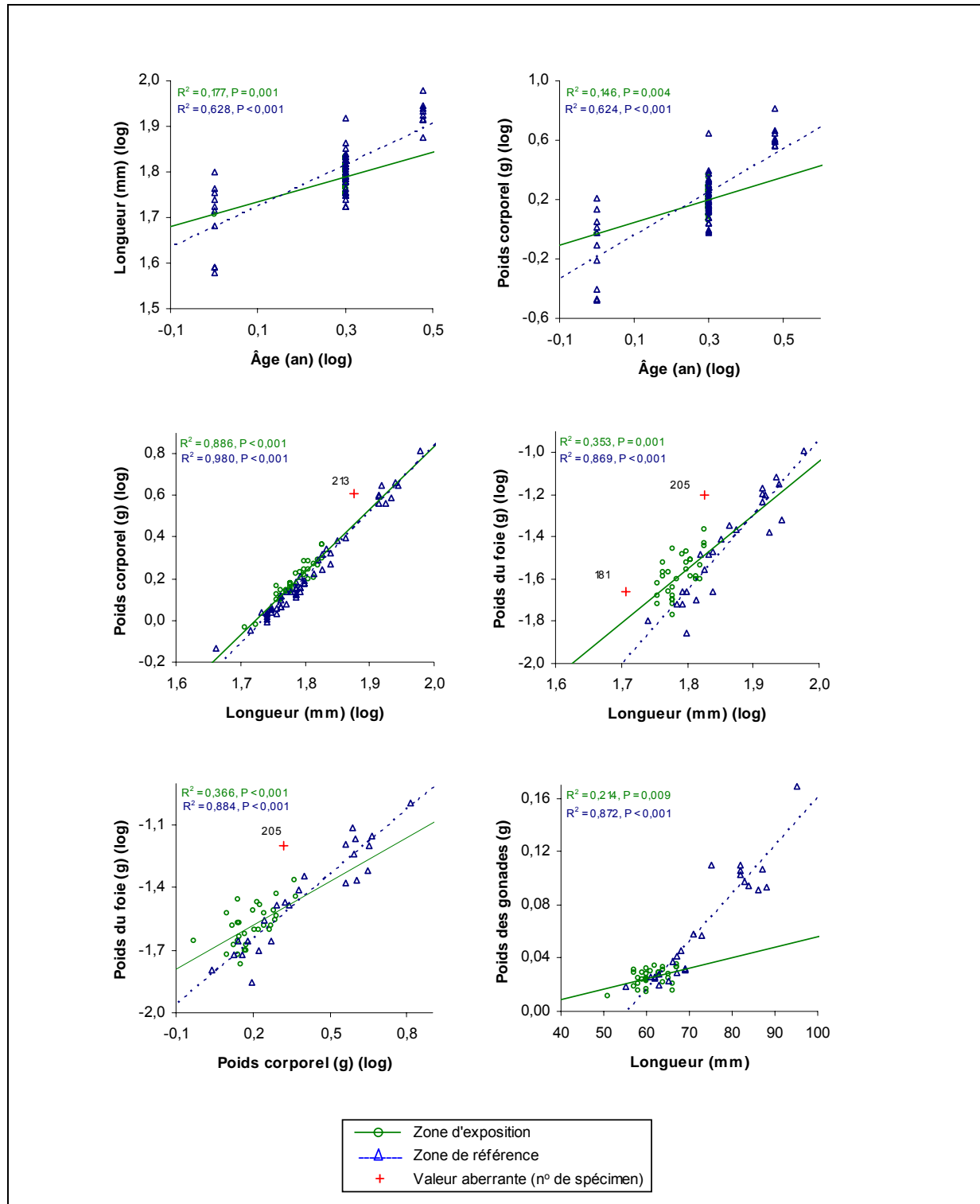


Figure 4 : Relations entre les paramètres morphométriques mesurés chez les ménés émeraude femelles

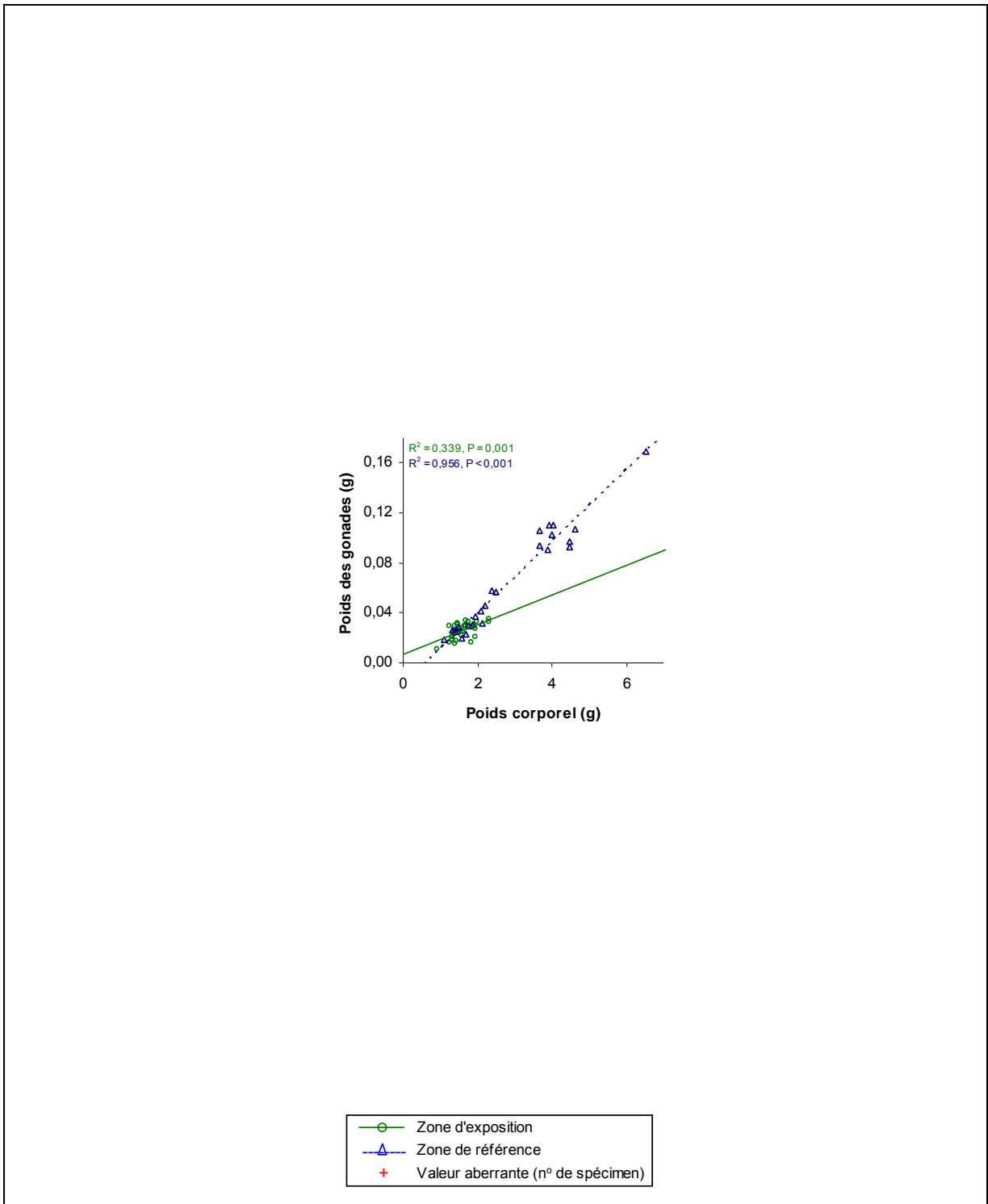


Figure 5 : Relations entre les paramètres morphométriques mesurés chez les ménés émeraude femelles (suite)

3.2.4.4 Investissement reproducteur

- **Barbotte brune**

Chez les barbottes brunes des deux sexes, le poids des gonades ne montrait pas de différence entre les individus des deux zones d'échantillonnage. De plus, aucune différence de fécondité n'a été décelée entre les femelles des deux zones (figures 1 et 2 et tableau 9).

- **Méné émeraude**

Chez les ménés émeraude mâles, le poids des gonades ne montrait pas de différences significatives entre les individus des deux zones d'échantillonnage (figure 3, tableau 10).

Chez les femelles, les analyses de covariance n'ont pu être complétées puisque les pentes des droites de régression n'étaient pas parallèles et ce, pour les deux relations étudiées. En effet, pour la relation « poids des gonades vs longueur », la pente en zone d'exposition (0,001) était inférieure de 75 % comparativement à la pente pour la zone de référence (0,004). Pour la relation « poids des gonades vs poids corporel », la pente en zone d'exposition (0,012) était inférieure de 59 % comparativement à la pente pour la zone de référence (0,029) (figure 4 et tableau 10).

3.2.4.5 Âge

- **Barbotte brune**

L'âge moyen des barbottes brunes mâles n'était pas significativement différent entre la zone de référence (2,3 an \pm 0,6) et la zone d'exposition (2,2 an \pm 0,7) (Kruskal-Wallis, $P = 0,412$). De la même façon, l'âge moyen des barbottes brunes femelles n'était pas significativement différent entre la zone de référence (2,4 an \pm 0,7) et la zone d'exposition (2,5 an \pm 0,8) (Kruskal-Wallis, $P = 0,891$).

- **Méné émeraude**

L'âge moyen des ménés émeraude mâles n'était pas significativement différent entre la zone de référence (1,3 ans \pm 0,4) et la zone d'exposition (1,1 ans \pm 0,3) (Kruskal-Wallis, $P = 0,099$). De la même façon, l'âge moyen des ménés émeraude femelles n'était pas significativement différent entre la zone de référence (1,3 ans \pm 0,5) et la zone d'exposition (1,0 ans \pm 0,2) (Kruskal-Wallis, $P < 0,001$).

3.3 Discussion

3.3.1 Effets sur la barbotte brune

Quelques différences ont été observées au niveau des paramètres morphométriques mesurés sur les barbottes brunes des deux zones d'échantillonnage. En fait, la croissance des barbottes est plus faible en zone d'exposition et la condition des barbottes femelles y est également plus faible. La baisse de croissance et de condition est une réponse typique d'une exposition à un effluent de mine de métal (Rajotte et Couture, 2002). En effet, la croissance des poissons peut être affectée négativement par l'exposition aux métaux. L'alimentation des poissons avec des invertébrés contaminés induit une baisse des activités d'alimentation et une dégénérescence des cellules des caecum pyloriques impliqués dans la digestion. Les coûts métaboliques plus élevés engendrés par l'exposition aux contaminants pourraient être responsables de ce phénomène (Sherwood *et al.*, 2000, Rajotte et Couture, 2002).

La baisse de croissance en zone d'exposition peut également être expliquée en partie par la compétition intraspécifique qui semble plus élevée en zone d'exposition. Les résultats de captures montrent que la densité des barbottes en zone d'exposition est supérieure à celle observée en zone de référence. Lorsque la compétition intraspécifique augmente, la croissance des poissons peut diminuer, les ressources alimentaires étant plus rares pour chaque individu. Cependant, ce facteur ne peut expliquer à lui seul la différence importante de croissance observée entre les barbottes des deux zones.

Mentionnons finalement que la baisse de condition des barbottes femelles ne dépasse pas le seuil des effets critiques établi par Environnement Canada. En effet, le seuil des effets critiques est atteint lorsque la différence de condition des poissons est de plus de 10 % entre les deux zones d'échantillonnage.

3.3.2 Effets sur le méné émeraude

Les différences observées entre les ménés émeraude des deux zones d'échantillonnage sont l'augmentation de la condition en zone d'exposition et l'augmentation du poids du foie chez les femelles de la zone d'exposition.

L'exposition aux contaminants cause habituellement une baisse de condition des poissons. Il semble donc que l'effluent de la mine East Malartic ne cause pas ce genre d'effets chez le méné émeraude puisque la condition des individus des deux sexes était plus élevée en zone d'exposition.

L'augmentation du poids du foie pourrait être attribuable à l'exposition des poissons à des contaminants ou à une plus grande disponibilité de ressources alimentaires en zone d'exposition. En effet, l'augmentation du poids du foie peut être le résultat de différents facteurs. Une augmentation du poids du foie pourrait être induite par une augmentation des fonctions de détoxification du foie, par un dérèglement du métabolisme des lipides et du glycogène ou par un plus grand stockage d'énergie (Hontela *et al.*, 1995, AETE, 1998).

Dans le cas présent, l'effluent semble avoir un effet d'enrichissement sur les ménés émeraude de la zone d'exposition plutôt qu'un effet toxique. Dans le cas où l'augmentation du poids du foie serait due à une agression toxique, on aurait pu s'attendre à une diminution de la condition, ce qui n'a pas été observé dans la présente étude. Il semble donc que l'augmentation du poids du foie et de la condition des ménés soit attribuable à une plus grande disponibilité des ressources alimentaires en zone d'exposition. Il est possible que les invertébrés de la zone d'exposition, dont se nourrissent les ménés émeraude, soient plus vulnérables à la prédation. En effet, le comportement des organismes benthiques peut être affecté par l'exposition aux métaux. La compétition pour l'espace serait plus faible chez les organismes exposés et certains seraient plus vulnérables à la prédation (Kiffney, 1996). L'étude des invertébrés benthiques (chapitre 3) ne peut servir à appuyer cette hypothèse puisque les stations en zone d'exposition ne sont pas situées dans les mêmes secteurs pour l'étude des invertébrés et l'étude des poissons. Les poissons ont été capturés dans la rivière Piché (secteur d'effluent dilué à 29 %) alors que le benthos a été prélevé en zone d'exposition à l'embouchure du ruisseau Raymond (secteur d'effluent non dilué (99 %)). Quoi qu'il en soit, l'effluent ne semble pas causer d'effets négatifs chez les ménés émeraude de la zone d'exposition.

Une diminution de la croissance des ménés émeraude femelles a été décelée par la relation « longueur vs âge ». Tel que mentionné dans le guide technique d'Environnement Canada (2002), cette relation ne peut pas servir à déterminer les effets de l'effluent. La relation « longueur vs âge » est une relation complémentaire servant à corroborer les effets observés par la relation principale « poids corporel vs âge ».

Mentionnons finalement que l'augmentation du poids du foie des femelles ne dépasse pas le seuil des effets critiques établi par Environnement Canada. En effet, le seuil des effets critiques pour le poids du foie est une différence de plus de 25 % entre les deux zones d'échantillonnage. Pour la relation principale « poids du foie vs poids corporel » servant à déterminer les effets de l'effluent, la différence entre les zones n'était que de 14,3 %. Les différences observées au niveau de la condition ne dépassent pas non plus le seuil des effets critiques établi par Environnement Canada, soit une différence de plus de 10 %.

3.3.3 Effets sur le potentiel d'utilisation du poisson

Le MRNF n'est pas tenu de mener une analyse des tissus de poissons puisque les mesures de mercure réalisées pendant la caractérisation de l'effluent sont inférieures à 0,10 µg/L de mercure. Il est donc considéré que l'effluent du parc à résidus n'a aucun effet sur le potentiel d'utilisation des poissons. De plus, aucune plainte n'a été déposée en regard du goût ou de l'odeur des poissons dans le milieu récepteur de l'effluent du parc à résidus.

4 Étude des communautés d'invertébrés benthiques

4.1 Méthodologie

4.1.1 Travaux de terrain

4.1.1.1 Échantillonnage du benthos

Le prélèvement des échantillons de benthos a été fait le 22 octobre 2007 aux cinq stations de la zone d'exposition et aux cinq stations de la zone de référence (carte 2). La zone de référence a été placée dans la rivière Piché alors que la zone d'exposition a été placée à l'embouchure du ruisseau Raymond où la concentration d'effluent se maintient à près de 100 %. L'échantillonnage a été fait avec une benne Ponar standard (0,052 m²), à raison de trois sous-échantillons conservés individuellement par station, pour un total de 30 sous-échantillons de benthos. Les échantillons étaient considérés acceptables uniquement lorsque la benne était refermée de façon étanche et que la profondeur de pénétration de la benne dans les sédiments était d'au moins 5 cm. Si le prélèvement ne satisfaisait pas l'un de ces critères, il était rejeté et un nouveau prélèvement était effectué. Chaque sous-échantillon a été tamisé sur le terrain avec un tamis à mailles de 500 µm. Les sous-échantillons étaient ensuite conservés dans une solution de formaldéhyde à 10 % tamponnée, jusqu'au moment du tri des organismes en laboratoire.

Les coordonnées géographiques des stations sont présentées au tableau 11.

4.1.1.2 Qualité des sédiments et autres observations

Un échantillon de sédiments a été prélevé avec la benne Ponar standard (0,052 m²) à chaque station de benthos pour la détermination de la granulométrie et de la teneur en COT (annexe F). Les échantillons destinés à l'analyse du COT ont été congelés. Ceux destinés à l'analyse granulométrique ont été conservés à la température ambiante.

La granulométrie du substrat a été classée suivant l'échelle de Wentworth (Walton, 1978) :

Argile :	< 0,0039 mm;
Limon :	0,0039 – 0,0625 mm;
Sable :	0,062 – 2 mm;
Gravier :	2 – 16 mm;
Cailloux :	16 - 64 mm;
Galets :	64 - 256 mm;
Blocs :	> 256 mm;
Roche-mère :	s. o.

Tableau 11 : Coordonnées de l'émissaire et des stations d'échantillonnage du benthos (datum : NAD83)

	Latitude (N)	Longitude (O)
Émissaire	48° 06' 35,668"	78° 04' 28,934"
Exposition		
E 1	48° 07' 02,514"	78° 00' 56,264"
E 2	48° 07' 01,675"	78° 00' 56,228"
E 3	48° 07' 01,343"	78° 00' 56,120"
E 4	48° 07' 00,737"	78° 00' 56,314"
E 5	48° 07' 00,231"	78° 00' 56,620"
Référence		
R 1	48° 07' 02,053"	78° 00' 54,568"
R 2	48° 07' 00,728"	78° 00' 54,169"
R 3	48° 06' 59,914"	78° 00' 54,093"
R 4	48° 06' 56,624"	78° 00' 51,951"
R 5	48° 06' 54,968"	78° 00' 54,788"

La profondeur de l'eau et la vitesse du courant ont été mesurées à chaque station d'échantillonnage du benthos. La profondeur a été mesurée avec une corde graduée (± 1 cm) et la vitesse du courant a été mesurée à 30 cm sous la surface avec un courantomètre électronique Swoffer 2100-1518 (± 1 cm/s).

Les informations générales sur le milieu ont aussi été recueillies à chaque station :

- présence et type de végétation aquatique;
- présence de matières solides attribuables à la mine;
- présence de matière organique sur le substrat;
- signes de pollution (odeurs, résidus, couleur, etc.).

Enfin, l'emplacement des stations a été mesuré avec un appareil GPS de marque *Garmin* avec correction différentielle *Waas* offrant une précision inférieure à 3 m.

4.1.2 Travaux en laboratoire

Le tri et l'identification du benthos ont été effectués en sous-traitance par les Laboratoires SAB (Longueuil). Une fois au laboratoire, les échantillons ont été combinés pour chacune des stations. Ils ont été par la suite tamisés sous le robinet à l'aide d'un tamis de 500 μm . Ensuite, tout le zoobenthos a été trié du reste du matériel par des techniciens expérimentés, au moyen d'équipement optique de haute résolution (loupe binoculaire). Le niveau de fractionnement des échantillons, le degré d'efficacité du sous-échantillonnage ainsi que la validation du tri sont présentés à l'annexe G.

L'identification a été réalisée sous loupe binoculaire ou microscope à partir des clés d'identification citées dans Klemm *et al.* (1990). Tous les organismes étaient identifiés à la famille ou à des niveaux taxonomiques supérieurs dans le cas des nématodes qui demandent une méthodologie d'échantillonnage et de préservation particulière pour une identification précise.

Une collection de référence a été réalisée pour une validation externe de l'identification des organismes. La collection a été soumise au Dr Gerry Mackie de l'Université de Guelph (Ontario). La contre-expertise démontre que tous les organismes de la collection avaient été correctement identifiés (annexe G). La collection de référence a été retournée à la mine pour l'entreposage.

4.1.3 Analyse des données

4.1.3.1 Descripteurs univariés

La première étape de l'analyse des données consistait à calculer des descripteurs univariés, c'est-à-dire des indices qui ont pour but de résumer les données de benthos en une valeur unique. Les descripteurs univariés suivants ont été calculés pour chaque station d'échantillonnage :

- densité (nombre d'organismes/m²) ;
- richesse taxonomique (nombre de taxons) ;
- indice de régularité de Simpson (équitabilité) ;
- indice de diversité de Simpson (D') ;
- coefficient de Bray-Curtis (B_C) ;

L'indice de régularité de Simpson (équitabilité) est calculé par la formule de Smith et Wilson (1996) :

$$E = 1 / \sum_{i=1}^S (P_i)^2 / S$$

où P_i est l'abondance relative du i^{e} taxon à la station et S est le nombre total de taxons identifiés à la station.

L'indice de diversité de Simpson a été calculé par la formule (Smith et Wilson, 1996) :

$$D = 1 - \sum_{s=1}^S p_s^2$$

où p_s est le rapport entre l'abondance de la s^{e} espèce et l'abondance totale dans l'échantillon.

Dans sa forme originale, le coefficient de Bray-Curtis permet de mesurer la différence de composition faunistique, exprimée en pourcentages, entre deux sites (x_1 et x_2) d'après la formule (Legendre et Legendre, 1984) :

$$D(x_1, x_2) = \frac{\sum_{i=1}^n |y_{i1} - y_{i2}|}{\sum_{i=1}^n (y_{i1} + y_{i2})}$$

où y_{i1} est le nombre d'invertébrés du taxon i au site 1, y_{i2} est le nombre d'invertébrés du taxon i au site 2 et n est le nombre de taxons présents dans les deux sites. Pour les ESEE, Environnement Canada (2002) demande de modifier cette formule en remplaçant y_{i2} par le nombre médian d'invertébrés de l'espèce i dans la zone de référence. Cette équation modifiée a été utilisée dans la présente étude.

▪ Analyse de variance (ANOVA)

Les descripteurs univariés ont été comparés entre les zones d'exposition et de référence au moyen d'une analyse de variance (ANOVA). L'ANOVA repose sur l'hypothèse de la distribution normale des données et l'homogénéité des variances, mais demeure robuste même en présence de la non-normalité des distributions, à moins que les données ne s'écartent fortement de la distribution normale (Zar, 1996). La normalité des distributions a été vérifiée avec un test de Lilliefors (Lilliefors, 1967; SYSTAT, 1998). Ce test transforme automatiquement les variables en valeurs centrées réduites afin de les comparer à une distribution normale centrée réduite et présente l'avantage d'être plus puissant que le test de Kolmogorov-Smirnov ordinaire (Lilliefors, 1967; Sokal et Rohlf, 1995). L'homogénéité des variances a été vérifiée avec le test de Levene (Snedecor et Cochran, 1980). Ce test présente l'avantage d'être robuste à la non-normalité des distributions (Day et Quinn, 1989). Seules les données de richesse taxonomique et de régularité de Simpson ne respectaient pas les conditions d'application de l'ANOVA. Dans le cas de l'indice de régularité, les transformations logarithmiques ont permis d'homogénéiser les variances. L'ANOVA a donc été faite avec les données transformées. Dans le cas de la richesse taxonomique, la transformation des données n'a pas permis d'homogénéiser les variances. Le test de t pour variances séparées a donc été appliqué à cet indice.

Afin de répondre aux exigences d'Environnement Canada (2002), le nombre de stations pour chacune des zones d'échantillonnage a été fixé à cinq. Les probabilités d'erreurs de type I ou α (zone exposée déclarée à tort différente de la zone de référence alors qu'elle est identique) et de type II ou β (zone exposée déclarée à tort identique à la zone de référence alors qu'elle est perturbée) étaient de 0,1 afin d'obtenir une puissance $(1-\beta)$ de 0,90. En théorie, ceci devrait permettre de détecter un effet de l'effluent de la mine sur les invertébrés de ± 2 écarts-types pour chacun des descripteurs univariés entre la zone de référence et la zone exposée. Ainsi, une valeur de probabilité $P < 0,1$ indiquera une différence significative entre la zone de référence et la zone d'exposition.

4.1.3.2 Analyses multivariées

▪ Analyse des correspondances

Les descripteurs univariés ne permettent pas toujours de bien représenter la composition des communautés d'invertébrés benthiques. Par exemple, deux stations présentant la même densité d'invertébrés, la même richesse taxonomique, la même diversité et la même régularité peuvent être composées d'espèces tout à fait différentes. Afin de remédier à ce problème, l'analyse des correspondances (AC) a été appliquée aux données de benthos.

L'analyse des correspondances est une des techniques d'ordination les plus utilisées et les plus efficaces pour étudier la composition des communautés d'invertébrés benthiques. Cette analyse permet de résumer en quelques dimensions, généralement au nombre de deux ou trois, appelées « axes » ou « facteurs », toute l'information contenue dans la matrice des données de benthos, laquelle est multidimensionnelle (plusieurs taxons et plusieurs stations). En bref, l'AC dont les principes sont décrits, entre autres, dans Legendre et Legendre (1984), permet de positionner chaque station et chaque taxon dans un espace à deux ou trois dimensions (X, Y et Z) et ainsi, de représenter graphiquement les ressemblances entre les stations (c.-à-d. déterminer quelles stations ont des communautés d'invertébrés comparables), et/ou les correspondances entre les stations et les espèces (c.-à-d. déterminer quelles espèces sont principalement responsables des différences observées entre les stations). La position des stations sur les axes de l'AC est directement dépendante de la composition et de l'abondance des taxons présents dans la communauté d'invertébrés benthiques de chacune des stations. La proximité des stations sur les axes de l'AC indique leur degré de similitude. Les stations rapprochées ont une communauté benthique similaire alors que les stations éloignées ont une communauté d'invertébrés dissemblable.

L'analyse des correspondances est une technique non paramétrique, c'est-à-dire qu'elle ne requiert pas la normalité des distributions ou l'homogénéité des variances. Il n'est donc pas nécessaire de transformer les données avant de procéder à l'analyse. En conséquence, aucune transformation de données n'a été appliquée avant de procéder à l'AC.

La présence de nombreux zéros dans la matrice de données n'affecte pas le résultat de l'analyse, puisque la métrique du χ^2 et la distance du χ^2 , qui sont à la base de l'analyse, sont des coefficients asymétriques qui ne tiennent pas compte des doubles zéros dans l'estimation de la ressemblance (Legendre et Legendre, 1984). Cependant, l'analyse des correspondances serait sensible aux espèces retrouvées seulement à quelques stations où peu d'autres espèces sont présentes (Jongman *et al.*, 1987). Dans un tel cas, ces espèces « rares » pourraient avoir une influence notable sur les résultats de l'AC, ce qui pourrait justifier leur retrait de l'analyse. Dans la présente étude, les AC ont d'abord été effectuées avec, puis sans les espèces « rares », définies comme étant celles retrouvées à une seule station et représentant moins de 5 % des organismes à cette station. L'ajout ou le retrait des espèces rares n'influencait pas de façon notable les résultats de l'AC. L'AC présentée est donc celle incluant les espèces rares. Le logiciel *NTSYSpc version 2.0* a été utilisé pour réaliser l'AC.

▪ **Analyse de variance multidimensionnelle (MANOVA)**

À la suite de la réalisation de l'AC, les pointages des stations sur les axes 1, 2 et 3 de l'AC ont été comparés entre les zones au moyen d'une analyse de variance multidimensionnelle (MANOVA), afin de tester si les différences révélées par l'AC étaient statistiquement significatives.

L'analyse MANOVA repose sur les hypothèses de multinormalité des distributions et d'homogénéité des variances. L'homogénéité des variances a été vérifiée au moyen d'un test de Levene (Snedecor et Cochran, 1980; SYSTAT, 1998). La normalité des distributions unidimensionnelles (axes 1, 2 et 3) a été vérifiée au moyen du test de Lilliefors.

L'homogénéité des variances a été respectée dans le cas des pointages sur les axes 1 et 2 mais pas pour les pointages de l'axe 3 de l'AC. Les transformations logarithmiques des données n'ont pas permis de corriger la situation. L'analyse MANOVA a tout de même été appliquée aux données non transformées en présumant que les résultats sont valides puisque l'analyse de variance est une analyse robuste à l'hétérogénéité des variances (Zar, 1996).

4.2 Résultats

4.2.1 Caractérisation de l'habitat aux stations d'échantillonnage

Le substrat était composé principalement de limon (80 %) et d'argile (13 %) en zone d'exposition alors qu'il était principalement composé de limon (64 %) et de sable (24 %) en zone de référence (tableau 12).

Les teneurs moyennes en carbone organique total (COT) dans les sédiments étaient similaires en zone d'exposition (2,0 %) et en zone de référence (2,6 %) (annexe F).

La transparence était plus grande en zone d'exposition (> 1,4 m) qu'en zone de référence (0,25 m). En effet, l'eau de l'effluent est limpide comparativement aux eaux turbides de la rivière Piché. La transparence réelle de l'eau en zone d'exposition n'a pu être mesurée en raison des profondeurs insuffisantes. La carte 2 présente une photo qui illustre le mélange des deux masses d'eau à la rencontre du ruisseau Raymond et de la rivière Piché.

Enfin, la profondeur de l'eau aux stations d'échantillonnage et la vitesse du courant étaient semblables dans les deux zones.

Tableau 12 : Nature du substrat, profondeur de l'eau, vitesse du courant et autres observations prises aux stations d'échantillonnage du benthos

Station	Granulométrie (%)				COT (%)	Profondeur de l'eau (m)	Transparence (m)	Vitesse du courant (m/s)	Présence de végétation, signes de pollution, odeurs, etc.
	Gravier	Sable	Limon	Argile					
Exposition									
E 1	0,0	3,9	80,1	16,0	2,11	1,3	>1,4	0,10	-
E 2	0,0	8,8	79,0	12,2	1,99	1,3	>1,4	0,10	-
E 3	0,0	9,7	78,6	11,7	1,83	1,4	>1,4	0,08	-
E 4	0,0	10,4	79,3	10,3	2,33	1,2	>1,4	0,09	-
E 5	0,0	5,5	81,4	13,1	1,83	1,2	>1,4	0,10	-
Moyenne (± écart-type)	0,0 (± 0,0)	7,7 (± 2,8)	79,7 (± 1,1)	12,7 (± 2,1)	2,02 (± 0,21)	1,28 (± 0,08)	-	0,1 (± 0,0)	
Référence									
R 1	0,0	42,5	46,4	11,1	2,58	1,5	0,25	0,10	-
R 2	0,0	27,6	62,1	10,3	1,78	1,0	0,25	0,08	-
R 3	0,0	24,6	67,7	7,7	2,13	1,3	0,25	0,06	-
R 4	0,0	19,7	67,2	13,1	2,50	1,2	0,25	0,06	-
R 5	0,0	4,4	76,4	19,2	3,84	1,1	0,25	0,05	-
Moyenne (± écart-type)	0,0 (± 0,0)	23,8 (±13,8)	64,0 (±11,1)	12,3 (± 4,3)	2,57 (± 0,78)	1,22 (± 0,19)	0,25 (± 0,00)	0,1 (± 0,0)	

4.2.2 Communauté d'invertébrés benthiques

Avant de présenter les résultats concernant les communautés d'invertébrés, il apparaît pertinent d'expliquer les effets de l'exposition aux métaux chez les invertébrés benthiques tels que rapportés dans la littérature.

