



Implications économiques et sociales

- Au Canada, Québec est le 1^e producteur de fer et de ferroniobium et le 2^e pour Zn, Ni, Ag et Au
- Actuellement 24 mines actives
 - Principalement situées en Abitibi-Témiscamingue, Côte-Nord, et Nord-du-Québec
- « Fly in/fly out » → système maintenant préféré



- Mais les zones où se trouvent ces mines superposent considérablement les territoires traditionnels de plusieurs nations autochtones

Activité minière dans le Nord-du-Québec

Impacts environnementaux

- Dégradation de l'habitat à grande échelle
- Utilisation de combustibles fossiles
 - Changement climatique
- Principale source de pollution dans les écosystèmes aquatiques
 - Et plusieurs nations autochtones utilisent activement ces terres entourant ces opérations de chasse et de pêche de subsistance





Contamination par les métaux traces

- **Essentiels** → régulation homéostatique, nécessaires aux réactions biologiques
- **Non-essentiels** → aucun bénéfice connu
 - Dépassant les tolérances → impacts négatifs sur la santé et la survie

Évaluation des impacts

- **Les patterns des accumulation** (e.g. tendances alimentaires et l'utilisation d'habitat) → isotopes stables
- **Les effets de métaux trace** → indices biométriques, composition proximale, biomarqueurs enzymatiques, performances métaboliques



Contexte Nord-du-Québec



- Effets négatifs des métaux traces sur **les poissons** et sur **la santé humaine**
- Recherche écotoxicologique limitée sur les poissons du Nord malgré:
 - **Pêche de subsistance** → contribue à atténuer l'insécurité alimentaire
 - Impact significatif sur les **économies locales**
 - Risque accru d'effets négatifs avec les changements climatiques





Espèces étudiées – salmonidés

- Formes anadromes, partiellement anadromes, et résidentes
- **Caractéristiques** → longévité, croissance lente, sténothermes d'eau froide
- **Reproduction** → maturité sexuelle tardive et effort reproductif sur une longue période
- Espèces sentinelles



Étude 1

Évaluation des raisons des changements dans l'état de l'omble chevalier (*Salvelinus alpinus*) de la baie Déception

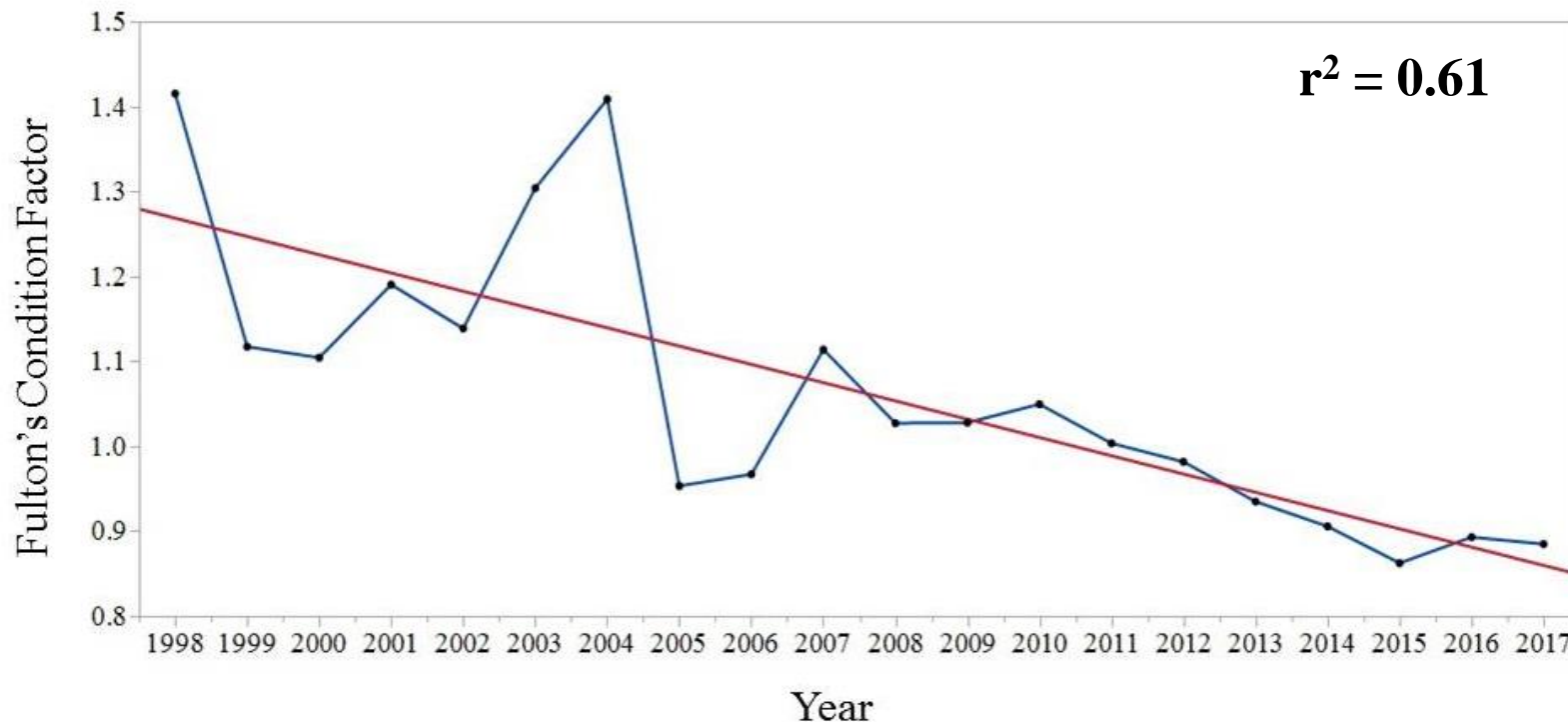
Maîtrise avec l'Université de
Waterloo et l'Institut national de la
recherche scientifique (INRS) en
collaboration avec le centre de
recherche à Nunavik



