



Troisième évaluation nationale des renseignements sur le suivi des effets sur l'environnement des mines de métaux visées par le *Règlement sur les effluents des mines de métaux*

Direction du secteur industriel, des substances chimiques et des déchets,
et Direction des activités de protection de l'environnement,
Environnement et Changement climatique Canada

Décembre 2015

ISBN : 978-0-660-04510-8
N° de cat. : En14-64/2016F-PDF

À moins d'avis contraire, il est interdit de reproduire le contenu de cette publication, en totalité ou en partie, à des fins de diffusion commerciale sans avoir obtenu au préalable la permission écrite de l'administrateur du droit d'auteur d'Environnement et Changement climatique Canada. Si vous souhaitez obtenir du gouvernement du Canada les droits de reproduction du contenu à des fins commerciales, veuillez demander l'affranchissement du droit d'auteur de la Couronne en communiquant avec :

Environnement et Changement climatique Canada
Centre de renseignements à la population
7^e étage, édifice Fontaine
200, boulevard Sacré-Cœur
Gatineau (Québec) K1A 0H3
Téléphone : 819-997-2800
Ligne sans frais : 1-800-668-6767 (au Canada seulement)
Courriel : ec.enviroinfo.ec@canada.ca

© Sa Majesté la Reine du chef du Canada, représentée par la ministre de l'Environnement et du Changement climatique, 2016

Also available in English

**Troisième évaluation nationale des renseignements sur le suivi des effets sur
l'environnement des mines de métaux visées par le *Règlement sur les effluents
des mines de métaux***

Direction du secteur industriel, des substances chimiques et des déchets,
et Direction des activités de protection de l'environnement,
Environnement et Changement climatique Canada

Décembre 2015

Résumé

Au Canada, le *Règlement sur les effluents des mines de métaux* (REMM), pris en vertu de la *Loi sur les pêches*, impose aux propriétaires des mines de métaux d'effectuer des études de suivi des effets sur l'environnement (ESEE) pour évaluer les effets possibles du rejet de leur effluent sur l'environnement aquatique, en contrepartie de l'autorisation de rejeter un tel effluent. Les résultats des ESEE réalisées par les mines réglementées sont une source importante d'information pour évaluer la pertinence de la réglementation visant la protection de l'environnement aquatique. Bien que le secteur des mines de métaux respecte à plus de 95 % les limites prescrites (Environnement Canada 2015), une décennie de résultats des ESEE démontre des impacts sur les poissons et leur habitat en aval des mines, mais les effluents n'ont que rarement un impact sur la consommation humaine des ressources halieutiques.

Selon le REMM, un « effet » est l'écart statistique entre les données recueillies dans une zone exposée à l'effluent d'une mine et celles recueillies dans une zone de référence similaire non exposée à un tel effluent. La présence ou l'absence d'un effet est considérée « confirmée » lorsqu'un type similaire d'effet ou l'absence d'effet a été observé par deux études consécutives.

Quatre-vingt-deux mines ont réalisé au moins deux études consécutives pour évaluer les effets de leur effluent. De celles-là, 62 (76 %) ont confirmé la présence d'effets sur les poissons, leur habitat ou les deux. De ces dernières, 57 (92 %) ont observé au moins un effet dont l'ampleur pourrait indiquer un risque pour l'environnement plus élevé. Une mine a confirmé l'absence d'effet sur les poissons, leur habitat et l'utilisation des ressources halieutiques. La présence ou l'absence d'effets reste non confirmée pour 29 mines (23 %) ayant réalisé deux études ou plus, à cause de la variation des résultats de ces études (un effet observé dans une étude, mais aucun effet similaire observé dans une deuxième).

Les types d'effets identifiés lors de la présente troisième évaluation nationale étaient similaires à ceux identifiés lors des précédentes évaluations nationales. Les poissons dans la zone exposée étaient plus minces ou plus gras, plus jeunes ou plus vieux et avaient des gonades ou un foie plus petits ou plus gros que les poissons dans la zone de référence. Dans les habitats des poissons exposés aux effluents, on a observé un changement dans la structure des communautés d'invertébrés benthiques, une hausse ou une baisse du nombre d'individus, et une baisse au nombre d'espèces représentées.

Si la présence d'un effet était confirmée, les mines devaient échantillonner des lieux supplémentaires de la zone exposée pour évaluer l'ampleur et l'étendue géographique de ces effets. La plupart des mines (25/29 ou 86 %) qui ont évalué l'ampleur et l'étendue des effets confirmés ont aussi observé un ou plusieurs de ces mêmes effets à une plus grande distance du point de rejet. Jusqu'à maintenant, 77 % (20/26) des études visant à déterminer les causes des effets ont montré que les effluents d'activités minières en cours causaient ces effets ou y contribuaient. Les substances d'effluent associées aux effets sont les ions principaux, les métaux, l'azote, les solides en suspension totaux, le phosphore et le sélénium.

Sommaire

Le *Règlement sur les effluents des mines de métaux* (REMM) est entré en vigueur en 2002 en vertu de la *Loi sur les Pêches*. Il précise les limites au point de rejet (décharge) de certaines substances, et fixe une norme nationale visant la protection des poissons, de l'habitat des poissons et l'utilisation des ressources halieutiques. Les effluents des mines de métaux sont conformes à plus de 95 % aux limites prescrites et satisfont à l'exigence de ne pas avoir une létalité aiguë pour la truite arc-en-ciel (Environnement Canada 2015). Au-delà de leur obligation du respect des limites au point de rejet, le REMM impose aux mines canadiennes visées de réaliser des études de suivi des effets sur l'environnement (ESEE) sur les effets potentiels de l'effluent minier sur l'environnement aquatique. Les informations obtenues grâce aux ESEE contribuent à l'évaluation de l'efficacité du Règlement pour la protection de l'environnement aquatique et des technologies, pratiques et programmes actuels et futurs de prévention et de contrôle de la pollution du secteur minier. L'objectif du présent rapport est de présenter les principales conclusions des ESEE réalisées par les propriétaires des mines à travers le Canada.

Les ESEE imposées par le REMM consistent en des études de suivi biologique et de la qualité des effluents et de l'eau. Les études biologiques sont effectuées sur trois composantes : les populations de poissons, l'habitat des poissons (représenté par la communauté des invertébrés benthiques) et l'utilisation humaine des ressources halieutiques (représentée par la concentration de mercure dans les tissus des poissons). Les études de suivi de la qualité de l'effluent et de l'eau, consistant en une caractérisation chimique de l'effluent final, des essais de toxicité sublétales et une surveillance de la qualité de l'eau dans l'environnement, contribuent à l'évaluation de la qualité de l'effluent et des conditions de l'environnement aquatique dans chacun des sites miniers. Le présent rapport est centré sur les composantes biologiques des ESEE afin de fournir une évaluation à l'échelle nationale des effets potentiels des effluents des mines de métaux sur les environnements aquatiques.

Le troisième rapport d'évaluation nationale résume les études de suivi biologique entreprises pour évaluer la présence ou l'absence d'effets, soumises à Environnement et Changement climatique Canada avant le 1^{er} octobre 2013. Il résume également les études de suivi biologique entreprises pour connaître l'ampleur, l'étendue géographique et la cause des effets observés, soumises avant juin 2014. Les résultats des études sur la toxicité sublétales et la caractérisation de l'effluent effectuées entre 2003 et 2012 sont aussi résumés afin de fournir des renseignements complémentaires.

Le REMM définit un « effet » comme l'écart statistique entre les données recueillies dans les zones exposées à l'effluent minier et celles recueillies dans une zone de référence similaire non exposée à l'effluent. Cinq indicateurs d'effets sont associés à la composante « population de poissons », quatre à la composante « habitat des poissons » et un à l'« utilisation des ressources halieutiques ». On estime que la présence ou l'absence d'un effet est « confirmée » lorsqu'un type similaire d'effet ou l'absence d'effet a été observé lors de deux études consécutives. Si des effets sont détectés lors d'une étude et que, lors d'une deuxième étude, on observe des effets

différents ou l'absence d'effet, la présence ou l'absence d'effets sera déclarée « non confirmée » et l'on devra effectuer des études supplémentaires pour obtenir une confirmation.

Bien que le secteur des mines de métaux respecte dans plus de 95 % des cas les limites de rejet prescrites, les résultats d'une décennie d'ESEE ont mis en évidence des impacts sur les poissons et leur habitat en aval des mines de métaux, mais les effluents n'ont que rarement un impact sur la consommation humaine des poissons.

La plupart des mines (62/82 ou 76 %) qui ont réalisé deux études consécutives visant à évaluer des effets ont confirmé au moins un effet, et 52 % (32/62) de ces mines ont confirmé des effets à la fois sur les poissons et leur habitat. Une mine a confirmé l'absence d'effets sur les poissons, leur habitat et l'utilisation des ressources halieutiques. Presque toutes les mines (57/62 ou 92 %) dont les effets ont été confirmés ont relevé au moins un effet dont l'ampleur pourrait être indicative d'un risque plus élevé pour l'environnement¹.

Dans le cas des poissons, le changement (hausse ou baisse) du rapport entre le poids et la longueur du corps, appelé « condition », est l'effet le plus fréquemment observé, mais des changements ayant trait à la survie, à la croissance, à la reproduction ou à la taille relative du foie ont aussi été observés. Les indicateurs de survie, de croissance et de taille du foie ont souvent été plus importants dans la zone exposée à l'effluent, alors que les indicateurs de condition et de reproduction étaient souvent moindres.

Dans le cas de l'habitat des poissons, l'effet le plus courant était le changement dans la structure des communautés d'invertébrés benthiques (mesurée grâce à un indice de similitude), suivi par la baisse du nombre d'espèces présentes (soit la richesse taxonomique). Les changements du nombre total d'individus (augmentation ou diminution de la densité) et les changements du nombre d'individus de chaque espèce (mesurés grâce à un indice de régularité) étaient moins communs. Le nombre de mines où était observée une densité accrue dans la zone exposée à leur effluent était plus élevé que celui des mines où une baisse de densité a été relevée. Les effets causaient aussi souvent des hausses que des baisses au nombre d'individus de chaque espèce dans la zone exposée.

Les études de suivi réalisées pour évaluer l'impact des effluents des mines de métaux sur la concentration de mercure dans les tissus des poissons (utilisation des ressources halieutiques) n'ont pas établi de liens entre l'effluent des mines de métaux et une teneur élevée en mercure dans les tissus des poissons.

Les résultats des ESEE indiquent que la toxicité sublétales (TSL) globale des effluents miniers est demeurée stable pendant la première décennie d'application du REMM. Les résultats des essais de TSL ont montré que l'effluent des mines de métaux avait l'effet

¹ Les effets possiblement indicatifs d'un risque moins élevé pour l'environnement sont ceux dont l'ampleur est inférieure à un seuil critique d'effet (SCE). Les effets qui pourraient être indicatifs d'un risque plus élevé pour l'environnement ont une ampleur égale ou supérieure à un SCE attribué. Le lecteur trouvera une explication des seuils critiques d'effet dans l'introduction du présent rapport.

le plus important sur la reproduction des invertébrés et la croissance des plantes aquatiques et le moins d'effet sur la croissance larvaire des poissons. Certains essais de TSL ont indiqué que les effluents miniers stimulaient la croissance des plantes et des algues.

Si l'existence d'effets était confirmée, les mines devaient réaliser un échantillonnage à des endroits supplémentaires à l'intérieur de la zone exposée afin d'évaluer l'ampleur et l'étendue géographique desdits effets confirmés. La plupart des mines (25/29 ou 86 %) ayant évalué l'ampleur et l'étendue géographique d'effets confirmés dans la zone exposée proche du point de rejet de l'effluent (la zone proche) ont noté un ou plusieurs des mêmes effets dans la zone exposée plus éloignée de l'exutoire (zone éloignée). La moitié des mines (14/25 ou 56 %) qui ont évalué l'ampleur et l'étendue géographique de plusieurs effets confirmés ont observé les mêmes effets multiples dans la zone éloignée. Dans plus de 50 % des cas, les effets sur les poissons détectés dans d'autres lieux étaient moindres que ceux observés près du point de rejet. L'ampleur des effets sur l'habitat des poissons était surtout indicative d'un risque plus élevé pour l'environnement, à la fois à proximité du point de rejet et dans les autres lieux de la zone exposée. La distance entre ces autres lieux d'exposition et le point de rejet n'avait pas d'influence sur l'occurrence ou l'ampleur des mêmes effets.

Une fois l'ampleur et l'étendue géographique d'effets confirmés déterminées, les mines sont tenues d'effectuer une étude de suivi biologique pour établir les causes de ces effets confirmés. Trente-cinq mines ont recherché les causes de ces effets. Deux catégories générales d'effets ont été étudiées : les effets inhibiteurs causés directement par la toxicité ou l'altération de l'habitat ou indirectement par la limitation alimentaire ou les substances toxiques contenues dans les proies; et les effets stimulants pouvant être causés par l'eutrophisation due à l'ajout de nutriments dans l'environnement. Environ la moitié des mines ayant recherché des causes ont principalement étudié les effets surtout inhibiteurs, et les autres ont principalement étudié les effets stimulants ou une combinaison d'effets inhibiteurs et d'effets stimulants. Certaines mines ont terminé leurs recherches des causes, alors que d'autres n'ont terminé que la première partie d'une étude en deux parties.