Effets sur la structure des populations

Les effets des métaux sur les invertébrés ont été largement étudiés tant en milieu terrestre (Nahmani et Rossi, 2003), marin (Pruski et Dixon, 2002, Siah *et al.*, 2003) que d'eau douce (Kiffney et Clements *In* Simon, 2003). Plusieurs invertébrés benthiques servent de bio-indicateurs dans le cadre de suivis environnementaux et sont souvent utilisés pour déterminer l'état de santé des écosystèmes (Berryman *et al.* 2003, St-Onge, 1997).

L'exposition aux métaux peut provoquer des effets directs et indirects à différents niveaux d'organisation biologique allant de l'expression des gènes des individus à la structure des populations d'invertébrés benthiques et des communautés auxquelles elles appartiennent (Kiffney et Clements *In* Simon, 2003).

Tolérance aux métaux

La tolérance des organismes benthiques à l'exposition aux métaux est fonction de la capacité de ces organismes à métaboliser et excréter ces éléments. Lorsque les concentrations de métaux dans l'environnement surpassent la capacité des organismes à métaboliser les métaux, il en résulte des effets toxiques (Kiffney et Clements *In* Simon, 2003). Dans ce cas, le nombre d'espèces observées et l'abondance des organismes peuvent diminuer. Cependant, la richesse en espèces aux sites pollués peut demeurer la même qu'aux sites de référence dans le cas où des espèces tolérantes viendraient remplacer les espèces intolérantes (Clements, 1992). Il est également possible que l'exposition aux métaux affecte de façon uniforme toutes les espèces présentes dans le cours d'eau.

L'exposition à des concentrations sublétales de métaux peut réduire la croissance, la fécondité et la survie des invertébrés benthiques. Le coût métabolique associé aux efforts de détoxification pourrait provoquer ces changements du cycle vital. Le comportement des organismes peut aussi être affecté par l'exposition aux métaux. La compétition pour l'espace serait plus faible chez les organismes exposés et certains seraient plus vulnérables à la prédation (Kiffney, 1996).

Certaines populations d'invertébrés benthiques exposés de façon chronique aux métaux peuvent développer une résistance plus forte que celle des populations non exposées. Les coûts énergétiques associés au développement d'une résistance peuvent provoquer une plus grande sensibilité aux autres facteurs de stress comme la variation du pH (Klerks et Levinton, 1992). Les populations benthiques exposées aux polluants pourraient donc être plus sensibles à tout changement apporté à l'écosystème.

Plusieurs études portant sur les effets des métaux sur la structure des communautés benthiques ont démontré que de façon générale, l'abondance relative des éphéméroptères

était plus faible et l'abondance relative des chironomides (ordre des diptères) était plus forte dans les milieux contaminés par les métaux (Kiffney et Clements *in* Simon, 2003). Ces observations ont été faites dans une grande variété d'habitats dans toute l'Amérique du Nord. La famille des Hydropsychidés (ordre des trichoptères) et plusieurs plécoptères seraient, comme les chironomides, parmi les plus tolérants aux métaux. Dans l'ordre des éphéméroptères, les familles des Heptageniidés et des Ephemerellidés seraient les plus sensibles aux métaux. Il est cependant important de faire attention aux généralisations en ce qui a trait à la tolérance de certains groupes taxonomiques. Par exemple, si certains taxons de chironomides sont tolérants aux métaux (*Orthocladini*), d'autres (*Tanytarsini*) y sont aussi sensibles que les éphéméroptères.

Quelques indices de tolérance aux métaux ont été développés et peuvent se révéler de bons indicateurs pour délimiter les zones touchées par la pollution aux métaux. Klemm *et al.* (1990) présentent la sensibilité aux métaux de plusieurs organismes benthiques et McGuire (1992, 1993, 1994) utilise des valeurs de tolérance aux métaux variant de 0 à 10, où 10 représente la tolérance maximale aux métaux. Ces valeurs de tolérance seront utilisées pour expliquer les changements qui pourraient être observés dans les communautés benthiques de la présente étude.

4.2.2.1 Fréquence relative des invertébrés

L'examen des fréquences relatives des invertébrés permet de distinguer quelques différences entre la zone de référence et la zone exposée à l'effluent. Les arthropodes constituaient la majeure proportion des organismes retrouvés dans les deux zones étudiées. Leur fréquence relative était un peu plus élevée dans la zone de référence (72 % des invertébrés) que dans la zone d'exposition (61 %) (figure 5 et annexe H). À l'inverse, la proportion des annélides était supérieure en zone d'exposition (20 %) comparativement à la zone de référence (3 %). Les nématodes, quant à eux, étaient observés plus fréquemment en zone de référence (7 %) qu'en zone d'exposition (2 %). Enfin, la proportion de mollusques était similaire dans les deux zones d'échantillonnage.

En zone de référence et d'exposition, les mollusques étaient représentés principalement par les familles des *Sphaeriidae* et des *Hydrobiidae*. Les annélides identifiés dans les deux zones d'échantillonnage appartenaient principalement à la famille des *Tubificidae*.

En zone de référence, les arthropodes les plus fréquemment observés étaient les diptères de la famille des *Chironomidae* (47 %). Les deux autres groupes en importance étaient les diptères de la famille des *Ceratopogonidae* (8,3 %) et les éphéméroptères de la famille des *Ephemeridae* (5,4 %). En zone d'exposition, les arthropodes les plus fréquemment observés étaient également les diptères de la famille des *Chironomidae* (44 %). Les deux autres groupes en importance étaient les diptères de la famille des *Ceratopogonidae* (3,2 %) et les éphéméroptères de la famille des *Caenidae* (3,4 %).

Finalement, mentionnons que les németes ont été rencontrés uniquement en zone de référence en faible proportion (2 %).

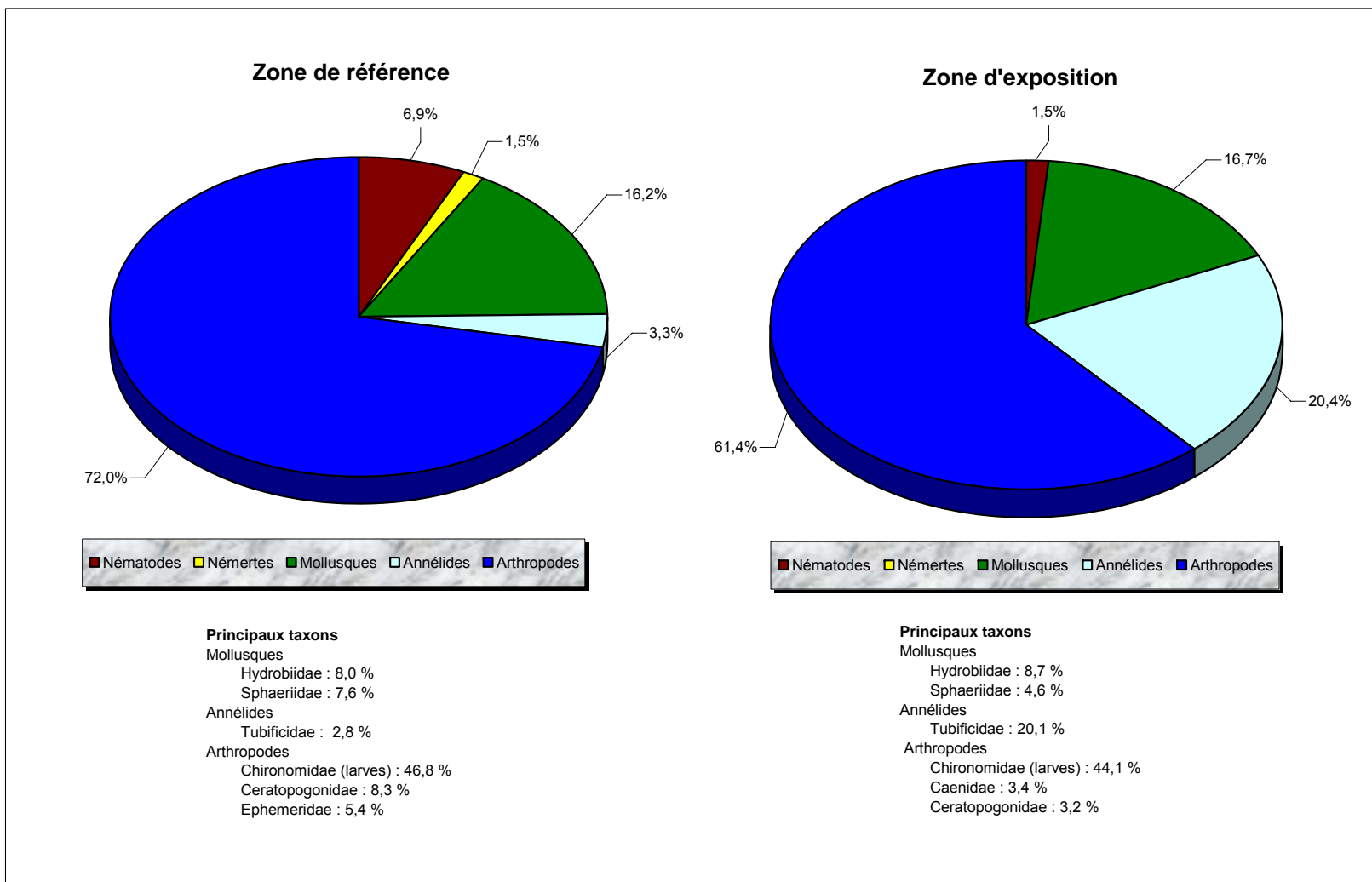


Figure 5 : Fréquence relative des invertébrés benthiques dans la zone de référence et la zone d'exposition

4.2.2.2 Comparaison des descripteurs univariés

Les résultats des analyses de variance ont montré que la densité des organismes benthiques était significativement plus élevée en zone d'exposition (5 719 ind./m²) qu'en zone de référence (2 095 ind./m²) (ANOVA, $P = 0,047$). L'indice de régularité de Simpson était significativement plus faible en zone d'exposition (0,17) comparativement à la zone de référence (0,30) (ANOVA, $P = 0,081$). Le coefficient de Bray-Curtis variait de manière significative entre les deux zones d'échantillonnage (ANOVA, $P = 0,088$). Seules les valeurs de richesse taxonomique (Test de t pour variances séparées, $P = 0,100$) et de l'indice de diversité de Simpson (ANOVA, $P = 0,801$) ne présentaient pas de différences significatives entre les deux zones d'échantillonnage (tableau 13).

Tableau 13 : Valeurs moyennes des descripteurs univariés des communautés benthiques dans les zones d'exposition et de référence

Zone	Densité (n ^{bre} d'org./m ²)	Richesse taxonomique (n ^{bre} d'espèces)	Indice de régularité de Simpson (E')	Indice de diversité de Simpson (D')	Coefficient de Bray-Curtis (B-C')
Exposition					
Moyenne (± é-t)	5 719 (± 2944) ^a	24 (± 4) ^a	0,17 (± 0,05) ^a	0,73 (± 0,06) ^a	0,67 (± 0,11) ^a
Médiane	5115	24	0,17	0,71	0,68
Minimum	2756	18	0,12	0,67	0,51
Maximum	9910	28	0,25	0,83	0,80
Référence					
Moyenne (± é-t)	2 095 (± 1818) ^b	16 (± 8) ^a	0,30 (± 0,13) ^b	0,72 (± 0,09) ^a	0,45 (± 0,22) ^b
Médiane	1186	19	0,34	0,69	0,54
Minimum	256	6	0,13	0,62	0,22
Maximum	4096	24	0,43	0,84	0,72

^a : Pour une même colonne, les moyennes portant une même lettre n'étaient pas significativement différentes ($P > 0,1$).

4.2.2.3 Analyses multivariées

L'analyse des correspondances (AC) montre que les stations de la zone d'exposition avaient une communauté benthique différente de celle retrouvée dans la zone de référence (figure 6). La distinction entre les deux zones se reflétait principalement sur le premier axe de l'AC (figure 7). Les axes 1, 2 et 3 de l'AC expliquaient respectivement 28,5 %, 18,6 % et 14,0 % de la variabilité des données. Les résultats complets de l'AC sont présentés à l'annexe I.

Pour des raisons de netteté de la représentation graphique, la figure 7 présente uniquement la dispersion des taxons contribuant à la formation des axes 1 et 2 par 5 % ou plus. L'analyse de variance multidimensionnelle (MANOVA) portant sur les pointages des stations sur les axes 1, 2 et 3 de l'AC indique une différence significative entre les zones d'exposition et de référence sur l'axe 1 ($P < 0,001$) mais pas sur les axes 2 et 3 ($P = 0,196$ et 0,557 respectivement).

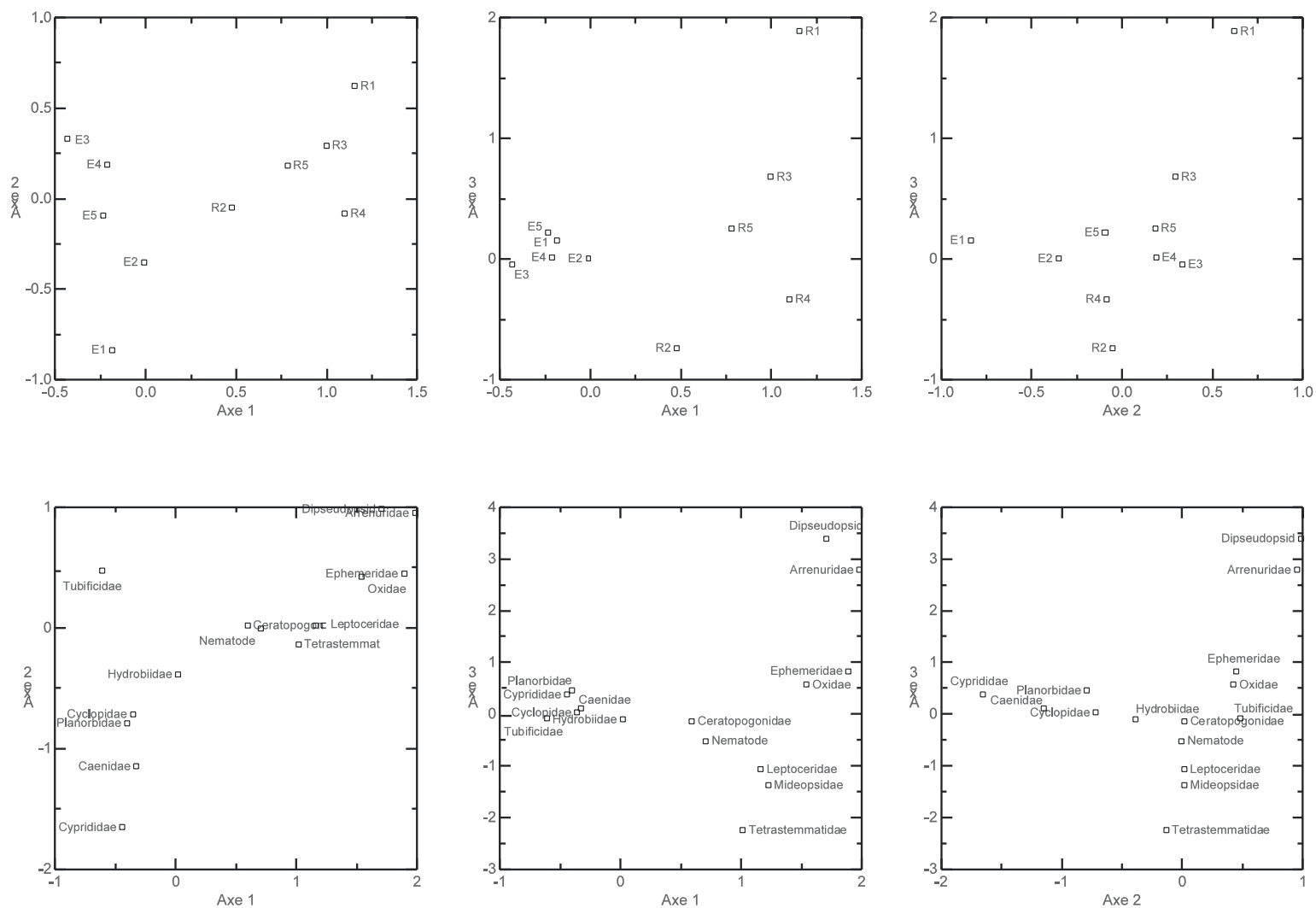


Figure 6 : Dispersion des stations et des principaux taxons responsables de la formation des axes 1, 2 et 3 de l'AC

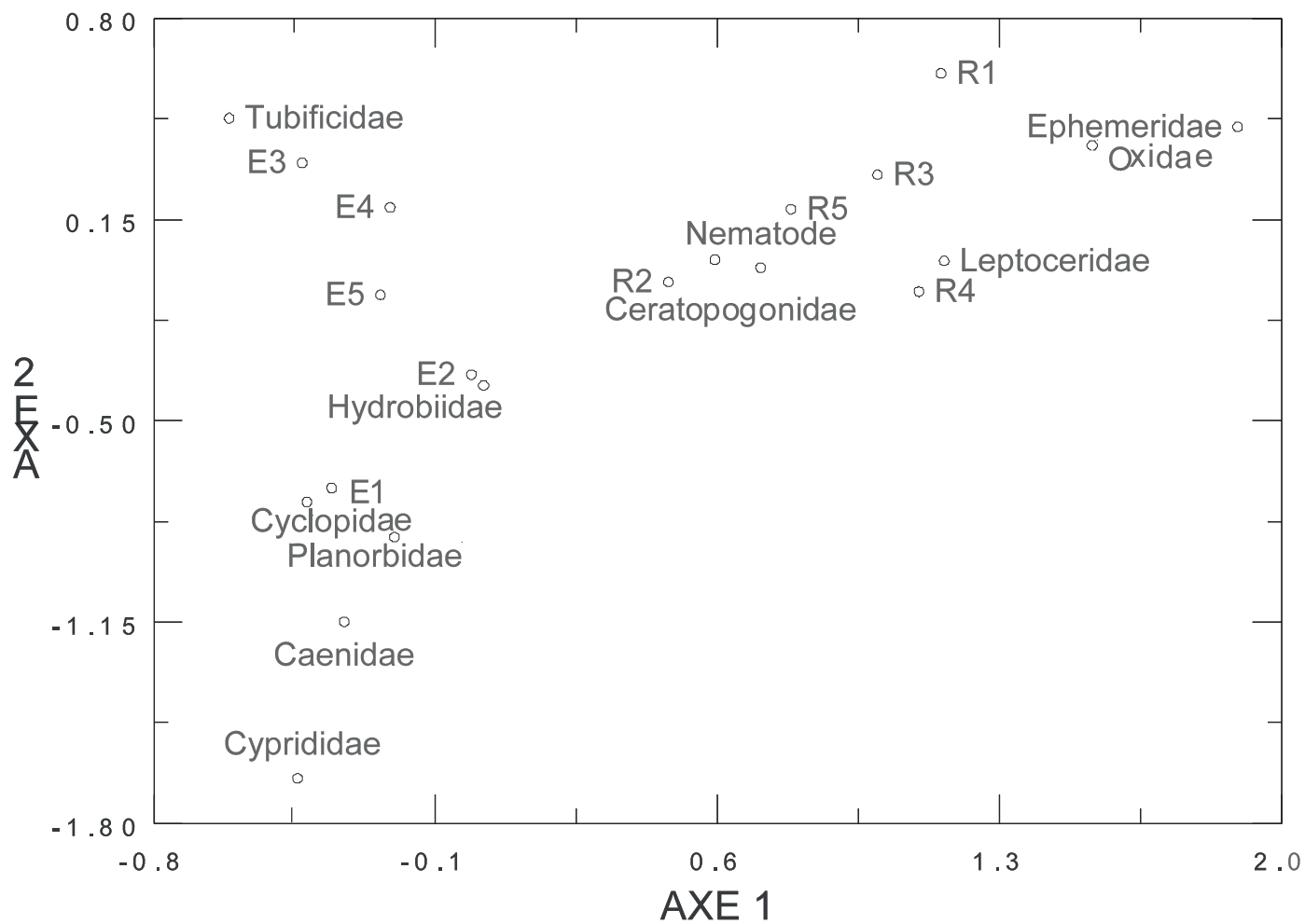


Figure 7 : Dispersion des stations et des principaux taxons responsables de la formation des axes 1 et 2 de l'AC

Les principaux invertébrés responsables de la distinction entre les deux zones sont ceux ayant le plus contribué à la formation de l'axe 1 (tableau 14 et figure 7). Les annélides de la famille des *Tubificidae* et les éphémères de la famille des *Ephemeridae* étaient clairement les taxons qui avaient le plus d'influence sur l'axe 1. Les vers *Tubificidae* étaient caractéristiques de la zone d'exposition alors que les *Ephemeridae* étaient caractéristiques de la zone de référence. Les *Tubificidae* avaient une densité de 1 149 ind./m² en zone d'exposition et de 60 ind./m² en zone de référence. Les *Ephemeridae* avaient une densité de 113 ind./m² en zone de référence alors qu'ils étaient absents de la zone d'exposition.

Les autres taxons qui caractérisaient la zone d'exposition étaient les éphémères de la famille des *Caenidae* (194 ind./m² en exposition et 15 ind./m² en référence) et les mollusques de la famille des *Planorbidae* (163 ind./m² en exposition et 3 ind./m² en référence). Enfin, un autre taxon caractérisait la zone de référence. Il s'agit des trichoptères de la famille des *Leptoceridae*. Ces organismes étaient légèrement plus abondants en zone de référence (54 ind./m²) qu'en zone d'exposition (13 ind./m²).

Dans le cas des *Ceratopogonidae* et des nématodes, il est difficile de déterminer si ces organismes sont caractéristiques de la zone de référence ou de la zone d'exposition. Bien que leur fréquence relative soit plus importante en zone de référence, leur densité est similaire dans les deux zones. Ceci est dû au fait que la densité totale des organismes est plus élevée en zone d'exposition qu'en zone de référence.

Tableau 14 : Contribution aux axes 1 et 2, densité et fréquence relative des principaux taxons d'invertébrés caractéristiques des deux zones d'échantillonnage (contribution ≥ 5 %)

Taxon	Contribution à la formation de l'axe 1 (%)	Contribution à la formation de l'axe 2 (%)	Zone de référence		Zone d'exposition	
			Densité (N/m ²)	Fréq. rel. (%)	Densité (N/m ²)	Fréq. rel. (%)
<i>Tubificidae</i>	26,1	24,4	59	2,8	1149	20,1
<i>Ephemeridae</i>	23,3	2,0	113	5,4	0	0
<i>Ceratopogonidae</i>	7,2	< 0,1	174	8,3	181	3,2
Nématodes	6,6	< 0,1	145	6,9	85	1,5
<i>Oxidae</i>	6,3	0,7	42	2,0	4	0,1
<i>Leptoceridae</i>	5,2	< 0,1	54	2,6	13	0,2
<i>Caenidae</i>	1,3	24,4	15	0,7	194	3,4
<i>Planorbidae</i>	1,6	9,1	3	0,1	163	2,8
<i>Hydrobiidae</i>	< 0,1	8,8	168	8,0	500	8,7
<i>Cyprididae</i>	0,4	8,1	0	0	33	0,6
<i>Cyclopidae</i>	0,9	5,7	9	0,4	115	2,0

4.3 Discussion

Il y a des différences significatives entre les communautés benthiques présentes dans la zone d'exposition et la zone de référence. La densité des organismes, l'indice de régularité de Simpson et le coefficient de Bray-Curtis variaient de manière significative entre la zone de référence et la zone d'exposition. Les différences observées entre les deux zones au niveau de ces trois descripteurs ne dépassaient pas le seuil d'effet critique établi par Environnement Canada. En effet, le seuil d'effet critique est dépassé lorsque la valeur moyenne en zone d'exposition est distante de plus de deux fois la valeur de l'écart-type de la moyenne mesurée en zone de référence. Aucune différence significative n'a été observée entre les zones au niveau de la richesse taxonomique et de l'indice de diversité de Simpson.

La densité des organismes benthiques est significativement plus élevée en zone d'exposition. La richesse taxonomique moyenne est également plus élevée en zone d'exposition bien que la différence ne soit pas statistiquement significative. Ces résultats suggèrent que l'effluent ne cause pas de toxicité sévère en zone d'exposition. En cas de toxicité sévère, on aurait pu s'attendre à ce que la densité et la richesse taxonomique diminuent en zone d'exposition. L'augmentation de la densité en zone d'exposition pourrait être interprétée comme un effet d'enrichissement de la part de l'effluent. Il faut cependant rappeler que la transparence de l'eau était beaucoup plus grande en zone d'exposition. La zone photique des plans d'eau est reconnue comme étant beaucoup plus productive que la zone aphotique (Wetzel, 1983). En effet, la pénétration de la lumière favorise le développement végétal qui profite à son tour aux organismes benthiques. Il s'agit là d'un effet de l'effluent qui ne peut être considéré comme négatif.

L'analyse des correspondances (AC) a démontré qu'il y avait une différence dans la structure de la communauté benthique des zones de référence et d'exposition. Selon l'analyse des correspondances, la communauté d'invertébrés de la zone d'exposition était surtout caractérisée par les vers *Tubificidae* alors que la communauté de la zone de référence était caractérisée par les éphémères de la famille des *Ephemeridae*. Selon la littérature, les *Tubificidae* sont considérés comme plutôt tolérants aux métaux alors que les éphémères de la famille des *Ephemeridae* y sont sensibles (tableau 15). Les éphéméroptères sont des organismes benthiques à l'état larvaire. Ils se nourrissent pour la plupart de détritiques et d'algues (Borror *et al.*, 1989). Les *Ephemeridae* des genres *Ephemera* et *Hexagenia* sont considérés comme sensibles à la pollution par les métaux (Klemm *et al.*, 1990). Les éphéméroptères sont souvent utilisés comme bioindicateurs dans les études portant sur le suivi de la contamination des rivières (Sjobakk *et al.*, 1997, Borror *et al.*, 1989). L'absence d'éphémères de la famille des *Ephemeridae* en zone d'exposition suggère que l'effluent influence la communauté benthique en fonction de la tolérance des organismes aux métaux. Cet effet ne semble cependant pas très prononcé puisque certains organismes considérés comme sensibles aux métaux sont retrouvés en plus grande abondance en zone d'exposition qu'en zone de référence. C'est le cas des éphémères de la famille des *Caenidae* et des mollusques de la famille des *Planorbidae* qui sont considérés comme sensibles aux métaux par McGuire (1992, 1993, 1994) (tableau 15).

Tableau 15 : Tolérance aux métaux des principaux taxons des zones de référence et d'exposition

Zone	Taxon	Tolérance	Valeur de tolérance	Référence
Exposition	<i>Tubificidae</i>	moyenne	6 (échelle de 0 à 10)	McGuire, 1992, 1993, 1994
		forte	Tolérant (genre <i>Tubifex</i>)	Klemm <i>et al.</i> 1990
Exposition	<i>Caenidae</i>	faible	3 (échelle de 0 à 10)	McGuire, 1992, 1993, 1994
Exposition	<i>Planorbidae</i>	faible	3 (échelle de 0 à 10)	McGuire, 1992, 1993, 1994
Exposition et référence	<i>Ceratopogonidae</i>	moyenne	5 (échelle de 0 à 10)	McGuire, 1992, 1993, 1994
Exposition et référence	<i>Nématodes</i>	moyenne	5 (échelle de 0 à 10)	McGuire, 1992, 1993, 1994
Référence	<i>Ephemeridae</i>	faible	Sensible (genres <i>Ephemera</i> et <i>Hexagenia</i>)	Klemm <i>et al.</i> 1990
Référence	<i>Leptoceridae</i>	faible	de 1 à 3 (échelle de 0 à 10)	McGuire, 1992, 1993, 1994

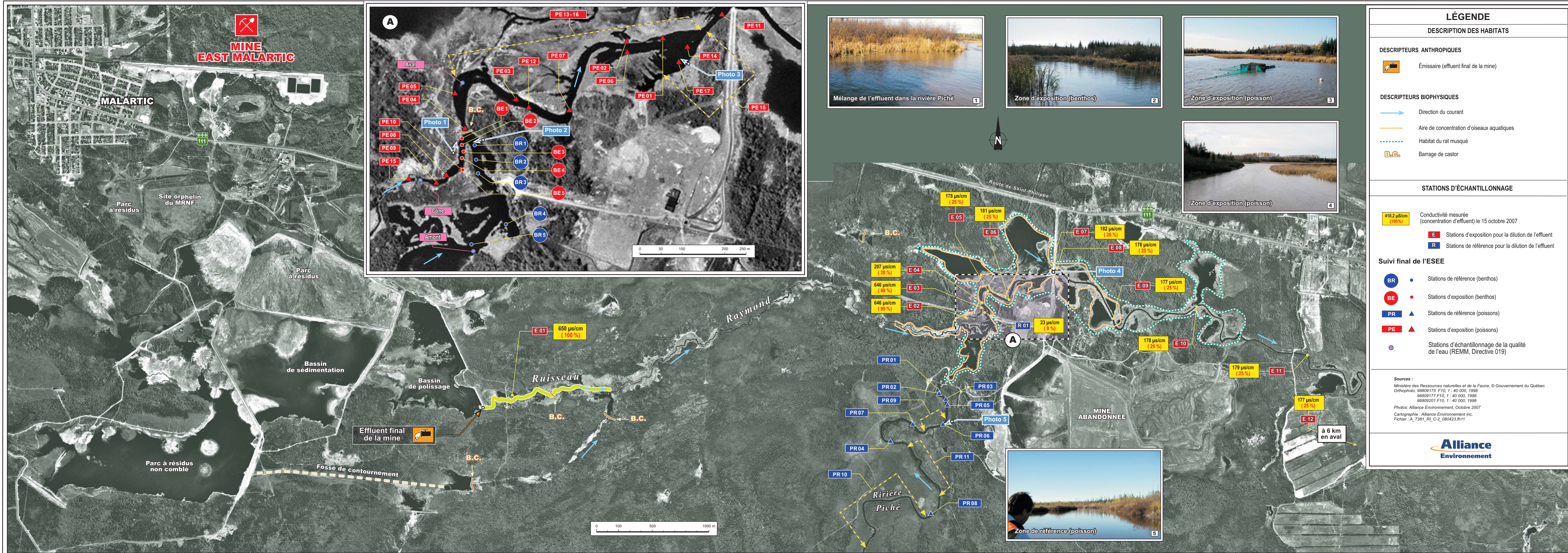
L'indice EPT/C (abondance des éphéméroptères, plécoptères et trichoptères divisé par l'abondance des chironomides) est un indicateur servant à comparer l'abondance des taxons considérés comme sensibles à la pollution (éphéméroptères, plécoptères et trichoptères) à celle des organismes considérés comme tolérants (chironomides). En zone d'exposition, la valeur de l'indice EPT/C est de 0,13 alors qu'elle est de 0,21 en zone de référence. Ce résultat indique que la proportion d'organismes sensibles à la pollution est légèrement plus élevée en zone de référence et que la proportion d'organismes tolérants est légèrement plus élevée en zone d'exposition.