Introduction à l'étude et objectifs



- Surveillance à long terme de l'omble chevalier avec le programme de pêche sportive de la mine Raglan
 - **Mine de cuivre et de nickel**
- En collaboration avec le ministère des Forêts de la Faune et des Parcs (MFFP), les données biologiques sont recueillies depuis 1998
 - **Documenté un déclin de la condition somatique ($k < 1$) de l'omble chevalier anadrome dans la baie Déception**
 - Étude scientifique lancée pour examiner différents indicateurs de la santé et de l'état des poissons



$K < 1$

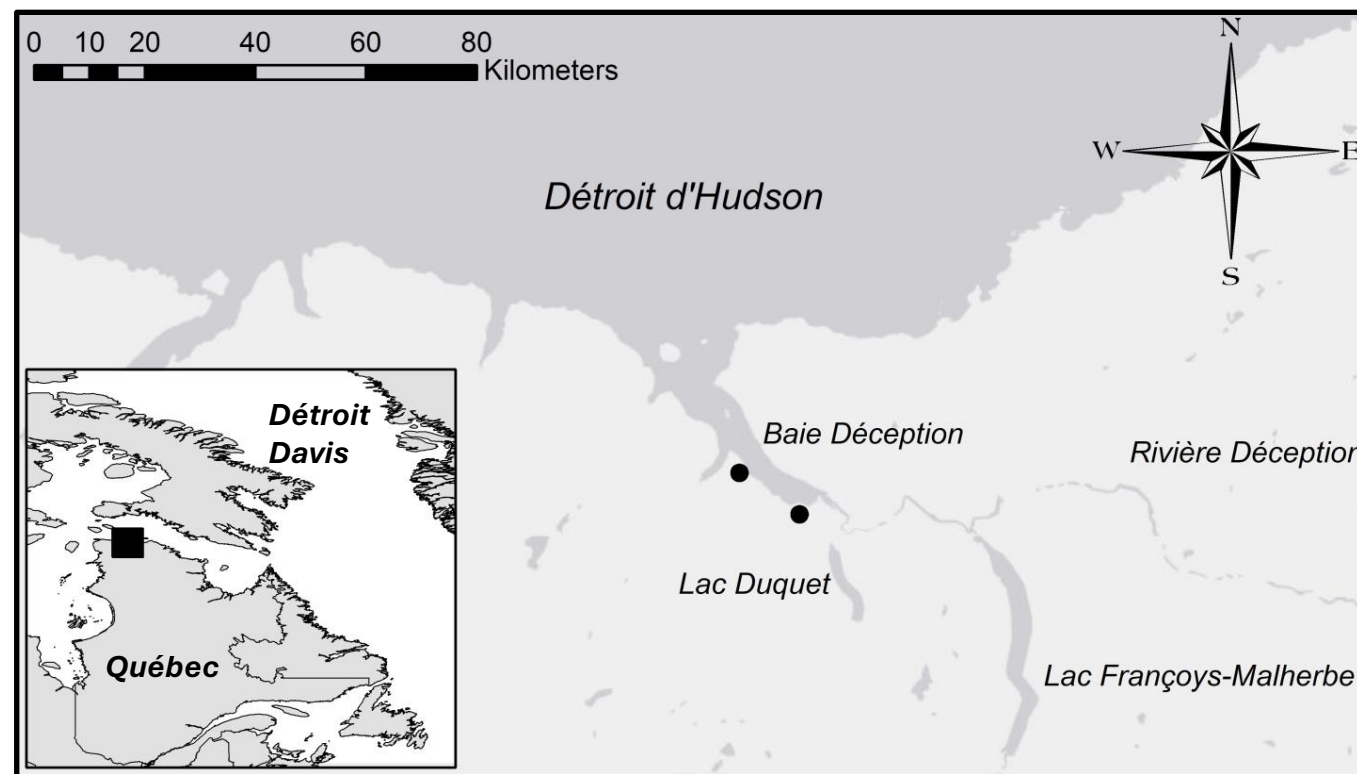


$K > 1$





Zone d'étude – Baie Déception



- Situé à l'est de Salluit, Nunavik, Québec (**62°10'46 N, 75°40'13 W**)
- Les températures quotidiennes moyennes varient de **-25,6°C** à **10,5°C**, saison de croissance inférieure à 120 jours/an
- Activités de chasse et de pêche de subsistance, pêche commerciale et pêche sportive → **territoire traditionnel Inuit**
- **Activité minière** → Mine Raglan, Canadian Royalties Inc. et la mine historique Asbestos Hill (Purtiniq)



Été

- 200 ombles chevaliers anadromes en août 2016
 - **Informations biologiques** → longueur fourche, masse totale, FCF, sexe, masse de gonades, masse du foie, présence/absence d'une alimentation récente
 - **Échantillons biologiques**
 - Muscle dorsale, foie, gonades, structures d'âge, et estomacs
 - **Muscle et foie sous-échantillonnées au hasard**
 - Isotopes stables → **30**
 - $\delta^{13}\text{C}$ (l'utilisation habitat) et $\delta^{15}\text{N}$ (alimentation et position trophique)
 - Analyses métaux → **30**
 - **As, Cd, Cr, Cu, THg, Ni, Pb, Zn**
- 8 sites dans baie Déception et l'embouchure de la rivière Déception