Des 26 mines qui ont recherché les causes, 77 % (20/26) ont déterminé que l'effluent minier actuel était la cause primaire ou probable contribuant aux effets observés. Deux mines ont établi que les substances liées à l'exploitation étaient une cause, mais n'ont pas indiqué si l'effluent actuel de la mine en était la source. Quatre mines ont signalé que les effets découlaient de facteurs non liés à la mine. La présence dans l'effluent des ions principaux et du phosphore tendait à être associée à des effets stimulants, alors que celle des métaux, du sélénium et des solides en suspension totaux était le plus souvent liée à des effets inhibiteurs. Les composés azotés dans l'effluent étaient associés à la fois aux effets stimulants et aux effets inhibiteurs.

Table des matières

Résumé.....	i
Sommaire.....	ii
1.0 Introduction	1
2.0 Méthodes	3
2.1 Études résumées dans le Rapport sur la troisième évaluation nationale.....	3
2.2 Méthodes générales de compilation des résultats des études sur les poissons et sur leur habitat.....	4
2.3 Analyse comparative des méthodes de test de signification de l'indice de Bray-Curtis.....	5
3.0 Présence ou absence d'effets	7
3.1 Effets globaux.....	7
3.2 Effets sur les poissons.....	8
3.3 Effets sur l'habitat des poissons	12
3.4 Effets sur la capacité d'utilisation des ressources halieutiques	16
4.0 Qualité des effluents.....	18
4.1 Essais de toxicité sublétales.....	18
4.1.1 Toxicité sublétales des effluents miniers.....	19
4.1.2 Sensibilité des essais de toxicité sublétales.....	21
4.1.3 Stimulation lors des essais d'inhibition de la croissance des algues et des plantes	22
4.2 Caractérisation des effluents	23
5.0 Études de suivi biologique sur les effets observés	24
5.1 Études de l'ampleur et de l'étendue géographique.....	24
5.2 Études sur l'origine des causes	29
6.0 Constatations clés	32
7.0 Glossaire	36
8.0 Références.....	39
Annexe A : Mines de métaux visées par le <i>Règlement sur les effluents des mines de métaux</i> en 2013.	40
Annexe B : Indicateurs d'effets, seuils critiques d'effet et études réalisées.....	41
Annexe C : Résultats par mine des études d'évaluation des effets potentiels	44
Annexe D : Concentrations moyennes de mercure total dans les tissus des poissons, par mine	55
Annexe E : Tendances de la toxicité sublétales.....	58

Annexe F : Tendances de la toxicité sublétales en fonction du type de minéral	63
Annexe G : Concentrations annuelles moyennes des données de caractérisation de l'effluent	68
Annexe H : Résumé des études poussées, par mine	73

Liste des tableaux

Tableau 1. Observation de la stimulation, lors des essais de toxicité sublétales par inhibition de la croissance des algues et des plantes (2010-2012)	22
Tableau 2. Résumé des effets confirmés observés chez les poissons et leur habitat dans les environnements aquatiques qui reçoivent les effluents de mines de métaux	33
Tableau B1. Indicateurs d'effets sur les poissons et critères d'effets pour différents plans d'étude	41
Tableau B2. Indicateurs d'effets sur l'habitat des poissons	42
Tableau B3. Seuils critiques d'effet (SCE)	42
Tableau B4. Nombre et conception des études de suivi biologique effectuées ou entreprises par les mines (entre parenthèses : nombre de mines réalisant des études)	43
Tableau C1. Résultat pour chaque mine des études d'évaluation des effets potentiels sur le poisson et son habitat	44
Tableau G1. Concentrations annuelles moyennes de 2004 à 2012 des substances mesurées dans les effluents des mines de métaux communs au point de rejet final (PRF) utilisé pour la surveillance biologique et tous les autres PRF	68
Tableau G2. Concentrations annuelles moyennes de 2004 à 2012 des substances mesurées dans les effluents des mines de fer aux points de rejet final (PRF) utilisés pour la surveillance biologique et tous les autres PRF	69
Tableau G.3. Concentrations annuelles moyennes de 2004 à 2012 des substances mesurées dans les effluents des mines de métaux précieux aux points de rejet final (PRF) utilisés pour la surveillance biologique et tous les autres PRF	70
Tableau G4. Concentrations annuelles moyennes de 2004 à 2012 des substances mesurées dans les effluents des mines d'uranium aux points de rejet final (PRF) utilisés pour la surveillance biologique et tous les autres PRF	71
Tableau G5. Concentrations annuelles moyennes de 2004 à 2012 des substances mesurées dans les effluents autres types de mines aux points de rejet final (PRF) utilisés pour la surveillance biologique et tous les autres PRF	72
Tableau H1. Résumé, présenté par mine, de la recherche des causes et des études sur l'ampleur et l'étendue géographique	73

Liste des figures

Figure 1. Catégories d'effets pour les mines ayant réalisé deux études ou plus visant à évaluer les effets sur les poissons ou leur habitat.....	7
Figure 2. Catégories d'effets pour les mines ayant réalisé une seule étude visant à évaluer les effets sur les poissons et leur habitat.....	8
Figure 3. Catégories des effets sur les poissons trouvés pour les mines ayant réalisé deux études ou plus	9
Figure 4. Catégories d'effets pour chaque indicateur des populations de poissons pour 66 mines ayant effectué deux études ou plus sur ces populations	10
Figure 5. Catégories d'effets sur les poissons pour les mines ayant effectué une seule étude.	11
Figure 6. Catégories des effets pour chaque indicateur de populations de poissons pour les 39 mines ayant effectué une seule étude sur ces populations	12
Figure 7. Catégories des effets sur l'habitat des poissons pour les mines ayant effectué deux études ou plus	13
Figure 8. Catégories d'effets pour chaque indicateur d'habitat de poissons pour 81 mines ayant effectué deux études ou plus sur les habitats des poissons.....	14
Figure 9. Catégories d'effets sur l'habitat des poissons pour les mines ayant effectué une seule étude.....	15
Figure 10. Catégories des effets pour chaque indicateur d'habitat de poissons pour les 34 mines ayant effectué une seule étude sur l'habitat.....	16
Figure 11. Catégories d'effets pour 65 études sur des tissus de poisson réalisées lors de chaque période d'études de suivi biologique.....	18
Figure 12. Moyenne géométrique annuelle de la Cl_{25} (pourcentage dans l'effluent par volume) pour toutes les mines, pour chaque essai de toxicité sublétales à l'eau douce....	20
Figure 13. Distance depuis le point de rejet de l'effluent minier à la zone d'échantillonnage éloignée pour les mines ayant réalisé des études sur l'ampleur et l'étendue des effets sur a) les poissons et b) l'habitat des poissons.	26
Figure 14. Nombre d'effets confirmés dans la zone rapprochée et d'effets identiques dans la zone éloignée découverts lors d'étude sur l'étendue et l'ampleur des effets sur les populations de poissons.....	27
Figure 15. Nombre d'effets confirmés dans la zone rapprochée sur l'habitat des poissons et d'effets identiques dans la zone éloignée, relevés dans les études sur l'ampleur et l'étendue.....	28
Figure 16. Causes primaires et potentielles liées à l'effluent minier actuel, recensées par vingt mines ayant réalisé une recherche des causes.....	30
Figure A1. Position géographique des mines métallifères assujetties au Règlement sur les effluents des mines de métaux en 2013	40

Figure D1. Mercure total moyen dans les tissus des poissons capturés dans les zones de référence et exposées, échantillonnée lors de la première étude de suivi biologique de suivi de la mine.	55
Figure D2. Mercure total moyen dans les tissus des poissons capturés dans les zones de référence et exposées, échantillonnées lors de la deuxième étude de suivi biologique de suivi de la mine.	56
Figure D3. Mercure total moyen dans les tissus des poissons capturés dans les zones de référence et exposées, échantillonnée lors de la troisième et de la quatrième étude de suivi biologique de suivi de la mine.	57
Figure E1. Moyenne géométrique de Cl_{25} (pourcentage d'effluent en volume) et proportion d'essais dans chaque catégorie de toxicité sublétales par année pour l'essai d'inhibition de la reproduction des invertébrés basé sur <i>Ceriodaphnia dubia</i>	58
Figure E2. Moyenne géométrique de Cl_{25} (pourcentage d'effluent en volume) et proportion d'essais dans chaque catégorie de toxicité sublétales par année pour l'essai d'inhibition de la croissance végétale basé sur le nombre de feuilles de <i>Lemna minor</i> . ..	59
Figure E3. Moyenne géométrique de Cl_{25} (pourcentage d'effluent en volume) et proportion d'essais dans chaque catégorie de toxicité sublétales par année pour l'essai d'inhibition de la croissance végétale basé sur le poids sec de <i>Lemna minor</i>	60
Figure E4. Moyenne géométrique de Cl_{25} (pourcentage d'effluent en volume) et proportion d'essais dans chaque catégorie de toxicité sublétales par année pour l'essai d'inhibition de la croissance des algues basé sur <i>Pseudokirchneriella subcapitata</i>	61
Figure E5. Moyenne géométrique de Cl_{25} (pourcentage d'effluent en volume) et proportion d'essais dans chaque catégorie de toxicité sublétales par année pour l'essai d'inhibition de la croissance larvaire du poisson basé sur <i>Pimephales promelas</i>	62
Figure F1. Moyenne géométrique annuelle de Cl_{25} (pourcentage d'effluent par volume) pour chaque essai de toxicité sublétales de l'effluent des mines de métaux précieux.....	63
Figure F2. Moyenne géométrique annuelle de Cl_{25} (pourcentage d'effluent par volume) pour chaque essai de toxicité sublétales de l'effluent des mines de métaux communs.....	64
Figure F3. Moyenne géométrique annuelle de Cl_{25} (pourcentage d'effluent par volume) pour chaque essai de toxicité sublétales de l'effluent des mines d'uranium.	65
Figure F4. Moyenne géométrique annuelle de Cl_{25} (pourcentage d'effluent par volume) pour chaque essai de toxicité sublétales de l'effluent des mines d'autres minerais.....	66
Figure F5. Moyenne géométrique annuelle de Cl_{25} (pourcentage d'effluent par volume) pour chaque essai de toxicité sublétales de l'effluent des mines de fer.....	67

1.0 Introduction

Le *Règlement sur les effluents des mines de métaux* (REMM) est entré en vigueur en 2002, en vertu de la *Loi sur les Pêches*. Ce règlement stipule des limites pour le pH et les teneurs en arsenic, en cuivre, en cyanure, en plomb, en nickel, en zinc, en radium 226 et en solides en suspension totaux des rejets. Il exige aussi que l'effluent ne cause pas une létalité aiguë pour la truite arc-en-ciel. Ces limites au point de rejet constituent une norme nationale ayant pour objet la protection des poissons, de leur habitat et de l'utilisation des ressources halieutiques. Le secteur des mines de métaux respecte dans plus de 95 % des cas ces limites prescrites pour les rejets et satisfait à l'exigence que l'effluent ne cause pas de létalité aiguë à la truite arc-en-ciel (Environnement Canada 2015).

En plus de devoir se conformer aux limites au point de rejet, les mines de métaux canadiennes astreintes au REMM (Annexe A, figure A1) doivent, pour être autorisées à rejeter un effluent, réaliser des ESEE (études de suivi des effets sur l'environnement) sur les effets potentiels des effluents des mines de métaux sur les poissons, leur habitat et l'utilisation des ressources halieutiques. L'information obtenue lors des ESEE contribue à l'évaluation de l'efficacité du Règlement sur le plan de la protection de l'environnement aquatique ainsi que des technologies, des pratiques et des programmes actuels et futurs pour la prévention et le contrôle de la pollution par le secteur minier. Le présent rapport a pour objectif de présenter les principales conclusions des ESEE réalisées par des mines de métaux à travers le Canada.

Le REMM définit le terme « effet » comme l'écart statistique entre les données recueillies dans une zone exposée à l'effluent et celles recueillies dans une zone de référence similaire. On entend par « zone exposée », tout habitat de poisson et eaux fréquentées par les poissons qui est exposé à un effluent minier. On entend par « zone de référence », des eaux fréquentées par les poissons qui ne sont pas exposées à l'effluent minier et qui renferment un habitat pour les poissons qui, dans la mesure du possible, est le plus similaire à celui de la zone exposée. La présence ou l'absence d'un effet est considérée « confirmée » lorsqu'un type similaire d'effet ou l'absence d'effet a été observé lors de deux études consécutives.

Les études de suivi des effets sur l'environnement imposées par le REMM consistent en des études de suivi de la qualité de l'effluent et de l'eau et de suivi biologique. Les études de suivi biologique faites pour évaluer les effets potentiels de l'effluent minier sont réalisées sur les composantes suivantes de l'environnement aquatique récepteur :

- les populations de poissons pour évaluer les effets sur la santé des poissons;
- la communauté des invertébrés benthiques pour évaluer les effets sur l'habitat du poisson;
- les tissus des poissons pour évaluer les effets sur l'utilisation des ressources halieutiques lorsque les conditions précisées dans le REMM sont satisfaites.