Le substrat en zone d'exposition était composé de limon et d'argile alors que le substrat de la zone de référence était composé de limon et de sable. Cette différence granulométrique pourrait expliquer en partie les différences observées dans les communautés benthiques des deux zones. En effet, certains organismes benthiques ont des préférences pour les substrats fins comme les *Tubificidae* retrouvés en abondance en zone d'exposition (Thorp et Covich, 1991). L'abondance en zone d'exposition de ces vers pourrait donc s'expliquer à tout le moins en partie, par les différences granulométriques observées entre les deux zones. La qualité de l'eau des zones de référence et d'exposition, telle que présentée au chapitre 1, ne semble pas se détériorer dans la rivière Piché. En effet, des dépassements des critères ont été observés uniquement en zone de référence pour le cadmium, le nickel, le plomb et le zinc. Des dépassements des critères ont été observés en amont et en aval du point de rejet de l'effluent concernant l'aluminium, le cuivre, les cyanures et le fer. Aucun dépassement de critère n'a été observé uniquement en zone d'exposition. Les valeurs des indices de dépassements cumulatifs des critères (indice CCU) étaient supérieures en zone de référence. Il semble donc que la quantité de métaux dans l'effluent ne soit pas suffisante pour causer une augmentation des dépassements des critères de protection de la vie aquatique en zone d'exposition de la rivière Piché. Rappelons cependant que la zone d'exposition pour l'étude du benthos est située à l'embouchure du ruisseau Raymond dans un secteur où l'effluent est moins dilué que dans la rivière Piché.

Considérant l'ensemble de ces faits, l'effluent du site minier East Malartic semble avoir un effet sur la communauté benthique de la zone d'exposition. Cependant, l'effet observé

serait un effet d'enrichissement plutôt qu'un effet toxique. En effet, l'augmentation significative de la densité des organismes benthiques indique que l'effluent cause une augmentation de la productivité du milieu. Cet effet ne peut cependant être considéré comme négatif.

Bien que certains taxons sensibles aux métaux soient retrouvés en plus grande abondance en zone d'exposition, il semble que l'effluent favorise le développement des organismes tolérants en zone d'exposition. La grande abondance de *Tubificidae* en zone d'exposition et l'absence totale de représentants de la famille des *Ephemeridae* vient supporter cette hypothèse. La richesse taxonomique et la diversité ne variaient pas de manière significative entre les sites de référence et les sites exposés à l'effluent. L'insensibilité relative de la diversité et de la richesse aux métaux a été observée dans d'autres études dans lesquelles le nombre d'espèces restait le même parce que certains taxons tolérants remplaçaient les taxons sensibles (Clements, 1992, Kiffney et Clements *in* Simon, 2003) ou bien l'abondance des espèces sensibles diminuait sans que les espèces ne soient éliminées (Carlisle et Clements, 1999).



Carte 2: Localisation des stations d'échantillonnage pour l'étude des poissons et du benthos

5 Essais toxicologiques de l'effluent

5.1 Matériel et méthodes

Le MRNF a réalisé quatre séries de bioessais sublétaux pour les ESEE. Les bioessais de toxicité sublétale ont été effectués sur l'algue verte (*Pseudokirchneriella subcapitata*), la lentille d'eau (*Lemna minor*), la céridaphnie (*Ceriodaphnia dubia*) et le méné tête-de-boule (*Pimephales promelas*). Des bioessais de toxicité létale sont également effectués sur une base régulière. Les bioessais de toxicité létale ont été effectués sur la daphnie (*Daphnia magna*) et la truite arc-en-ciel (*Oncorhynchus mykiss*). Tous les bioessais sont sous la responsabilité du MRNF et ont été réalisés conformément aux protocoles d'Environnement Canada par des laboratoires accrédités.

Les échantillons d'effluent servant aux bioessais ont été prélevés par le personnel du MRNF. Les bioessais ont été faits sur des échantillons instantanés. Pour le transport vers le laboratoire, les contenants d'échantillons destinés aux bioessais avec l'algue verte, la lentille d'eau, la céridaphnie et la daphnie ont été placés dans une glacière et refroidis à l'aide de glace artificielle (*ice pack*). Les contenants d'échantillons destinés aux bioessais avec le méné tête-de-boule et la truite arc-en-ciel consistaient en un sac de polyéthylène placé dans une chaudière de 20 L. Des *ice pack* ont été insérés entre le sac et la chaudière pour refroidir les échantillons.

Le paramètre de mesure de la toxicité sublétale calculé pour les différents bioessais est la Cl_{25} , exprimée en pourcentage volume/volume (% v/v) de dilution de l'effluent. Cette mesure correspond à la concentration d'effluent qui inhibe 25 % de la reproduction ou de la croissance des organismes exposés à l'effluent par rapport à des organismes témoins. Pour les bioessais avec la céridaphnie et le méné tête-de-boule, une mesure de la toxicité létale (CL_{50}) est aussi rapportée. Pour les bioessais sur la lentille d'eau, la mesure de la croissance se fait par le décompte du nombre de thalles et par la mesure du poids sec des plantes.

La toxicité létale est mesurée à l'aide de la CL_{50} , également exprimée en % v/v de dilution de l'effluent. La CL_{50} correspond à la concentration d'effluent létale pour 50 % des organismes (c.-à-d. concentration d'effluent qui tue 50 % des organismes).

L'information relative à la toxicité sublétale pour chacun des organismes a été résumée en calculant la moyenne géométrique des Cl_{25} et des CL_{50} (MG- Cl_{25} et MG- CL_{50}). La moyenne géométrique consiste à calculer la racine $n^{\text{ième}}$ du produit des Cl_{25} ou des CL_{50} , où n représente le nombre de Cl_{25} ou de CL_{50} disponibles.

5.2 Résultats et discussion

Les essais biologiques permettent de connaître les effets combinés d'un mélange de substances constituant un effluent. Ils permettent, indépendamment de la composition ou du type de solution, de déterminer les impacts d'une substance ou d'un effluent sur la faune et la flore. De plus, les essais écotoxicologiques prennent en compte l'interaction du mélange de l'effluent, les phénomènes de synergie, d'antagonisme, d'additivité,

l'adsorption, la présence des matières organiques, etc. Les essais permettent de considérer l'effet de la portion biodisponible des contaminants.

L'effluent final n'a présenté aucune toxicité létale pour le méné tête-de-boule et la cériodaphnie (tableau 16). L'effluent n'a causé aucune inhibition de la croissance pour les essais effectués avec l'algue verte, la lentille d'eau et le méné tête-de-boule. L'effluent n'a causé aucune inhibition de la reproduction de la cériodaphnie.

Dans le cas des essais réguliers de toxicité létale, l'effluent n'a présenté aucune toxicité létale en 2007 pour la daphnie *Daphnia magna* et la truite arc-en-ciel ($CL_{50} > 100 \%$).

Les différents organismes utilisés ont des sensibilités distinctes aux contaminants. De façon générale, mentionnons que les poissons sont généralement plus sensibles à la présence de l'azote ammoniacal, des substances chlorées et des insecticides hydrocarbonés chlorés (US EPA, 1991). De leur côté, il semble que les microcrustacés (daphnie et cériodaphnie) soient plus sensibles à la présence de métaux et aux insecticides organophosphates. Les microcrustacés sont également plus sensibles aux toxiques associés aux matériels filtrables, soit à l'ingestion de bactéries ou autres substances sur lesquelles sont adsorbés les toxiques (US EPA, 1991).

Tableau 16 : Résultats des bioessais de toxicité sub létale effectués sur l'effluent final de la mine East Malartic

Date de prélèvement des échantillons	Résultats	
	Cl ₂₅ (% v/v)	CL ₅₀ (% v/v)
Algue verte		
26/09/2006	> 100	s.o.
21/11/2006	> 100	s.o.
30/05/2007	> 100	s.o.
19/09/2007	> 100	s.o.
MG-Cl₂₅	> 100	s.o.
Lentille d'eau		
26/09/2006	> 100 (% thalles) et > 100 (% poids sec)	s.o.
21/11/2006	> 100 (% thalles) et > 100 (% poids sec)	s.o.
30/05/2007	> 100 (% thalles) et > 100 (% poids sec)	s.o.
19/09/2007	> 100 (% thalles) et > 100 (% poids sec)	s.o.
MG-Cl₂₅	> 100 (% thalles) et > 100 (% poids sec)	s.o.
Cériodaphnie		
26/09/2006	> 100	> 100
21/11/2006	> 100	> 100
30/05/2007	> 100	> 100
19/09/2007	> 100	> 100
MG-Cl₂₅ et MG-CL₅₀	> 100	> 100
Méné tête-de-boule		
26/09/2006	> 100	> 100
21/11/2006	> 100	> 100
30/05/2007	> 100	> 100
19/09/2007	> 100	> 100
MG-Cl₂₅ et MG-CL₅₀	> 100	> 100

s.o : sans objet.

6 Bilan des études

6.1 Conclusion générale

Le tableau 17 présente une synthèse des différences observées entre les zones de référence et d'exposition tant pour les populations de poissons que pour les invertébrés benthiques.

Tableau 17 : Synthèse des différences mesurées entre les zones d'échantillonnage

Niveau trophique / espèce	Sexe	Facteur	Mesure terminale	Différence significative?	Ampleur de la différence (%) ^a	
Poissons						
Barbotte brune	M	Croissance	Longueur vs âge	Oui	- 8,8	
			Poids corporel vs âge	Oui	- 24,0	
		Condition	Poids corporel vs longueur	Non	- 0,2	
			Réserves énergétiques / activité hépatique	Non	- 7,8	
		Investissement reproducteur	Poids du foie vs poids corporel	Non	- 8,1	
			Poids des gonades vs longueur	Non	+ 20,3	
		Survie	Poids des gonades vs poids corporel	Non	+ 7,5	
			Âge moyen	Non	- 4,4	
		F	Croissance	Longueur vs âge	Oui	- 10,7
				Poids corporel vs âge	Oui	- 30,5
	Condition		Poids corporel vs longueur	Oui	- 4,5	
			Réserves énergétiques / activité hépatique	Non	+ 2,2	
	Investissement reproducteur		Poids du foie vs poids corporel	Non	+ 0,6	
			Poids des gonades vs longueur	Non	- 7,4	
	Survie		Poids des gonades vs poids corporel	Non	- 2,6	
			Fécondité vs longueur	Non	- 13,1	
	Survie		Fécondité vs poids corporel	Non	- 10,7	
			Âge moyen	Non	+ 4,2	

Tableau 17 : Synthèse des différences mesurées entre les zones d'échantillonnage (suite)

Niveau trophique / espèce	Sexe	Facteur	Mesure terminale	Différence significative?	Ampleur de la différence (%) ^a
Méné émeraude	M	Croissance	Longueur vs âge	Non	- 1,0
			Poids corporel vs âge	Non	+ 1,6
		Condition	Poids corporel vs longueur	Oui	+ 4,2
		Réserves énergétiques / activité hépatique	Poids du foie vs longueur	Non	+ 9,7
		Investissement reproducteur	Poids du foie vs poids corporel	Non	+ 3,1
	Poids des gonades vs longueur		Non	+ 20,0	
	F	Croissance	Poids des gonades vs poids corporel	Non	0,0
			Âge moyen	Non	- 15,4
		Survie	Longueur vs âge	Oui	- 5,2
			Poids corporel vs âge	Non	- 10,3
			Poids corporel vs longueur	Oui	+ 7,4
	Investissement reproducteur	Réserves énergétiques / activité hépatique	Poids du foie vs longueur	Oui	+ 30,8
		Poids du foie vs poids corporel	Oui	+ 14,3	
	Invertébrés benthiques	Investissement reproducteur	Poids des gonades vs longueur	I.S.	S.O.
			Poids des gonades vs poids corporel	I.S.	S.O.
Survie		Âge moyen	Non	- 23,1	
		Densité	Oui	+ 173,0	
		Richesse taxonomique	Non	+ 50,0	
Régularité de Simpson	Oui	S.O.			
Diversité de Simpson	Non	S.O.			
Coefficient de Bray-Curtis	Oui	S.O.			

^a: Ampleur de la différence = (moyenne pour la zone d'exposition – moyenne pour la zone de référence) / moyenne pour la zone de référence • 100. Pour les analyses de covariance, les moyennes ajustées ont été utilisées pour le calcul.

I.S. Interaction significative (pentes des droites non parallèles).

S.O. Sans objet.

Caractérisation de l'effluent et suivi de la qualité de l'eau

Les données de la caractérisation de l'effluent et du suivi de la qualité de l'eau du milieu récepteur servent à mieux interpréter les résultats du suivi biologique. En 2007, l'effluent de la mine a respecté les normes de rejet des substances nocives. L'effluent de la mine ne semble pas causer une augmentation des dépassements des critères de protection de la vie aquatique en zone d'exposition. Ce phénomène découle du fait que la dureté est plus élevée en zone d'exposition, ce qui influence grandement les critères du MDDEP (2008) qui augmentent avec l'élévation de la dureté.

Poissons

Quelques différences ont été observées au niveau des paramètres morphométriques mesurés sur les barbottes brunes des deux zones d'échantillonnage. En fait, la croissance des barbottes est plus faible en zone d'exposition et la condition des barbottes femelles y est également plus faible. La baisse de croissance et de condition est une réponse typique d'une exposition à un effluent de mine de métal. En effet, la croissance des poissons peut être affectée négativement par l'exposition aux métaux. La baisse de croissance en zone d'exposition peut également être expliquée en partie par la compétition intraspécifique qui semble plus élevée en zone d'exposition. Cependant, ce facteur ne peut expliquer à lui seul la différence importante de croissance observée entre les barbottes des deux zones. La baisse de condition des barbottes femelles ne dépasse pas le seuil des effets critiques établi par Environnement Canada.

Les différences observées entre les ménés émeraude des deux zones d'échantillonnage est l'augmentation de la condition en zone d'exposition et l'augmentation du poids du foie chez les femelles de la zone d'exposition. L'exposition aux contaminants cause habituellement une baisse de condition des poissons. Il semble donc que l'effluent de la mine East Malartic ne cause pas ce genre d'effets chez le méné émeraude puisque la condition des individus des deux sexes était plus élevée en zone d'exposition. L'augmentation du poids du foie pourrait être attribuable à une plus grande disponibilité de ressources alimentaires en zone d'exposition. Dans le cas où l'augmentation du poids du foie serait due à une agression toxique, on aurait pu s'attendre à une diminution de la condition, ce qui n'a pas été observé dans la présente étude. L'effluent semble donc avoir un effet d'enrichissement sur les ménés émeraude de la zone d'exposition. Il est possible que les invertébrés de la zone d'exposition, dont se nourrissent les ménés émeraude, soient plus vulnérables à la prédation. En effet, le comportement des organismes benthiques peut être affecté par l'exposition aux métaux. La compétition pour l'espace serait plus faible chez les organismes exposés et certains seraient plus vulnérables à la prédation (Kiffney, 1996). Mentionnons finalement que l'augmentation de la condition et du poids du foie des femelles ne dépasse pas le seuil des effets critiques établi par Environnement Canada.

Invertébrés

La densité des organismes, l'indice de régularité de Simpson et le coefficient de Bray-Curtis variaient de manière significative entre la zone de référence et la zone d'exposition. Les différences observées entre les deux zones au niveau de ces trois descripteurs ne dépassaient pas le seuil d'effet critique établi par Environnement Canada. Aucune différence significative n'a été observée entre les zones au niveau de la richesse taxonomique et de l'indice de diversité de Simpson.

L'analyse des correspondances (AC) a démontré qu'il y avait une différence dans la structure de la communauté benthique des zones de référence et d'exposition. Selon l'analyse des correspondances, la communauté d'invertébrés de la zone d'exposition était surtout caractérisée par les vers *Tubificidae* alors que la communauté de la zone de référence était caractérisée par les éphémères de la famille des *Ephemeridae*. Selon la littérature, les *Tubificidae* sont considérés comme plutôt tolérants aux métaux alors que les éphémères de la famille des *Ephemeridae* y sont sensibles. L'absence d'éphémères de la famille des *Ephemeridae* en zone d'exposition suggère que l'effluent influence la

communauté benthique en fonction de la tolérance des organismes aux métaux. Cet effet ne semble cependant pas très prononcé puisque certains organismes considérés comme sensibles aux métaux sont retrouvés en plus grande abondance en zone d'exposition qu'en zone de référence. C'est le cas des éphémères de la famille des *Caenidae* et des mollusques de la famille des *Planorbidae* qui sont considérés comme sensibles aux métaux.

Le substrat en zone d'exposition était composé de limon et d'argile alors que le substrat de la zone de référence était composé de limon et de sable. Cette différence granulométrique pourrait expliquer en partie les différences observées dans les communautés benthiques des deux zones. En effet, certains organismes benthiques ont des préférences pour les substrats fins comme les *Tubificidae* retrouvés en abondance en zone d'exposition (Thorp et Covich, 1991). L'abondance en zone d'exposition de ces vers pourrait donc s'expliquer à tout le moins en partie, par les différences granulométriques observées entre les deux zones.

Considérant l'ensemble de ces faits, l'effluent du site minier East Malartic semble avoir un effet sur la communauté benthique de la zone d'exposition. Cependant, l'effet observé serait un effet d'enrichissement plutôt qu'un effet toxique.

Bioessais

Pour les quatre séries de tests effectués, l'effluent final n'a présenté aucune toxicité létale pour le méné tête-de-boule et la cériodaphnie. L'effluent n'a causé aucune inhibition de la croissance pour les essais effectués avec l'algue verte, la lentille d'eau et le méné tête-de-boule. L'effluent n'a causé aucune inhibition de la reproduction de la cériodaphnie. Dans le cas des essais réguliers de toxicité létale, l'effluent n'a présenté aucune toxicité létale en 2007 pour la daphnie *Daphnia magna* et la truite arc-en-ciel.

6.2 Recommandations pour la réouverture du site

La barbotte brune et le méné émeraude se trouvent en abondance dans la zone d'étude. Ces espèces se prêtent bien aux mesures morphométriques et devraient être conservées si des ESEE sont refaites dans le but de suivre l'évolution temporelle des réponses observées. Dans le cas où l'abondance du méné émeraude serait plus faible, le queue à tache noire pourrait être retenu comme espèce sentinelle.

Les stations de la zone de référence devraient être déplacées afin de trouver un substrat comparable à celui de la zone d'exposition. Il faudrait cibler les baies abritées où les sédiments fins sont susceptibles de se déposer.

L'analyse des correspondances devrait être maintenue en plus des autres analyses recommandées par Environnement Canada. Cette analyse permet de valider et de mieux interpréter les résultats obtenus avec les descripteurs univariés et d'identifier les taxons sensibles ou tolérants à l'effluent.

Références

- ALLIANCE ENVIRONNEMENT INC. 2007. *Protocole de terrain pour le 1^{er} cycle des ESEE*. Ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec. Mine East Malartic. 27 pages et annexes.
- AQUATIC EFFECTS TECHNOLOGY EVALUATION PROGRAM (AETE), 1998. *Summary and cost-effectiveness evaluation of aquatic effects monitoring technologies applied in the 1997 AETE field evaluation program*. Canada center for mineral and energy technology (CANMET) and Natural Resources Canada.
- BERRYMAN, D. J. ST-ONGE, A. GENDRON ET C. BROCHU, 2003. *L'impact d'anciens parcs à résidus miniers sur la qualité de l'eau et les communautés benthiques de la rivière Massawippi et des ruisseaux Eustis et Capel*. Québec, Ministère de l'Environnement, Direction du suivi de l'état de l'environnement, envirodoq n° ENV/2003/0043, 47 p. et 4 annexes.
- BORROR, J.D., C.A. TRIPLEHORN et N.F. JOHNSON, 1989. *An introduction to the study of insects, sixth edition*. Saunders College Publishing, 875 p.
- CARLISLE D.M. and W.H. CLEMENTS. 1999. Sensitivity and variability of metrics used in biological assessments of running water. *Environmental Toxicology and Chemistry*. 18 : 285-291.
- CCME (CONSEIL CANADIEN DES MINISTRES DE L'ENVIRONNEMENT). 1999, mis à jour en 2003. *Recommandations canadiennes pour la qualité de l'environnement*. Pagination multiple.
- CHALANCHUK, S.M. 1984. Aging a population of the White Sucker, *Catostomus commersoni*, by the fin-ray method. Department of Fisheries and Oceans Manitoba. *Canadian technical report of Fisheries and Aquatic Sciences*. N° 1321. 16 p.
- CLEMENTS, W.H., 1992. *Community responses of streams organisms to heavy metals : a review of observational and experimental approaches*, In *Ecotoxicology of Metals : current concepts and applications*. Edited by M.C. Newman and A.W. McIntosh. Lewis Publishers, Boca Raton, FL, p. 363-391.
- CLEMENTS, W.H., 2004. Small-scale experiments support causal relationships between metal contamination and macroinvertebrate community responses, *Ecological Applications*, 14: (3), 954-967
- CLEMENTS, W.H., D.M. CARLISLE, J.M. LAZORCHAK, and P.C. JOHNSON. 2000. Heavy metals structure benthic communities in Colorado mountain streams. *Ecological Applications* 10 : 626-638.
- DAY, R.W. et QUINN, G.P. 1989. Comparisons of treatments after an analysis of variance in ecology. *Ecol. Monogr.* 59 : 433-463.
- DEVRIES, D.R. et FRIE, R. 1996. *Determination of age and growth*. In *Fisheries Techniques*, second edition. Edited by B.R. Murphy et D.W. Willis. American Fisheries Society, Bethesda, M.D. p. 483-512.

- ENVIRONNEMENT CANADA. 2002. *Guide pour l'étude du suivi des effets sur l'environnement aquatique par les mines de métaux*. Juin 2002. Environnement Canada. Pagination multiple.
- ENVIRONNEMENT CANADA. 2004. *Autorisation d'étude de suivi des effets sur l'environnement, suivi initial, mine East Malartic*. Environnement Canada, Région du Québec. 7 p.
- ENVIRONNEMENT CANADA. 2005. *Guide technique pour l'étude du suivi des effets sur l'environnement aquatique par les fabriques de pâtes et papiers*. Environnement Canada. Pagination multiple.
- FARAG, A.M., D.F. WOODWARD, W. BRUMBAUGH, J.N. GOLDSTEIN, E. MACCONNELL, C. HOGSTRAND et F.T. BARROWS, 1999. Dietary effects of metals-contaminated invertebrates from the Cœur d'Alene river, Idaho, on cutthroat trout. *Trans. Amer. Fish. Soc.* 128 : 578-592.
- GAGEN, C.J., W.E. SHARPE et R.F. CARLINE, 1993. Mortality of brook trout, mottled sculpins, and slimy sculpins during acidic episodes, *Trans. Amer. Fish. Soc.* 122 : 616-628.
- GOLDSTEIN, J.N., D.F. WOODWARD et A.M. FARAG, 1999. Movements of adult Chinook salmon during spawning migration in a metals-contaminated system, Cœur d'Alene river, Idaho, *Trans. Amer. Fish. Soc.* 128 : 121-129.
- HARVEY, C. et C. WOOD. 2003. *Étude de suivi des effets sur l'environnement aquatique. Plan d'étude pour la mine East Malartic*. Rapport du Groupe-conseil Génivar inc. à McWatters inc et soumis à Environnement Canada, région du Québec. 31 p. et annexes.
- HEBERT, C.E. et G.D. HAFFNER, 1991. Habitat partitioning and contaminant exposure in cyprinids, *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* Vol. 48 : 261-266.
- HICKEY, C.W. et L.A. GOLDING, 2002. *Response of macroinvertebrates to copper and zinc in a stream mesocosm*, *Environmental Toxicology and Chemistry*, Vol. 21 No. 9, pp. 1854-1863
- HICKEY, C.W., L.A. GOLDING, M.L. MARTIN et G.F. CROKER, 1999. Chronic toxicity of ammonia to New Zealand Freshwater invertebrates: a mesocosm study, *Arch. Environ. Toxicol.*, 37 : 338-351
- HONTELA, A., DUMONT, P., DUCLOS, D. et FORTIN, R. 1995. Endocrine and metabolic dysfunction in yellow perch, *Perca flavescens*, exposed to organic contaminants and heavy metals in the St. Lawrence River. *Environ. Toxicol. Chem.* 14 : 725-731.
- JONGMAN, R.H., C.J.F. TER BRAAK, and O.F.R. VAN TONGEREN. 1987. *Data analysis in community and landscape ecology*. Pudoc Wageningen, The Netherlands.
- KIFFNEY, P.M. 1996. Main and interactive effects of invertebrate density, predation and metals on a rocky mountain stream macroinvertebrate community. *Canadian Journal of Aquatic Sciences*, 53 : 1595 – 1601.

- KLEMM, D.J., LEWIS, P.A., FULK, F., et LAZORCHAK, J.M. 1990. *Macroinvertebrate field and laboratory methods for evaluating the biological integrity of surface water*. EPA/600/4-90/030. 256 p.
- KLERKS, P.L. ET J.S. LEVINTON, 1992. *Evolution of resistance and changes in community-composition in metal-polluted environments : a case study on Foundry Cove*. In R. Dallinger and P.S. Rainbow (eds), *Ecotoxicology of Metals in Invertebrates*, Lewis Publishers, Boca Raton, FL, 223-244.
- LEGENDRE, L. et LEGENDRE, P. 1984. *Écologie numérique*. Deuxième édition. Masson (Paris) et Presses de l'Université du Québec (Québec).
- LILLIEFORS, H.W. 1967. The Kolmogorov-Smirnov test for normality with mean and variance unknown. *J. Amer. Stat. Assn.* 62 : 399-402.
- MARET, T.R. et D.E. MACCOY, 2002. Fish assemblage and environmental variables associated with hard-rock mining in the Cœur d'Alene river basin, Idaho, *Trans. Amer. Fish. Soc.*, 131 : 865-884.
- MCGUIRE, D. 1992. *Montana reference stream project: 1991 aquatic macroinvertebrate surveys*. Montana Department of Health and Environmental Sciences. Open file document, 30 p. plus appendices.
- MCGUIRE, D. 1993. *Clark Fork River macroinvertebrate biointegrity 1986 through 1992*. Montana Department of Health and Environmental Sciences. Open file document. 45 p. plus appendices.
- MCGUIRE, D. 1994. *Montana nonpoint source water quality investigations: 1992 macroinvertebrate assessments*. Montana Department of Health and Environmental Sciences. Open file document. 18 p. plus appendices.
- MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DE L'ENVIRONNEMENT ET DES PARCS DU QUÉBEC (MDDEP). 2008. *Critères de la qualité de l'eau de surface au Québec*. Direction du suivi de l'état de l'environnement, ministère de l'Environnement, Québec. En ligne.
- NAHMANI, J. ET J.-P. ROSSI. 2003. Soil macroinvertebrates as indicators of pollution by heavy metals. *C.R. Biologies*, 326 : 295-303.
- PETERS, R.H. 1983. *The ecological implication of body size*. Cambridge University Press, New York. 329 p.
- PRUSKI, A.M. ET D.R. DIXON, 2002. Effects of cadmium on nuclear integrity and DNA repair efficiency in the gill cells of *Mytilus edulis* L. *Aquatic Toxicology*, 57 : 127-137.
- RAJOTTE, J.W. et P. COUTURE, 2002. Effects of environmental metal contamination on the condition, swimming performance, and tissue metabolic capacities of wild yellow perch (*Perca flavescens*), *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 59 : 1296-1304.
- SCOTT, W.B. et CROSSMAN, E.J. 1974. *Poissons d'eau douce du Canada*. Office des recherches sur les pêcheries du Canada. Inc. Bulletin 184. 1026 p.

- SHERWOOD, G.D., J.B. RASMUSSEN, D.J. ROWAN, J. BRODEUR et A. HONTELA, 2000. Bioenergetic costs of heavy metal exposure in yellow perch (*Perca flavescens*) : in situ estimates with a radiotracer (^{137}Cs) technique, *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 57 : 441-450.
- SIAH, A., J. PELLERIN, J.-C. AMIARD, E. PELLETIER ET L. VIGLINO, 2003. *Delayed gametogenesis and progesterone levels in soft-shell clams (Mya arenaria) in relation to in situ contamination to organotins and heavy metals in the St. Lawrence River (Canada)*. Comparative Biochemistry and Physiology Part C 135 : 145-156.
- SIMON, T.P., 2003. *Biological response signatures, Indicator patterns using aquatic communities*. CRC Press, 576 p.
- SJOBAKK, T.E., B. ALMLI et E. STEINNES, 1997. Heavy metal monitoring in contaminated river systems using Mayfly larvae. *Journal of Geochemical Exploration*, 58 (1997) 203-207.
- SMITH, B. AND WILSON, J.B. 1996. A consumer's guide to evenness. *Oikos*, 76 (1) : 70-82.
- SNEDECOR, G.W. and W.G. COCHRAN. 1980. *Statistical methods*. Seventh edition. Iowa State University Press, Ames, Iowa. 507 p.
- SOKAL, R.R. and F.J. ROHLF. 1995. *Biometry : the principles and practice of statistics in biological research*. Third edition. W.H. Freeman and Company, New York. 887 p.
- ST-ONGE, J. 1997. *L'impact du site minier de Weedon sur les communautés benthiques et l'intégrité biotique de la rivière au Rat*. Ministère de l'Environnement et de la faune, Direction des écosystèmes aquatiques, Envirodoq n° EN970106, 30 p. + 4 annexes
- SYSTAT. 1998. *SYSTAT 8.0 : Statistics*. SPSS Inc., Chicago, Ill. 1086 p.
- THORP, J. H. et A. P. COVICH, 1991. *Ecology and classification of north American freshwater invertebrates*. Academic Press, 911 p.
- UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). 1991. *Methods for aquatic toxicity identification evaluations*. Phase 1. Toxicity characterization procedures, Report EPA/600/6-91/003, pagination multiple.
- WALTON, A. 1978. *Methods for sampling and analysis of marine sediments and dredged materials, Ocean Dumping report 1*. Department of fisheries and the Environment, Ottawa, 74 p.
- WETZEL, R.G., 1983. *Limnology, Second edition*. Michigan State University, Saunders College Publishing, 767 p.
- ZAR, J.H. 1996. *Biostatistical analysis, 3rd edition*. Prentice Hall, Upper Saddle River, N.J. 662 p. et annexes.