 - Informations sur la chimie de l'eau

Post-hiver

- **Lac Tasialujjuaq** et **Lac Pangaligiaq** en May 2017
 - Lacs d'amont de la rivière Déception
- L'événement de pêche printanière des aînés organisé par Qaqqalik Landholding Corporation et soutenu par Mine Raglan
 - **118 ombles chevaliers anadromes**
 - Mêmes informations biologiques
 - Mêmes échantillons biologiques
 - Mêmes analyses → **29**



Résultats et conclusions

- Variation saisonnière → plus élevées après l'hiver
 - **La famine hivernale ont induit la condensation des concentrations métalliques**
- Les modèles prédictifs sont mieux pris en charge lorsque la saison, l'état somatique et les descripteurs trophiques de l'alimentation sont inclus
 - **Les processus saisonniers/physiologiquement dépendants ont la plus grande influence**
- Seuls quelques échantillons dépassaient les directives de consommation disponibles
 - **Les risques saisonniers identifiés pour la pêche hivernale pour cette espèce**
 - Un élément important du régime alimentaire des Inuits tout l'année



Évaluation de la vulnérabilité des salmonidés du Nord aux effets combinés de la contamination métallique et du stress thermique

Doctorat en sciences de l'eau avec
INRS





Un autre facteur de stress pour les poissons du Nord

Changements du frai et du développement des jeunes stades



↓ performance physiologique

Perte de l'habitat et ↑ de la compétition pour la nourriture



↓ résistance au stress métallique

↑ prévalence de la maladie





Au terrain

- Examiner les concentrations métalliques dans l'habitat et les tissus des poissons à proximité des mines dans le Nord-du-Québec
- Examiner les effets des métaux trace sur la santé et la condition des salmonidés