Les études de suivi biologique sur les effets observés sont réalisées pour :

- évaluer l'ampleur des effets et leur étendue géographique;
- en déterminer les causes.

Les ESEE de type biologique réalisées en vertu du REMM constituent un processus itératif d'étapes de suivi et d'interprétation réalisées avec une périodicité entre trois et six ans, selon les conditions précisées par le règlement. Le type et la fréquence des études sont déterminés par les résultats des études précédentes. Les études initiales de suivi biologique sont entreprises pour évaluer et confirmer l'existence ou non d'effets. Lorsque les effets sont confirmés, les mines doivent déterminer leur ampleur et leur étendue géographique, puis en rechercher les causes. Si l'absence d'effet sur la communauté des invertébrés benthiques, la population de poissons et les tissus des poissons (si nécessaire) est confirmée, la fréquence du suivi biologique peut être réduite. Pour aider les mines à satisfaire aux exigences réglementaires sur les ESEE, Environnement et Changement climatique Canada (ECCC) a élaboré des directives techniques sur tous les aspects des ESEE, notamment sur la conception de l'étude, l'analyse de données et leur interprétation (Environnement Canada 2012a).

Des indicateurs spécifiques sont mesurés pour évaluer la présence ou l'absence d'effets sur la population de poissons (Annexe B, tableau B1) et la communauté des invertébrés benthiques (Annexe B, tableau B2). Les résultats de ces évaluations déterminent les besoins d'études de suivi à venir et contribuent à la compréhension de l'impact que l'effluent de la mine de métaux pourrait avoir sur les environnements aquatiques récepteurs. L'ampleur des effets observés est utilisée comme outil non réglementaire de gestion permettant de concentrer les efforts des études vers les plus grands risques pour l'environnement. Un seuil critique d'effet (SCE) est une limite au-dessus de laquelle un effet pourrait être indicatif d'un risque plus élevé pour l'environnement. Les seuils critiques d'effet pour les indicateurs ayant trait aux populations de poissons et aux communautés d'invertébrés benthiques ont été établis en premier pour le secteur des pâtes et papiers, après que des ESEE eussent montré que la plupart des usines avaient signalé un effet pour au moins l'un de ces indicateurs. Une fois validés (Munkittrick *et al.* 2009), ces SCE (Annexe B, tableau B3) ont été adoptés par le secteur des mines de métaux.

Les études de suivi de la qualité des effluents et de l'eau, consistant de la caractérisation chimique et des essais de toxicité sublétales (TSL) sur l'effluent final et en un suivi de la qualité de l'eau dans l'environnement, contribuent à l'évaluation de la qualité de l'effluent et des conditions de l'environnement aquatique sur chaque site minier.

2.0 Méthodes

2.1 Études résumées dans le Rapport sur la troisième évaluation nationale

Ce rapport est centré sur les composantes biologiques des ESEE dans le but de faire une évaluation à l'échelle du Canada des effets des effluents des mines de métaux sur les populations de poissons, leurs habitats et l'utilisation des ressources halieutiques. Nous y résumons les résultats de toutes les études de suivi biologique entreprises pour évaluer la présence ou l'absence d'effets soumises à Environnement et Changement climatique Canada avant le 1^{er} octobre 2013. De plus, nous y résumons aussi les études de suivi biologique sur l'ampleur, l'étendue géographique et la cause des effets observés soumises avant juin 2014. Les résultats des études sur la TSL et caractérisation de l'effluent menées entre 2003 et 2012 sont aussi résumés en soutien aux suivis biologiques.

Avant le 1^{er} octobre 2013, 121 mines de métaux au Canada avaient réalisé des études de suivi biologique, le nombre d'études réalisées par une mine dépendant du moment où le REMM est entré en vigueur pour cette mine. Parmi les 121 mines qui ont effectué des études :

- 36 mines ont réalisé une étude;
- 25 mines ont réalisé deux études;
- 43 mines ont réalisé trois études;
- 17 mines ont réalisé quatre études.

Des mines actuellement reconnues fermées font partie des 121 mines ayant réalisé des études. Six des 121 mines n'ont pas pu obtenir les données nécessaires pour évaluer les effets sur les composantes « population de poissons » ou « habitat des poissons » et certaines des 115 mines restantes n'ont pas pu obtenir les données nécessaires pour évaluer les effets sur ces deux composantes. Le motif le plus fréquent de l'échec des études sur les populations est la capture d'un nombre insuffisant de poissons, alors que les différences d'habitats entre les zones de référence et les zones exposées constituaient le motif le plus répandu de l'échec des études sur l'habitat des poissons. Dans le tableau B4 (Annexe B), nous donnons un aperçu du nombre et du type d'études biologiques réalisées par les mines de métaux depuis l'entrée en vigueur du Règlement. Les études entamées qui ont échoué sont indiquées dans le tableau B4, mais ne sont pas prises en compte dans la partie du présent rapport portant sur les résultats.

Deux mines ont déplacé le point de rejet final de leur effluent après avoir réalisé une ou deux ESEE. Les résultats des ESEE réalisées avant ce changement de lieu de rejet n'ont donc pas été pris en compte pour le présent rapport. De même, nous n'avons pas retenu les résultats de l'ESEE d'une mine réalisée avant une importante modification à son système de traitement de l'eau.

2.2 Méthodes générales de compilation des résultats des études sur les poissons et sur leur habitat

Les spécialistes d'ECCC ont étudié les rapports sur les ESEE de suivi biologique soumis à ECCC par les mines afin de s'assurer que toutes les exigences réglementaires avaient été satisfaites et que les études avaient été réalisées conformément aux normes généralement acceptées de bonne pratique scientifique. Les rapports d'études contenaient les données brutes, l'analyse et l'interprétation de ces données et des conclusions. Une partie des données brutes a aussi été soumise en format électronique à ECCC. Pour obtenir une vérification supplémentaire des résultats, les spécialistes d'ECCC ont analysé les données brutes sur les indicateurs ichtyologiques et benthiques à l'aide d'un outil d'évaluation statistique (Statistical Assessment Tool, SAT²) mis au point par ECCC (Booty *et al.* 2009). Le SAT a servi à calculer l'ampleur et la signification statistique des écarts entre les données en zone d'exposition et les données en zone de référence pour les cinq indicateurs d'effets ichtyologiques et les quatre indicateurs d'effets benthiques quand l'étude de suivi biologique avait été faite avec le modèle témoin-exposition³ et que l'étude sur les poissons était basée sur des méthodes létales pour obtenir les données. Pour tenir compte de facteurs spécifiques au site qui ne sont pas discernables dans les données brutes, les résultats de l'analyse SAT ont été comparés à ceux du rapport de l'étude produit par la mine. S'il survenait des divergences qui ne pouvaient pas s'expliquer par des erreurs de calcul, nous avons utilisé le rapport de l'étude produit par la mine pour la compilation. Entre 50 et 70 % des études ont été réalisées en utilisant des méthodes létales avec une conception d'échantillonnage témoin-impact et, donc, elles ont été analysées avec le SAT. Dans le cas des études basées sur d'autres conceptions d'échantillonnage⁴, nous avons utilisé les résultats du rapport sur l'étude produit par la mine pour le processus de compilation.

Nous avons caractérisé les effets observés (ou l'absence d'effet) en fonction de leur occurrence, de leur ampleur et de leur type. Les catégories d'effets, du risque potentiel le plus grand pour l'environnement au risque potentiel le moins grand sont :

- effet ou effet confirmé⁵ égal ou supérieur au SCE
- effet ou effet confirmé⁶ inférieur au SCE
- effet non confirmé⁷

² On trouvera dans Environnement Canada 2012b, des détails sur les procédures statistiques du SAT.

³ Le modèle « témoin-exposition » signifie que l'échantillonnage est réalisé dans des zones de référence et d'exposition distinctes, contrairement au modèle du gradient pour lequel l'échantillonnage est réalisé le long d'un gradient de concentrations d'effluent décroissantes.

⁴ Par exemple, études fondées sur des modèles de gradient, mésocosmes, bivalves en cage ou d'échantillonnage non létaux.

⁵ Deux études consécutives montrant un effet similaire avec une ampleur égale ou plus élevée que le SCE lors d'au moins une étude.

⁶ Deux études consécutives montrant un effet similaire avec une ampleur inférieure au SCE ou une ampleur inconnue par rapport au SCE.

⁷ Deux études consécutives, une étude montrant des effets et l'autre non, ou encore deux études consécutives ayant observé le même effet, mais dans des directions opposées. La direction d'un effet est déterminée par les valeurs relatives d'un effet dans les zones exposées par rapport aux zones de référence.

- absence ou absence confirmée⁸ d'effet.

La catégorie d'effet pour une composante entière (poissons ou habitat des poissons) a été déterminée selon l'effet posant le risque potentiel le plus élevé pour cette composante. Pour chaque mine, la catégorie d'effet globale a été déterminée selon la composante montrant le risque potentiel le plus élevé. Les résultats sont présentés mine par mine dans le tableau C1 de l'Annexe C.

2.3 Analyse comparative des méthodes de test de signification de l'indice de Bray-Curtis

Les mines ont utilisé l'indice de Bray-Curtis (IBC) pour évaluer la similitude de la structure des communautés des invertébrés benthiques. Une étude réalisée pour ECCC en 2013 par Borcard et Legendre a déterminé que la méthode décrite dans le guide technique des ESEE (Environnement Canada 2012a) pour le calcul de la signification statistique des écarts observés entre les données sur l'indice de Bray-Curtis pour les zones exposées et les zones de référence a une probabilité plus élevée que celle recommandée de donner un résultat faux positif (indiquant la présence d'un effet alors qu'aucun n'existe). Borcard et Legendre ont suggéré une méthode révisée pour tester la signification des écarts dans les données de l'indice de Bray-Curtis. ECCC recommandera à l'avenir l'emploi de cette méthode révisée dans ses directives techniques pour les ESEE.

Pour la présente troisième évaluation, les données sur la présence ou l'absence d'effets sur la structure des communautés d'invertébrés benthiques (indice de Bray-Curtis) ont été obtenues en utilisant la méthode existante. Pour quantifier l'occurrence de faux positifs, ECCC a réalisé une étude comparative des résultats obtenus avec les deux méthodes à partir des mêmes données. Pour cette étude comparative, nous avons choisi les mines ayant un effet confirmé pour l'indice de Bray-Curtis et pour lesquelles un faux positif influencerait la prise de décision relative au type d'études de suivi biologique qui devront être réalisées. Deux groupes de mines ont été choisis. Le premier est composé de sept mines pour lesquelles un effet sur l'indice de Bray-Curtis a été confirmé, mais qui ne présentent aucun effet confirmé pour les autres indicateurs sur l'habitat du poisson ou les indicateurs ichthyologiques. Le deuxième comporte douze mines pour lesquelles un effet sur l'indice est confirmé et aucun effet n'a été confirmé sur les autres indicateurs pour l'habitat des poissons, mais pour lesquelles des effets ont été confirmés sur au moins un indicateur ichthyologique.

Nous avons utilisé les données de 38 études pour comparer les résultats de ces 19 mines. Pour chacune de ces 38 études, la signification statistique de l'écart entre les indices de Bray-Curtis pour les zones exposées et les zones de référence a été recalculée en suivant la méthode révisée. Pour toutes les 38 études, la méthode révisée a indiqué qu'il existait encore un écart statistiquement significatif (un effet) entre les indices de Bray-Curtis des zones exposées et des zones de référence. L'accord des résultats obtenus par les méthodes existantes et révisées est conforme à la prédiction

⁸ Deux études consécutives montrant une absence d'effet.

de Borcard et Legendre (2013) qu'il n'y aurait que de légères différences entre les conclusions des deux méthodes. Ce résultat indique, pour les mines utilisées pour l'analyse comparative, aucune observation d'effet faussement positif découlant de l'emploi de la méthode en vigueur. On peut donc utiliser avec assurance l'indice de Bray-Curtis de chacune des 38 études pour la compilation globale des effets observés. Nous n'avons pas réalisé d'analyses comparatives sur les indices de Bray-Curtis calculés par les autres mines puisque, lors de toutes les autres études, les effets ont aussi été observés pour d'autres indicateurs des habitats des poissons. L'élimination d'un faux effet suggéré par l'indice dans ces études n'aurait donc eu aucune incidence sur les décisions faites sur le type d'études de suivi biologique nécessaires à l'avenir.

3.0 Présence ou absence d'effets

3.1 Effets globaux

Des 82 mines qui ont réalisé au moins deux études de suivi biologique pour évaluer les effets sur les poissons et/ou leur habitat, 62 (76 %) ont confirmé la présence d'au moins un effet (figure 1), et environ la moitié (32/62 ou 52 %) de ces dernières a confirmé des effets à la fois sur les poissons et sur leur habitat. Pour 92 % (57/62) des mines présentant des effets confirmés, on a relevé qu'au moins un effet était égal ou supérieur au SCE. Ce nombre comprend 45 mines pour lesquelles l'effet était égal ou supérieur au CSE lors de deux études consécutives réalisées et douze mines pour lesquelles l'effet était égal ou supérieur au CSE lors d'une étude et inférieur lors d'une autre étude consécutive. Des résultats variables entre des études consécutives ont été observés pour 23 % (19/82) des mines, conduisant à des effets non confirmés. Une mine a confirmé l'absence d'effet sur les poissons, leur habitat et l'utilisation des ressources halieutiques.