Annexe A

Délimitation du panache de l'effluent

Annexe A: Valeurs de conductivité mesurées le 15 octobre 2007 dans le ruisseau Raymond et la rivière Piché

Station	Coordonnées		Profondeur	Rive gauche		Centre		Rive droite	
	Long. O	Lat. N		Conductivité (µS/cm)	Concentration (%)	Conductivité (µS/cm)	Concentration (%)	Conductivité (µS/cm)	Concentration (%)
<i>Station de référence</i>									
R-1	78° 00' 54,579"	48° 07' 00,541"	Colonne d'eau	23	0	23	0	23	0
<i>Stations exposées à l'effluent</i>									
E-1	78° 04' 28,934"	48° 06' 35,668"	Colonne d'eau	650	100	650	100	650	100
E-2	78° 01' 03,108"	48° 06' 59,414"	Colonne d'eau	646	99	646	99	646	99
E-3	78° 00' 56,275"	48° 07' 02,265"	Colonne d'eau	646	99	646	99	646	99
E-4	78° 00' 56,491"	48° 07' 04,324"	Colonne d'eau	207	29	207	29	207	29
E-5	78° 00' 52,920"	48° 07' 06,664"	Colonne d'eau	178	25	178	25	178	25
E-6	78° 00' 44,150"	48° 07' 04,382"	Colonne d'eau	181	25	181	25	181	25
E-7	78° 00' 25,844"	48° 07' 12,208"	Colonne d'eau	184	26	184	26	184	26
E-8	78° 00' 22,003"	48° 07' 12,532"	Colonne d'eau	178	25	178	25	178	25
E-9	77° 59' 59,740"	48° 06' 57,135"	Colonne d'eau	177	25	177	25	177	25
E-10	77° 59' 20,947"	48° 07' 01,365"	Colonne d'eau	178	25	178	25	178	25
E-11	77° 58' 36,372"	48° 06' 44,906"	Colonne d'eau	179	25	179	25	179	25
E-12	77° 56' 08,880"	48° 05' 43,836"	Colonne d'eau	177	25	177	25	177	25

La concentration d'effluent est obtenue à l'aide de la formule suivante: $Cr = [(Ca - Cb) / (Ce - Cb)] * 100$

où, Cr est la concentration relative de l'effluent dans le milieu récepteur (%), Ca est la conductivité mesurée (µS/cm), Cb est la conductivité du milieu ambiant (µS/cm) et Ce est la conductivité de l'effluent (µS/cm). La conductivité du milieu ambiant a été établie à 23 µS/cm.

Annexe B

Détail des positions des stations, engins et efforts de pêche

Annexe B : Détail des positions des stations, engins et efforts de pêche
Zone d'exposition

Station	Latitude (N) (NAD 83)	Longitude (O) (NAD 83)	Engin	Date de pose	Heure de pose	Date de levée	Heure de levée	Nb d'heures de pêche	Effort total (nb d'engins-jours)	Captures												
										AMNE	CACO	PEFL	PEOM	NOHU	NOAT	ESLU	LOLO	PECA				
PE 01	48° 07' 09,645"	78° 00' 32,965"	Nasse artisanale	2007/10/16	13:30	2007/10/17	10:00	20:30	1													
				2007/10/17	10:00	2007/10/18	16:18	30:18	1	4												
				2007/10/18	16:18	2007/10/19	12:55	20:37	1	24												
				2007/10/19	12:55	2007/10/20	15:00	26:05	1	3												
				2007/10/20	15:00	2007/10/21	11:45	20:45	1	12												
				2007/10/21	11:45	2007/10/22	13:45	26:00	1	2												
PE 02	48° 07' 09,634"	78° 00' 37,188"	Nasse artisanale	2007/10/16	13:35	2007/10/17	10:12	20:37	1													
				2007/10/17	10:12	2007/10/18	16:23	30:11	1													
				2007/10/18	16:23	2007/10/19	12:50	20:27	1	4												
				2007/10/19	12:50	2007/10/20	15:05	26:15	1	2												
				2007/10/20	15:05	2007/10/21	12:00	20:55	1	27												
				2007/10/21	12:00	2007/10/22	13:40	25:40	1	21												
PE 03	48° 07' 05,206"	78° 00' 49,190"	Nasse artisanale	2007/10/16	13:40	2007/10/17	10:06	20:26	1													
				2007/10/17	10:06	2007/10/18	16:10	30:04	1	2												
				2007/10/18	16:10	2007/10/19	12:30	20:20	1													
				2007/10/19	12:30	2007/10/20	15:10	26:40	1													
				2007/10/20	15:10	2007/10/21	11:30	20:20	1	3												
				2007/10/21	11:30	2007/10/22	13:25	25:55	1	4												
PE 04	48° 07' 03,543"	78° 00' 55,627"	Nasse artisanale	2007/10/16	13:45	2007/10/17	09:43	19:58	1	2												
				2007/10/17	09:43	2007/10/18	16:20	30:37	1													
				2007/10/18	16:20	2007/10/19	12:15	19:55	1	2												
				2007/10/19	12:15	2007/10/20	15:13	26:58	1													
				2007/10/20	15:13	2007/10/21	11:00	19:47	1	21												
				2007/10/21	11:00	2007/10/22	13:23	26:23	1	3												
PE 05	48° 07' 05,710"	78° 00' 57,128"	Trappe Alaska	2007/10/16	13:52	2007/10/17	09:50	19:58	1	37	2			1								
				2007/10/17	09:50	2007/10/18	15:25	29:35	1	16							1	2				
				2007/10/18	15:25	2007/10/19	12:43	21:18	1	106												
				2007/10/19	12:43	2007/10/20	16:00	27:17	1	71			6	1	1	2			3			
				2007/10/20	16:00	2007/10/21	11:15	19:15	1	37			1		4	2	3	1		1		
				2007/10/21	11:15	2007/10/22	15:00	27:45	1	28						5			1			
				2007/10/22	15:00	2007/10/23	08:05	17:05	1	55								1	2			
				2007/10/16	13:55	2007/10/17	10:25	20:30	1	452	1				2	10	1					
2007/10/17	10:25	2007/10/18	15:30	29:05	1	137	1						3	1	7							
2007/10/18	15:30	2007/10/19	12:26	20:56	1	47	2	3			5	22			1							
2007/10/19	12:26	2007/10/20	16:15	28:49	1	188								1	7							
2007/10/20	16:15	2007/10/21	11:39	19:24	1	91										4						
2007/10/21	11:39	2007/10/22	15:10	28:31	1	89				1	1	3										
PE 07	48° 07' 04,834"	78° 00' 43,984"	Trappe Alaska	2007/10/17	11:10	2007/10/18	16:00	29:50	1	1							1					
				2007/10/18	16:00	2007/10/19	12:32	20:32	1	1					4	2						

Annexe B : Détail des positions des stations, engins et efforts de pêche
Zone d'exposition

Station	Latitude (N) (NAD 83)	Longitude (O) (NAD 83)	Engin	Date de pose	Heure de pose	Date de levée	Heure de levée	Nb d'heures de pêche	Effort total (nb d'engins-jours)	Captures									
										AMNE	CACO	PEFL	PEOM	NOHU	NOAT	ESLU	LOLO	PECA	
				2007/10/19	12:32	2007/10/20	16:10	28:38	1				1				1		
				2007/10/20	16:10	2007/10/21	11:35	19:25	1	1									
				2007/10/21	11:35	2007/10/22	14:00	27:25	1	1									
PE 08	48° 06' 59,976"	78° 00' 57,848"	Nasse artisanale	2007/10/19	11:40	2007/10/21	13:10	49:30	2	6									
				2007/10/21	13:10	2007/10/22	13:18	00:08	1	3									
PE 09	48° 06' 59,572"	78° 00' 58,932"	Nasse artisanale	2007/10/19	11:45	2007/10/21	13:00	49:15	2	1	1								
				2007/10/21	13:00	2007/10/22	13:15	24:15	1	3									
PE 10	48° 07' 00,624"	78° 00' 56,282"	Nasse artisanale	2007/10/19	11:50	2007/10/21	13:05	49:15	2	4									
				2007/10/21	13:05	2007/10/22	13:20	24:15	1										
PE 11	48° 07' 11,319"	78° 00' 26,884"	Trappe Alaska	2007/10/19	13:07	2007/10/20	16:05	26:58	1	2	2		1				1		
				2007/10/20	16:05	2007/10/21	12:05	20:00	1	57	4							2	
				2007/10/21	12:05	2007/10/22	13:05	25:00	1	44	6			1			1	2	
PE 12	48° 07' 04,558"	78° 00' 47,995"	Trappe Alaska	2007/10/19	13:24	2007/10/20	16:20	27:56	1	97									3
				2007/10/20	16:20	2007/10/21	11:35	19:15	1	1									
				2007/10/21	11:35	2007/10/22	14:25	27:50	1	3		1							
PE 13	de 48° 07' 07,424"	78° 00' 56,609"	Seine à poche de 75'	X	2007/10/20	2007/10/20	16:00	01:25	8	12									
	à 48° 07' 10,110"	78° 00' 29,088"	8 coups																
PE 14	48° 07' 09,015"	78° 00' 29,775"	Trappe Alaska X 2 et guide de 150'		2007/10/21	2007/10/22	13:00	25:52	2	195	2					11	3	2	
					2007/10/22	2007/10/23	08:49	19:49	2	76				1				3	
PE 15	48° 06' 59,702"	78° 01' 01,898"	Verveux		2007/10/21	2007/10/23	08:00	42:34	2		1								
PE 16	de 48° 07' 07,424"	78° 00' 56,609"	Seine à poche de 75'	X	2007/10/21	2007/10/21	16:30	02:50	23	3				106	139				
	à 48° 07' 10,110"	78° 00' 29,088"	23 coups																
PE 17	48° 07' 07,982"	78° 00' 30,632"	Trappe Alaska		2007/10/22	2007/10/23	08:20	41:09	1	540	1			1					
PE 18	de 48° 07' 07,355"	78° 00' 32,529"	Seine à poche de 75'	X	2007/10/22	2007/10/22	16:00	00:30	4					3					
	à 48° 07' 09,519"	78° 00' 29,095"	4 coups																
TOTAL									99	2541	23	12	5	139	190	11	43	1	

Note: Une heure de pêche électrique portative et de pêche à la ligne ont été considérées comme un engin-jour.

Annexe B : Détail des positions des stations, engins et efforts de pêche

Zone de référence

Station	Latitude (N) (NAD 83)	Longitude (O) (NAD 83)	Engin	Date de pose	Heure de pose	Date de levée	Heure de levée	Nb d'heures de pêche (h:min)	Effort total (nb d'engins-jours)	Captures													
										AMNE	CACO	PEFL	PEOM	NOHU	NOAT	ESLU	LOLO	STVI	STCA	COBA			
PR 01	48° 06' 38,660"	78° 01' 15,736"	Nasse artisanale	2007/10/16	15:24	2007/10/17	12:37	21:13	1														
				2007/10/17	12:37	2007/10/18	14:35	25:58	1														
				2007/10/18	14:35	2007/10/19	15:00	24:25	1														
				2007/10/19	15:00	2007/10/20	07:50	16:50	1														
				2007/10/20	07:50	2007/10/21	08:08	24:18	1	5													
PR 02	48° 06' 37,602"	78° 01' 15,553"	Nasse artisanale	2007/10/16	15:26	2007/10/17	12:38	21:12	1														
				2007/10/17	12:38	2007/10/18	14:25	25:47	1														
				2007/10/18	14:25	2007/10/19	14:50	24:25	1	2													
				2007/10/19	14:50	2007/10/20	07:53	17:03	1	1													
				2007/10/20	07:53	2007/10/21	08:10	24:17	1														
PR 03	48° 06' 36,057"	78° 01' 12,568"	Nasse artisanale	2007/10/16	15:38	2007/10/17	12:40	21:02	1														
				2007/10/17	12:40	2007/10/18	14:20	25:40	1														
				2007/10/18	14:20	2007/10/19	14:43	24:23	1	4													
				2007/10/19	14:43	2007/10/20	08:00	17:17	1														
				2007/10/20	08:00	2007/10/21	08:12	24:12	1														
PR 04	48° 06' 24,256"	78° 01' 36,627"	Trappe Alaska	2007/10/16	15:40	2007/10/17	13:00	21:20	1	8			1	2	1								
				2007/10/17	13:00	2007/10/18	14:00	25:00	1	16		1	1	62	65								
				2007/10/18	14:00	2007/10/19	14:30	24:30	1														
				2007/10/19	14:30	2007/10/20	10:20	19:50	1	158			1	10	1								
				2007/10/20	10:20	2007/10/21	08:25	22:05	1	136	3	1		4	6								1
PR 05	48° 06' 34,545"	78° 01' 11,805"	Nasse artisanale	2007/10/16	16:02	2007/10/17	12:41	20:39	1														
				2007/10/17	12:41	2007/10/18	14:30	25:49	1														
				2007/10/18	14:30	2007/10/19	14:39	24:09	1	3													
				2007/10/19	14:39	2007/10/20	08:05	17:26	1														
				2007/10/20	08:05	2007/10/21	08:13	24:08	1														
PR 06	48° 06' 29,012"	78° 01' 13,853"	Trappe Alaska	2007/10/16	16:04	2007/10/17	13:10	21:06	1	22			2	3		1					7		
				2007/10/17	13:10	2007/10/18	14:15	25:05	1	8		1	4	1	1							1	
				2007/10/18	14:15	2007/10/19	14:45	24:30	1	46		2	3	10	2							5	
				2007/10/19	14:45	2007/10/20	10:10	19:25	1	16													
				2007/10/20	10:10	2007/10/21	09:00	22:50	1	27	3		16	4	3								2
PR 07	48° 06' 28,990"	78° 01' 26,832"	Trappe Alaska	2007/10/16	16:10	2007/10/17	12:53	20:43	1	61			2		1						5		
				2007/10/17	12:53	2007/10/18	14:10	25:17	1	2			2									1	
				2007/10/18	14:10	2007/10/19	14:10	24:00	1	71			5	29	10		1					5	
				2007/10/19	14:10	2007/10/20	10:30	20:20	1	41			2	1	2							2	
				2007/10/20	10:30	2007/10/21	08:40	22:10	1	23			1										2
PR 08	48° 06' 03,171"	78° 01' 18,033"	Trappe Alaska	2007/10/17	12:23	2007/10/18	13:58	25:35	1	2			5	2	2	3					2		
				2007/10/18	13:58	2007/10/19	14:05	24:07	1	16		1	1		1							2	
				2007/10/19	14:05	2007/10/20	08:30	18:25	1	37													
				2007/10/20	08:30	2007/10/21	08:15	23:45	1	57		1		5								2	
PR 09	de 48° 06' 31,532"	78° 01' 12,226"	Seine à poche de 75' coups	X 3	2007/10/19	15:20	2007/10/19	16:00	00:40	3				2	17	11							
	à 48° 06' 26,985"	78° 01' 21,464"																					

Annexe B : Détail des positions des stations, engins et efforts de pêche
Zone de référence

Station	Latitude (N) (NAD 83)	Longitude (O) (NAD 83)	Engin	Date de pose	Heure de pose	Date de levée	Heure de levée	Nb d'heures de pêche (h:min)	Effort total (nb d'engins-jours)	Captures											
										AMNE	CACO	PEFL	PEOM	NOHU	NOAT	ESLU	LOLO	STVI	STCA	COBA	
PR 10	de 48° 06' 02,487"	78° 01' 21,025"	Seine à poche de 75' 17 coups	X	2007/10/20	8:00	2007/10/20	11:30	03:30	17											
	à 48° 05' 54,002"	78° 01' 47,978"																			
PR 11	de 48° 06' 24,051"	78° 01' 31,609"	Seine à poche de 75' coups	X 8	2007/10/20	13:00	2007/10/20	14:30	01:30	8				9	15	19					
	à 48° 06' 06,904"	78° 01' 15,477"																			
TOTAL										67	762	6	14	67	192	209	2	44	1	1	1

Note: Une heure de pêche électrique portative et de pêche à la ligne ont été considérées comme un engin-jour.

Annexe C

Liste des anomalies externes des poissons

Annexe C : Liste de vérification des anomalies externes des poissons

Numéro	Anomalie	Numéro	Anomalie
	Forme du corps		Nageoires érodées
1	Émaciée	28	Dorsale
2	Tronquée	29	Pectorale
3	Scoliose	30	Pelvienne
4	Lordose	31	Anale
	Surface du corps	32	Caudale
5	Écailles soulevées		Cavité branchiale
6	Tuméfiée	33	Tumeurs
7	Lésions	34	Parasites
8	Excès de mucus		Lésions (emplacement)
9	Écailles réorientées	35	Nageoires
10	Tumeurs	36	Tête
11	Parasites	37	Yeux
12	Plaies (lamproies)	38	Bouche
	Lèvres et maxillaires	39	Pédoncule
13	Déformées	40	Ventre
14	Tumeurs	41	Dos
	Museau	42	Côtés
15	Tête de dogue		Barbillons
	Isthme	43	Déformés
16	Élargi	44	Absence
17	Hémorragique		Branchies
	Yeux	45	Rouge vif
18	En boule de loto	46	Brunes
19	Cornée double	47	Bulles de gaz
20	Absence d'yeux	48	Parasites
21	Cristallin déformé		Opercule
22	Parasites sur le cristallin	49	Incomplet
23	Cataracte sur le cristallin		
	Nageoires		
24	Effrangées		
25	Parasites		
26	Hémorragiques		
27	Bulles de gaz		

Annexe D

Validation des lectures d'âge des poissons par l'expert externe

Validation des lectures d'âges des poissons par l'expert externe (Projet #7381)

No spécimen	Âge (Alliance Environnement)	Âge (René Perreault)	Différence (années)
<i>Barbotte brune</i>			
2	4	4	0
16	3	3	0
21	4	4	0
32	2	2	0
35	3	3	0
55	2	2	0
57	3	3	0
68	3	3	0
74	3	3	0
89	2	2	0
<i>Méné émeraude</i>			
101	2	2	0
103	2	2	0
108	1	2	1
131	1	1	0
139	1	1	0
141	1	1	0
144	1	1	0
196	2	2	0
206	1	1	0
212	2	2	0
224	1	1	0
235	1	1	0

<i>Méné émeraude (suite)</i>			
245	0	0	0
246	0	0	0
262	1	1	0

signature René Proulx,

Annexe E

**Données brutes des mesures morphométriques sur
les poissons**

Annexe E : Données brutes des mesures morphométriques prises sur les poissons

ZONE	SPECIMEN	ESPECE	SEXE	LONGT (mm)	PTOT (g)	AGE	PGON (g)	FECON	PFOIE (g)	ANNOMALIES				
										11	25	26	30	32
REF	1	AMNE	M	165	56,090	3	0,072		1,241					
REF	2	AMNE	F	202	104,670	4	2,014	2 298	3,380					
REF	3	AMNE	M	152	41,920	2	0,062		1,413					
REF	4	AMNE	M	170	56,790	2	0,096		2,116					
REF	5	AMNE	F	164	55,620	2	1,140	2 152	2,147					
REF	6	AMNE	M	232	154,340	4	0,239		4,234					
REF	7	AMNE	M	196	90,980	2	0,204		2,695					
REF	8	AMNE	F	166	50,220	2	0,753	1 520	1,201					
REF	9	AMNE	F	173	61,270	2	1,086	1 682	2,229					
REF	10	AMNE	F	185	78,790	3	1,223	1 684	3,164					
REF	11	AMNE	F	158	47,680	2	0,738	2 349	1,413					
REF	12	AMNE	M	176	61,630	2	0,087		2,077					
REF	13	AMNE	M	178	63,800	3	0,070		1,749					
REF	14	AMNE	M	174	64,330	2	0,112		1,163					
REF	15	AMNE	F	177	64,790	3	0,962	2 641	1,712					
REF	16	AMNE	M	205	114,670	3	0,138		1,248					
REF	17	AMNE	M	158	46,760	2	0,028		1,433					
REF	18	AMNE	M	147	37,040	2	0,025		0,978					
REF	19	AMNE	F	150	43,560	2	0,614	1 198	1,664					
REF	20	AMNE	M	143	36,670	2	0,052		0,946			1		
REF	21	AMNE	F	248	177,280	4	2,701	4 361	5,331					
REF	22	AMNE	F	182	69,610	3	1,190	1 633	2,197					
REF	23	AMNE	F	180	65,440	3	0,983	2 140	1,956					
REF	24	AMNE	F	147	37,050	2	0,713	1 548	1,000					
REF	25	AMNE	F	183	75,060	3	1,129	1 374	2,150					
REF	26	AMNE	F	185	85,770	3	1,681	2 782	3,163					
REF	27	AMNE	M	177	63,400	3	0,111		2,109					
REF	28	AMNE	M	170	59,890	2	0,041		2,245					
REF	29	AMNE	M	172	57,650	2	0,108		1,973					
REF	30	AMNE	F	154	43,560	2	0,521	984	1,363					
REF	31	AMNE	F	155	44,440	2	0,738	1 827	1,719					
REF	32	AMNE	F	160	47,870	2	0,677	1 845	1,761					
REF	33	AMNE	F	160	50,400	2	0,775	1 886	1,439					
REF	34	AMNE	M	158	44,540	2	0,081		1,605			1		
REF	35	AMNE	M	191	82,410	3	0,138		3,300					
REF	36	AMNE	F	132	30,270	1	0,423	914	1,239					
REF	37	AMNE	F	158	43,020	3	0,680	1 308	1,380					
REF	38	AMNE	F	159	47,750	2	0,727	1 991	1,483					
REF	39	AMNE	F	148	36,950	2	0,675	1 292	1,310					
REF	40	AMNE	F	156	43,990	2	0,643	1 220	1,826					

MRNF, Site East Malartic

Annexe E : Données brutes des mesures morphométriques prises sur les poissons

ZONE	SPECIMEN	ESPECE	SEXE	LONGT (mm)	PTOT (g)	AGE	PGON (g)	FECON	PFOIE (g)	ANNOMALIES				
										11	25	26	30	32
REF	41	AMNE	F	170	58,590	2	0,638	1 385	1,673					
REF	42	AMNE	M	150	40,330	2	0,048		1,455					
REF	43	AMNE	F	152	42,870	2	0,467	858	1,281					
REF	44	AMNE	M	133	25,550	2	0,027		0,718					
REF	45	AMNE	M	156	43,600	2	0,067		1,255					
REF	46	AMNE	M	147	31,710	2	0,039		1,824					
REF	47	AMNE	M	145	37,090	3	0,059		1,217					
REF	48	AMNE	M	139	29,920	2	0,053		0,704					
REF	49	AMNE	M	162	51,280	2	0,051		1,830					
REF	50	AMNE	M	146	36,900	2	0,037		1,510					
EXP	51	AMNE	F	171	60,450	4	1,130	1 753	2,040					
EXP	52	AMNE	M	150	39,820	2	0,039		1,175					
EXP	53	AMNE	M	134	25,790	2	0,026		0,782					
EXP	54	AMNE	M	123	22,200	1	0,040		0,647					
EXP	55	AMNE	M	176	65,690	2	0,114		2,295					
EXP	56	AMNE	F	161	47,830	3	0,727	1 754	1,590					
EXP	57	AMNE	F	188	74,200	3	1,276	1 943	2,104					
EXP	58	AMNE	M	136	29,510	2	0,048		0,965					
EXP	59	AMNE	F	135	26,880	2	0,451	1 114	0,841					
EXP	60	AMNE	F	141	33,360	2	0,489	1 168	0,840					
EXP	61	AMNE	F	201	107,330	4	1,428	2 795	3,889			1		
EXP	62	AMNE	M	181	71,900	3	0,078		2,145					
EXP	63	AMNE	M	160	48,660	3	0,139		1,298					
EXP	64	AMNE	M	129	24,000	1	0,026		0,712					
EXP	65	AMNE	F	133	27,360	2	0,338	828	0,928					
EXP	66	AMNE	F	196	81,520	3	1,334	2 588	2,573					
EXP	67	AMNE	M	128	23,660	1	0,020		0,783					
EXP	68	AMNE	F	166	55,840	3	0,799	904	1,653					
EXP	69	AMNE	F	188	77,560	4	1,151	1 782	3,135					
EXP	70	AMNE	F	144	30,710	2	0,468	1 388	0,931			1		
EXP	71	AMNE	M	149	35,100	2	0,056		1,049					
EXP	72	AMNE	M	156	41,330	2	0,087		1,081					
EXP	73	AMNE	M	183	76,720	3	0,150		2,397					
EXP	74	AMNE	M	182	72,220	3	0,140		2,066					
EXP	75	AMNE	M	143	33,820	2	0,040		1,294					
EXP	76	AMNE	F	134	28,170	2	0,421	1 047	0,927					
EXP	77	AMNE	M	132	26,910	1	0,019		0,662					
EXP	78	AMNE	M	192	78,250	3	0,125		1,909					
EXP	79	AMNE	F	119	18,800	2	0,284	668	0,699					
EXP	80	AMNE	F	135	26,700	2	0,199		0,884					

MRNF, Site East Malartic

Annexe E : Données brutes des mesures morphométriques prises sur les poissons

ZONE	SPECIMEN	ESPECE	SEXE	LONGT (mm)	PTOT (g)	AGE	PGON (g)	FECON	PFOIE (g)	ANNOMALIES				
										11	25	26	30	32
EXP	81	AMNE	F	148	35,850	2	0,451	1 198	1,138					
EXP	82	AMNE	F	116	37,170	2	0,603	1 184	1,569					
EXP	83	AMNE	F	134	27,440	2	0,406	575	0,939					
EXP	84	AMNE	F	162	49,910	2	0,667	1 353	1,873					
EXP	85	AMNE	M	152	43,410	2	0,052		1,389					
EXP	86	AMNE	F	152	39,910	2	0,631	1 052	1,374					
EXP	87	AMNE	F	140	31,370	2	0,468	815	0,949					
EXP	88	AMNE	F	196	82,020	4	1,286	1 853	3,048					
EXP	89	AMNE	M	141	36,690	2	0,044		1,174					
EXP	90	AMNE	M	161	43,480	4	0,108		1,018					
EXP	91	AMNE	M	130	28,630	2	0,019		0,977					
EXP	92	AMNE	F	135	27,400	2	0,333	539	0,735					
EXP	93	AMNE	M	138	28,550	2	0,028		0,783					
EXP	94	AMNE	F	133	27,970	2	0,394	904	0,932					
EXP	95	AMNE	M	131	27,030	2	0,025		0,878					
EXP	96	AMNE	F	138	28,010	2	0,425	677	0,850					
EXP	97	AMNE	F	151	37,280	2	0,457	1 135	1,102					
EXP	98	AMNE	M	130	25,290	2	0,014		0,569					
EXP	99	AMNE	M	134	24,330	3	0,021		0,878					
EXP	100	AMNE	M	122	23,890	2	0,013		0,501					
EXP	101	NOAT	M	82	3,860	2	0,021		0,054					
EXP	102	NOAT	F	62	1,690	1	0,034		0,033					
EXP	103	NOAT	M	79	3,580	2	0,015		0,058					
EXP	104	NOAT	I	68	2,240	1			0,039					
EXP	105	NOAT	M	66	2,080	1	0,009		0,045					
EXP	106	NOAT	F	66	1,950	1	0,021		0,029					
EXP	107	NOAT	I	66	1,980	1			0,042					
EXP	108	NOAT	M	73	2,760	1	0,004		0,035					
EXP	109	NOAT	I	60	1,600	1			0,029					
EXP	110	NOAT	F	60	1,430	1	0,017		0,017					
EXP	111	NOAT	M	68	2,290	1	0,012		0,041					
EXP	112	NOAT	I	65	2,050	1			0,034					
EXP	113	NOAT	F	67	2,310	1	0,035		0,043					
EXP	114	NOAT	M	67	1,960	1	0,005		0,030					
EXP	115	NOAT	M	61	1,620	1	0,007		0,025					
EXP	116	NOAT	M	65	1,860	1	0,007		0,032					
EXP	117	NOAT	M	62	1,850	1	0,005		0,039					
EXP	118	NOAT	F	67	2,320	1	0,033		0,036					
EXP	119	NOAT	F	66	1,840	1	0,016		0,025					
EXP	120	NOAT	M	67	1,870	1	0,004		0,028					

MRNF, Site East Malartic

Annexe E : Données brutes des mesures morphométriques prises sur les poissons

ZONE	SPECIMEN	ESPECE	SEXE	LONGT (mm)	PTOT (g)	AGE	PGON (g)	FECON	PFOIE (g)	ANNOMALIES				
										11	25	26	30	32
EXP	121	NOAT	M	70	2,410	1	0,004		0,036					
EXP	122	NOAT	M	69	2,260	1	0,004		0,039					
EXP	123	NOAT	M	73	2,680	1	0,009		0,047					
EXP	124	NOAT	I	68	1,830	1			0,032					
EXP	125	NOAT	F	67	1,970	1	0,033		0,037					
EXP	126	NOAT	I	66	1,470	1			0,022					
EXP	127	NOAT	M	61	1,580	1	0,003		0,025					
EXP	128	NOAT	F	64	1,580	1	0,022		0,031					
EXP	129	NOAT	I	63	1,590	1			0,022					
EXP	130	NOAT	F	57	1,330	1	0,019		0,021					
EXP	131	NOAT	I	62	1,640	1			0,030					
EXP	132	NOAT	I	62	1,640	1			0,018					
EXP	133	NOAT	I	61	1,590	1			0,026					
EXP	134	NOAT	I	62	1,570	1			0,024					
EXP	135	NOAT	F	63	1,930	1	0,027		0,028					
EXP	136	NOAT	M	66	2,040	1	0,003		0,029					
EXP	137	NOAT	I	62	1,600	1			0,022					
EXP	138	NOAT	I	66	1,800	1			0,028					
EXP	139	NOAT	M	65	1,790	1	0,004		0,032					
EXP	140	NOAT	M	65	1,870	1	0,003		0,027					
EXP	141	NOAT	M	64	1,970	1	0,003		0,033					
EXP	142	NOAT	F	60	1,500	1	0,024		0,020					
EXP	143	NOAT	F	65	1,870	1	0,028		0,026					
EXP	144	NOAT	M	64	1,840	1	0,006		0,028					
EXP	145	NOAT	F	64	1,920	1	0,031		0,031					
EXP	146	NOAT	F	63	1,760	1	0,029		0,030	1				
EXP	147	NOAT	F	63	1,640	1	0,029		0,034					
EXP	148	NOAT	M	62	1,430	1	0,004		0,023					
EXP	149	NOAT	F	65	1,600	1	0,025		0,025	1				
EXP	150	NOAT	I	56	1,150	1			0,020					
EXP	151	NOAT	I	56	1,160	1			0,017					
EXP	152	NOAT	F	61	1,670	1	0,030		0,025					
EXP	153	NOAT	F	58	1,320	1	0,021		0,026		1			
EXP	154	NOAT	M	63	1,550	1	0,003		0,029					
EXP	155	NOAT	M	64	1,690	1	0,003		0,027					
EXP	156	NOAT	F	64	1,760	1	0,033		0,026		1			
EXP	157	NOAT	F	59	1,380	1	0,024		0,027					
EXP	158	NOAT	M	61	1,560	1	0,009		0,026					
EXP	159	NOAT	M	61	1,460	1	0,004		0,022					
EXP	160	NOAT	M	61	1,500	1	0,006		0,024					