Au laboratoire

- Déterminer les effets combinés du stress thermique et de la contamination métallique sur la santé et la condition de l'omble chevalier





Zone d'étude – Schefferville

Informations générales

- **Territoires traditionnels** → Kawawachikamach (Naskapie) et Matimekush-Lac John (Innue)
- Climat subarctique → transition forêt boréale - toundra arctique
- Activités de chasse et de pêche de subsistance, commerciale et sportive

Activité minière toute l'année

- Tata Steel Minerals Canada Ltd. (TSMC) (**opérationnelle**)
- Iron Ore Company of Canada (IOCC) et Labrador Iron Mines (LIM) (**fermée**)





Méthodes – Échantillonnage sur le terrain

• Informations sites et échantillonnage

- 9 sites en 2019 et 20121
 - **7 lacs contaminés** et **2 lacs de référence**
 - Informations sur la chimie d'eau
 - Eau
 - Sédiments

• Tissus collectés

- Branchies, rein, contenus stomacaux, cæca pyloriques, muscle dorsal, foie

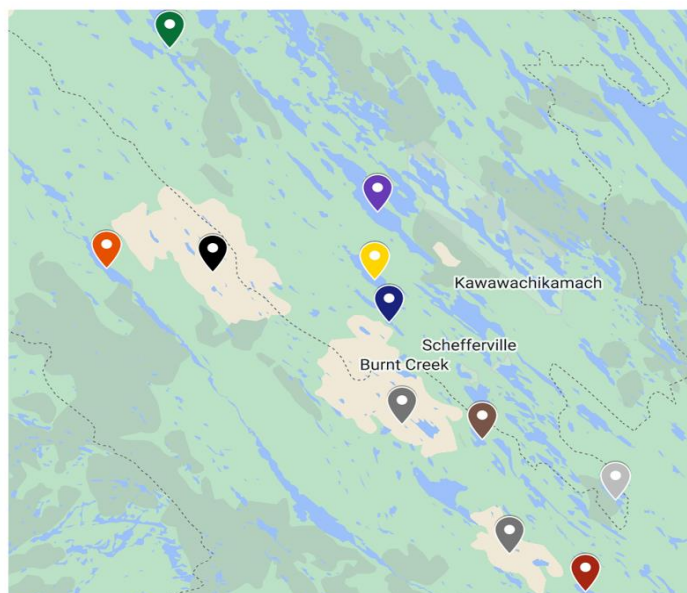
• Informations biologiques

- Longueur fourche
- Masse totale
- FCF
- Sexe
- Masse des gonades → **GSI**
- Masse du foie → **HSI**
- Structures d'âge
- Contenu stomacal → présence/absence d'une alimentation récente



Legend

- 📍 Schefferville
- 📍 Fermont
- 📍 Lac Perroche



Legend

- 📍 Lac Denault
- 📍 Lac Elross
- 📍 Lac Redmond
- 📍 Lac Bean
- 📍 Lac La Cosa
- 📍 Lac Vacher
- 📍 Lac Houston
- 📍 Lac Annabel
- 📍 Active mining operation
- 📍 Closed mining operation
- 📍 Closed mining operation

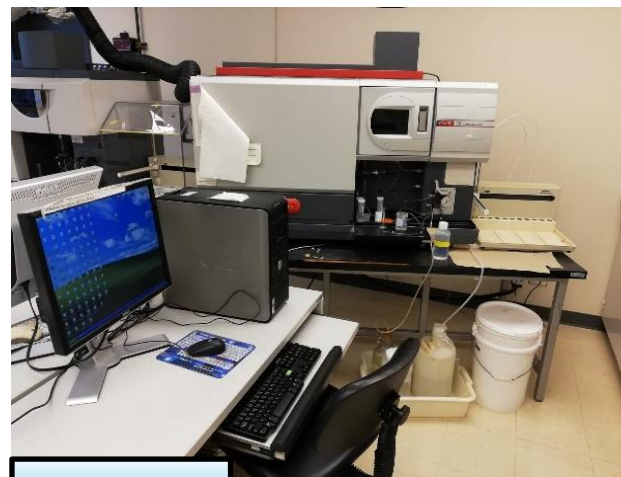




Méthodes – analyses laboratoires

Analyses métaux

- Direct Mercury Analyzer (DMA) → **THg**
 - Muscle dorsal et foie
- ICP-AES → **Al, Fe, Mn**
- ICP-MS → **As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, Se, Zn**
 - Branchies, rein, cæca pyloriques, contenus stomacaux, muscle dorsal, foie, eau, sédiments