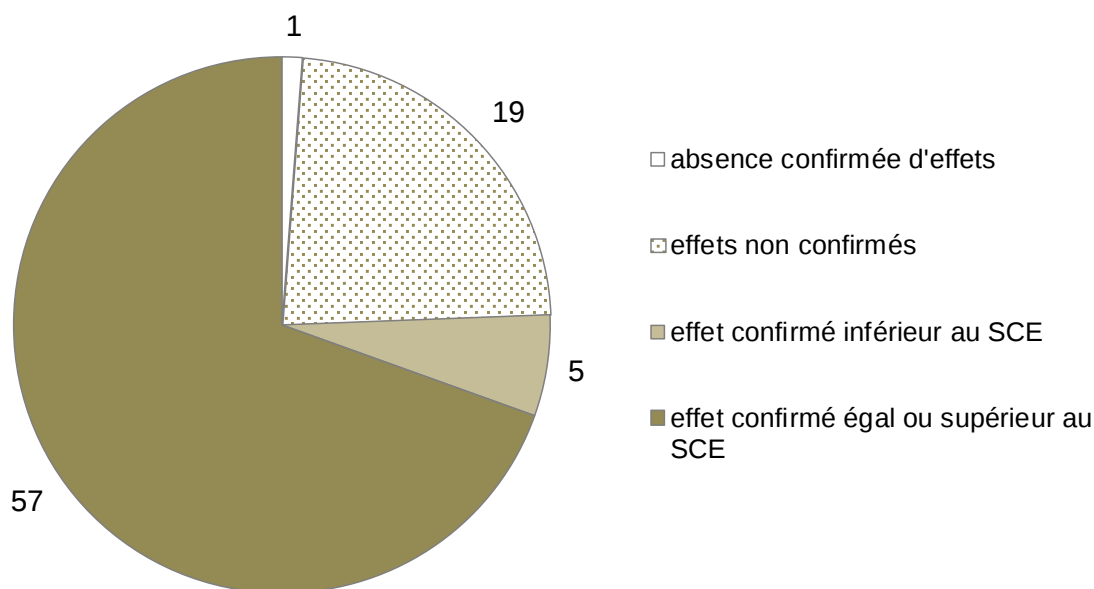


Figure 1. Catégories d'effets pour les mines ayant réalisé au moins deux études pour évaluer les effets sur les poissons et/ou leur habitat

Parmi les 33 mines pour lesquelles une seule étude de suivi biologique sur les composantes ichthyologiques et de l'habitat des poissons a été réalisée, 31 ont observé des effets et 25 ont observé au moins un effet égal ou supérieur au SCE. Deux mines ont relevé l'absence d'effets sur tous les indicateurs pour les poissons et leur habitat (communauté des invertébrés benthique) qui avaient été évalués correctement (figure 2).

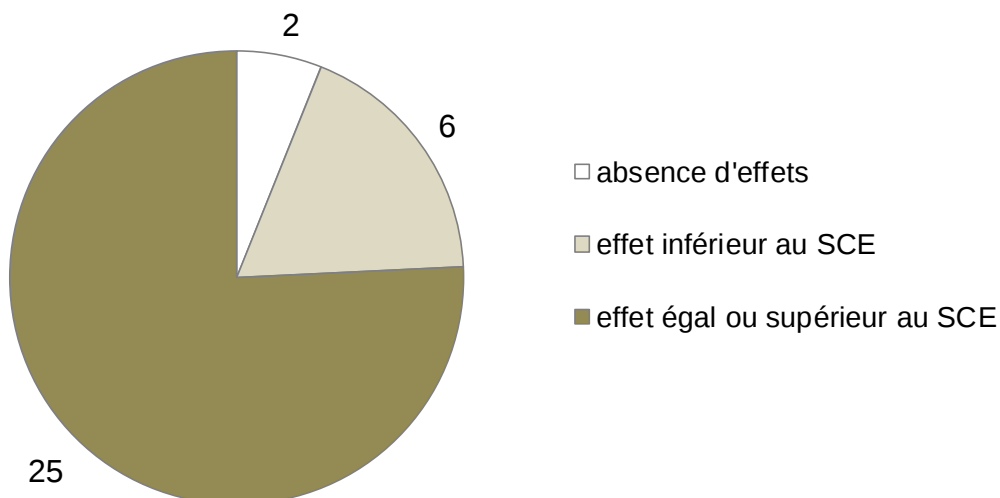


Figure 2. Catégories d'effets pour les mines ayant réalisé une seule étude pour évaluer les effets sur les poissons et leur habitat

3.2 Effets sur les poissons

Les indicateurs utilisés pour évaluer les effets sur les poissons sont la croissance, la reproduction, la condition, la taille relative du foie et la survie. Soixante-six mines ont réalisé au moins deux études pour évaluer les effets de leurs activités sur la population de poissons, et 66 % (44/66) de ces mines ont confirmé la présence d'un effet pour au moins un indicateur ichthyologique (figure 3). De ces dernières, 64 % (28/44) ont détecté au moins un effet dont l'intensité égalait ou dépassait le SCE. Ce nombre inclut dix-neuf mines ayant mis en évidence des effets égaux ou supérieurs au SCE lors de deux études, et neuf mines ayant mis en évidence des effets égaux ou supérieurs au SCE lors d'une étude et des effets inférieurs au SCE lors de l'étude de confirmation des effets. Des effets non confirmés ont été observés pour 29 % (19/66) des mines. Trois (5 %) mines ont confirmé l'absence d'effet sur tous les indicateurs ichthyologiques.

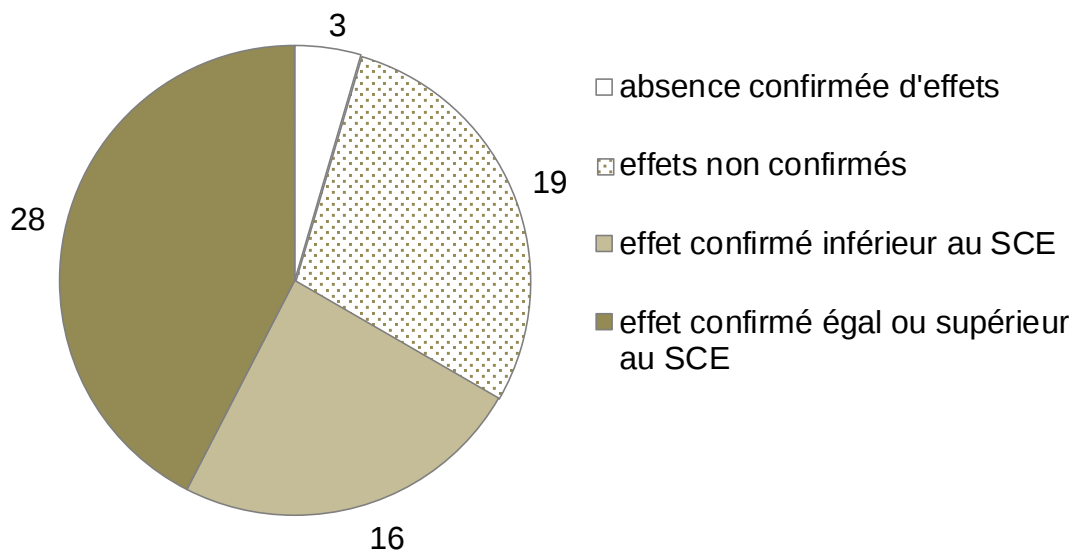


Figure 3. Catégories des effets sur les poissons mis en évidence lors de deux études ou plus

La figure 4 représente les catégories d'effets pour chaque indicateur des populations de poissons pour les 66 mines ayant effectué au moins deux études ichthyologiques. C'est pour la catégorie absence d'effet confirmé que l'on trouve le plus faible nombre de mines, suivi par les catégories effets confirmés et effets non confirmés. La proportion de mines ayant mis en évidence des effets non confirmés pour un indicateur particulier se situait entre 47 et 57 %. Des 44 mines ayant observé des effets confirmés, 36 % ont confirmé des effets pour un indicateur, 30 % pour deux indicateurs, 13,5 % pour trois indicateurs, 16 % pour quatre indicateurs et 4,5 % pour tous les indicateurs. On devrait toutefois noter que certaines études n'ont pas colligé suffisamment de données pour évaluer tous les indicateurs.

Pour les indicateurs de survie, de croissance et de condition, le nombre de mines présentant des effets confirmés inférieurs au SCE était similaire au nombre de mines ayant des effets confirmés égaux ou supérieurs au SCE. Les effets confirmés sur la reproduction et la taille relative du foie étaient plus souvent égaux ou supérieurs aux SCE. Selon l'indicateur, entre 55 et 60 % des mines qui ont rapporté des effets confirmés, la survie, la croissance, et la taille du foie étaient plus élevées et les indices de reproduction et de condition étaient faibles dans les zones exposées par rapport aux zones de référence.

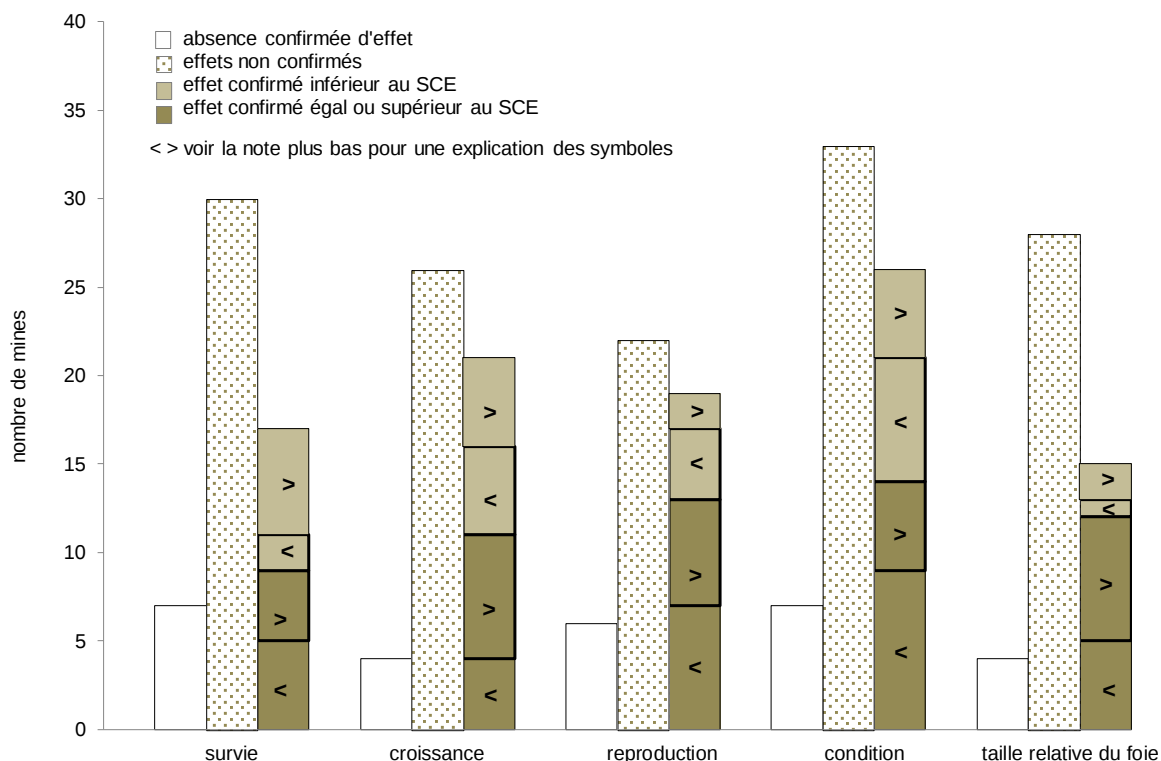


Figure 4. Catégories d'effets pour chaque indicateur des populations de poissons pour 66 mines ayant effectué au moins deux études sur ces populations

Note : Certaines études n'ont pas permis de recueillir assez de données pour évaluer tous les indicateurs. Les effets ont été dénotés « > » si l'indicateur était plus élevé dans la zone exposée que dans la zone de référence et « < » si l'indicateur était plus petit dans la zone exposée que dans la zone de référence. La catégorie « effet confirmé inférieur au SCE » comprend les mines dont l'ampleur des effets confirmés par rapport au SCE est inconnue (5 pour la survie, 7 pour la croissance et 3 pour la condition). La catégorie « effet confirmé égal ou supérieur au SCE » comprend les mines ayant des effets confirmés d'une ampleur variable entre les études (5 pour la survie, 2 pour la croissance, 9 pour la reproduction, 6 pour la condition et 5 sur la taille relative du foie).