MRNF, Site East Malartic

Annexe E : Données brutes des mesures morphométriques prises sur les poissons

ZONE	SPECIMEN	ESPECE	SEXE	LONGT (mm)	PTOT (g)	AGE	PGON (g)	FECON	PFOIE (g)	ANNOMALIES					
										11	25	26	30	32	
EXP	161	NOAT	M	60	1,450	1									
EXP	162	NOAT	M	60	1,340										
EXP	163	NOAT	F	60	1,390	1	0,025		0,035						
EXP	164	NOAT	M	61	1,330										
EXP	165	NOAT	F	58	1,400	1	0,025		0,027						
EXP	166	NOAT	F	59	1,390	1	0,029		0,022						
EXP	167	NOAT	M	57	1,120										
EXP	168	NOAT	F	58	1,260	1	0,016		0,030						
EXP	169	NOAT	I	58	1,420	1			0,028						
EXP	170	NOAT	M	57	1,260										
EXP	171	NOAT	I	59	1,350	1			0,033						
EXP	172	NOAT	F	60	1,500	1	0,028		0,021						
EXP	173	NOAT	F	57	1,470	1	0,031		0,024						
EXP	174	NOAT	M	66	1,740										
EXP	175	NOAT	I	62	1,540	1			0,023						
EXP	176	NOAT	M	60	1,440										
EXP	177	NOAT	F	60	1,400	1	0,015		0,023						
EXP	178	NOAT	M	56	1,250										
EXP	179	NOAT	M	65	1,710										
EXP	180	NOAT	F	57	1,260	1	0,029		0,019						
EXP	181	NOAT	F	51	0,930	0	0,011		0,022						
EXP	182	NOAT	I	65	1,820	1			0,026						
EXP	183	NOAT	I	61	1,520	1			0,023						
EXP	184	NOAT	I	57	1,150	1			0,014						
EXP	185	NOAT	F	60	1,480	1	0,032		0,020						
EXP	186	NOAT	I	62	1,620	1			0,037						
EXP	187	NOAT	F	60	1,380	1	0,023		0,019						
EXP	188	NOAT	F	58	1,280										
EXP	189	NOAT	F	53	0,950										
EXP	190	NOAT	I	59	1,240	1			0,019						
EXP	191	NOAT	F	61	1,450										
EXP	192	NOAT	I	58	1,490	1			0,019						
EXP	193	NOAT	M	59	1,270										
EXP	194	NOAT	I	57	1,230	1			0,030						
REF	195	NOAT	F	95	6,520	2	0,169		0,102		1				
REF	196	NOAT	M	81	3,670	2	0,008		0,069						
REF	197	NOAT	M	82	3,640	2	0,011		0,046						
REF	198	NOAT	F	82	3,980	2	0,103		0,068						
REF	199	NOAT	F	87	4,610	2	0,107		0,071						
REF	200	NOAT	F	82	3,930	2	0,110		0,058						

MRNF, Site East Malartic

Annexe E : Données brutes des mesures morphométriques prises sur les poissons

ZONE	SPECIMEN	ESPECE	SEXE	LONGT (mm)	PTOT (g)	AGE	PGON (g)	FECON	PFOIE (g)	ANNOMALIES				
										11	25	26	30	32
REF	201	NOAT	M	77	3,150	1	0,011		0,058					
REF	202	NOAT	F	86	3,870	2	0,091		0,077					
REF	203	NOAT	M	82	3,540	1	0,011		0,044					
REF	204	NOAT	M	80	3,170	2	0,012		0,046					
REF	205	NOAT	F	67	2,080	1	0,041		0,063					
REF	206	NOAT	M	73	2,620	1	0,008		0,035					1
REF	207	NOAT	M	71	2,300	1	0,004		0,032					
REF	208	NOAT	I	60	1,340	1			0,018					1
REF	209	NOAT	M	68	2,050	1	0,004		0,038		1			
REF	210	NOAT	F	73	2,510	1	0,057		0,045					
REF	211	NOAT	F	69	2,120	1	0,032		0,034					
REF	212	NOAT	F	88	4,460	2	0,093		0,048					
REF	213	NOAT	F	75	4,030	2	0,110		0,043					1
REF	214	NOAT	M	77	2,850	2	0,005		0,062					
REF	215	NOAT	F	83	4,470	1	0,097		0,063					
REF	216	NOAT	F	84	3,650	2	0,094		0,042					
REF	217	NOAT	F	82	3,650	2	0,106		0,064					
REF	218	NOAT	M	83	3,910	2	0,010		0,047					
REF	219	NOAT	M	79	2,950	2	0,006		0,036					
REF	220	NOAT	M	67	1,940	1	0,005		0,035					
REF	221	NOAT	I	68	1,990	1			0,035					
REF	222	NOAT	F	66	1,950	1	0,037		0,033					
REF	223	NOAT	F	68	2,190	1	0,046		0,033					
REF	224	NOAT	F	71	2,400	1	0,058		0,039					
REF	225	NOAT	I	63	1,620	0			0,015					
REF	226	NOAT	M	63	1,870	1	0,004		0,036					1
REF	227	NOAT	I	62	1,450	1			0,024					
REF	228	NOAT	F	62	1,440	1	0,026		0,019					
REF	229	NOAT	F	62	1,380	1	0,025		0,022					
REF	230	NOAT	M	64	1,670	1	0,004		0,027					
REF	231	NOAT	I	64	1,660	1			0,027					
REF	232	NOAT	F	61	1,330	1	0,026		0,019					
REF	233	NOAT	F	63	1,560	1	0,020		0,014					
REF	234	NOAT	F	65	1,670	1	0,023		0,020					
REF	235	NOAT	F	69	1,860	1	0,031		0,022					
REF	236	NOAT	M	66	1,620	1	0,003		0,028					
REF	237	NOAT	M	65	1,600	1	0,004		0,020					
REF	238	NOAT	F	67	1,760	1	0,029		0,028					
REF	239	NOAT	M	65	1,760	1	0,005		0,023					
REF	240	NOAT	M	65	1,720	1	0,004		0,041					

MRNF, Site East Malartic

Annexe E : Données brutes des mesures morphométriques prises sur les poissons

ZONE	SPECIMEN	ESPECE	SEXE	LONGT (mm)	PTOT (g)	AGE	PGON (g)	FECON	PFOIE (g)	ANNOMALIES				
										11	25	26	30	32
REF	241	NOAT	I	66	1,710	1			0,023					
REF	242	NOAT	I	65	1,600	1			0,020					
REF	243	NOAT	F	63	1,510	1	0,028		0,022					
REF	244	NOAT	F	55	1,100	1	0,019		0,016					
REF	245	NOAT	I	39	0,340	0			0,005					
REF	246	NOAT	I	39	0,390	0			0,007					
REF	247	NOAT	F	61	1,300	1								
REF	248	NOAT	M	62	1,600	1	0,003		0,022					
REF	249	NOAT	F	58	1,260									
REF	250	NOAT	M	63	1,640	1	0,004		0,025					
REF	251	NOAT	F	59	1,200									
REF	252	NOAT	I	58	1,370	0			0,029					
REF	253	NOAT	F	62	1,620									
REF	254	NOAT	F	59	1,380									
REF	255	NOAT	M	57	1,240		0,003		0,022					
REF	256	NOAT	F	57	1,140									
REF	257	NOAT	F	61	1,430									
REF	258	NOAT	M	56	1,240	1	0,003		0,017					
REF	259	NOAT	F	60	1,370									
REF	260	NOAT	F	56	1,160									
REF	261	NOAT	F	58	1,310									
REF	262	NOAT	I	57	1,210	1			0,022					
REF	263	NOAT	F	55	0,980									
REF	264	NOAT	F	54	1,090									
REF	265	NOAT	F	55	1,050									
REF	266	NOAT	F	46	0,730									
REF	267	NOAT	F	55	1,080									
REF	268	NOAT	F	55	1,020									
REF	269	NOAT	I	53	0,960	1			0,019					
REF	270	NOAT	I	56	1,100	1			0,019					
REF	271	NOAT	I	53	1,030	0			0,027					
REF	272	NOAT	F	61	1,410									
REF	273	NOAT	F	58	1,160									
REF	274	NOAT	I	48	0,620	0			0,010					
REF	275	NOAT	M	59	1,260	1	0,005		0,020					
REF	276	NOAT	F	55	1,080									
REF	277	NOAT	F	52	0,900									
REF	278	NOAT	I	38	0,330	0			0,008					
REF	279	NOAT	I	52	0,780	0			0,009					
REF	280	NOAT	F	63	1,500									

MRNF, Site East Malartic

Annexe E : Données brutes des mesures morphométriques prises sur les poissons

ZONE	SPECIMEN	ESPECE	SEXE	LONGT (mm)	PTOT (g)	AGE	PGON (g)	FECON	PFOIE (g)	ANNOMALIES				
										11	25	26	30	32
REF	281	NOAT	I	53	0,950	1			0,015					
REF	282	NOAT	I	56	1,000	1			0,016					
REF	283	NOAT	I	57	1,200	1			0,021					
REF	284	NOAT	M	63	1,570	1	0,007		0,026					
REF	285	NOAT	F	61	1,330									
REF	286	NOAT	I	55	0,950	0			0,024					
REF	287	NOAT	F	61	1,340									
REF	288	NOAT	F	62	1,440									
REF	289	NOAT	F	57	1,080									
REF	290	NOAT	F	56	1,130									
REF	291	NOAT	I	57	1,120	0			0,021					
REF	292	NOAT	F	56	1,090									
REF	293	NOAT	I	58	1,350	1			0,026					
REF	294	NOAT	F	61	1,520									
REF	295	NOAT	M	60	1,380	1	0,003		0,022					
REF	296	NOAT	F	58	1,170									
REF	297	NOAT	I	25	0,120									
REF	298	NOAT	I	62	1,430	1			0,021					
REF	299	NOAT	I	60	1,560	1			0,024					
REF	300	NOAT		56	0,970									
REF	301	NOAT		60	1,230									
REF	302	NOAT		60	1,310									
REF	303	NOAT		60	1,330									
REF	304	NOAT		60	1,400									
REF	305	NOAT		50	0,750									
REF	306	NOAT		55	1,030									
REF	307	NOAT		54	0,920									
REF	308	NOAT		58	1,150									
REF	309	NOAT		57	1,130									
REF	310	NOAT		57	1,180									
REF	311	NOAT		55	1,030									
REF	312	NOAT		50	0,840									
REF	313	NOAT		55	1,080									
REF	314	NOAT		60	1,450									
REF	315	NOAT		58	1,340									
REF	316	NOAT		59	1,260									
REF	317	NOAT		60	1,550									
REF	318	NOAT		54	1,040									
REF	319	NOAT		56	1,100									
REF	320	NOAT		57	1,190									

MRNF, Site East Malartic

Annexe E : Données brutes des mesures morphométriques prises sur les poissons

ZONE	SPECIMEN	ESPECE	SEXE	LONGT (mm)	PTOT (g)	AGE	PGON (g)	FECON	PFOIE (g)	ANNOMALIES				
										11	25	26	30	32
REF	321	NOAT		52	0,770									
REF	322	NOAT		59	1,360									
REF	323	NOAT		61	1,470									
REF	324	NOAT		62	1,590									
REF	325	NOAT		63	1,540									
REF	326	NOAT		57	1,320									
REF	327	NOAT		57	1,160									
REF	328	NOAT		60	1,440									
REF	329	NOAT		51	0,830									
REF	330	NOAT		58	1,280									
REF	331	NOAT		57	1,330									
REF	332	NOAT		56	1,090									
REF	333	NOAT		57	1,200									
REF	334	NOAT		62	1,550									
REF	335	NOAT		65	1,760									
REF	336	NOAT		59	1,360									
REF	337	NOAT		57	1,150									
REF	338	NOAT		63	1,610									
REF	339	NOAT		60	1,370									
REF	340	NOAT		52	0,960									
REF	341	NOAT		55	1,160									
REF	342	NOAT		60	1,400									
REF	343	NOAT		55	1,070									
REF	344	NOAT		58	1,240									
REF	345	NOAT		58	1,200									
REF	346	NOAT		57	1,040									
REF	347	NOAT		52	0,980									
REF	348	NOAT		26	0,110									
REF	349	NOAT		52	0,760									
REF	350	NOAT		58	1,340									
REF	351	NOAT		60	1,350									
REF	352	NOAT		51	1,120									
REF	353	NOAT		58	1,220									
REF	354	NOAT		54	1,230									
REF	355	NOAT		56	1,140									
REF	356	NOAT		62	1,620									
REF	357	NOAT		25	0,090									
REF	358	NOAT		57	1,170									
REF	359	NOAT		58	1,210									
REF	360	NOAT		60	1,420									

1

Annexe E : Données brutes des mesures morphométriques prises sur les poissons

ZONE	SPECIMEN	ESPECE	SEXE	LONGT (mm)	PTOT (g)	AGE	PGON (g)	FECON	PFOIE (g)	ANNOMALIES				
										11	25	26	30	32
REF	361	NOAT		55	0,980									
REF	362	NOAT		59	1,170									
REF	363	NOAT		60	1,370									
REF	364	NOAT		56	1,170									
REF	365	NOAT		55	0,950									
REF	366	NOAT		57	1,160									
REF	367	NOAT		55	1,210									
REF	368	NOAT		56	1,110									
REF	369	NOAT		58	1,170									
REF	370	NOAT		60	1,380									
REF	371	NOAT		26	0,090									
REF	372	NOAT		57	1,190									
REF	373	NOAT		60	1,300									
REF	374	NOAT		61	1,450									
REF	375	NOAT		45	0,640									
REF	376	NOAT		56	1,110									
REF	377	NOAT		56	1,100									
REF	378	NOAT		53	0,900									
REF	379	NOAT		60	1,470									
REF	380	NOAT		56	1,260									
REF	381	NOAT		61	1,450									
REF	382	NOAT		62	1,580									
REF	383	NOAT		53	0,940									
REF	384	NOAT		58	1,210									
REF	385	NOAT		48	0,860									
REF	386	NOAT		58	1,170									
REF	387	NOAT		60	1,240									
REF	388	NOAT		56	1,120									
REF	389	NOAT		27	0,140									
REF	390	NOAT		62	1,630									
REF	391	NOAT		56	1,170									
REF	392	NOAT		62	1,690									
REF	393	NOAT		59	1,450									
REF	394	NOAT		57	1,340									
REF	395	NOAT		59	1,250									
REF	396	NOAT		60	1,350									
REF	397	NOAT		53	0,860									
REF	398	NOAT		58	1,150									
REF	399	NOAT		60	1,380									
REF	400	NOAT		51	1,920									

MRNF, Site East Malartic

Annexe E : Données brutes des mesures morphométriques prises sur les poissons

ZONE	SPECIMEN	ESPECE	SEXE	LONGT (mm)	PTOT (g)	AGE	PGON (g)	FECON	PFOIE (g)	ANNOMALIES				
										11	25	26	30 32	
REF	401	NOAT		60	1,370									
REF	402	NOAT		55	1,140									
REF	403	NOAT		51	1,000									
REF	404	PEOM		108	13,310									
REF	405	PEOM		83	5,900									
REF	406	PEOM		85	6,540									
REF	407	PEOM		88	7,390									
REF	408	PEOM		77	4,370									
REF	409	PEOM		104	11,880									
REF	410	PEOM		82	5,250									
REF	411	PEOM		81	5,480									
REF	412	PEOM		89	6,450									
REF	413	PEOM		72	3,490									
REF	414	PEOM		80	5,030									
REF	415	PEOM		93	7,770									
REF	416	PEOM		77	4,720									
REF	417	PEOM		83	7,080									1
REF	418	PEOM		78	4,320									
REF	419	PEOM		82	5,100									
REF	420	PEOM		77	4,400									
REF	421	PEOM		85	5,840									
REF	422	PEOM		92	7,470									
REF	423	PEOM		67	2,920									
REF	424	PEOM		82	5,620									
REF	425	PEOM		91	7,050									
REF	426	PEOM		85	6,040									
REF	427	PEOM		57	1,690									
REF	428	PEOM		84	5,310									
REF	429	PEOM		68	2,860									
REF	430	PEOM		75	3,740									
REF	431	PEOM		72	3,850									
REF	432	PEOM		70	3,050									
REF	433	PEOM		70	3,230									
REF	434	PEOM		86	6,450									
REF	435	PEOM		53	1,350									
REF	436	PEOM		78	4,390									
REF	437	PEOM		96	9,940									
REF	438	PEOM		87	6,360									
REF	439	PEOM		85	6,130									
REF	440	PEOM		66	2,730									

MRNF, Site East Malartic

Annexe E : Données brutes des mesures morphométriques prises sur les poissons

ZONE	SPECIMEN	ESPECE	SEXE	LONGT (mm)	PTOT (g)	AGE	PGON (g)	FECON	PFOIE (g)	ANNOMALIES				
										11	25	26	30	32
REF	441	PEOM		72	3,290									
REF	442	PEOM		78	4,520									
REF	443	PEOM		87	6,380									
REF	444	PEOM		80	4,720									
REF	445	PEOM		80	5,050									
REF	446	PEOM		82	5,140									
REF	447	PEOM		87	6,370									
REF	448	PEOM		71	3,330									
REF	449	PEOM		56	1,570									
REF	450	PEOM		84	5,570									
REF	451	PEOM		71	3,360									
REF	452	PEOM		43	0,730									
REF	453	PEOM		80	4,940									
REF	454	PEOM		90	6,550									
REF	455	PEOM		63	2,880									
REF	456	PEOM		72	3,660									
REF	457	PEOM		55	1,490									
REF	458	PEOM		53	1,340									
REF	459	PEOM		76	4,710									
REF	460	PEOM		68	2,990									
REF	461	PEOM		78	4,490									
REF	462	PEOM		81	4,640									
REF	463	PEOM		83	5,460									
REF	464	PEOM		77	4,550									
REF	465	PEOM		66	2,780									
REF	466	PEOM		80	5,020									
REF	467	PEOM		72	3,640									
REF	468	PEOM		72	3,540									
REF	469	NOHU		88	6,810									
REF	470	NOHU		86	6,060									
REF	471	NOHU		85	5,530									
REF	472	NOHU		84	5,390									
REF	473	NOHU		85	5,920									
REF	474	NOHU		83	5,310									
REF	475	NOHU		87	5,980									
REF	476	NOHU		82	5,840									
REF	477	NOHU		83	5,080									
REF	478	NOHU		85	5,430									
REF	479	NOHU		82	4,900									
REF	480	NOHU		84	5,180									

MRNF, Site East Malartic

Annexe E : Données brutes des mesures morphométriques prises sur les poissons

ZONE	SPECIMEN	ESPECE	SEXE	LONGT (mm)	PTOT (g)	AGE	PGON (g)	FECON	PFOIE (g)	ANNOMALIES				
										11	25	26	30	32
REF	481	NOHU		90	5,930									
REF	482	NOHU		86	5,850									
REF	483	NOHU		87	5,500									
REF	484	NOHU		84	5,520									
REF	485	NOHU		45	0,830									
REF	486	NOHU		48	0,900									
REF	487	NOHU		50	1,000									
REF	488	NOHU		50	0,970									
REF	489	NOHU		45	0,780									
REF	490	NOHU		44	0,670									
REF	491	NOHU		50	1,020									
REF	492	NOHU		48	0,890									
REF	493	NOHU		50	1,050									
REF	494	NOHU		51	1,060									
REF	495	NOHU		43	0,700									
REF	496	NOHU		50	1,000									
REF	497	NOHU		45	0,790									
REF	498	NOHU		46	0,920									
REF	499	NOHU		47	0,880									
REF	500	NOHU		53	1,220									
REF	501	NOHU		53	1,060									
REF	502	NOHU		42	0,630									
REF	503	NOHU		51	1,060									
REF	504	NOHU		53	0,990									
REF	505	NOHU		45	0,820									
REF	506	NOHU		52	1,060									
REF	507	NOHU		50	1,050									
REF	508	NOHU		32	0,230									
REF	509	NOHU		22	0,060									
REF	510	NOHU		27	0,130									
REF	511	NOHU		29	0,150									
REF	512	NOHU		46	0,710									
REF	513	NOHU		47	0,820									
REF	514	NOHU		47	0,800									
REF	515	NOHU		47	0,850									
REF	516	NOHU		45	0,680									
REF	517	NOHU		53	1,100									
REF	518	NOHU		44	0,650									
REF	519	NOHU		45	0,720									
REF	520	NOHU		50	1,000									

MRNF, Site East Malartic

Annexe E : Données brutes des mesures morphométriques prises sur les poissons

ZONE	SPECIMEN	ESPECE	SEXE	LONGT (mm)	PTOT (g)	AGE	PGON (g)	FECON	PFOIE (g)	ANNOMALIES				
										11	25	26	30	32
REF	521	NOHU		42	0,620									
REF	522	NOHU		48	0,920									
REF	523	NOHU		20	0,070									
REF	524	NOHU		44	0,650									
REF	525	NOHU		45	0,700									
REF	526	NOHU		42	0,630									
REF	527	NOHU		47	0,820									
REF	528	NOHU		39	0,340									
REF	529	NOHU		42	0,570									
REF	530	NOHU		48	0,860									
REF	531	NOHU		48	0,930									
REF	532	NOHU		45	0,710									
REF	533	NOHU		50	0,980									
REF	534	NOHU		46	0,790									
REF	535	NOHU		53	0,950									
REF	536	NOHU		42	0,630									
REF	537	NOHU		45	0,760									
REF	538	NOHU		52	1,160									
REF	539	NOHU		26	0,150									
REF	540	NOHU		49	0,880									
REF	541	NOHU		45	0,710									
REF	542	NOHU		45	0,650									
REF	543	NOHU		49	0,940									
REF	544	NOHU		46	0,730									
REF	545	NOHU		46	0,720									
REF	546	NOHU		48	0,810									
REF	547	NOHU		45	0,740									
REF	548	NOHU		48	0,870									
REF	549	NOHU		48	0,860									
REF	550	NOHU		42	0,540									
REF	551	NOHU		45	0,680									
REF	552	NOHU		26	0,110									
REF	553	NOHU		31	0,180									
REF	554	NOHU		46	0,760									
REF	555	NOHU		48	0,880									
REF	556	NOHU		48	0,920									
REF	557	NOHU		52	1,090									
REF	558	NOHU		45	0,600									
EXP	559	PEOM		75	3,980									
EXP	560	PEOM		76	4,010									

MRNF, Site East Malartic

Annexe E : Données brutes des mesures morphométriques prises sur les poissons

ZONE	SPECIMEN	ESPECE	SEXE	LONGT (mm)	PTOT (g)	AGE	PGON (g)	FECON	PFOIE (g)	ANNOMALIES				
										11	25	26	30	32
EXP	561	PEOM		82	5,730									
EXP	562	PEOM		79	4,550									
EXP	563	PEOM		76	3,740									
EXP	564	NOHU		87	5,800									
EXP	565	NOHU		46	0,800									
EXP	566	NOHU		46	0,750									
EXP	567	NOHU		51	1,010									
EXP	568	NOHU		40	0,570									
EXP	569	NOHU		48	0,760									
EXP	570	NOHU		82	5,540									
EXP	571	NOHU		96	8,490									
EXP	572	NOHU		46	0,740									
EXP	573	NOHU		46	0,750									
EXP	574	NOHU		52	1,290									
EXP	575	NOHU		43	0,660									
EXP	576	NOHU		51	1,190									
EXP	577	NOHU		48	0,560									
EXP	578	NOHU		51	1,140									
EXP	579	NOHU		42	0,600									
EXP	580	NOHU		45	0,760									
EXP	581	NOHU		45	0,740									
EXP	582	NOHU		45	0,750									
EXP	583	NOHU		46	0,840									
EXP	584	NOHU		43	0,640									
EXP	585	NOHU		44	0,740									
EXP	586	NOHU		44	0,710									
EXP	587	NOHU		47	0,840									
EXP	588	NOHU		43	0,610									
EXP	589	NOHU		46	0,680									
EXP	590	NOHU		47	0,720									
EXP	591	NOHU		45	0,680									
EXP	592	NOHU		52	1,000									
EXP	593	NOHU		52	1,150									
EXP	594	NOHU		46	0,850									
EXP	595	NOHU		44	0,580									
EXP	596	NOHU		46	0,890									
EXP	597	NOHU		42	0,530									
EXP	598	NOHU		51	1,080									
EXP	599	NOHU		45	0,730									
EXP	600	NOHU		35	0,240									

MRNF, Site East Malartic

Annexe E : Données brutes des mesures morphométriques prises sur les poissons

ZONE	SPECIMEN	ESPECE	SEXE	LONGT (mm)	PTOT (g)	AGE	PGON (g)	FECON	PFOIE (g)	ANNOMALIES				
										11	25	26	30	32
EXP	601	NOHU		42	0,570									
EXP	602	NOHU		51	0,630									
EXP	603	NOHU		44	0,690									
EXP	604	NOHU		40	0,430									
EXP	605	NOHU		46	0,810									
EXP	606	NOHU		41	0,490									
EXP	607	NOHU		45	0,730									
EXP	608	NOHU		46	0,660									
EXP	609	NOHU		45	0,730									
EXP	610	NOHU		45	0,700									
EXP	611	NOHU		43	0,570									
EXP	612	NOHU		42	0,780									
EXP	613	NOHU		49	0,910									
EXP	614	NOHU		44	0,700									
EXP	615	NOHU		42	0,540									
EXP	616	NOHU		40	0,450									
EXP	617	NOHU		39	0,440									
EXP	618	NOHU		31	0,540									
EXP	619	NOHU		41	0,510									
EXP	620	NOHU		46	0,710									
EXP	621	NOHU		38	0,330									

Annexe F

Certificats d'analyse de la qualité des sédiments

Le 10 décembre 2007

Par télécopieur et courrier
(819) 373-7573
22 pages

Madame Claudie Gagnon
Alliance Environnement Inc.
2, rue Fusey
Trois-Rivières (Québec)
G8T 2T1

Objet : **Analyses sur sédiments**
Sédiments marins, East Malartic– Contrat **A-7381**
N/Dossier n° : 07-171-006

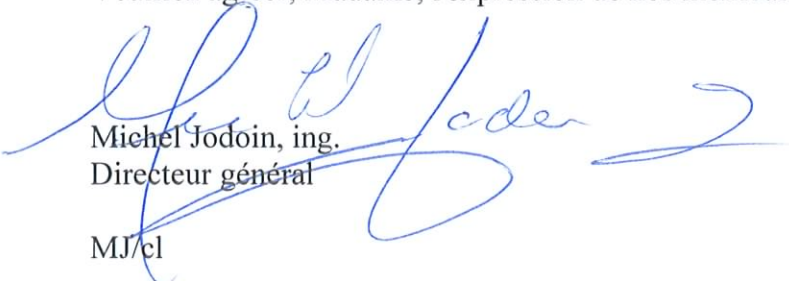
Madame,

Nous vous transmettons ci-joint le rapport des résultats des dix (10) analyses granulométriques et sédimentométriques que nous avons effectués sur les échantillons que vous avez apportés à notre laboratoire le 31 octobre 2007.

Les résultats vous sont présentés sous forme de tableau et nous joignons les courbes granulométriques.

Nous espérons le tout à votre entière satisfaction et que vous n'hésitez pas à communiquer avec nous dans l'éventualité où des renseignements supplémentaires et/ou complémentaires seraient requis.

Veuillez agréer, Madame, l'expression de nos meilleurs sentiments.



Michel Jodoin, ing.
Directeur général

MJ/cl

p.j. Tableau des résultats
Courbes granulométriques


R-01

Tableau résumé des résultats d'essais

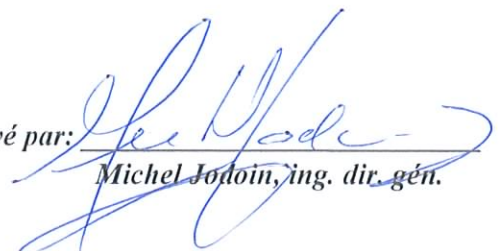
*Essais sur matériaux , sédiments marins, East Malartic, A 7381
 N/Dossier No 07-171-006*

<i>Labo n°</i>	<i>Échantillon No</i>	<i>Argile (%)</i>	<i>Silt (%)</i>	<i>Sable fin (%)</i>	<i>Sable (%)</i>	<i>Gravier (%)</i>	<i>Remarques</i>
07-SG-2069	Échant. E-1	16,0	80,1	3,2	0,7	0,0	
07-SG-2070	Échant. E-2	12,2	79,0	8,1	0,7	0,0	Présence de mat. organiques
07-SG-2071	Échant. E-3	11,7	78,6	9	0,7	0,0	Présence de mat. organiques
07-SG-2072	Échant. E-4	10,3	79,3	9,4	1	0,0	Présence de mat. organiques
07-SG-2073	Échant. E-5	13,1	81,4	4,8	0,7	0,0	
07-SG-2074	Échant. R-1	11,1	46,4	36,1	6,4	0,0	Présence de mat. organiques
07-SG-2075	Échant. R-2	10,3	62,1	24,6	3	0,0	Présence de mat. organiques
07-SG-2076	Échant. R-3	7,7	67,7	17,6	7	0,0	
07-SG-2077	Échant. R-4	13,1	67,2	19	0,7	0,0	Présence de mat. organiques
07-SG-2078	Échant. R-5	19,2	76,4	3,7	0,7	0,0	

Préparé par:


 Alain Grenier, t.p.

Approuvé par:


 Michel Jodoin, ing. dir. gén.

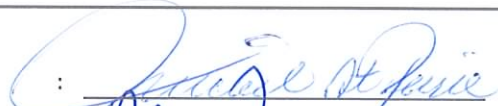
SOLS ET GRANULATS SOMMAIRE DES ESSAIS

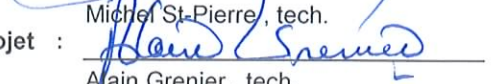
Soumis à : Mme Claudie Gagnon, Alliance Environnement Inc.	Dossier no : 07-171-006 Date : 2007-12-07
Entrepreneur :	<u>Vos références</u>
Projet : Essais sur matériaux , sédiments marins, East Malartic, A 7381	Projet N° : A 7381
Localisation :	

RENSEIGNEMENTS GÉNÉRAUX			
No échantillon : 07-SG-2069	Prélevé par : Client		
Type de matériau : Sédiments marins	Source : Matériaux en place		
Calibre du matériau : Sédiments			
Usage proposé : ---			
Lieu de prélèvement : Échantillon no. E-1			
Date de prélèvement : 2007-10-31	Date de réception : 2007-10-31		

GRANULOMÉTRIE (BNQ 2560-040 et 350)				SÉDIMENTOMÉTRIE BNQ 2501-025		Composition du matériau			
Tamis	% passant	Exigences		Diamètre des particules (mm)	Passant %	Argile	Silt	Sable	Gravier
		min.	max.						
200	100			0,0378	73,2	16,0	80,1	3,9	0,0
112	100			0,0284	64,1				
80	100			0,0195	51,9				
56	100			0,0121	38,1				
40	100			0,0088	30,5				
28	100			0,0065	22,9				
20	100			0,0033	13,7				
14	100			0,0024	9,2				
10	100			0,0014	6,1				
5	100								
2	100								
1,25	100								
0,63	100								
0,315	100								
0,16	99								
0,08	97,8								
0,063	96,1								
MODULE DE FINESSE :				PROCTOR MODIFIÉ (NQ 2501-255)		Méthode			
				Masse volumique sèche maximale					
				Humidité optimale					
						Cu:	Cc:		

REMARQUE : * Un astérisque accompagne tout résultat individuel non conforme lorsque les exigences sont spécifiées.