ICP-AES



DMA

Biomarqueurs enzymatiques

- Effets sur le métabolisme anaérobie → **LDH**
- Perturbation de la défense antioxydante → **SOD** et **CAT**

Isotopes stables

- $\delta^{13}\text{C}$ (l'utilisation habitat) et $\delta^{15}\text{N}$ (alimentation et position trophique)



ICP-MS



Expositions au Cd sur des ombles chevaliers juvéniles

Exposition

- Système multi-stress → 4 systèmes fermés
- **6°C ± 0,1°C** ou **16°C ± 0,1°C**
- Cd à 3 ppb pendant 8 semaines
- Omble chevalier juvénile 20 – 80 g

Analyses

- Concentrations de Cd → muscle dorsal, rein et foie
- Activités enzymatiques (**LDH**, **CAT**, et **SOD**)



Résultats et conclusions – touladis, grands corégones, et ménominis ronds

- Lac Denault, lac Elross, et lac Annabel (**référence**)

Informations biologiques

- **Touladis et grands corégones** → Aucune différence significative ni tendance claire
- **Ménominis ronds** → poids totales et K significativement inférieure dans les deux lacs contaminés

Analyses métaux traces

- Lac Denault présentait les concentrations de métaux traces plus élevées dans tous les tissus pour **les touladis** et les **grands corégones**
 - Lac Denault et Lac Elross pour **ménominis ronds**



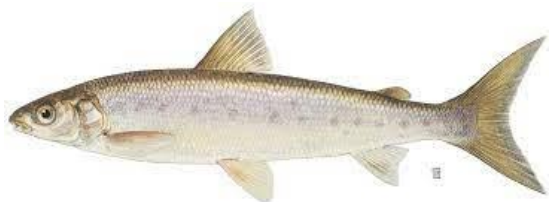
- **Foie** → Cd, et Se
- **Muscle dorsale** → Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Se
- **Rein** → Cd, Co, et Cr

- **LDH** → Pas de différence significative
- **CAT** → Significativement supérieure dans Denault
- **SOD** → Pas de différence significative



- **Foie** → Cd, Co, Cr, THg, Pb, et Se
- **Muscle dorsale** → As, Cd, Cr, THg, Mn, Se
- **Rein** → As, Cd, Cr, Cu, Mn, Pb, Se

- **LDH** → Pas de différence significative
- **CAT** → Pas de différence significative
- **SOD** → Significativement inférieure dans Denault