Au total, 39 mines ont réalisé une seule étude pour évaluer les effets sur la population de poissons. Des effets ont été observés pour 95 % de ces mines, et dans la moitié de ces cas au moins un effet égal ou supérieur au SCE a été observé (figure 5). Une mine n'a relevé aucune différence statistiquement significative entre les sites exposés ou les sites de référence (situation qualifiée d'absence d'effet) pour tous les indicateurs de population de poissons. L'absence d'effet sur la survie et la condition a été observée pour une autre mine, mais l'effet sur la croissance, la reproduction et la taille relative du foie n'a pas pu être évalué à partir des données recueillies.

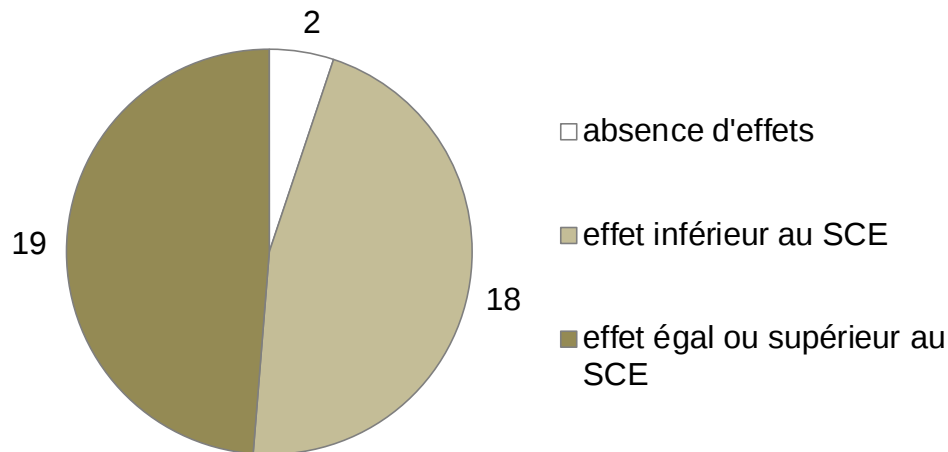


Figure 5. Catégories d'effets sur les poissons pour les mines ayant effectué une seule étude.

La figure 6 présente les catégories d'effets pour chaque indicateur de la population de poissons pour les 39 mines ayant effectué une seule étude de ce genre. La proportion de mines qui ont signalé des effets sur la survie ou la reproduction était respectivement de 54 % et 48 %. Cette proportion variait de 70 % à 75 % pour les indicateurs de croissance, de la taille relative du foie et de la condition. Pour tous les indicateurs, les mines ont plus fréquemment rapporté des effets inférieurs au SCE que des effets égaux ou plus élevés que les SCE.

Dans le cas des mines pour lesquelles des effets ont été observés, quatre des cinq indicateurs de la population de poissons étaient plus souvent supérieurs dans la zone exposée à l'effluent que dans la zone de référence. Les pourcentages des mines ayant rapporté des effets pour lesquels les indicateurs étaient plus élevés dans la zone exposée étaient de 58 % pour la survie, 56 % pour la croissance, 61 % pour la condition et 53 % pour la taille relative du foie. Le pourcentage de mines ayant observé des effets pour lesquels les indicateurs dans les zones exposées étaient moins élevés était de 57 % pour la reproduction.

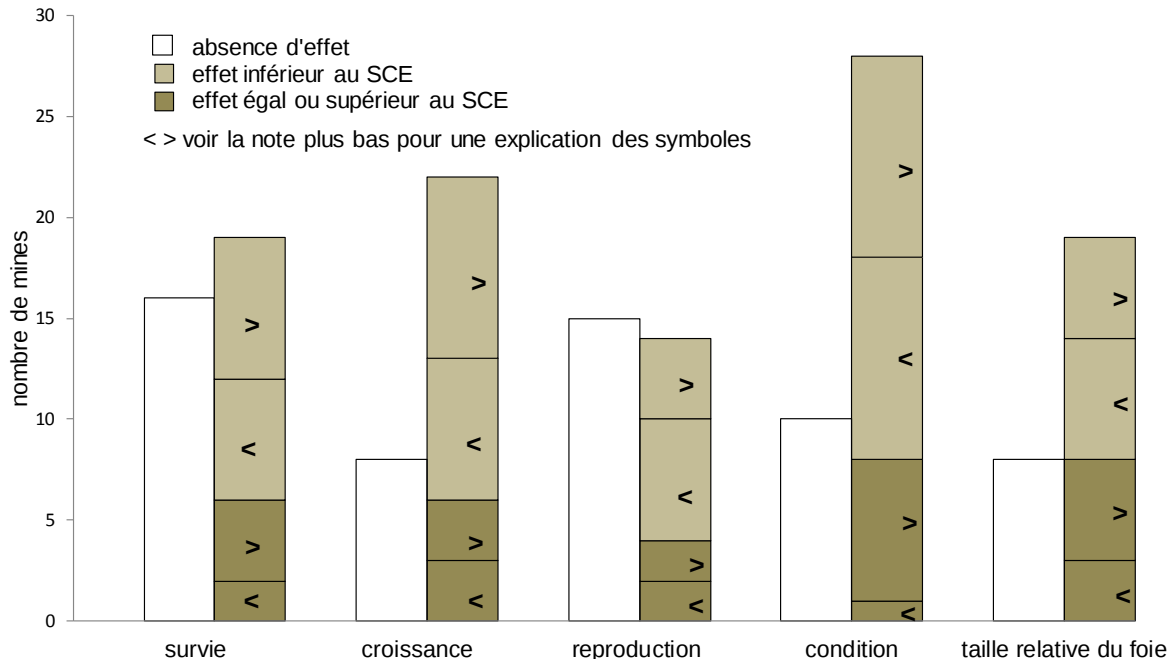


Figure 6. Catégories des effets pour chaque indicateur de populations de poissons pour les 39 mines ayant effectué une seule étude sur ces populations

Note : Certaines études n'ont pas permis de recueillir assez de données pour évaluer tous les indicateurs. Les effets ont été dénotés « > » si l'indicateur était plus élevé dans la zone exposée que dans la zone de référence et « < » si l'indicateur était plus petit dans la zone exposée que dans la zone de référence. La catégorie « effet confirmé inférieur au SCE » comprend les effets d'une ampleur inconnue par rapport au SCE (8 pour la survie, 11 pour la croissance, 6 pour la reproduction, 11 pour la condition et 4 pour la taille relative du foie).

3.3 Effets sur l'habitat des poissons

Les indicateurs utilisés pour évaluer les effets sur l'habitat des poissons sont la densité totale d'invertébrés benthiques, l'indice de régularité, la richesse taxonomique et l'indice de similitude (indice de Bray-Curtis). Quarante-et-une mines ont réalisé au moins deux études pour évaluer les effets sur l'habitat des poissons, et 64 % (52/81) de celles-ci ont confirmé un effet pour au moins un indicateur. Une mine a signalé que tous les effets confirmés étaient inférieurs au SCE. Cinquante-et-une mines ont rapporté qu'au moins un effet était égal ou supérieur au SCE. De ce nombre, 38 ont rapporté des effets égaux ou supérieurs au SCE lors des deux études réalisées pour confirmer les effets et 13 ont rapporté des effets égaux ou supérieurs au SCE lors d'une étude et inférieurs au SCE lors de l'autre étude réalisée pour confirmer les effets. Des effets non confirmés ont été rapportés par 32 % (26/81) de ces mines, et 4 % (3/81) des mines ont confirmé l'absence d'effet pour les quatre indicateurs de l'habitat des poissons (figure 7).

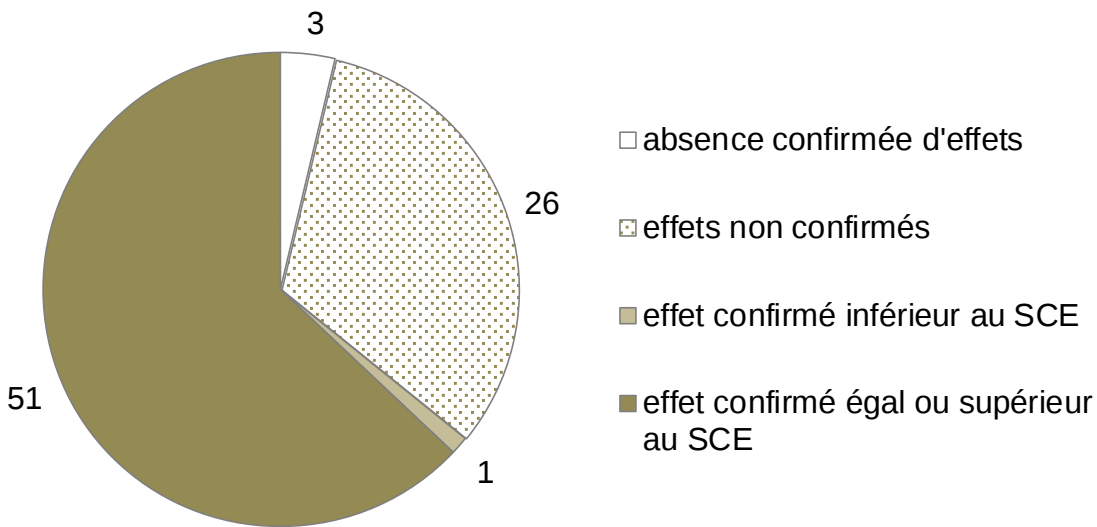


Figure 7. Catégories des effets sur l'habitat des poissons pour les mines ayant effectué au moins deux études

La figure 8 représente les catégories d'effets pour chaque indicateur de l'habitat des poissons, mesurés par les 81 mines ayant effectué au moins deux études sur l'habitat des poissons. Sur les plans de la densité, de la richesse taxonomique et de la régularité, le plus grand nombre de mines se trouve dans la catégorie d'absence confirmée d'effet, suivies par celles ayant des effets non confirmés et celles ayant des effets confirmés. Sur le plan de l'indice de similitude, plus de mines ont rapporté des effets confirmés qu'une absence confirmée d'effet, et la proportion de mines ayant rapporté des effets non confirmés était similaire à celle des trois autres indicateurs. Les effets confirmés sur l'habitat des poissons étaient presque toujours égaux ou supérieurs aux SCE.

Environ la moitié (27/52) des mines ayant rapporté des effets confirmés sur l'habitat des poissons ont rapporté des effets confirmés pour au moins deux indicateurs de l'habitat des poissons, les 25 autres mines ont rapporté un seul effet confirmé sur l'habitat des poissons. Dans le cas de dix-neuf de ces mines, dont douze ont aussi rapporté des effets confirmés sur les indicateurs de la population de poissons, l'indice de similitude (indice de Bray-Curtis) a été l'unique effet confirmé sur l'habitat des poissons. L'analyse comparative décrite à la partie 2.3 a permis de confirmer l'absence de faux positifs dus à l'utilisation de la méthode présentée dans le guide technique des ESEE (Environnement Canada 2012a) pour calculer la signification statistique des différences de l'indice Bray-Curtis observées.

La plupart des effets confirmés sur la richesse taxonomique consistaient en des baisses observées dans la zone d'exposition à l'effluent, alors que les effets confirmés sur la régularité consistaient en un nombre égal de hausses ou de baisses de l'indicateur observées dans la zone d'exposition. Le nombre de mines ayant rapporté une hausse

confirmée de densité dans la zone d'exposition à l'effluent était supérieur à celui des mines ayant rapporté une baisse confirmée de la densité.

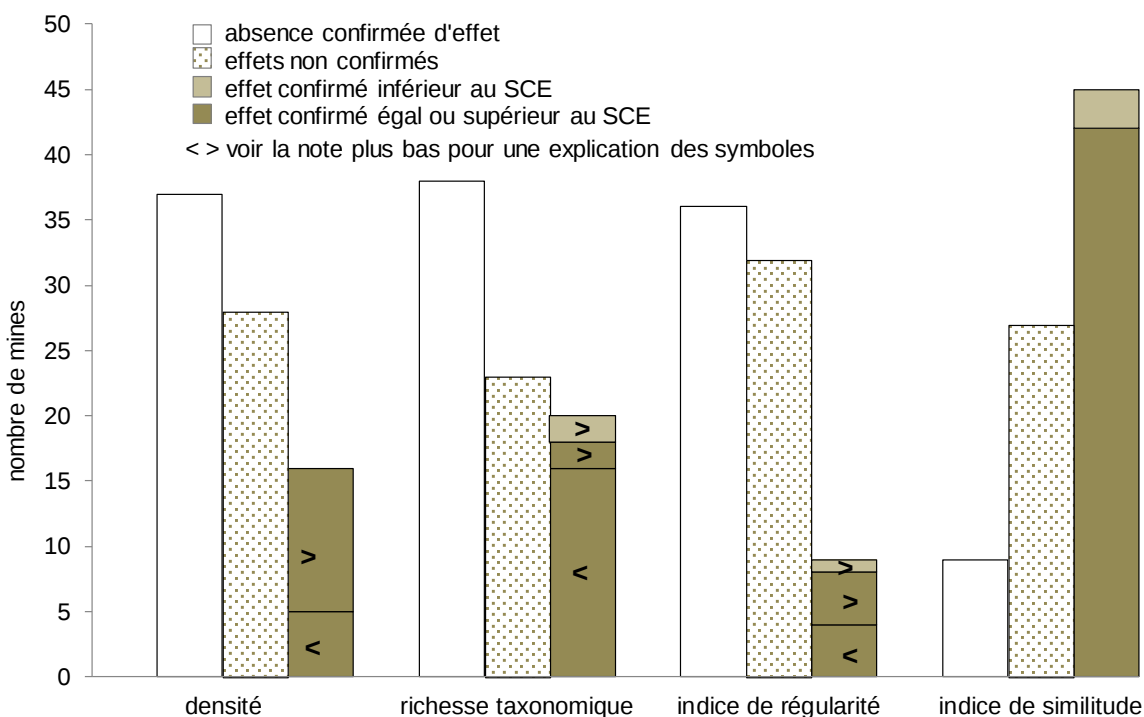


Figure 8. Catégories d'effets pour chaque indicateur de l'habitat des poissons pour les 81 mines ayant effectué au moins deux études sur les habitats des poissons

Note : Les effets ont été dénotés « > » si l'indicateur était plus élevé dans la zone d'exposition que dans la zone de référence et « < » si l'indicateur était plus petit dans la zone d'exposition que dans la zone de référence. L'indice de similitude n'est ni plus petit ni plus grand, mais dénote une divergence non directionnelle. La catégorie « effet confirmé égal ou supérieur au SCE » inclut certaines mines ayant rapporté des effets confirmés d'ampleur variable d'une étude à l'autre (quatre pour la densité, six pour la richesse taxonomique, une pour la régularité et quatorze pour la similitude). Quatre mines n'ont pas pu évaluer la régularité.