Vérfié par : 
Michel St-Pierre, tech.

Chargé de projet : 
Alain Grenier, tech.

SOLS ET GRANULATS SOMMAIRE DES ESSAIS

Soumis à : Mme Claudie Gagnon,
Alliance Environnement Inc.

Dossier no : 07-171-006
Date: : 2007-12-07

Entrepreneur :
Projet : Essais sur matériaux, sédiments marins, East Malartic, A
7381

Vos références
Projet N° : A 7381

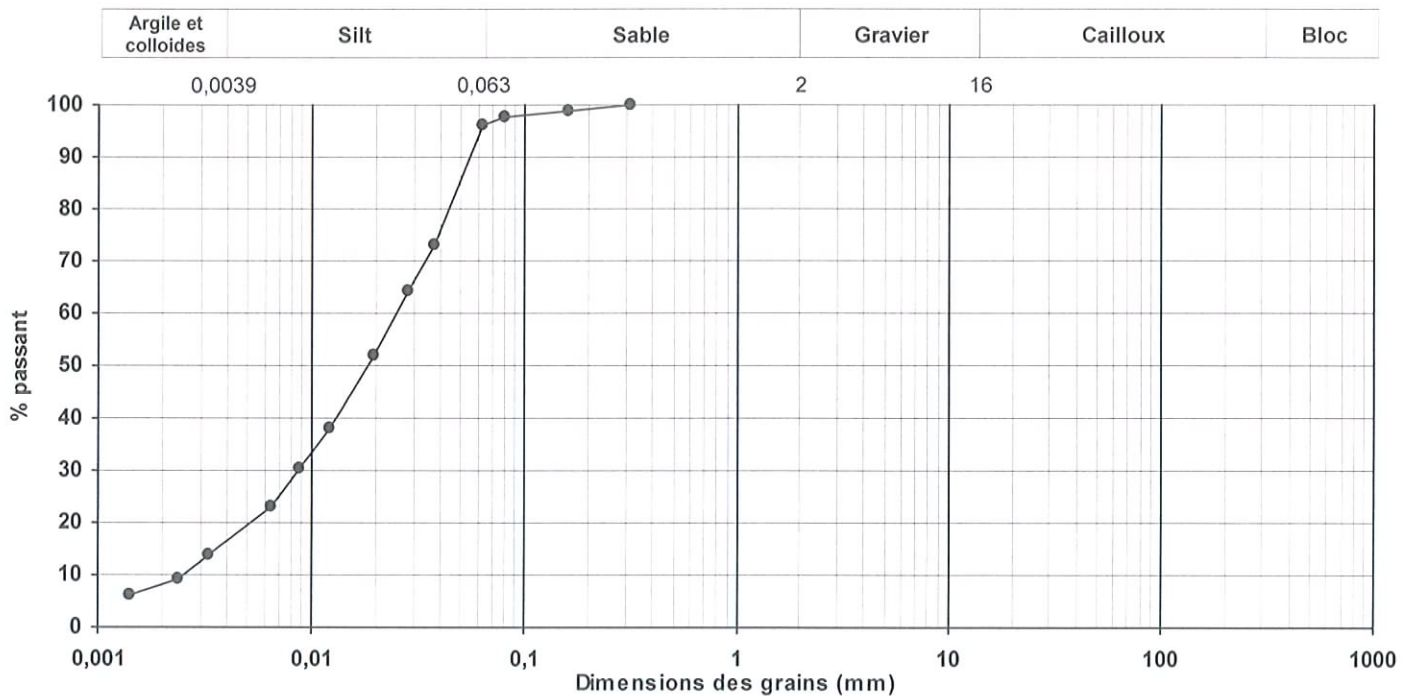
Localisation :

RENSEIGNEMENTS GÉNÉRAUX

No échantillon : 07-SG-2069
Type de matériau : Sédiments marins
Calibre du matériau : Sédiments
Usage proposé : ---
Lieu de prélèvement : Échantillon no. E-1
Date de prélèvement : 2007-10-31

Prélevé par : Client
Source : Matériaux en place
Date de réception : 2007-10-31

Courbe granulométrique



REMARQUE :

Vérfié par :

Michel St-Pierre
Michel St-Pierre, tech.

Chargé de projet :

Alain Grenier
Alain Grenier, tech.

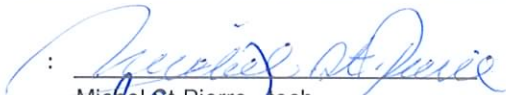
SOLS ET GRANULATS SOMMAIRE DES ESSAIS

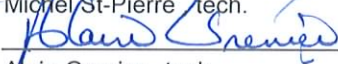
Soumis à : Mme Claudie Gagnon, Alliance Environnement Inc.	Dossier no : 07-171-006 Date : 2007-12-07
Entrepreneur :	<u>Vos références</u>
Projet : Essais sur matériaux , sédiments marins, East Malartic, A 7381	Projet N° : A 7381
Localisation :	

RENSEIGNEMENTS GÉNÉRAUX			
No échantillon : 07-SG-2070	Prélevé par : Client		
Type de matériau : Sédiments marins	Source : Matériaux en place		
Calibre du matériau : Sédiments			
Usage proposé : ---			
Lieu de prélèvement : Échantillon no. E-2			
Date de prélèvement : 2007-10-31	Date de réception : 2007-10-31		

GRANULOMÉTRIE (BNQ 2560-040 et 350)			SÉDIMENTOMÉTRIE BNQ 2501-025		Composition du matériau			
Tamis	% passant	Exigences	Diamètre des particules (mm)	Passant %	Argile	Silt	Sable	Gravier
		min. max.			12,2	79,0	8,8	0,0
200	100		0,0398	63,8				
112	100		0,0292	57,9				
80	100		0,0201	43,0				
56	100		0,0124	31,2				
40	100		0,0090	25,2				
28	100		0,0066	17,8				
20	100		0,0033	10,4				
14	100		0,0024	7,4				
10	100		0,0014	3,0				
5	100							
2	100							
1,25	100							
0,63	100							
0,315	100							
0,16	99							
0,08	94,8							
0,063	91,2							
MODULE DE FINESSE :			PROCTOR MODIFIÉ (NQ 2501-255)		Méthode			
			Masse volumique sèche maximale					
			Humidité optimale					
					Cu:	Cc:		

REMARQUE : * Un astérisque accompagne tout résultat individuel non conforme lorsque les exigences sont spécifiées.
Présence de matières organiques

Vérifié par : 
Michel St-Pierre, tech.

Chargé de projet : 
Alain Grenier, tech.

SOLS ET GRANULATS SOMMAIRE DES ESSAIS

Soumis à : Mme Claudie Gagnon,
Alliance Environnement Inc.

Dossier no : 07-171-006
Date : 2007-12-07

Entrepreneur :
Projet : Essais sur matériaux , sédiments marins, East Malartic, A
7381

Vos références

Projet N° : A 7381

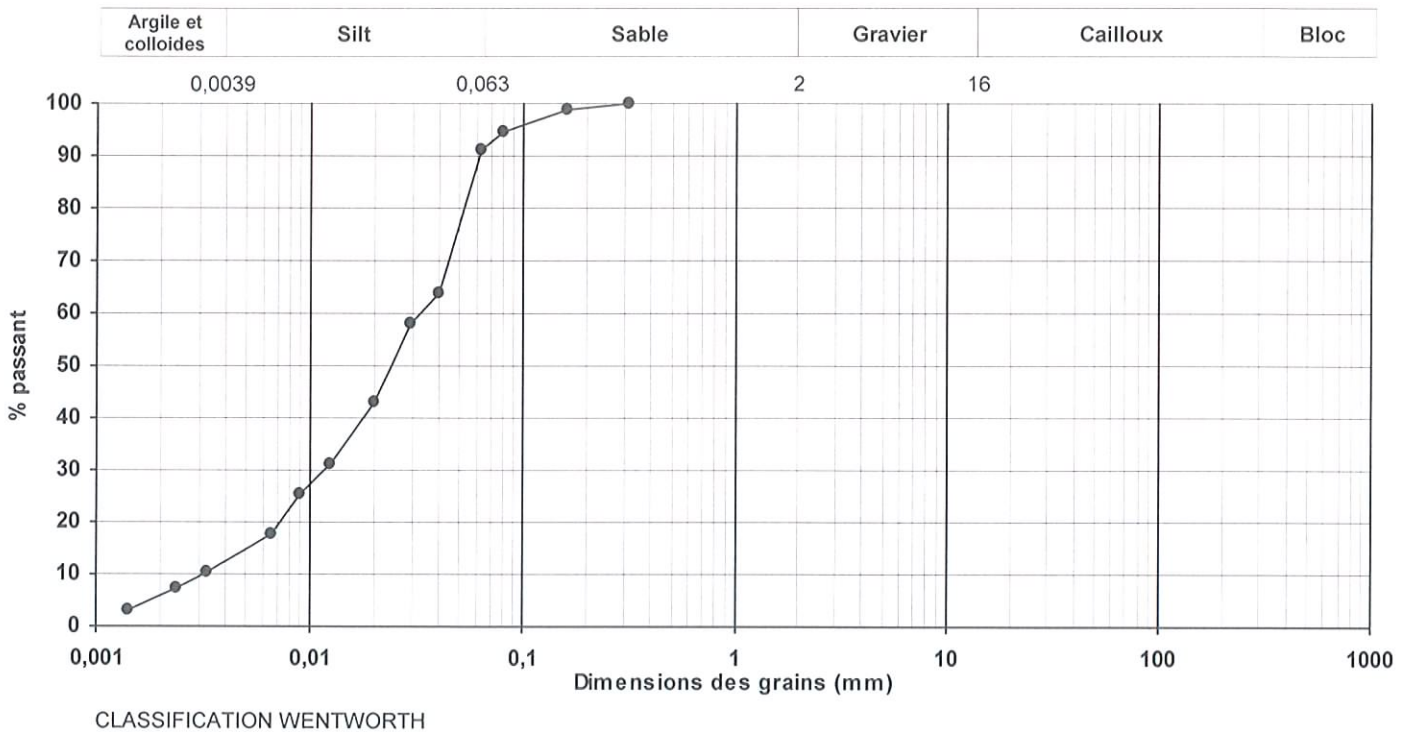
Localisation :

RENSEIGNEMENTS GÉNÉRAUX

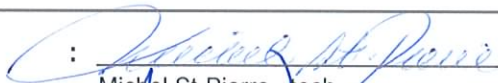
No échantillon : 07-SG-2070
Type de matériau : Sédiments marins
Calibre du matériau : Sédiments
Usage proposé : ---
Lieu de prélèvement : Échantillon no. E-2
Date de prélèvement : 2007-10-31

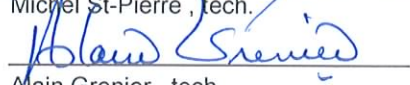
Prélevé par : Client
Source : Matériaux en place
Date de réception : 2007-10-31

Courbe granulométrique



REMARQUE :

Vérifié par : 
Michel St-Pierre, tech.

Chargé de projet : 
Alain Grenier, tech.

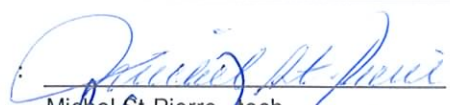
SOLS ET GRANULATS SOMMAIRE DES ESSAIS

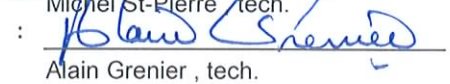
Soumis à : Mme Claudie Gagnon, Alliance Environnement Inc.	Dossier no : 07-171-006 Date : 2007-12-07
<u>Vos références</u>	
Entrepreneur : Projet : Essais sur matériaux , sédiments marins, East Malartic, A 7381	Projet N° : A 7381
Localisation :	

RENSEIGNEMENTS GÉNÉRAUX			
No échantillon	: 07-SG-2071	Prélevé par	: Client
Type de matériau	: Sédiments marins	Source	: Matériaux en place
Calibre du matériau	: Sédiments		
Usage proposé	: ---		
Lieu de prélèvement	: Échantillon no. E-3		
Date de prélèvement	: 2007-10-31	Date de réception	: 2007-10-31

GRANULOMÉTRIE (BNQ 2560-040 et 350)				SÉDIMENTOMÉTRIE BNQ 2501-025		Composition du matériau			
Tamis	% passant	Exigences		Diamètre des particules (mm)	Passant %	Argile	Silt	Sable	Gravier
		min.	max.						
200	100			0,0397	63,4	11,7	78,6	9,7	0,0
112	100			0,0294	56,1				
80	100			0,0200	42,8				
56	100			0,0124	31,0				
40	100			0,0091	23,6				
28	100			0,0067	16,2				
20	100			0,0033	10,3				
14	100			0,0024	7,4				
10	100			0,0014	5,9				
5	100								
2	100								
1,25	100								
0,63	100								
0,315	100								
0,16	99								
0,08	94,7								
0,063	90,3								
MODULE DE FINESSE :				PROCTOR MODIFIÉ (NQ 2501-255)		Méthode			
				Masse volumique sèche maximale					
				Humidité optimale					
						Cu:	Cc:		

REMARQUE : * Un astérisque accompagne tout résultat individuel non conforme lorsque les exigences sont spécifiées.
Présence de matières organiques

Vérfié par : 
Michel St-Pierre, tech.

Chargé de projet : 
Alain Grenier, tech.

SOLS ET GRANULATS SOMMAIRE DES ESSAIS

Soumis à : Mme Claudie Gagnon,
Alliance Environnement Inc.

Dossier no : 07-171-006
Date: : 2007-12-07

Entrepreneur :
Projet : Essais sur matériaux , sédiments marins, East Malartic, A
7381

Vos références
Projet N° : A 7381

Localisation :

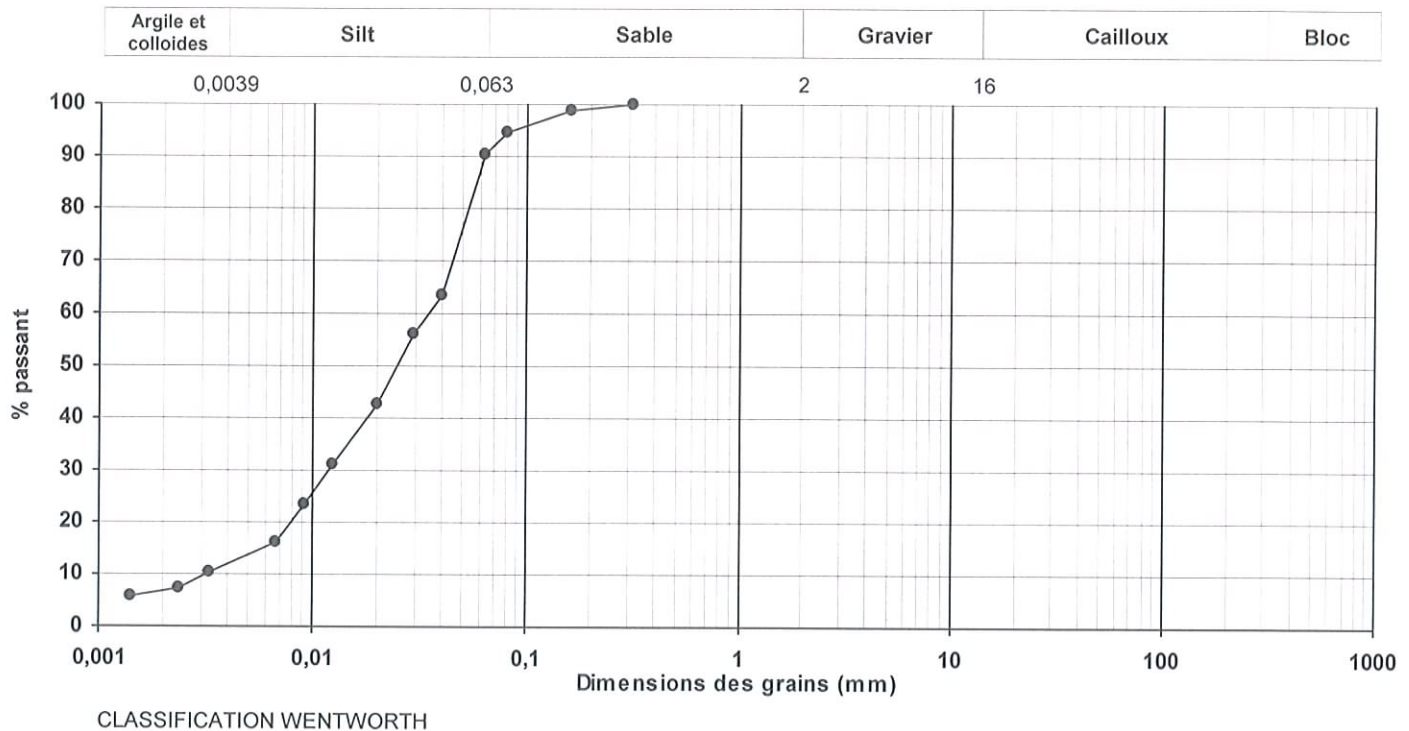
RENSEIGNEMENTS GÉNÉRAUX

No échantillon : 07-SG-2071
Type de matériau : Sédiments marins
Calibre du matériau : Sédiments
Usage proposé : ---
Lieu de prélèvement : Échantillon no. E-3
Date de prélèvement : 2007-10-31

Prélevé par : Client
Source : Matériaux en place

Date de réception : 2007-10-31

Courbe granulométrique

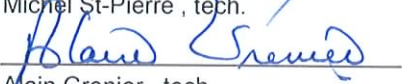


REMARQUE :

Vérifié par :


Michel St-Pierre, tech.

Chargé de projet :


Alain Grenier, tech.


SOLS ET GRANULATS SOMMAIRE DES ESSAIS

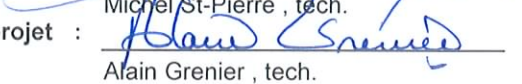
Soumis à : Mme Claudie Gagnon, Alliance Environnement Inc.	Dossier no : 07-171-006 Date : 2007-12-07
Entrepreneur :	<u>Vos références</u>
Projet : Essais sur matériaux , sédiments marins, East Malartic, A 7381	Projet N° : A 7381
Localisation :	

RENSEIGNEMENTS GÉNÉRAUX			
No échantillon : 07-SG-2072	Prélevé par : Client		
Type de matériau : Sédiments marins	Source : Matériaux en place		
Calibre du matériau : Sédiments			
Usage proposé : ---			
Lieu de prélèvement : Échantillon no. E-4			
Date de prélèvement : 2007-10-31	Date de réception : 2007-10-31		

GRANULOMÉTRIE (BNQ 2560-040 et 350)			SÉDIMENTOMÉTRIE BNQ 2501-025		Composition du matériau							
Tamis	% passant	Exigences		Diamètre des particules (mm)	Passant %	Argile	Silt	Sable	Gravier			
		min.	max.									
200	100			0,0419	55,5	10,3	79,3	10,4	0,0			
112	100			0,0312	46,5							
80	100			0,0209	37,5							
56	100			0,0127	25,5							
40	100			0,0092	21,0							
28	100			0,0065	15,0							
20	100			0,0034	9,0							
14	100			0,0025	6,0							
10	100			0,0014	4,5							
5	100											
2	100											
1,25	100											
0,63	100											
0,315	99											
0,16	99											
0,08	94,9											
0,063	89,6											
MODULE DE FINESSE :					<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;">D85</td> <td style="text-align: center;">D60</td> <td style="text-align: center;">D30</td> <td style="text-align: center;">D10</td> </tr> </table>				D85	D60	D30	D10
D85	D60	D30	D10									
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;"> PROCTOR MODIFIÉ (NQ 2501-255) Masse volumique sèche maximale Humidité optimale </td> <td style="text-align: center;"> Méthode </td> </tr> </table>					PROCTOR MODIFIÉ (NQ 2501-255) Masse volumique sèche maximale Humidité optimale	Méthode						
PROCTOR MODIFIÉ (NQ 2501-255) Masse volumique sèche maximale Humidité optimale	Méthode											
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;"> Cu: </td> <td style="text-align: center;"> Cc: </td> </tr> </table>						Cu:	Cc:					
Cu:	Cc:											

REMARQUE : * Un astérisque accompagne tout résultat individuel non conforme lorsque les exigences sont spécifiées.
Présence de matières organiques

Vérifié par : 
Michel St-Pierre, tech.

Chargé de projet : 
Alain Grenier, tech.

SOLS ET GRANULATS SOMMAIRE DES ESSAIS

 Soumis à : Mme Claudie Gagnon,
 Alliance Environnement Inc.

 Dossier no : 07-171-006
 Date: : 2007-12-07

 Entrepreneur :
 Projet : Essais sur matériaux , sédiments marins, East Malartic, A
 7381

Vos références
 Projet N° : A 7381

Localisation :

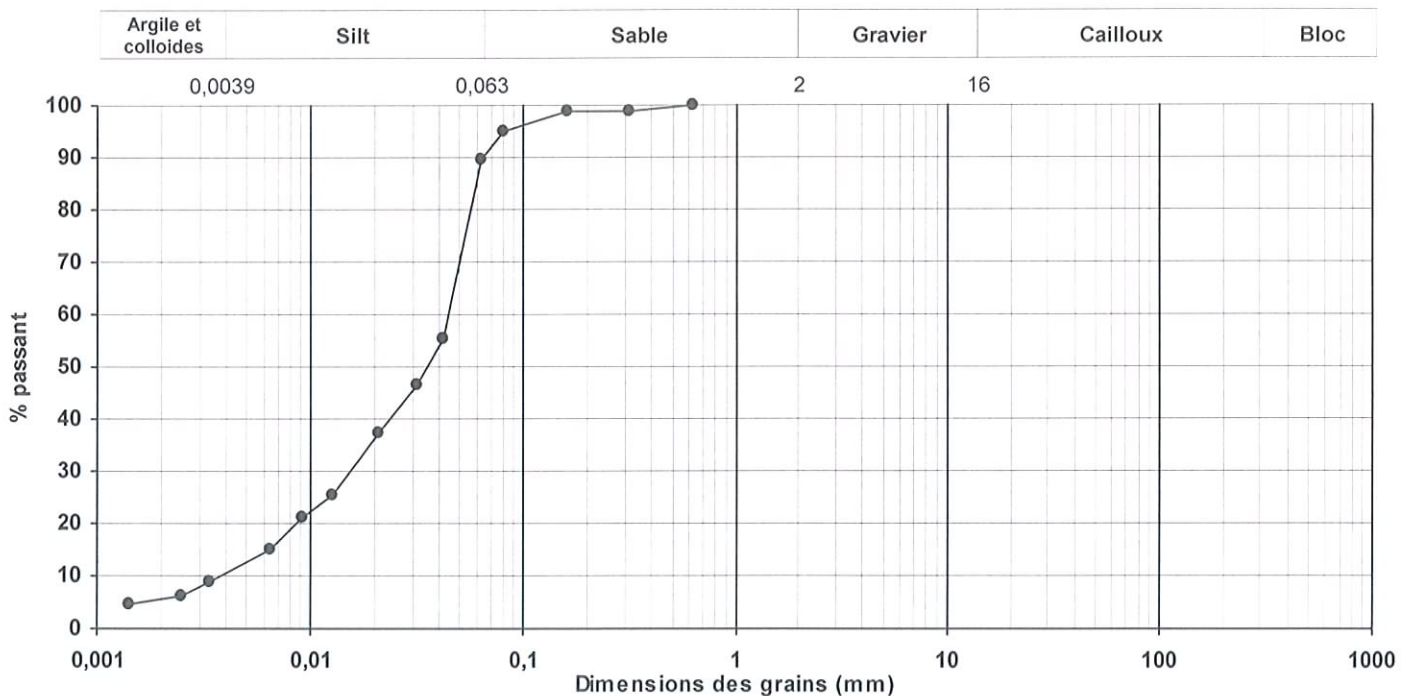
RENSEIGNEMENTS GÉNÉRAUX

 No échantillon : 07-SG-2072
 Type de matériau : Sédiments marins
 Calibre du matériau : Sédiments
 Usage proposé : ---
 Lieu de prélèvement : Échantillon no. E-4
 Date de prélèvement : 2007-10-31

 Prélevé par : Client
 Source : Matériaux en place

Date de réception : 2007-10-31

Courbe granulométrique



REMARQUE :

 Vérifié par : 
 Michel St-Pierre, tech.
 Chargé de projet : 
 Alain Grenier, tech.

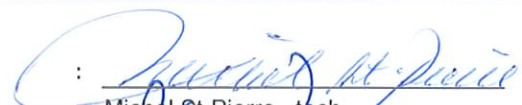
SOLS ET GRANULATS SOMMAIRE DES ESSAIS

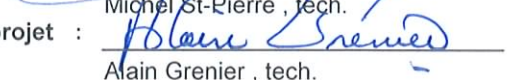
Soumis à : Mme Claudie Gagnon, Alliance Environnement Inc.	Dossier no : 07-171-006 Date : 2007-12-07
Entrepreneur :	<u>Vos références</u>
Projet : Essais sur matériaux , sédiments marins, East Malartic, A 7381	Projet N° : A 7381
Localisation :	

RENSEIGNEMENTS GÉNÉRAUX			
No échantillon : 07-SG-2073	Prélevé par : Client		
Type de matériau : Sédiments marins	Source : Matériaux en place		
Calibre du matériau : Sédiments			
Usage proposé : ---			
Lieu de prélèvement : Échantillon no. E-5			
Date de prélèvement : 2007-10-31	Date de réception : 2007-10-31		

GRANULOMÉTRIE (BNQ 2560-040 et 350)				SÉDIMENTOMÉTRIE BNQ 2501-025		Composition du matériau			
Tamis	% passant	Exigences		Diamètre des particules (mm)	Passant %	Argile	Silt	Sable	Gravier
		min.	max.						
200	100			0,0378	72,2	13,1	81,4	5,5	0,0
112	100			0,0287	61,7				
80	100			0,0194	49,6				
56	100			0,0122	36,1				
40	100			0,0089	28,6				
28	100			0,0065	21,1				
20	100			0,0033	10,5				
14	100			0,0024	9,0				
10	100			0,0014	6,0				
5	100								
2	100								
1,25	100								
0,63	100								
0,315	100								
0,16	99								
0,08	97,1								
0,063	94,5								
MODULE DE FINESSE :				PROCTOR MODIFIÉ (NQ 2501-255)		Méthode			
				Masse volumique sèche maximale					
				Humidité optimale					

REMARQUE : * Un astérisque accompagne tout résultat individuel non conforme lorsque les exigences sont spécifiées.

Vérifié par : 
Michel St-Pierre, tech.

Chargé de projet : 
Alain Grenier, tech.

SOLS ET GRANULATS SOMMAIRE DES ESSAIS

Soumis à : Mme Claudie Gagnon,
Alliance Environnement Inc.

Dossier no : 07-171-006
Date: : 2007-12-07

Entrepreneur :
Projet : Essais sur matériaux , sédiments marins, East Malartic, A
7381

Vos références
Projet N° : A 7381

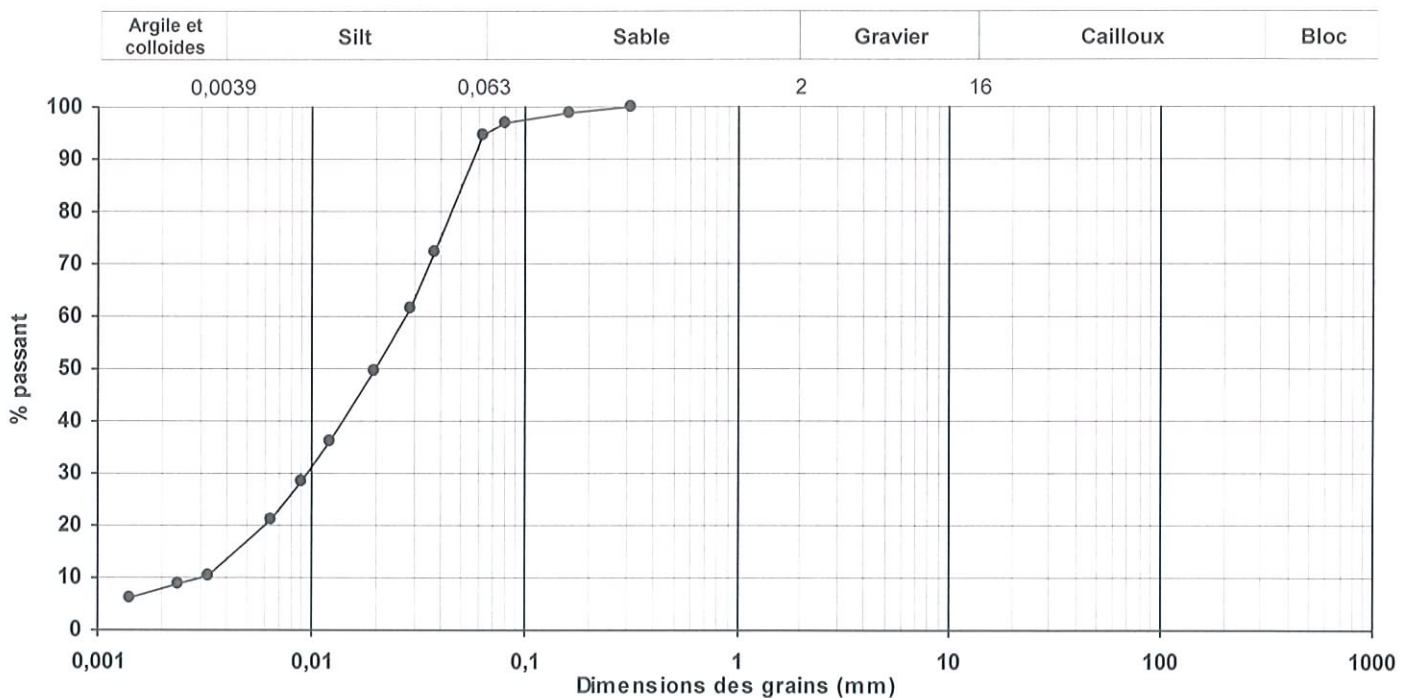
Localisation :

RENSEIGNEMENTS GÉNÉRAUX

No échantillon : 07-SG-2073
Type de matériau : Sédiments marins
Calibre du matériau : Sédiments
Usage proposé : ---
Lieu de prélèvement : Échantillon no. E-5
Date de prélèvement : 2007-10-31

Prélevé par : Client
Source : Matériaux en place
Date de réception : 2007-10-31

Courbe granulométrique



REMARQUE :

Vérifié par :

Michel St-Pierre
Michel St-Pierre, tech.