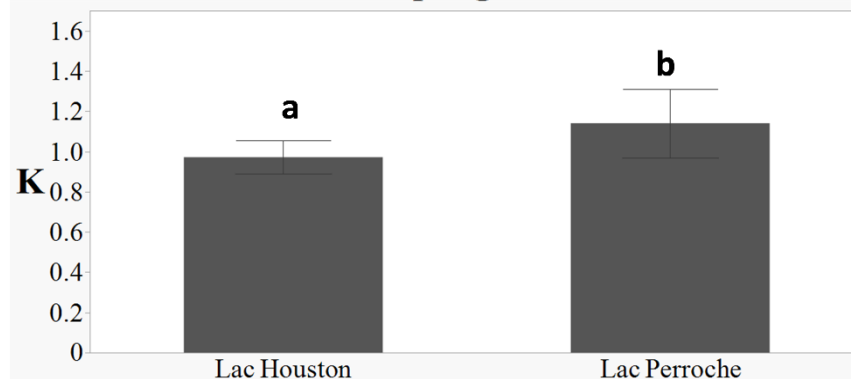
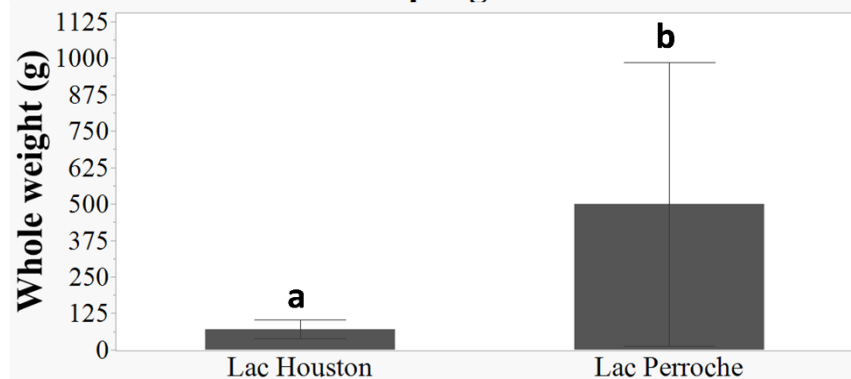
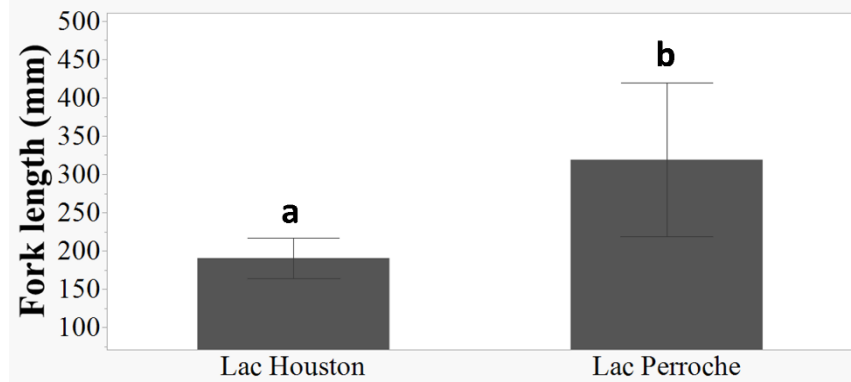


- **Foie** → As, Cd, THg, et Se
- **Muscle dorsale** → As, Cd, THg, Se, et Zn
- **Rein** → Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Pb, Se, et Zn

- **LDH** → Significativement supérieure dans Denault
- **CAT** → Significativement inférieure dans Elross
- **SOD** → Pas de différence significative



Résultats et conclusions – Omble de fontaine



- Lac Houston et lac Perroche (**référence**)

Informations biologiques

- Longueur fourche, poids total et FCF significativement inférieurs dans un **lac contaminé** (Houston)

Analyses des métaux traces

- Significativement plus élevées dans le **lacs contaminés** (Lac Houston)
 - **Foie** → Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Pb, Se, et Zn
 - **Muscle dorsal** → Cd, Cu, Fe, Mn, Pb, Se, et Zn
 - **Reins** → Cd, Cu, Fe, Mn, Pb, Se, et Zn

Les concentrations élevées de métaux traces observées dans le lac contaminé (Lac Houston) pourraient affecter la croissance

Activités biomarqueurs enzymatiques

- **Log₁₀LDH** → activité significativement élevée en lac contaminé
- **Log₁₀CAT** → activité significativement inférieure en lac contaminé
- **Log₁₀SOD** → activité significativement inférieure en lac contaminé
 - **Concentrations de métaux semblent soutenir une utilisation accrue du métabolisme anaérobie et réduire les capacités antioxydantes**



Risques potentiels pour la consommation et sécurité alimentaire



- **THg** dans le muscle dorsal de certains poissons de **tous les lacs** dépassait les lignes directrices de consommation recommandées
- Ligne directrice de consommation pour **THg** → **0.5 mg/kg ww**
 - Effets neurologiquement toxiques sur la santé
 - Inquiétude des communautés locales qui consomment de grandes quantités de poissons



- **THg** dans le muscle dorsal **n'a pas dépassé** les directives de consommation recommandées



Informations biologiques

- **Longueur fourche et poids totales**
 - Significativement moins dans **16°C** et **16°C-Cd** → température avoir un impact plus important sur la croissance que le Cd
- **HSI**
 - Significativement moins dans **16°C** et **16°C-Cd** → reflétant des dommages aux organes

Métaux traces – muscle dorsal, foie, et reins

- **Plus grande absorption de Cd observée à 16°C + Cd qu'à 6°C + Cd**
 - Changement climatique augmente potentiellement l'absorption d'éléments par les poissons
 - Risques potentiels accrus de consommation à l'avenir ?