Trente-quatre mines ont effectué une seule étude pour évaluer les effets sur l'habitat des poissons et 82 % (28/34) de ces mines ont rapporté des effets. Les trois quarts (21/28) de ces dernières ont rapporté au moins un effet égal ou supérieur au SCE. Six des 34 mines (18%) ont rapporté une absence d'effet sur tous les indicateurs relatifs à l'habitat des poissons (figure 9).

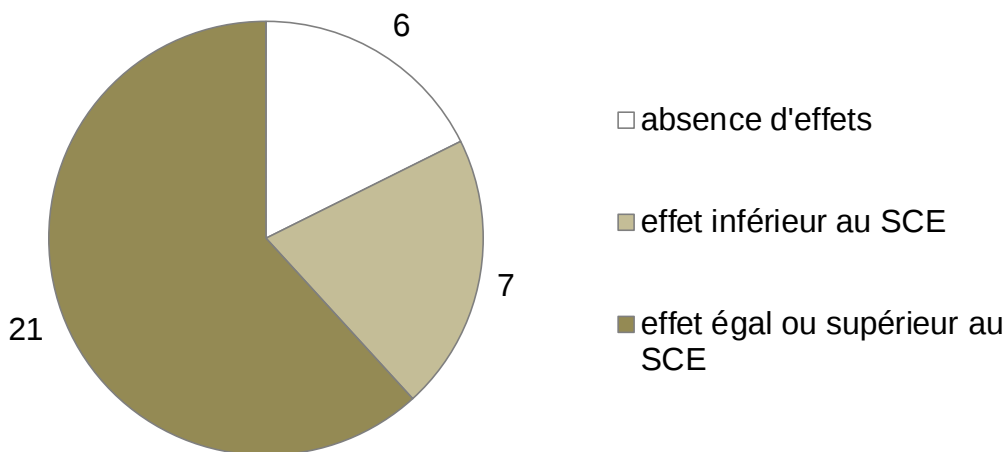


Figure 9. Catégories d'effets sur l'habitat du poisson pour les mines ayant effectué une seule étude.

Les catégories d'effets pour chacun des indicateurs de l'habitat des poissons pour les 34 mines n'ayant réalisé qu'une seule étude sur l'habitat de poissons sont représentées sur la figure 10. La moitié de ces mines ont rapporté un effet sur la densité et 70 % un effet sur l'indice de similitude. Des effets sur la richesse taxonomique et la régularité ont été rapportés par un peu plus d'un quart des mines.

Le plus souvent les effets sur la densité et la richesse taxonomique se sont avérés être une diminution de l'indicateur dans la zone d'exposition par rapport à celui dans la zone de référence. Au chapitre de l'indice de régularité, le nombre de mines ayant rapporté des effets qui avaient une valeur plus basse dans la zone d'exposition que dans la zone de référence était similaire au nombre de mines ayant rapporté des effets observés avec des valeurs plus élevées dans la zone d'exposition que dans la zone de référence. Les calculs relatifs à l'indice de similitude produisent une mesure unidirectionnelle des changements dans la structure de la communauté des invertébrés benthiques.

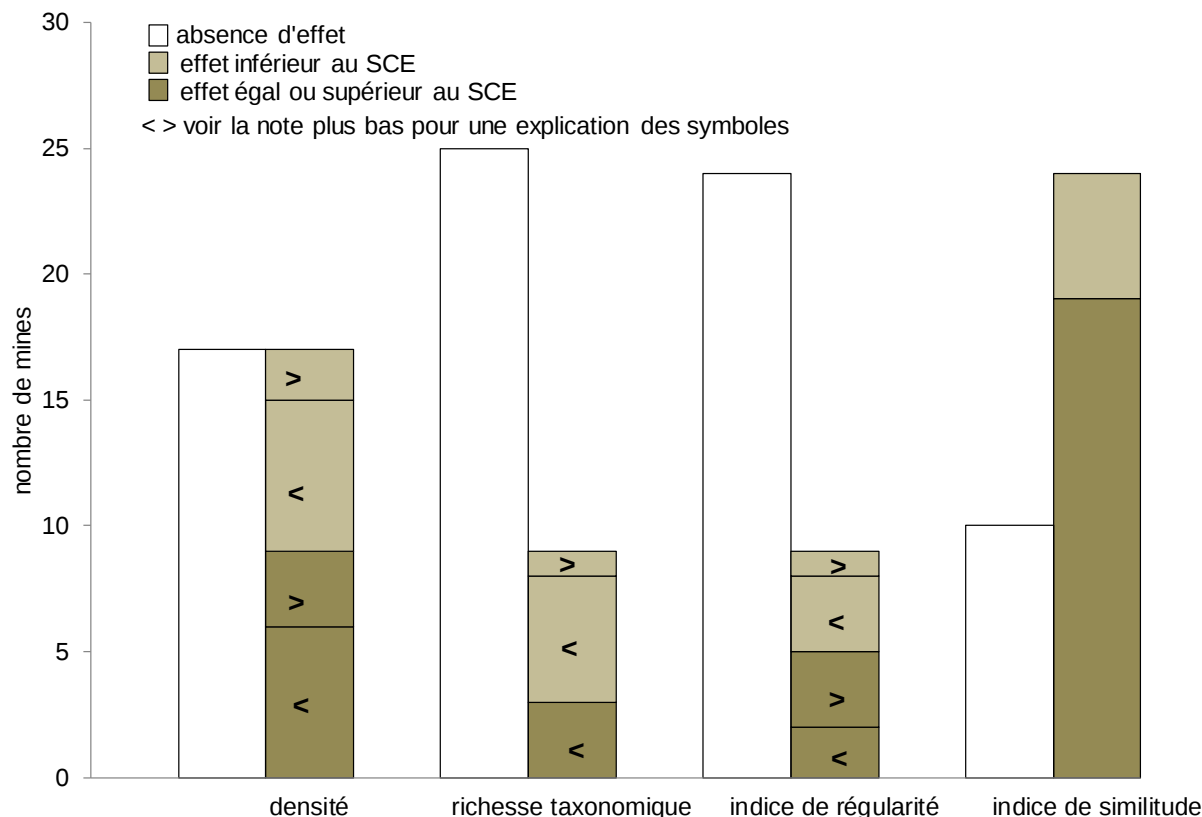


Figure 10. Catégories des effets pour chaque indicateur de l'habitat des poissons pour les 34 mines ayant effectué une seule étude sur l'habitat.

Note : Les effets ont été dénotés « > » si l'indicateur était plus élevé dans la zone d'exposition que dans la zone de référence et « < » si l'indicateur était plus petit dans la zone d'exposition que dans la zone de référence. L'indice de similitude n'est ni plus petit ni plus grand, mais dénote un degré de différence non directionnel. Cinq mines ont réalisé plus d'une étude benthique, mais seuls les résultats d'une étude étaient exploitables. Pour une mine, la catégorie « effets inférieurs au SCE » pour la densité, la richesse taxonomique et la similitude comprend des effets dont l'ampleur par rapport au SCE est inconnue. Pour une des mines, la régularité n'a pas pu être évaluée.

3.4 Effets sur la capacité d'utilisation des ressources halieutiques

L'effet potentiel de l'effluent d'une mine de métaux sur la capacité d'utilisation des ressources halieutique est évalué grâce à une étude sur la concentration de mercure dans les tissus des poissons. Une étude est nécessaire lorsque la concentration de mercure dans l'effluent final est égale ou supérieure à 0,10 µg/L (REMM, annexe 5, article 9).

Depuis 2002, 56 mines ont réalisé 67 études sur la concentration de mercure dans les tissus des poissons. Deux études n'ont pas abouti : dans un cas, on avait analysé des espèces différentes dans la zone d'exposition et la zone de référence, et dans l'autre, l'on n'a pas retrouvé les cages qui contenaient les bivalves exposés à l'effluent. Seize études ont été réalisées sur une base volontaire alors que la concentration de mercure total dans l'effluent était inférieure à 0,10 µg/L. Les raisons pour lesquelles ces études

sur les tissus de poissons ont été réalisées sur une base volontaire incluent : 1) l'étude historique des effets de la mine sur la teneur en mercure des tissus des poissons; 2) le respect d'obligations fixées par les gouvernements des provinces; 3) la participation à des études conjointes organisées par l'Association minière du Québec; 4) l'évaluation proactive des effets potentiels actuels des mines.

Un « effet sur les tissus de poissons » est défini dans le REMM comme une concentration du mercure total supérieure à 0,5 µg/g en poids humide dans les tissus des poissons capturés dans une zone d'exposition, et qui est statistiquement supérieure aux concentrations de mercure total dans les tissus de poissons pêchés dans une zone de référence.

La concentration moyenne totale de mercure dans les poissons a été calculée à partir de données brutes sur la concentration de mercure dans les tissus des poissons soumises par les mines par voie électronique. Nous avons comparé ces moyennes avec les résultats publiés dans l'étude. Lorsque les données électroniques brutes n'étaient pas disponibles, nous avons utilisé les moyennes mentionnées dans les rapports d'étude. La différence statistique entre les concentrations moyennes totales de mercure dans les tissus des poissons pêchés dans la zone d'exposition et la zone de référence a été calculée par les mines et présentée dans les rapports sur leurs études. Les concentrations moyennes de mercure dans les tissus des poissons, déterminées par chaque mine dans la zone d'exposition et la zone de référence et l'espèce de poisson testée sont données dans les figures D1, D2 et D3 de l'Annexe D.

Un effet sur les tissus des poissons au sens du REMM a été rapporté lors d'une étude (figure 11). La mine en question a rapporté que l'effet sur les tissus des poissons s'expliquait par une contamination antérieure dans la zone d'exposition et n'était pas causé par l'effluent actuel de la mine.

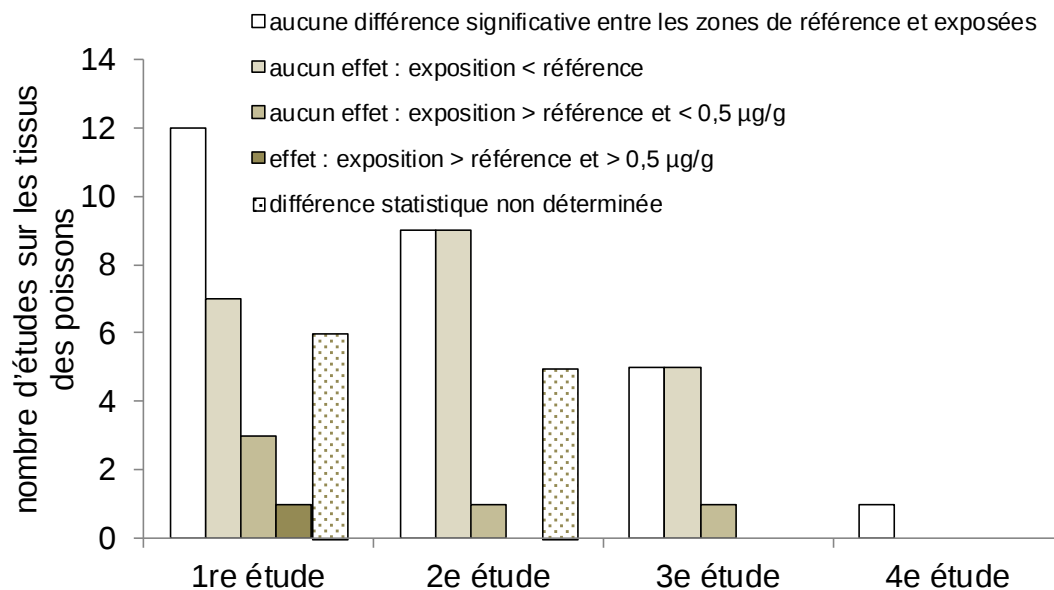


Figure 11. Catégories d'effets pour 65 études sur des tissus de poisson réalisées lors de chaque période d'études de suivi biologique

Note : Onze études n'ont pas déterminé la signification statistique entre les deux zones d'échantillonnage, car les concentrations de mercure total dans les tissus des poissons capturés dans la zone d'exposition étaient plus basses que celles des poissons pêchés dans la zone de référence ou bien les concentrations totales de mercure dans les poissons exposés à l'effluent étaient inférieures au seuil d'effet défini dans le REMM.