Chargé de projet :

Alain Grenier
Alain Grenier, tech.

SOLS ET GRANULATS SOMMAIRE DES ESSAIS

Soumis à : Mme Claudie Gagnon,
Alliance Environnement Inc.

Dossier no : 07-171-006
Date: : 2007-12-07

Entrepreneur :
Projet : Essais sur matériaux , sédiments marins, East Malartic, A
7381

Vos références
Projet N° : A 7381

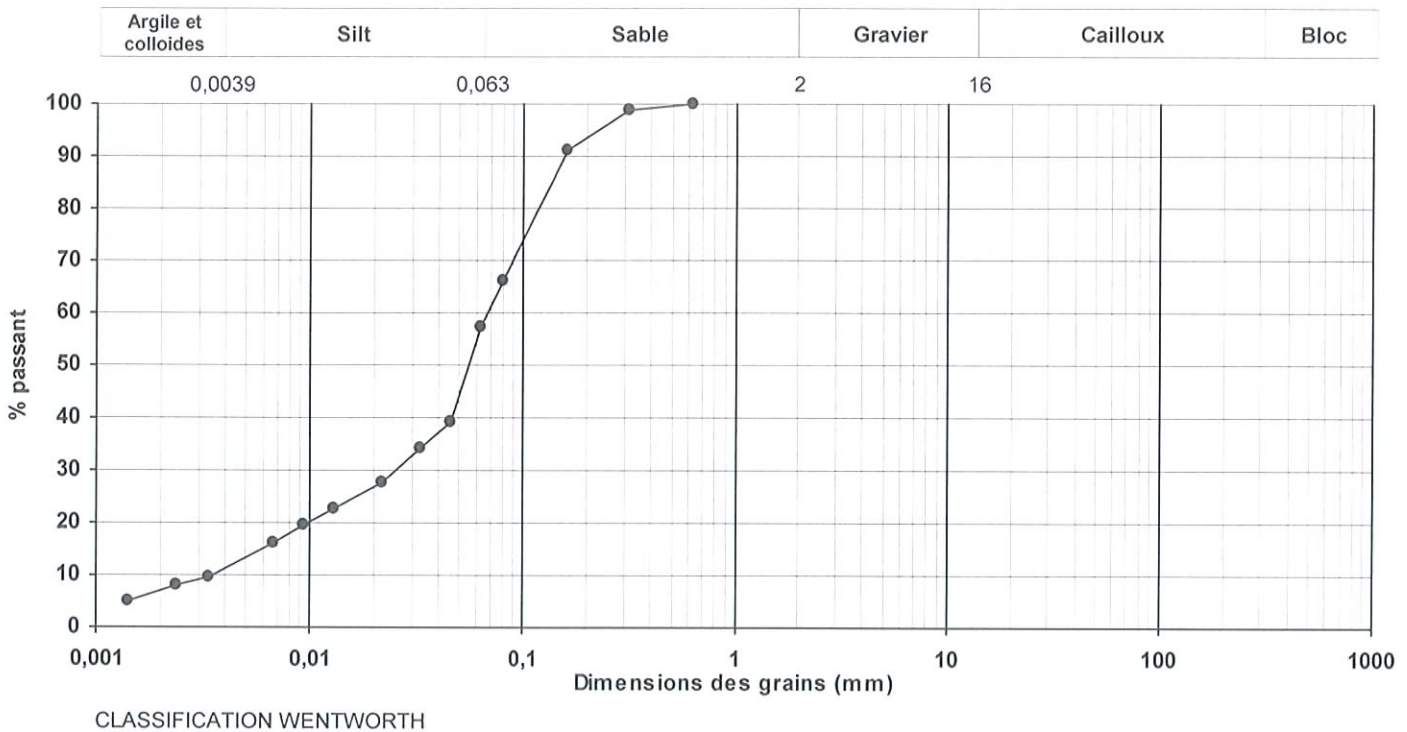
Localisation :

RENSEIGNEMENTS GÉNÉRAUX

No échantillon : 07-SG-2074
Type de matériau : Sédiments marins
Calibre du matériau : Sédiments
Usage proposé : ---
Lieu de prélèvement : Échantillon no. R-1
Date de prélèvement : 2007-10-31

Prélevé par : Client
Source : Matériaux en place
Date de réception : 2007-10-31

Courbe granulométrique



REMARQUE :

Vérifié par :

Michel St-Pierre
Michel St-Pierre, tech.

Chargé de projet :

Alain Grenier
Alain Grenier, tech.

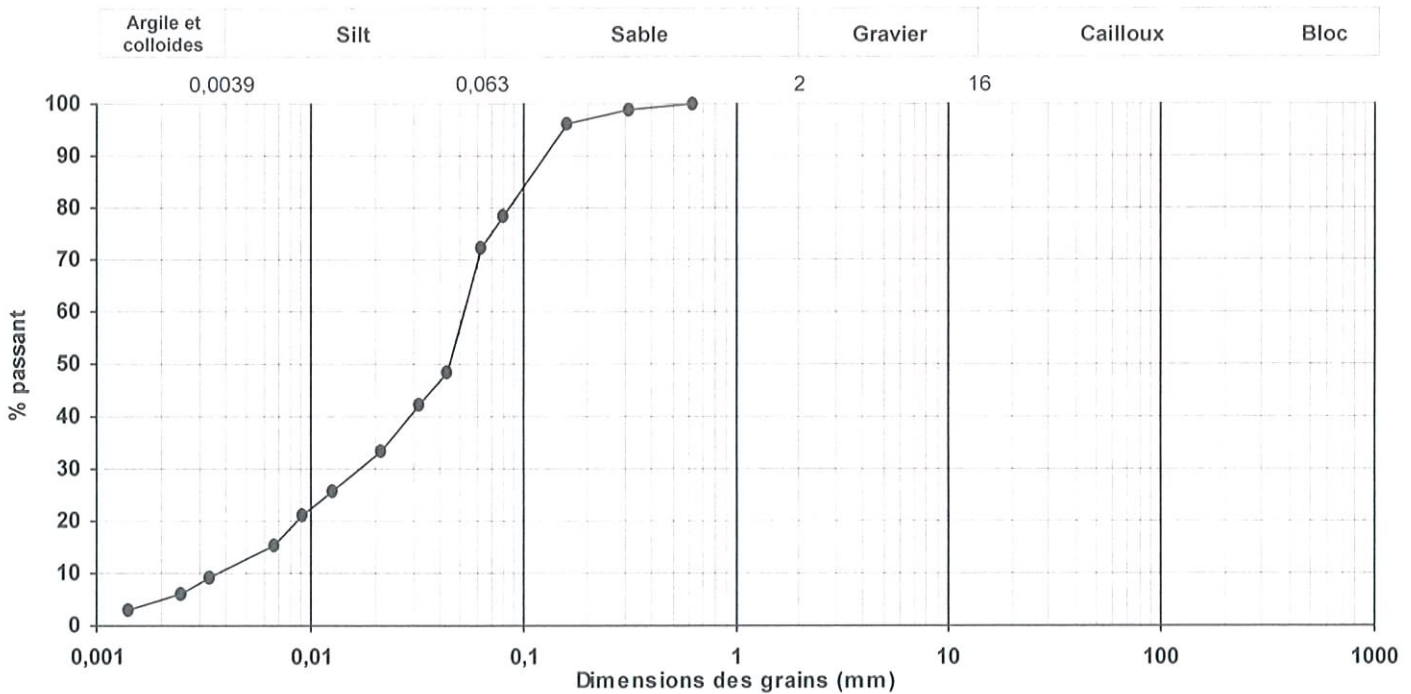
SOLS ET GRANULATS SOMMAIRE DES ESSAIS

Soumis à : Mme Claudie Gagnon, Alliance Environnement Inc.	Dossier no : 07-171-006 Date: : 2007-12-07
<u>Vos références</u>	
Entrepreneur : Projet : Essais sur matériaux , sédiments marins, East Malartic, A 7381	Projet N° : A 7381
Localisation :	

RENSEIGNEMENTS GÉNÉRAUX

No échantillon : 07-SG-2075 Type de matériau : Sédiments marins Calibre du matériau : Sédiments Usage proposé : --- Lieu de prélèvement : Échantillon no. R-2 Date de prélèvement : 2007-10-31	Prélevé par : Client Source : Matériaux en place Date de réception : 2007-10-31
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Courbe granulométrique



CLASSIFICATION WENTWORTH

REMARQUE :

Vérifié par : Michel St-Pierre tech.
 Chargé de projet : Alain Grenier, tech.

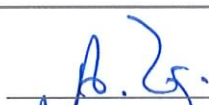
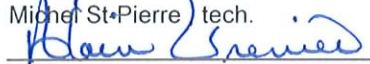
SOLS ET GRANULATS SOMMAIRE DES ESSAIS

Soumis à : Mme Claudie Gagnon, Alliance Environnement Inc.	Dossier no : 07-171-006 Date : 2007-12-07
Entrepreneur :	<u>Vos références</u>
Projet : Essais sur matériaux , sédiments marins, East Malartic, A 7381	Projet N° : A 7381
Localisation :	

RENSEIGNEMENTS GÉNÉRAUX			
No échantillon : 07-SG-2076	Prélevé par : Client		
Type de matériau : Sédiments marins	Source : Matériaux en place		
Calibre du matériau : Sédiments			
Usage proposé : ---			
Lieu de prélèvement : Échantillon no. R-3			
Date de prélèvement : 2007-10-31	Date de réception : 2007-10-31		

GRANULOMÉTRIE (BNQ 2560-040 et 350)			SÉDIMENTOMÉTRIE BNQ 2501-025		Composition du matériau															
Tamis	% passant	Exigences min. max.	Diamètre des particules (mm)	Passant %	Argile	Silt	Sable	Gravier												
200	100		0,0457	41,9	7,7	67,7	24,6	0,0												
112	100		0,0330	37,0	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;">D85</td> <td style="text-align: center;">D60</td> <td style="text-align: center;">D30</td> <td style="text-align: center;">D10</td> </tr> <tr> <td colspan="4" style="text-align: center;">0,104</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">Cu:</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">Cc:</td> </tr> </table>				D85	D60	D30	D10	0,104				Cu:		Cc:	
D85	D60	D30	D10																	
0,104																				
Cu:		Cc:																		
80	100		0,0220	27,4																
56	100		0,0131	19,3																
40	100		0,0094	16,1																
28	100		0,0068	12,9																
20	100		0,0034	6,4																
14	100		0,0025	4,8																
10	100		0,0014	4,8																
5	100																			
2	100																			
1,25	100																			
0,63	99																			
0,315	97																			
0,16	91																			
0,08	81,4																			
0,063	75,4																			
MODULE DE FINESSE :			PROCTOR MODIFIÉ (NQ 2501-255)		Méthode															
			Masse volumique sèche maximale																	
			Humidité optimale																	

REMARQUE : * Un astérisque accompagne tout résultat individuel non conforme lorsque les exigences sont spécifiées.

Vérifié par : 
 Michel St-Pierre tech.
Chargé de projet : 
 Alain Grenier, tech.

SOLS ET GRANULATS SOMMAIRE DES ESSAIS

Soumis à : Mme Claudie Gagnon,
Alliance Environnement Inc.

Dossier no : 07-171-006
Date: : 2007-12-07

Entrepreneur :
Projet : Essais sur matériaux , sédiments marins, East Malartic, A
7381

Vos références

Projet N° : A 7381

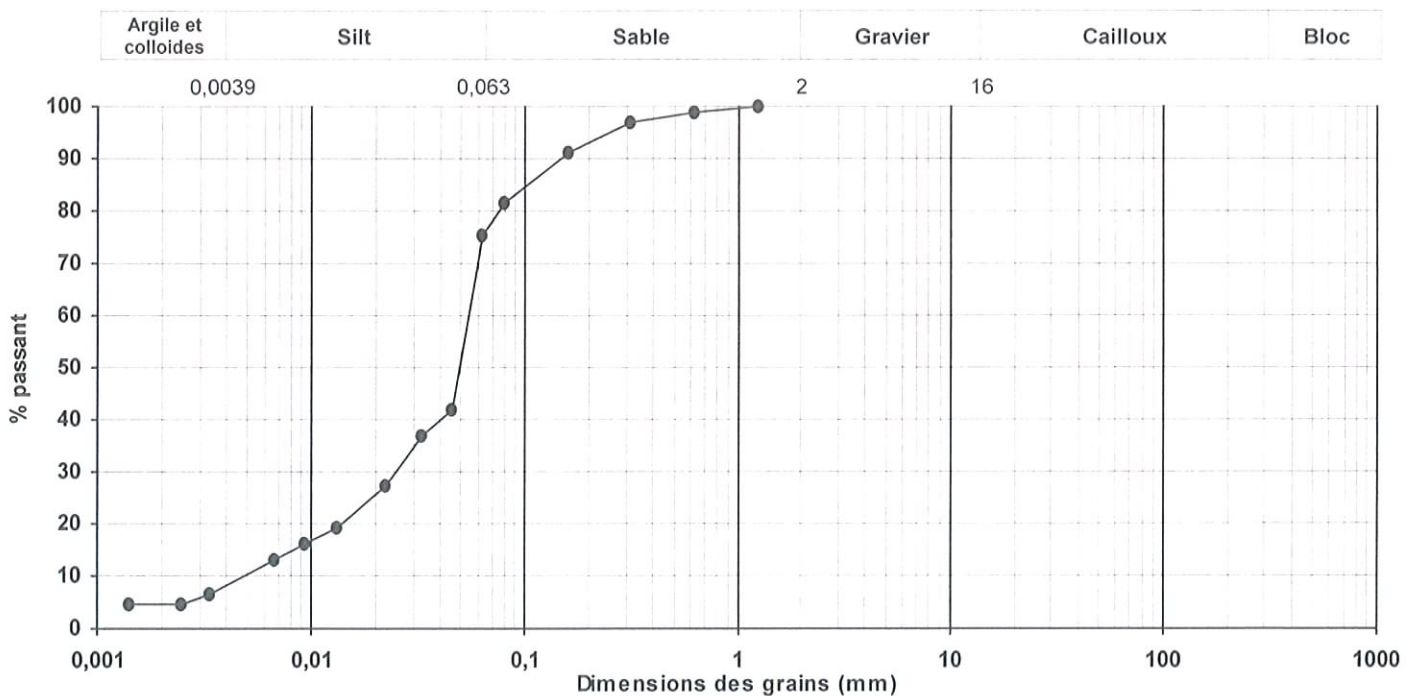
Localisation :

RENSEIGNEMENTS GÉNÉRAUX

No échantillon : 07-SG-2076
Type de matériau : Sédiments marins
Calibre du matériau : Sédiments
Usage proposé : ---
Lieu de prélèvement : Échantillon no. R-3
Date de prélèvement : 2007-10-31

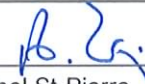
Prélevé par : Client
Source : Matériaux en place
Date de réception : 2007-10-31

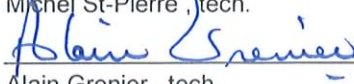
Courbe granulométrique



CLASSIFICATION WENTWORTH

REMARQUE :

Vérifié par : 
Michel St-Pierre, tech.

Chargé de projet : 
Alain Grenier, tech.



SOLS ET GRANULATS SOMMAIRE DES ESSAIS

Soumis à : Mme Claudie Gagnon, Alliance Environnement Inc.	Dossier no : 07-171-006 Date : 2007-12-07
Vos références	
Entrepreneur : Projet : Essais sur matériaux , sédiments marins, East Malartic, A 7381	Projet N° : A 7381
Localisation :	

RENSEIGNEMENTS GÉNÉRAUX			
No échantillon : 07-SG-2077	Prélevé par : Client		
Type de matériau : Sédiments marins	Source : Matériaux en place		
Calibre du matériau : Sédiments			
Usage proposé : ---			
Lieu de prélèvement : Échantillon no. R-4			
Date de prélèvement : 2007-10-31	Date de réception : 2007-10-31		

GRANULOMÉTRIE (BNQ 2560-040 et 350)			SÉDIMENTOMÉTRIE BNQ 2501-025		Composition du matériau				
Tamis	% passant	Exigences		Diamètre des particules (mm)	Passant %	Argile	Silt	Sable	Gravier
		min.	max.						
200	100			0,0420	54,7	13,1	67,2	19,7	0,0
112	100			0,0317	42,9				
80	100			0,0214	32,5				
56	100			0,0128	25,2				
40	100			0,0092	20,7				
28	100			0,0072	17,8				
20	100			0,0033	11,8				
14	100			0,0024	8,9				
10	100			0,0014	7,4				
5	100								
2	100								
1,25	100								
0,63	100								
0,315	100								
0,16	99								
0,08	88,2								
0,063	80,3								
MODULE DE FINESSE :					PROCTOR MODIFIÉ (NQ 2501-255) Méthode Masse volumique sèche maximale Humidité optimale				
						D85	D60	D30	D10
						0,073			
						Cu:	Cc:		

REMARQUE : * Un astérisque accompagne tout résultat individuel non conforme lorsque les exigences sont spécifiées.
Présence de matières organiques

Vérifié par : 
 Michel St-Pierre, tech.
Chargé de projet : 
 Alain Grenier, tech.

SOLS ET GRANULATS SOMMAIRE DES ESSAIS

Soumis à : Mme Claudie Gagnon,
Alliance Environnement Inc.

Dossier no : 07-171-006
Date: : 2007-12-07

Entrepreneur :
Projet : Essais sur matériaux , sédiments marins, East Malartic, A
7381

Vos références

Projet N° : A 7381

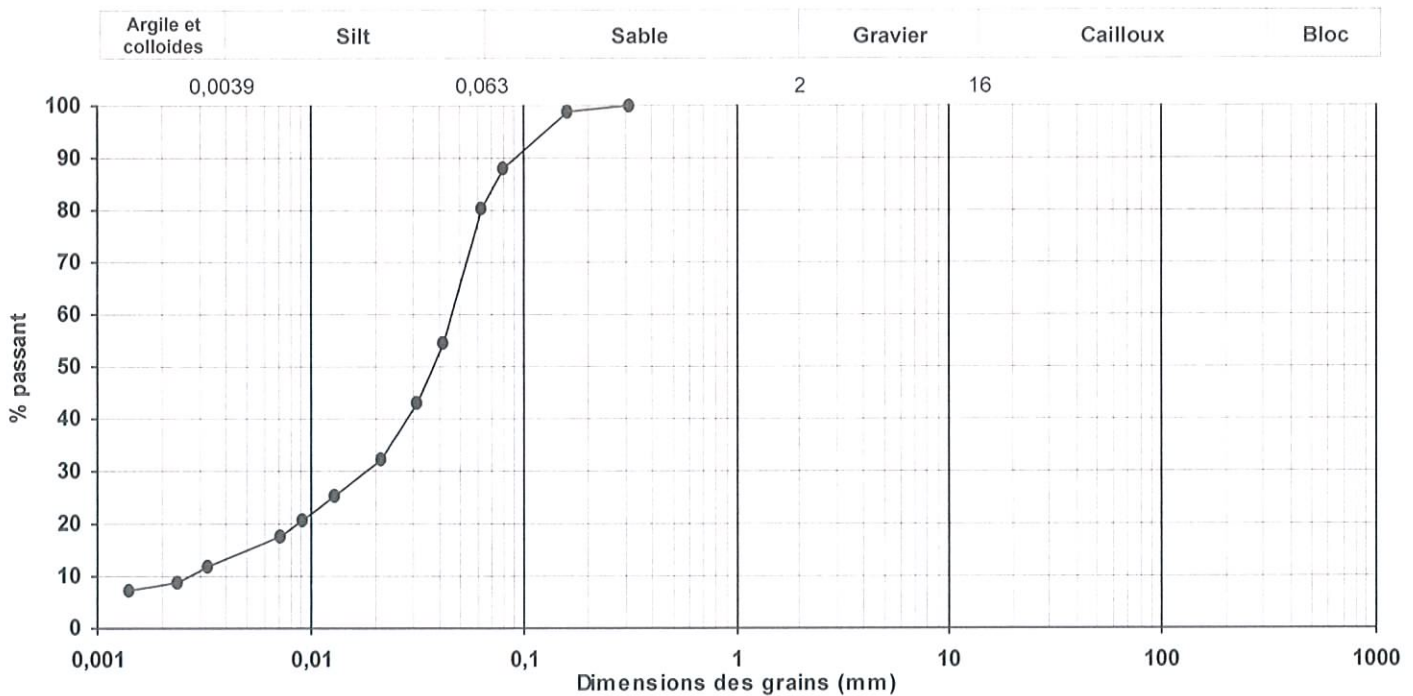
Localisation :

RENSEIGNEMENTS GÉNÉRAUX

No échantillon : 07-SG-2077
Type de matériau : Sédiments marins
Calibre du matériau : Sédiments
Usage proposé : ---
Lieu de prélèvement : Échantillon no. R-4
Date de prélèvement : 2007-10-31

Prélevé par : Client
Source : Matériaux en place
Date de réception : 2007-10-31

Courbe granulométrique



CLASSIFICATION WENTWORTH

REMARQUE :

Vérifié par : Michel St-Pierre, tech.
Chargé de projet : Alain Grenier, tech.


SOLS ET GRANULATS SOMMAIRE DES ESSAIS

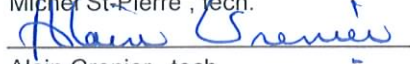
Soumis à : Mme Claudie Gagnon, Alliance Environnement Inc.	Dossier no : 07-171-006 Date : 2007-12-07
<u>Vos références</u>	
Entrepreneur : Projet : Essais sur matériaux , sédiments marins, East Malartic, A 7381	Projet N° : A 7381
Localisation :	

RENSEIGNEMENTS GÉNÉRAUX			
No échantillon : 07-SG-2078	Prélevé par : Client		
Type de matériau : Sédiments marins	Source : Matériaux en place		
Calibre du matériau : Sédiments			
Usage proposé : ---			
Lieu de prélèvement : Échantillon no. R-5			
Date de prélèvement : 2007-10-31	Date de réception : 2007-10-31		

GRANULOMÉTRIE (BNQ 2560-040 et 350)			SÉDIMENTOMÉTRIE BNQ 2501-025		Composition du matériau							
Tamis	% passant	Exigences		Diamètre des particules (mm)	Passant %	Argile	Silt	Sable	Gravier			
		min.	max.									
200	100			0,0401	64,4	19,2	76,4	4,4	0,0			
112	100			0,0297	58,1							
80	100			0,0202	44,0							
56	100			0,0121	36,1							
40	100			0,0088	33,0							
28	100			0,0065	25,1							
20	100			0,0033	17,3							
14	100			0,0024	14,1							
10	100			0,0014	11,0							
5	100											
2	100											
1,25	100											
0,63	100											
0,315	100											
0,16	99											
0,08	98,3											
0,063	95,6											
MODULE DE FINESSE :					<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;">D85</td> <td style="text-align: center;">D60</td> <td style="text-align: center;">D30</td> <td style="text-align: center;">D10</td> </tr> </table>				D85	D60	D30	D10
D85	D60	D30	D10									
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;"> PROCTOR MODIFIÉ (NQ 2501-255) Masse volumique sèche maximale Humidité optimale </td> <td style="text-align: center;"> Méthode </td> </tr> </table>					PROCTOR MODIFIÉ (NQ 2501-255) Masse volumique sèche maximale Humidité optimale	Méthode						
PROCTOR MODIFIÉ (NQ 2501-255) Masse volumique sèche maximale Humidité optimale	Méthode											

REMARQUE : * Un astérisque accompagne tout résultat individuel non conforme lorsque les exigences sont spécifiées.

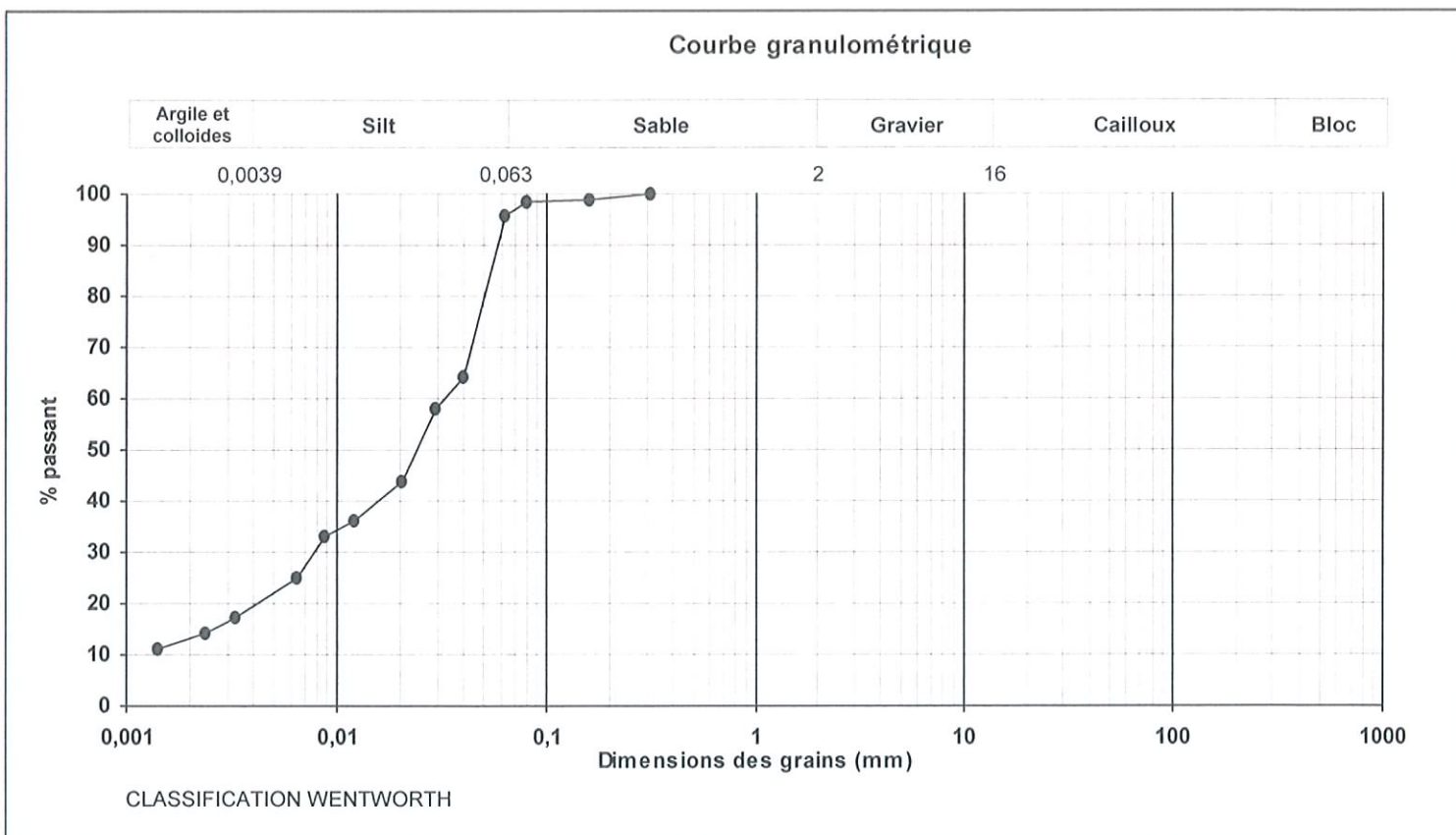
Vérifié par : 
Michel St-Pierre, tech.

Chargé de projet : 
Alain Grenier, tech.

SOLS ET GRANULATS SOMMAIRE DES ESSAIS

Soumis à : Mme Claudie Gagnon, Alliance Environnement Inc.	Dossier no : 07-171-006 Date: : 2007-12-07
<u>Vos références</u>	
Entrepreneur : Projet : Essais sur matériaux , sédiments marins, East Malartic, A 7381	Projet N° : A 7381
Localisation :	

RENSEIGNEMENTS GÉNÉRAUX			
No échantillon : 07-SG-2078	Prélevé par : Client		
Type de matériau : Sédiments marins	Source : Matériaux en place		
Calibre du matériau : Sédiments			
Usage proposé : ---			
Lieu de prélèvement : Échantillon no. R-5			
Date de prélèvement : 2007-10-31	Date de réception : 2007-10-31		



REMARQUE :

Vérifié par : Michel St-Pierre, tech.
Chargé de projet : Alain Grenier, tech.

Certificat d'analyse

Numéro de demande d'analyse: **07-238273**

Demande d'analyse reçue le: 2007-10-26

Date d'émission du certificat: 2007-11-02

Numéro de version du certificat: 1

- Certificat d'analyse officiel
 Certificat d'analyse préliminaire

Requérant

ALLIANCE ENVIRONNEMENT

2, RUE FUSEY
TROIS-RIVIÈRES, Québec, Canada
G8T2T1
Téléphone : (819) 373-6820
Télécopieur : (819) 373-7573

Bon de commande	Votre Projet	Chargé de Projet
NA	A7381 East Malarctic	NA

Commentaires

Cette version remplace et annule toute version antérieure, le cas échéant.

NA : Information non-fournie et/ou non-applicable

AVIS DE CONFIDENTIALITÉ : Ce document est à l'usage exclusif du requérant ci-dessus et est confidentiel. Si vous n'êtes pas le destinataire, soyez avisé que tout usage, reproduction, ou distribution de ce document est strictement interdit. Si vous avez reçu ce document par erreur, veuillez nous en informer immédiatement. / CONFIDENTIALITY NOTICE : This document is intended for the addressee only and is considered confidential. If you are not the addressee, you are hereby notified that any use, reproduction or distribution of this document is strictly prohibited. If you have received this document by error, please notify us immediately.