Biomarqueurs enzymatiques

- **SOD** → activité significativement inférieure en **6°C-Cd**
- **CAT** → activité significativement inférieure en **16°C** et **16°C-Cd**
- **LDH** → activité significativement inférieure en **6°C-Cd** et **16°C-Cd**
 - Activité significativement plus faible à **16°C-Cd** qu'en **6°C-Cd**
 - **La température** a une influence encore plus grande sur l'activité CAT et LDH que le stress métallique (Cd)



Tendances de l'accumulation de métaux traces et leurs effets chez les salmonidés du Nord

- **Ombles chevaliers**
 - Les processus saisonniers/physiologiquement dépendants ont la plus grande influence
- **Touladis, grands corégones, et ménominis ronds**
 - Réponses dépendantes des espèces pour les informations biologiques, les concentrations de métaux traces et les biomarqueurs de l'activité enzymatique
- **Ombles de fontaines**
 - Les concentrations élevées de métaux traces observées dans le lac contaminé pourraient affecter la croissance
 - Concentrations de métaux semblent soutenir une utilisation accrue du métabolisme anaérobie et réduire les capacités antioxydantes

Risques de consommations et sécurité alimentaire

- **Seuls quelques échantillons dépassaient les directives de consommation disponibles**
 - Les risques saisonniers identifiés pour la pêche hivernale → **omble chevalier**
 - Risque de consommation pour **les touladis** dans tous les lacs à Schefferville
- **Changement climatique**
 - Risques potentiels pour la consommation associés avec **réchauffement climatique** → laboratoire
 - **Température** exerce une influence plus grande sur l'activité CAT et LDH que le stress métallique (Cd) → laboratoire

Perspectives

- **Autres analyses statistiques ou données accumulées**
 - Modèles multivariés
 - Évaluation avec des données enzymatiques de variables biologiques
 - Relations entre les concentrations de métaux traces et les données enzymatiques
- **Analyses complètes des isotopes stables**
 - Évaluez les concentrations de métaux traces et les données enzymatiques avec des valeurs isotopiques stables
 - Publications de thèses et d'articles scientifiques
- **Projets d'avenir**
 - Centre de recherche du Nunavik





Remerciements – Étude 1



People. Discovery. Innovation.



- Mine Raglan
- Adamie et Steven Tayara
- Qaqqalik Landholding Corporation
- Société Makivik
- Université de Waterloo
- Insitut national de la recherche scientifique
- MFFP
- Mitacs
- CRSNG
- Fonds D'initiative du Plan Nord

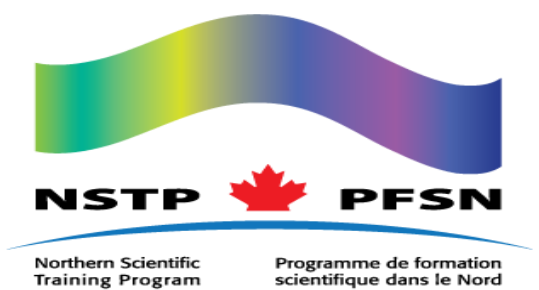




Ce projet a été réalisé avec l'appui financier du gouvernement du Canada.
This project was undertaken with the financial support of the Government of Canada.



- Environnement et changement climatique Canada – Fonds pour dommages à l'environnement
- Société Makivik
- Conrad André
- INRS
- MFFP
- Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec (CEAEQ)
- Conseil de recherches en sciences naturelles et un génie du Canada (CRSNG)
- Gouvernement du Canada – Programme de formation scientifique dans le Nord
- WSP Global Inc.





ԼՐԵՂԵ
Makivvik

ՎՔՈՐՈՏԻՐՆ, ԻԼԷՐՈՏԻՐՆ,
ՎԵՐՅԻՎՈՐՆԵՆ ԱՍԿՅԱԾ
Department of Environment
Wildlife and Research

աժԳԻՆ

thank you

merci

Cordonnées

Courriel: mmartyniuk@makivvik.ca

Téléphone: 819-964-2925 ext. 302