4.0 Qualité des effluents

4.1 Essais de toxicité sublétales

En vertu du paragraphe 5(2) de l'annexe 5 du REMM, des essais de toxicité sublétales de l'effluent d'une mine de métaux doivent être réalisés au point de rejet final de la mine présentant le potentiel d'effet néfaste sur l'environnement le plus élevé. Les essais de toxicité sublétales, tout comme la caractérisation de l'effluent et un suivi de la qualité de l'eau⁹, fournissent des renseignements supplémentaires pour les études de suivi biologique, notamment une mesure des variations annuelles de la qualité de l'effluent et une estimation spécifique au site des effets potentiels de l'effluent sur les éléments biologiques de l'environnement récepteur.

Les essais de toxicité sublétales consistent à exposer des organismes à différentes concentrations de l'effluent, en laboratoire. On détermine la concentration d'effluent causant une inhibition de 25 % (CI++25++) sur les organismes testés. La méthode d'essai suivie dicte le paramètre d'inhibition, par exemple l'inhibition de la croissance ou de la reproduction. Une faible valeur de CI₂₅ (par ex., 10 %) indique une toxicité sublétales plus élevée car l'inhibition se produit à une faible concentration de l'effluent.

⁹ Les données sur le suivi de la qualité de l'eau ne sont pas résumées dans le présent document.

Inversement, une valeur plus élevée de CI_{25} indique une toxicité sublétales plus faible. Une valeur rapportée $\geq 100\%$ ¹⁰ signale que l'effluent est non toxique pour l'effet sublétales considéré pour l'organisme testé.

Les mines doivent réaliser les essais de toxicité sublétales à deux reprises pendant une année civile pendant les trois premières années et une fois par an par la suite. Les essais sont réalisés en suivant des méthodes normalisées mentionnées dans le REMM (article 5 de l'annexe 5). Plusieurs essais différents sont exigés, dont un essai de développement aux premiers stades de vie chez les poissons, un essai de reproduction d'un invertébré et des essais d'inhibition de la croissance de plantes et d'algues.

Nous avons compilé les résultats des essais de toxicité sublétales effectués pendant les dix premières années de l'application du REMM, afin d'évaluer les tendances relatives à la qualité de l'effluent que présente le présent document. Nous avons étudié la toxicité sublétales de toutes les mines collectivement et celle des mines de différents minéraux : métaux précieux (or, argent), métaux de base (cuivre, zinc, nickel, etc.), uranium, fer et autres types de minerai (par ex., tantale, titane, tungstène). Ces tendances ont été analysées sur une période de 10 ans, de 2003 à 2012. Au cours de cette période, 125 mines ont soumis les résultats de 6761 essais.

Pour chaque année, nous avons calculé les moyennes géométriques annuelles¹¹ de la CI_{25} pour toutes les mines combinées et pour chaque type de minerai. Les valeurs annuelles des CI_{25} ont été réparties en trois catégories de TSL : fortement toxique ($CI_{25} \leq 20\%$), faiblement toxique ($20\% < CI_{25} < 100\%$) et non toxique ($CI_{25} \geq 100\%$). Dans l'Annexe E, nous présentons les moyennes géométriques et les CI_{25} en pourcentage pour chaque catégorie de TSL et pour chaque année, pour les cinq essais réalisés en eau douce. Dans l'Annexe F, nous présentons les moyennes géométriques annuelles de la CI_{25} pour chaque type de minerai pour les essais de toxicité sublétales réalisés en eau douce.

4.1.1 Toxicité sublétales des effluents miniers

À l'exception de l'essai d'inhibition de la croissance des algues, la toxicité sublétales globale de l'effluent minier est restée stable de 2003 à 2012 (figure 12). L'inhibition de la croissance des algues a diminué de 2007 à 2011, tel qu'indiqué par des augmentations des moyennes géométriques de la CI_{25} et des diminutions de la proportion de résultats de « haute toxicité » ($CI_{25} \leq 20\%$) (figure E4). Les résultats des essais de toxicité sublétales pour la croissance larvaire des poissons (*Pimephales promelas*), la reproduction des invertébrés (*Ceriodaphnia dubia*) et la croissance des

¹⁰ Les essais d'inhibition de la croissance n'indiquent aucune toxicité pour les plantes et les algues avec respectivement des $CI_{25} \geq 91\%$ et $\geq 97\%$, car les méthodes d'essais exigent l'ajout de nutriment qui conduit à une dilution de l'effluent.

¹¹ La moyenne géométrique est la racine n -ième du produit de n nombres. La moyenne géométrique, par opposition à la moyenne habituelle, est la statistique recommandée pour présenter des données sur la TSL, car elle est moins influencée par les valeurs extrêmes.

plantes (*Lemna minor*) montrent des variations annuelles, mais aucune tendance solide avec le temps (figure 12).

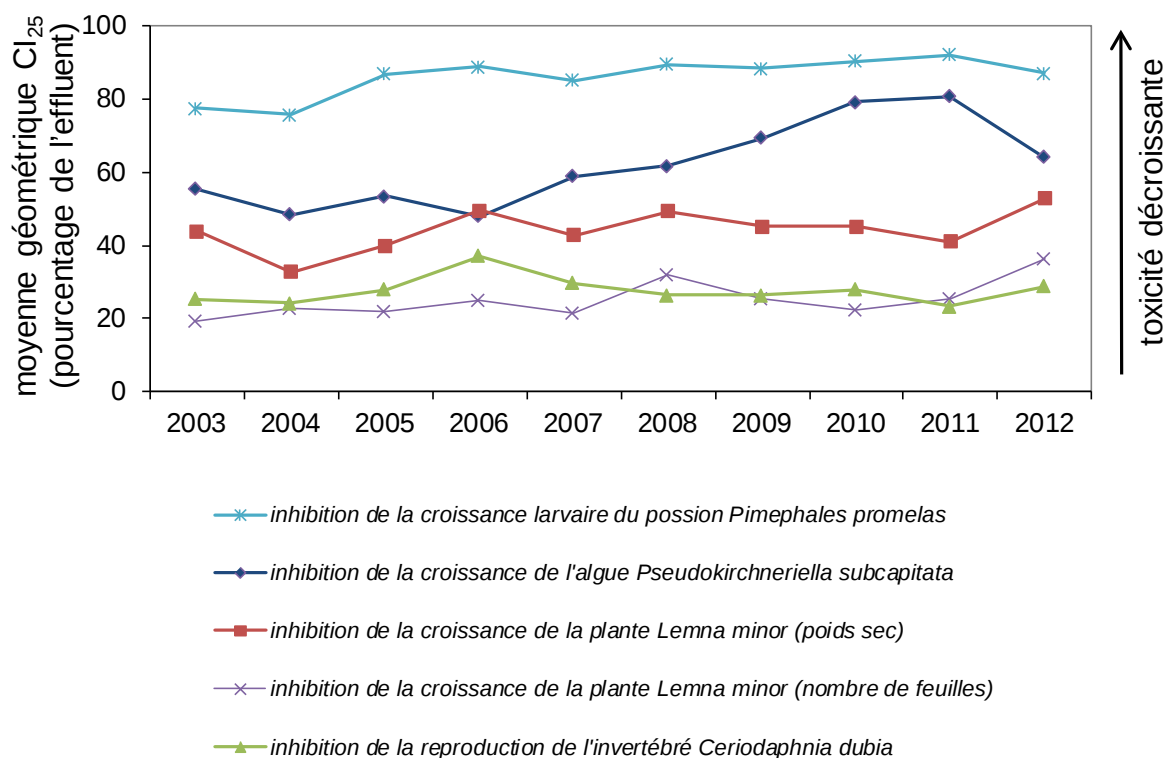


Figure 12. Moyenne géométrique annuelle de la CI_{25} (pourcentage dans l'effluent en volume) pour toutes les mines, pour chaque essai de TSL en eau douce

Note : gammes des nombres d'essais réalisés par année : *Pimephales promelas*, $n = 111-140$; *Pseudokirchneriella subcapitata*, $n = 119-152$; *Lemna minor* (poids sec), $n = 117-142$; *Ceriodaphnia dubia*, $n = 121-155$; *Lemna minor* (nombre de feuilles), $n = 116-145$.

Les tendances de la toxicité sublétales des effluents étaient plus variables pour différents types de minerais, probablement en raison de la taille plus petite de la base de données pour chaque type de minerai (figures F1 à F5). Pour les mines de métaux de base et de métaux précieux, les résultats sur la croissance des algues montrent une baisse de la toxicité de 2007 à 2011 et une hausse en 2012. Bien que certaines tendances puissent apparaître pour l'uranium, le fer et d'« autres » types de minerais, on devrait les interpréter avec précaution étant donné la petitesse des bases de données.

Pour les lieux où le *Pimephales promelas* (tête-de-boule) n'est pas une espèce indigène, un essai analogue a été effectué sur la truite arc-en-ciel (*Oncorhynchus mykiss*). Entre 2003 et 2012, huit mines de métaux de base et deux mines de métaux précieux ont soumis des résultats de TSL obtenus lors d'essais réalisés sur la truite arc-en-ciel. Ces mines sont surtout situées dans l'Ouest canadien. Dans le cas des mines de métaux de base, les valeurs de la CI_{25} allaient de 54 à 100 %, et dans 62 % des essais aucune toxicité sublétales ($CI_{25} \geq 100$ %) n'a pu être observée. Les 22 essais

réalisés par des mines de métaux précieux n'ont révélé aucune toxicité sublétales ($CI_{25} \geq 100\%$) pour la truite arc-en-ciel.

Les mines qui rejettent leur effluent dans un milieu marin ou estuarien doivent réaliser des essais de TSL sur des organismes marins en suivant des méthodes différentes de celles suivies pour les essais en eau douce. Deux mines de métaux de base ont réalisé des essais de TSL. Les CI_{25} pour le clypéastre (oursin plat) allaient de 4 à 18 %, alors que celles de l'oursin allaient de 10 à $\geq 100\%$, celles de la macroalgue rouge de 4 à 56 %, celles de la capucette barrée de 67 à 73 % et celles de la capucette *Menidia beryllina* de 16 à $\geq 100\%$. Aucune tendance de la toxicité sublétales avec le temps n'était apparente pour ces deux mines.

4.1.2 Sensibilité des essais de toxicité sublétales

La concentration de l'effluent à laquelle survient l'inhibition dépend du choix de l'essai normalisé. On considère que l'essai qui déclenche l'inhibition avec la plus faible concentration d'effluent est le plus sensible. On peut comparer les résultats obtenus avec un type d'essai à ceux obtenus lors d'autres essais réalisés avec le même échantillon d'effluent pour évaluer la sensibilité relative. Il est important de faire un suivi de la sensibilité des essais de TSL pour s'assurer que les essais réalisés sont toujours pertinents pour l'effluent évalué (par ex., les espèces qui ne donnent jamais de réponse pourraient, à l'avenir, être retirées des essais exigés). Les changements de la qualité de l'effluent au cours du temps sont mieux évalués au moyen d'essais sensibles. La sensibilité de chaque essai par rapport à celle d'autres essais peut aider à prédire la substance toxique dominante. Les poissons, par exemple, sont réputés être plus sensibles à l'ammoniac (qui leur est toxique) que les invertébrés, alors que ces derniers sont souvent plus sensibles aux métaux. Pour toutes les mines, les moyennes géométriques annuelles de la CI_{25} et la proportion d'essais indiquant l'absence d'une toxicité sublétales sont une indication de la sensibilité de chaque essai (figures E1 à E5).

Les essais les plus sensibles aux effluents étaient ceux sur l'inhibition de la reproduction des invertébrés et la croissance des plantes (nombre de feuilles), pour lesquels les moyennes géométriques annuelles de la CI_{25} se situaient dans la gamme de ~ 20 à 40 %. L'essai d'inhibition de la croissance des plantes (poids sec de feuilles) était légèrement moins sensible, avec des moyennes géométriques annuelles de la CI_{25} situées entre ~ 40 et 50 %, suivi de l'essai d'inhibition de la croissance des algues, pour lequel une gamme plus large de moyennes géométriques annuelles de la CI_{25} est obtenue, de ~ 50 à 80 %. Avec des moyennes géométriques annuelles de la CI_{25} entre ~ 80 et 90 %, l'essai d'inhibition du développement larvaire du poisson était le moins sensible. Nous avons trouvé que la sensibilité relative de ces différents essais était la même en comparant la proportion d'essais qui indiquaient l'absence de toxicité sublétales. Ces résultats corroborent les conclusions de la Deuxième évaluation nationale (Environnement Canada 2012b), indiquant que la sensibilité relative des essais de TSL aux effluents miniers est demeurée constante pendant les dix premières années d'essai.