Numéro de demande: **07-238273**

Client: **ALLIANCE ENVIRONNEMENT**

Bon de commande	Votre Projet	Chargé de Projet
NA	A7381 East Malarctic	NA

No Labo.	Échantillon(s)			
	1105699	1105700	1105701	1105702
Votre Référence	E1	E2	E3	E4
Matrice	Sédiment	Sédiment	Sédiment	Sédiment
Prélevé par	CLIENT	CLIENT	CLIENT	CLIENT
Lieu de prélèvement	Malarctic	Malarctic	Malarctic	Malarctic
Prélevé le	2007-10-22	2007-10-22	2007-10-22	2007-10-22
Reçu Labo	2007-10-26	2007-10-26	2007-10-26	2007-10-26

Paramètre(s)

Méthode	Référence				
Carbone organique total	Préparation	2007-11-01	2007-11-01	2007-11-01	2007-11-01
Combustion LECO	Analyse	2007-11-01	2007-11-01	2007-11-01	2007-11-01
Analyse en sous-traitance. Résultat sur base sèche	No. séquence	NA	NA	NA	NA
Carbone organique total	%C	2.11	1.99	1.83	2.33

Numéro de demande: **07-238273**

Client: **ALLIANCE ENVIRONNEMENT**

Bon de commande	Votre Projet	Chargé de Projet
NA	A7381 East Malarctic	NA

Échantillon(s)

No Labo.	1105703	1105704	1105705	1105706
Votre Référence	E5	REF 1	REF 2	REF 3
Matrice	Sédiment	Sédiment	Sédiment	Sédiment
Prélevé par	CLIENT	CLIENT	CLIENT	CLIENT
Lieu de prélèvement	Malarctic	Malarctic	Malarctic	Malarctic
Prélevé le	2007-10-22	2007-10-22	2007-10-22	2007-10-22
Reçu Labo	2007-10-26	2007-10-26	2007-10-26	2007-10-26

Paramètre(s)

Méthode					
Référence					
Carbone organique total	Préparation	2007-11-01	2007-11-01	2007-11-01	2007-11-01
Combustion LECO	Analyse	2007-11-01	2007-11-01	2007-11-01	2007-11-01
Analyse en sous-traitance. Résultat sur base sèche	No. séquence	NA	NA	NA	NA
Carbone organique total	%C	1.83	2.58	1.78	2.13

Numéro de demande: **07-238273**

Client: **ALLIANCE ENVIRONNEMENT**

Bon de commande	Votre Projet	Chargé de Projet
NA	A7381 East Malarctic	NA

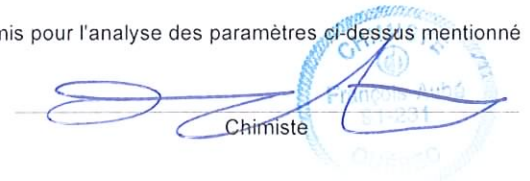
Échantillon(s)

No Labo.	1105707	1105708
Votre Référence	R-4	REF 5
Matrice	Sédiment	Sédiment
Prélevé par	CLIENT	CLIENT
Lieu de prélèvement	Malarctic	Malarctic
Prélevé le	2007-10-22	2007-10-22
Reçu Labo	2007-10-26	2007-10-26

Paramètre(s)

Méthode			
Référence			
Carbone organique total	Préparation	2007-11-01	2007-11-01
Combustion LECO	Analyse	2007-11-01	2007-11-01
Analyse en sous-traitance Résultat sur base sèche	No. séquence	NA	NA
Carbone organique total	%C	2.50	3.84

Note: Ces résultats et commentaires, le cas échéant, ne se rapportent qu'aux échantillons soumis pour l'analyse des paramètres ci-dessus mentionné



Chimiste

Annexe G

**Rapport final d'analyse du benthos des laboratoires
SAB inc. et validation par l'expert externe**

Laboratoires

SAB inc.

Référence: SAB: 107320 Malartic

ANALYSE DU BENTHOS

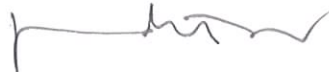
dans le cadre de la ESEE (mines) de Malartic

Rapport final

préparé pour

Alliance Environnement
Trois-Rivières

par



Bernadette Jacquaz
Laboratoires SAB Inc.
Longueuil

Février 2008

ÉQUIPE DE TRAVAIL

Chargée de projet et contrôle de qualité	Bernadette Jacquaz (MSc.)
Taxinomie	Fernand Therrien (M.Sc.)
Tri	Farida Abbes (B.Sc.)
	Karine Blain (B.Sc.)
	Alexandre Blin (B.Sc.)
	Houda Bourghoud (B.Sc.)
	Marie-Catherine Fournier (B.Sc.)
	Dany Ouellet (DEC)

ANALYSE EN LABORATOIRE

Tri

Au laboratoire, les échantillons ont été rincés à l'eau claire dans des tamis superposés ayant des ouvertures de mailles de 4000, 2000, 1000 et 500 µm. Les fractions grossières retenues par les tamis de 4000 et 2000 µm ont été triées en totalité à l'aide d'une loupe éclairante. Pour ce qui est de la fraction plus fine (1000 et 500 µm), le tri a été effectué à l'aide d'une loupe binoculaire.

Dans 9 échantillons sur 10, il a fallu procéder au sous-échantillonnage de la fraction plus fine étant donné la grande quantité de sédiments. La méthode utilisée était d'homogénéiser le refus du tamis dans un tamis à maille de 500 µm, d'en retirer l'eau et de prélever une fraction qui était pesée pour estimer la proportion (%) à analyser. Le sous-échantillon correspondait à la quantité de matériel qui pouvait être analysée dans un temps raisonnable de 8 heures. Au moins 20 % de l'échantillon était trié. La liste des échantillons sous-échantillonnés est donnée au tableau 1. Le nombre d'organismes retrouvés dans les sous-échantillons a été ramené au nombre total contenu dans l'échantillon en multipliant par l'inverse de la fraction analysée.

Pour valider la méthode de sous-échantillonnage, nous avons effectué une analyse de variabilité sur 1 échantillon i.e. 10 % des échantillons fractionnés (voir le tableau 2 pour les résultats de cette analyse). Pour ce, le tri de toutes les fractions composant l'échantillon était effectué. L'erreur a été estimée avec la formule suivante :

(nombre estimé par la fraction / nombre trié ou estimé dans l'échantillon complet X 100) - 100

Les organismes récoltés dans les échantillons ont été dénombrés et regroupés selon les grands groupes taxinomiques. Ils ont été conservés dans l'alcool à 70% glycérolé pour une identification ultérieure.

Un contrôle de qualité du tri a été effectué sur 10 % des échantillons (1/10 échantillons) et consistait en un tri des matières organiques conservées par une personne autre que le trieur d'origine. Les résultats du contrôle de qualité sont présentés au tableau 3.

Identification

L'évaluation taxinomique des organismes benthiques a été effectuée à partir des clés d'identification citées dans Klemm *et al.* (1990). Les organismes ont été identifiés à la famille sauf les nématodes qui demandent une méthodologie d'échantillonnage et de préservation particulière pour une identification plus précise.

Dans la majorité des cas, tous les organismes étaient identifiés. En ce qui a trait aux oligochètes qui, dans certaines stations, étaient très abondants (>142), un minimum de 100 individus étaient alors prélevés au hasard dans la fiole puis identifiés. La répartition des différentes espèces était ensuite appliquée au nombre total. Le tableau 4 présente la liste des échantillons dont une fraction des oligochètes a été identifiée.

Saisi des données

Les données de dénombrement (nombre d'organismes benthiques identifiés) ont été saisies dans un fichier EXCEL sous forme de matrice qui présente les taxons sur les lignes et les échantillons sur les colonnes (tableau 5).

Collection de référence

La collection de référence est constituée par quelques individus de taxons d'invertébrés benthiques rencontrés dans cette étude. Ces spécimens ont été conservés dans une solution d'alcool à 70 % glycérol afin que l'identification soit validée par un taxinomiste indépendant, le Dr Gerry Mackie de l'Université de Guelph. La liste des organismes compris dans la collection de référence est donnée au tableau 6 et les résultats de la validation sont présentés à l'annexe 1.

Références

Klemm, D.J., P.A. Lewis, F.Fulk and J.M. Lazorchak. 1990. Macroinvertebrate field and laboratory methods for evaluating the biological integrity of surface waters. Report from the U.S Environmental Protection Agency, Office of Research and Development of the Environmental Monitoring Systems Laboratory, Cincinnati, Ohio. 206 p. + annexes.

TABLEAUX

Tableau 1 . Liste des échantillons sous-échantillonnés lors du tri des organismes benthiques récoltés dans le cadre de la ESEE de Malartic en 2007

Échantillon	Partition (%)	
	Fraction grossière	Fraction fine
EX1	total	33.3
EX2	total	33.3
EX3	total	50
EX4	total	33.3
EX5	total	33.3
REF1	total	50
REF2	total	20
REF3	total	33.3
REF4	total	60

Tableau 2. Résultats du contrôle de qualité du fractionnement des échantillons lors du tri des organismes benthiques récoltés dans le cadre de la ESEE de Malartic en 2007

Échantillon	REF5			
	Fraction (%)	Nombre trié	Nombre estimé	Erreur (%)
	33.3	148	444.44	1.5
	33.3	136	408.41	-6.8
	33.3	154	462.46	5.6
Total/ moyenne	100	438		4.6
Nombre dans fraction total		209		

Erreur= (nombre estimé par la fraction /nombre trié ou estimé dans l'échantillon complet X 100) - 100

Tableau 3. Résultat du contrôle de qualité sur le tri des organismes benthiques récoltés dans le cadre de la ESEE de Malartic en 2007

Échantillon	Nombre total d'organismes triés	Nombre oublié	Pourcentage oublié
REF5	647	32	4.9

Tableau 4. Liste des échantillons sous-échantillonnés lors de l'identification des organismes benthiques récoltés dans le cadre de la ESEE de Malartic en 2007

Échantillon	Fraction des Oligochètes
EX3 (total)	100/240
EX3 (50 %)	100/243
EX4 (33.3 %)	100/142

Tableau 5. Données relatives à l'abondance par échantillon des organismes benthiques récoltés dans le cadre de la ESEE de Malartic en 2007

Taxon	EX 1	EX 2	EX 3	EX 4	EX 5	REF 1	REF 2	REF 3	REF 4	REF 5
PORIFERA										
Spongillidae	C					C	C	C	C	C
NEMATODA										
13	9	7	34	3	2	61			8	42
NEMERTEA										
Enopla										
Tetrastemmatidae							25			
MOLLUSCA										
Gastropoda										
Prosobranchia										
Hydrobiidae	113	86	109	54	28		60	3	22	46
Valvatidae	5	3	10	1						
Pulmonata										
Ancylidae		1			1		1		2	
Planorbidae	40	10	4	13	60				1	1
Bivalvia										
Sphaeriidae	62	29	46	52	17	4	52	18	8	42
Unionidae								5		
ANNELIDA										
Oligochaeta										
Enchytraeidae		1	2							
Naididae			5				5			
Sparganophilidae	1	1			1		2			
Tubificidae	37	28	513	251	67	1	36		3	6
Oligochaeta (fragments)	9	14	206	170	81		40			8
Hirudinea										
Glossiphoniidae		3							1	
ARTHROPODA										
Chelicerata										
Arachnida										
Acari										
Prostigmata										
Arrenuridae						2				3
Lebertiidae	3								2	
Limnesiidae	3	3	2	6					2	5
Mideopsidae			2				10		5	2
Oxidae				3					3	30
Pionidae			2	3						8
Unionicolidae							5			1
Crustacea										
Copepoda										
Cyclopoida										
Cyclopidae	39	12	24	15			5		2	
Ostracoda										
Podocopida										
Candonidae	12		2	9						2
Cyprididae	21		2	3						
Malacostraca										
Amphipoda										
Hyalellidae			8	1	6					
Uniramia										
Insecta										
Odonata										
Zygoptera										
Coenagrionidae			22	9	1					1
Anisoptera										
Aeshnidae				1						
Corduliidae			1				1			
Gomphidae							2			
Ephemeroptera										
Baetidae	7			6						
Caenidae	90	18	27	13	3		10		2	
Ephemeridae						3	4	23	15	43
Hemiptera										
Belostomatidae			1							
Corixidae	1				1		1			

Tableau 5. Données relatives à l'abondance par échantillon des organismes benthiques récoltés dans le cadre de la ESEE de Malartic en 2007

Taxon	EX 1	EX 2	EX 3	EX 4	EX 5	REF 1	REF 2	REF 3	REF 4	REF 5
Trichoptera										
Dipseudopsidae		1		1		5				2
Hydroptilidae	21	6	27	15	3					2
Leptoceridae		3	7				20		15	7
Limnephilidae			1							
Molannidae							5			
Polycentropodidae	1	4	2	1					1	3
Coleoptera										
Chrysomelidae	2	1	1	22	7		6			3
Elmidae										6
Halplidae	1									1
Diptera										
Nematocera										
Ceratopogonidae	24	14	47	37	19	2	34	12	48	40
Chaoboridae	2	2	1	11			5			2
Chironomidae (larves)	276	184	648	570	291	21	274	84	44	341
Chironomidae (pupes)		3		3						
Tipulidae	21	7	23	15	21					
Brachycera										
Ephydriidae					3					
Tabanidae	3	1		2	4		1		1	

C = Colonie

Tableau 6. Collection de référence des organismes benthiques récoltés dans le cadre de la ESEE de Malartic en 2007

Taxon	Numéro de la fiole
PORIFERA	
Spongillidae	1
NEMATODA	2
NEMERTEA	
Enopla	
Tetrastemmatidae	3
MOLLUSCA	
Gastropoda	
Prosobranchia	
Hydrobiidae	4
Valvatidae	5
Pulmonata	
Ancylidae	6
Planorbidae	7
Bivalvia	
Sphaeriidae	8
Unionidae	9
ANNELIDA	
Oligochaeta	
Enchytraeidae	10
Naididae	11
Sparganophilidae	12
Tubificidae	13
Hirudinea	
Glossiphoniidae	14
ARTHROPODA	
Chelicerata	
Arachnida	
Acari	
Prostigmata	
Arrenuridae	15
Lebertiidae	16
Limnesiidae	17
Mideopsidae	18
Oxidae	19
Pionidae	20
Unionicolidae	21
Crustacea	
Copepoda	
Cyclopoida	
Cyclopidae	22
Ostracoda	
Podocopida	
Candonidae	23
Cyprididae	24
Malacostraca	
Amphipoda	
Hyalellidae	25
Uniramia	
Insecta	
Odonata	
Zygoptera	
Coenagrionidae	26
Anisoptera	
Aeshnidae	27
Corduliidae	28
Gomphidae	29
Ephemeroptera	
Baetidae	30
Caenidae	31
Ephemeridae	32

Tableau 6. Collection de référence des organismes benthiques récoltés dans le cadre de la ESEE de Malartic en 2007

Taxon	Numéro de la fiole
Hemiptera	
Belostomatidae	33
Corixidae	34
Trichoptera	
Dipseudopsidae	35
Hydroptilidae	36
Leptoceridae	37
Limnephilidae	38
Molannidae	39
Polycentropodidae	40
Coleoptera	
Chrysomelidae	41
Elmidae	42
Haliplidae	43
Diptera	
Nematocera	
Ceratopogonidae	44
Chaoboridae	45
Chironomidae (larves)	46
Chironomidae (pupes)	47
Tipulidae	48
Brachycera	
Ephydriidae	49
Tabanidae	50

ANNEXE 1

Résultats de la validation de la collection de référence

Malartic 320-07

Collection de validation

Taxon	Numéro de la fiole	Identification correcte	Identification fausse	Remarques
PORIFERA				
Spongillidae	1	✓		
NEMATODA	2	✓		
NEMERTEA				
Enopla				
Tetrastemmatidae	3	✓		
MOLLUSCA				
Gastropoda				
Prosobranchia				
Hydrobiidae	4	✓		
Valvatidae	5	✓		
Pulmonata				
Ancyliidae	6	✓		
Planorbidae	7	✓		
Bivalvia				
Sphaeriidae	8	✓		
Unionidae	9	✓		
ANNELIDA				
Oligochaeta				
Enchytraeidae	10	✓		
Naididae	11	✓		
Sparganophilidae	12	✓		
Tubificidae	13	✓		
Hirudinea				
Glossiphoniidae	14	✓		
ARTHROPODA				
Chelicerata				
Arachnida				
Acari				
Prostigmata				
Arrenuridae	15	✓		
Lebertiidae	16	✓		
Limnesiidae	17	✓		
Mideopsidae	18	✓		
Oxidae	19	✓		
Pionidae	20	✓		
Unionicolidae	21	✓		
Crustacea				
Copepoda				
Cyclopoida				
Cyclopidae	22	✓		
Ostracoda				
Podocopida				
Candonidae	23	✓		
Cyprididae	24	✓		
Malacostraca				
Amphipoda				
Hyalellidae	25	✓		
Uniramia				
Insecta				
Odonata				
Zygoptera				
Coenagrionidae	26	✓		
Anisoptera				
Aeshnidae	27	✓		
Corduliidae	28	✓		
Gomphidae	29	✓		
Ephemeroptera				
Baetidae	30	✓		
Caenidae	31	✓		
Ephemeridae	32	✓		
Hemiptera				
Belostomatidae	33	✓		
Corixidae	34	✓		
Trichoptera				
Dipseudopsidae	35	✓		
Hydroptilidae	36	✓		
Leptoceridae	37	✓		
Limnephilidae	38	✓		
Molannidae	39	✓		
Polycentropodidae	40	✓		

in vial 7

2 genera Gyantus, Menetus (in vial 5)

Malartic 320-07					
Collection de validation					
Taxon		Numéro de la fiole	Identification correcte	Identification fausse	Remarques
Coleoptera					
	Chrysomelidae	41	✓		
	Elmidae	42	✓		
	Halipidae	43	✓		
Diptera					
Nematocera					
	Ceratopogonidae	44	✓		
	Chaoboridae	45	✓		
	Chironomidae (larves)	46	✓		
	Chironomidae (pupes)	47	✓		
	Tipulidae	48	✓		
Brachycera					
	Ephydriidae	49	✓		
	Tabanidae	50	✓		

Gumachie Feb 2/08

Annexe H

Matrices des données brutes du recensement des invertébrés benthiques

Annexe H : Données brutes du recensement des invertébrés benthiques

Taxon	Zone de référence					Zone d'exposition									
	R1	R2	R3	R4	R5	Densité moyenne (nbre/m ²)	Fréquence relative (%)	E1	E2	E3	E4	E5	Densité moyenne (nbre/m ²)	Fréquence relative (%)	
NEMATODA	13	391	-	51	269	145	6,9%	83	58	45	218	19	85	1,5%	
NEMERTEA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Enopla	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Tetrastemmatidae	-	160	-	-	-	32	1,5%	-	-	-	-	-	-	-	
MOLLUSCA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Gastropoda	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Prosobranchia	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Hydrobiidae	-	385	19	141	295	168	8,0%	724	551	699	346	179	500	8,7%	
Valvatidae	-	-	-	-	-	-	-	32	19	64	6	-	24	0,4%	
Pulmonata	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Ancylidae	-	6	-	13	-	4	0,2%	-	6	-	-	6	3	0,0%	
Planorbidae	-	-	-	6	6	3	0,1%	256	64	26	83	385	163	2,8%	
Bivalvia	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Sphaeriidae	26	333	115	51	269	159	7,6%	397	186	295	333	109	264	4,6%	
Unionidae	-	-	32	-	-	6	0,3%	-	-	-	-	-	-	-	
ANNELIDA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Oligochaeta	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Enchytraeidae	-	-	-	-	-	-	-	-	6	13	-	-	4	0,1%	
Naididae	-	32	-	-	-	6	0,3%	-	-	32	-	-	6	0,1%	
Sparganophilidae	-	13	-	-	-	3	0,1%	6	6	-	-	6	4	0,1%	
Tubificidae	6	231	-	19	38	59	2,8%	237	179	3288	1609	429	1149	20,1%	
Hirudinea	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Glossiphoniidae	-	-	-	6	-	1	0,1%	-	19	-	-	-	4	0,1%	
ARTHROPODA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Chelicerata	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Arachnida	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Acari	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Prostigmata	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Arrenuridae	13	-	-	-	19	6	0,3%	-	-	-	-	-	-	-	
Lebertiidae	-	-	-	13	-	3	0,1%	19	-	-	-	-	4	0,1%	
Limnesiidae	-	-	-	13	32	9	0,4%	19	19	13	38	-	18	0,3%	
Mideopsidae	-	64	-	32	13	22	1,0%	-	-	13	-	-	3	0,0%	
Oxidae	-	-	-	19	192	42	2,0%	-	-	-	19	-	4	0,1%	
Pionidae	-	-	-	-	51	10	0,5%	-	-	13	19	-	6	0,1%	
Unionicolidae	-	32	-	-	6	8	0,4%	-	-	-	-	-	-	-	
Crustacea	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Copepoda	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

Annexe H : Données brutes du recensement des invertébrés benthiques

Taxon	Zone de référence					Zone d'exposition									
	R1	R2	R3	R4	R5	Densité moyenne (nbre/m ²)	Fréquence relative (%)	E1	E2	E3	E4	E5	Densité moyenne (nbre/m ²)	Fréquence relative (%)	
Cyclopoida	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Cyclopidae	-	32	-	13	-	9	0,4%	250	77	154	96	-	115	2,0%	
Ostracoda	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Podocopida	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Candonidae	-	-	-	-	13	3	0,1%	77	-	13	58	-	29	0,5%	
Cypridae	-	-	-	-	-	-	-	135	-	13	19	-	33	0,6%	
Malacostraca	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Amphipoda	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Hyalellidae	-	-	-	-	-	-	-	-	-	51	6	38	19	0,3%	
Uniramia	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Insecta	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Odonata	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Zygoptera	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Coenagrionidae	-	-	-	-	6	1	0,1%	-	-	141	58	6	41	0,7%	
Anisoptera	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Aeshnidae	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6	-	1	0,0%	
Corduliidae	-	6	-	-	-	1	0,1%	-	-	6	-	-	1	0,0%	
Gomphidae	-	13	-	-	-	3	0,1%	-	-	-	-	-	-	-	
Ephemeroptera	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Baetidae	-	-	-	-	-	-	-	45	-	-	38	-	17	0,3%	
Caenidae	-	64	-	13	-	15	0,7%	577	115	173	83	19	194	3,4%	
Ephemeridae	19	26	147	96	276	113	5,4%	-	-	-	-	-	-	-	
Hemiptera	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Belostomatidae	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6	-	-	1	0,0%	
Corixidae	-	6	-	-	-	1	0,1%	6	-	-	-	6	3	0,0%	
Trichoptera	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Dipseudopsidae	32	-	-	-	13	9	0,4%	-	6	-	6	-	3	0,0%	
Hydroptillidae	-	-	-	-	13	3	0,1%	135	38	173	96	19	92	1,6%	
Leptoceridae	-	128	-	96	45	54	2,6%	-	19	45	-	-	13	0,2%	
Limnephilidae	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6	-	-	1	0,0%	
Molannidae	-	32	-	-	-	6	0,3%	-	-	-	-	-	-	-	
Polycentropodidae	-	-	-	6	19	5	0,2%	6	26	13	6	-	10	0,2%	
Coleoptera	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Chrysomelidae	-	38	-	-	19	12	0,6%	13	6	6	141	45	42	0,7%	
Elmidae	-	-	-	-	38	8	0,4%	-	-	-	-	-	-	-	
Haliplidae	-	-	-	-	6	1	0,1%	6	-	-	-	-	1	0,0%	
Diptera	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Nematocera	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

Annexe H : Données brutes du recensement des invertébrés benthiques

Taxon	Zone de référence					Zone d'exposition					Densité moyenne (nbre/m ²)	Fréquence relative (%)		
	R1	R2	R3	R4	R5	E1	E2	E3	E4	E5				
Ceratopogonidae	13	218	77	308	256	174	8,3%	154	90	301	237	122	181	3,2%
Chaoboridae	-	32	-	-	13	9	0,4%	13	13	6	71	-	21	0,4%
Chironomidae (larves)	135	1756	538	282	2186	979	46,8%	1769	1179	4154	3654	1865	2524	44,1%
Chironomidae (pupes)	-	-	-	-	-	-	-	-	19	-	19	-	8	0,1%
Tipulidae	-	-	-	-	-	-	-	135	45	147	96	135	112	2,0%
Brachycera	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ephydridae	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	19	4	0,1%
Tabanidae	-	6	-	6	-	3	0,1%	19	6	-	13	26	13	0,2%
Densité totale (nbre. d'org./m²)	256	4006	929	1186	4096	2095	100%	5115	2756	9910	7378	3436	5719	100%
Richesse taxonomique (nbre.)	8	23	6	19	24	-	-	24	24	28	27	18	-	-
Indice de diversité de Simpson	0,69	0,77	0,62	0,84	0,69	-	-	0,83	0,76	0,71	0,70	0,67	-	-
Indice de régularité de Simpson	0,40	0,19	0,43	0,34	0,13	-	-	0,25	0,18	0,12	0,12	0,17	-	-
Coefficient de Bray-Curtis	0,72	0,56	0,22	0,24	0,54	-	-	0,68	0,51	0,80	0,75	0,59	-	-

Annexe I

Résultats bruts de l'analyse des correspondances

Annexe I-a : Résultats bruts de l'AC - taxons

Taxon	Pointage			Contribution			Corrélation		
	axe 1	axe 2	axe 3	axe 1	axe 2	axe 3	axe 1	axe 2	axe 3
Aeshnidae	-0,452	0,495	0,042	0,000	0,000	0,000	0,047	0,057	0,000
Belostidae	-0,916	0,877	-0,137	0,001	0,001	0,000	0,285	0,261	0,006
Limnidae	-0,916	0,877	-0,137	0,001	0,001	0,000	0,285	0,261	0,006
Cordiidae	0,049	0,370	-1,191	0,000	0,000	0,004	0,001	0,057	0,586
Halplidae	0,632	-0,860	0,620	0,001	0,002	0,001	0,121	0,224	0,117
Gomphidae	1,015	-0,136	-2,245	0,002	0,000	0,015	0,118	0,002	0,576
Corixidae	0,039	-0,861	-0,371	0,000	0,002	0,001	0,001	0,338	0,063
Encheidae	-0,634	0,308	-0,091	0,001	0,000	0,000	0,178	0,042	0,004
Ephyridae	-0,503	-0,247	0,665	0,001	0,000	0,002	0,024	0,006	0,043
Glossnidae	0,543	-0,754	-0,236	0,001	0,003	0,000	0,032	0,063	0,006
Ancylidae	1,073	-0,345	-0,728	0,004	0,001	0,004	0,188	0,019	0,087
Sparlidae	0,247	-0,709	-0,721	0,000	0,003	0,004	0,031	0,257	0,265
Unionidae	2,116	0,774	2,064	0,017	0,003	0,032	0,109	0,015	0,104
Arrenridae	1,982	0,950	2,784	0,014	0,005	0,058	0,143	0,033	0,282
Lebertidae	0,713	-1,395	-0,133	0,002	0,011	0,000	0,071	0,273	0,002
Molannidae	1,015	-0,136	-2,245	0,004	0,000	0,038	0,118	0,002	0,576
Uniolidae	1,117	-0,038	-1,769	0,005	0,000	0,028	0,203	0,000	0,509
Elmidae	1,661	0,481	0,772	0,012	0,002	0,005	0,323	0,027	0,070
Chiroppup	-0,237	-0,214	0,025	0,000	0,000	0,000	0,015	0,012	0,000
Dipssidae	1,704	0,982	3,395	0,019	0,010	0,155	0,061	0,020	0,242
Naididae	0,049	0,370	-1,191	0,000	0,002	0,021	0,001	0,057	0,586
Polycdidae	0,368	-0,198	0,133	0,001	0,001	0,000	0,082	0,024	0,011
Tabanidae	-0,086	-0,651	0,095	0,000	0,006	0,000	0,006	0,321	0,007
Pionidae	0,774	0,546	0,462	0,006	0,004	0,004	0,201	0,100	0,072
Baetidae	-0,422	-0,966	0,272	0,002	0,014	0,001	0,075	0,396	0,032
Hyaletidae	-0,721	0,403	0,195	0,006	0,003	0,001	0,263	0,082	0,019
Valvatidae	-0,615	-0,239	0,054	0,005	0,001	0,000	0,379	0,057	0,003
Mideosidae	1,224	0,016	-1,376	0,021	0,000	0,054	0,365	0,000	0,461
Limnesidae	0,347	-0,124	0,152	0,002	0,000	0,001	0,159	0,020	0,031
Chaobridae	0,075	0,011	-0,361	0,000	0,000	0,005	0,006	0,000	0,142
Tetratidae	1,015	-0,136	-2,245	0,019	0,001	0,190	0,118	0,002	0,576
Candonidae	-0,292	-0,764	0,290	0,002	0,017	0,003	0,056	0,384	0,055
Cyprididae	-0,443	-1,654	0,372	0,004	0,081	0,005	0,048	0,670	0,034
Coennidae	-0,703	0,728	-0,040	0,012	0,020	0,000	0,420	0,451	0,001
Oxidae	1,542	0,424	0,564	0,063	0,007	0,017	0,402	0,030	0,054
Chryslidae	-0,101	0,126	-0,110	0,000	0,001	0,001	0,010	0,015	0,012
Leptridae	1,162	0,016	-1,068	0,052	0,000	0,090	0,389	0,000	0,329
Hydrolidae	-0,515	-0,277	0,140	0,015	0,006	0,002	0,554	0,161	0,041
Tipulidae	-0,538	-0,351	0,246	0,019	0,012	0,008	0,456	0,193	0,095
Epheridae	1,891	0,449	0,833	0,233	0,020	0,092	0,676	0,038	0,131
Cyclopidae	-0,357	-0,717	0,025	0,009	0,057	0,000	0,149	0,598	0,001
Planobidae	-0,404	-0,790	0,454	0,016	0,091	0,040	0,069	0,265	0,088
Caenidae	-0,327	-1,149	0,102	0,013	0,244	0,003	0,063	0,780	0,006
Nematode	0,707	-0,006	-0,517	0,066	0,000	0,072	0,490	0,000	0,262
Ceratnidae	0,593	0,020	-0,139	0,072	0,000	0,008	0,451	0,001	0,025
Spharidae	0,272	-0,210	0,013	0,018	0,017	0,000	0,408	0,244	0,001
Hydrobidae	0,019	-0,386	-0,108	0,000	0,088	0,009	0,001	0,548	0,043
Tubiidae	-0,612	0,477	-0,076	0,261	0,244	0,008	0,583	0,354	0,009
Chirolarv	0,024	0,080	0,057	0,001	0,020	0,013	0,022	0,237	0,122

En gras : contribution égale ou supérieure à 5 %,

Annexe I-b : Résultats bruts de l'AC - stations

Station	Pointage			Contribution			Corrélation		
	axe 1	axe 2	axe 3	axe 1	axe 2	axe 3	axe 1	axe 2	axe 3
R1	1,154	0,621	1,886	0,040	0,018	0,216	0,095	0,027	0,253
R2	0,478	-0,052	-0,740	0,106	0,002	0,517	0,239	0,003	0,572
R3	0,997	0,294	0,680	0,106	0,014	0,101	0,294	0,026	0,137
R4	1,099	-0,083	-0,333	0,165	0,001	0,031	0,432	0,002	0,040
R5	0,783	0,183	0,254	0,289	0,024	0,062	0,639	0,035	0,067
E1	-0,187	-0,836	0,154	0,021	0,634	0,029	0,043	0,858	0,029
E2	-0,011	-0,351	0,003	0,000	0,060	0,000	0,000	0,279	0,000
E3	-0,431	0,333	-0,045	0,213	0,195	0,005	0,531	0,316	0,006
E4	-0,213	0,188	0,014	0,039	0,046	0,000	0,278	0,217	0,001
E5	-0,237	-0,094	0,219	0,022	0,005	0,039	0,077	0,012	0,066