Les essais de TSL les plus sensibles parmi les types de minerais (métaux précieux et métaux de base) pour lesquels nous disposons de grandes bases de données sont (figures E1 et E2) les essais d'inhibition de la reproduction des invertébrés et de la croissance des plantes (nombre de feuilles). Les données pour les mines d'uranium et des autres minerais sont plus variables, ainsi les essais d'inhibition de la reproduction des invertébrés et de la croissance des plantes (nombre de feuilles et poids sec) semblent être les essais les plus sensibles et l'essai d'inhibition du développement des premiers stades de vie chez les poissons le moins sensible (figures E3 et E4). Nous n'avons pas trouvé de différences uniformes de la sensibilité des essais pour les mines de fer (figure E5).

4.1.3 Stimulation lors des essais d'inhibition de la croissance des algues et des plantes

Les méthodes suivies pour les essais d'inhibition de la croissance des algues et des plantes requièrent que l'occurrence de la stimulation de la croissance soit rapportée. On appelle stimulation une augmentation de la croissance des organismes testés après exposition à l'effluent par rapport à celles de témoins. Si la stimulation à basse concentration est suivie d'une réponse inhibitrice à plus forte concentration, cette stimulation à basse dose pourrait être liée à la réponse d'un organisme à de faibles concentrations d'une substance toxique. Ce processus s'appelle l'hormèse. Si l'effet stimulant est observé pour toutes les concentrations d'effluent ou augmente avec la concentration de l'effluent, les résultats pourraient indiquer un effet d'enrichissement lié à une plus grande disponibilité de nutriments plutôt qu'à l'hormèse.

De 2010 à 2012, on a signalé une stimulation lors de 55 % des essais de croissance des algues et 19 % des essais d'inhibition de la croissance des plantes. La stimulation semble être plus fréquente pour les mines de métaux de base ou de métaux précieux que pour les autres types de minerais, notamment dans le cas de l'essai d'inhibition de la croissance des plantes (tableau 1).

Tableau 1. Occurrence de la stimulation lors des essais de toxicité sublétales portant sur l'inhibition de la croissance des algues et des plantes (2010-2012)

Essais	Minerai	Pourcentage d'essais avec stimulation	Nombre total d'essais réalisés
Inhibition de la croissance des plantes Nombre de feuilles de <i>Lemna minor</i>	Métaux de base	26	135
	Métaux précieux	19	177
	Minerai de fer	6	31
	Autre	5	19
	Uranium	0	23
	Total	19	385
Inhibition de la croissance des algues <i>Pseudokirchneriella subcapitata</i>	Métaux de base	67	144
	Métaux précieux	53	180
	Autre	42	19
	Uranium	42	26
	Minerai de fer	29	34
	Total	55	403

Les résultats globaux de stimulation présentés ici comprennent les deux types de stimulation observés — l'hormèse et l'effet d'enrichissement — et surestiment donc probablement l'effet de l'enrichissement. Des résultats d'essais supplémentaires sont nécessaires pour pouvoir distinguer ces types de stimulation.

4.2 Caractérisation des effluents

La caractérisation des effluents est réalisée en analysant un échantillon d'effluent prélevé à chaque point de rejet final pour déterminer les concentrations des contaminants potentiels dans les effluents miniers. La concentration moyenne annuelle de chacune des neuf substances mentionnées à l'article 4 de l'annexe 5 du REMM a été calculée pour deux groupes différents de points de rejet final. Le premier groupe concerne les points de rejet final associés aux études de suivi biologique et le deuxième tous les autres points de rejet final. Nous présentons ces moyennes annuelles et donnons un aperçu général de la chimie des effluents à l'Annexe G.

5.0 Études de suivi biologique sur les effets observés

Les études de suivi biologique conçues pour évaluer et confirmer des effets sont habituellement réalisées dans la zone proche, c'est-à-dire dans une zone de forte concentration de l'effluent située à proximité du point de rejet. Lorsque les effets sont confirmés et que les résultats des études de suivi antérieures n'indiquent pas l'ampleur et l'étendue géographique des effets confirmés, les mines doivent effectuer un suivi biologique à un ou plusieurs lieux de prélèvement supplémentaires dans la zone d'exposition [REMM, annexe 5, alinéa 19(1) d)]. Le Guide technique pour l'ESEE des mines de métaux (Environnement Canada 2012a) recommande que les études sur l'ampleur et l'étendue géographique soient réalisées dans une zone à faible concentration d'effluent, près de la limite en aval de la zone de mélange de l'effluent, appelée « zone éloignée ».

Une fois l'ampleur et l'étendue géographique des effets confirmés déterminées, les mines doivent effectuer des recherches sur les causes, qui comprennent des expériences sur le terrain et en laboratoire conçues pour établir la cause de ces effets. Les résultats des études de l'ampleur et de l'étendue et des recherches des causes sont résumés dans les deux prochaines sections, et les résultats, mine par mine, de ces études poussées sont donnés à l'Annexe H.

5.1 Études de l'ampleur et de l'étendue géographique

Vingt-neuf mines ont réalisé 27 études de l'ampleur et de l'étendue géographique¹². Treize mines ont évalué l'ampleur et l'étendue pendant des études de suivi biologique pour évaluer les effets (c.-à-d. avant la confirmation des effets) et 15 mines ont réalisé des études sur l'ampleur et l'étendue une fois les effets confirmés. Une mine a évalué l'ampleur et l'étendue des effets sur les organismes benthiques et les poissons dans des phases distinctes (respectivement avant et après la confirmation des effets). Onze autres mines pour lesquelles des effets ont été confirmés n'ont pas prélevé d'échantillons dans leur zone éloignée à des fins d'évaluation de l'ampleur et de l'étendue en raison de la présence de facteurs confondants dans l'environnement récepteur ou parce qu'elles pouvaient déjà déterminer l'ampleur et l'étendue à partir de données existantes. Les zones éloignées échantillonnées pour évaluer l'ampleur et l'étendue des effets confirmés dans les zones d'exposition proches se situaient entre 200 m et 60 km en aval des points de rejet de l'effluent minier (figures 13a et 13b)¹³.

Des 29 mines ayant prélevé des échantillons en zone éloignée, 86 % (25/29) ont signalé au moins un effet de même nature qu'un effet confirmé dans la zone d'exposition proche. Vingt-cinq mines ont évalué l'ampleur et l'étendue de plusieurs

¹² Ce sont des études de l'ampleur et de l'étendue dans lesquelles on a fait des prélèvements dans les zones éloignées. Quatre mines ont évalué l'ampleur et l'étendue lors de deux études conjointes.

¹³ Les distances sont des approximations tirées des cartes de la région étudiée. Plusieurs mines ont échantillonné plusieurs zones éloignées. La distance depuis le point de rejet de l'effluent était basée sur la zone éloignée la plus proche, sauf dans les cas où des zones plus en aval convenaient mieux à une évaluation de l'ampleur et de l'étendue.

effets confirmés et 56 % (14/25) de celles-ci ont rapporté plusieurs effets dans la zone éloignée identiques à ceux confirmés dans la zone proche. Les effets dans la zone éloignée identiques à ceux confirmés dans les zones proches ont été observés plus fréquemment pour les habitats des poissons que pour les poissons eux-mêmes. Nous n'avons pas relevé de relations entre l'occurrence d'effets en zone éloignée et la distance depuis le point de rejet de l'effluent minier.

Dans le cas des populations de poisson, quatorze mines ont évalué l'ampleur et l'étendue des effets confirmés dans les zones éloignées (figure 13a). Dix de ces mines (71 %) ont observé au moins un effet dans les zones éloignées identique à l'effet confirmé dans la zone proche, trois de celles-ci ayant observé plusieurs effets identiques à ceux confirmés en zone proche. Quatre mines n'ont pas retrouvé dans leur zone éloignée, les effets confirmés en zone proche.

Dans le cas de l'habitat des poissons, 28 mines ont analysé l'ampleur et l'étendue des effets confirmés (figure 13b). Vingt (71 %) de ces mines ont rapporté au moins un effet sur l'habitat des poissons en zone éloignée identique à l'effet confirmé en zone proche. De celle-là, dix ont rapporté plusieurs effets identiques à ceux confirmés en zone proche. Finalement, huit mines n'ont pas observé en zone éloignée l'effet confirmé observé en zone proche.

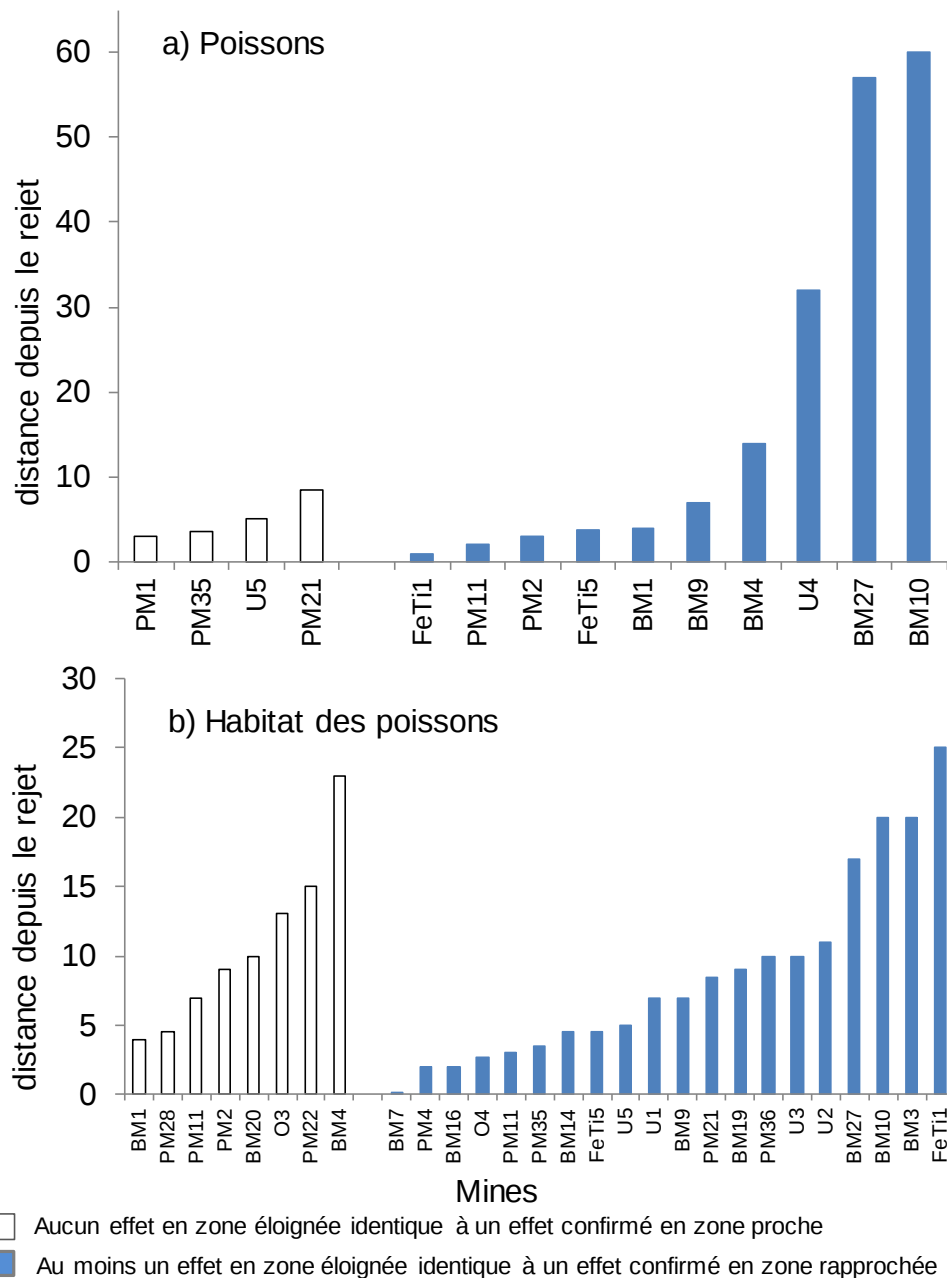


Figure 13. Distance entre le point de rejet de l'effluent minier et la zone d'échantillonnage éloignée pour les mines ayant réalisé des études sur l'ampleur et l'étendue des effets sur a) les poissons et b) l'habitat des poissons.

À la figure 14, nous rapportons pour chaque indicateur de populations de poissons le nombre d'effets confirmés sur les poissons en zone proche dont on a évalué l'ampleur et l'étendue et le nombre d'effets identiques également observés en zone éloignée. Des 51 effets confirmés sur les poissons en zone proche, 31 % (16/51) ont aussi été observés en zone éloignée. Les effets sur les poissons les plus fréquemment observés dans les zones proches et éloignées sont une détérioration de 'condition, une

croissance moindre et une baisse du poids des gonades (reproduction). Une hausse de la survie, une détérioration de la taille relative du foie et une augmentation du poids des gonades (reproduction) n'ont pas été observées en zone éloignée. Soixante-neuf pour cent (35/51) des effets confirmés sur les poissons en zone proche étaient d'un niveau égal ou supérieur au SCE¹⁴, alors que 44 % (7/16) des effets l'étaient en zone éloignée.

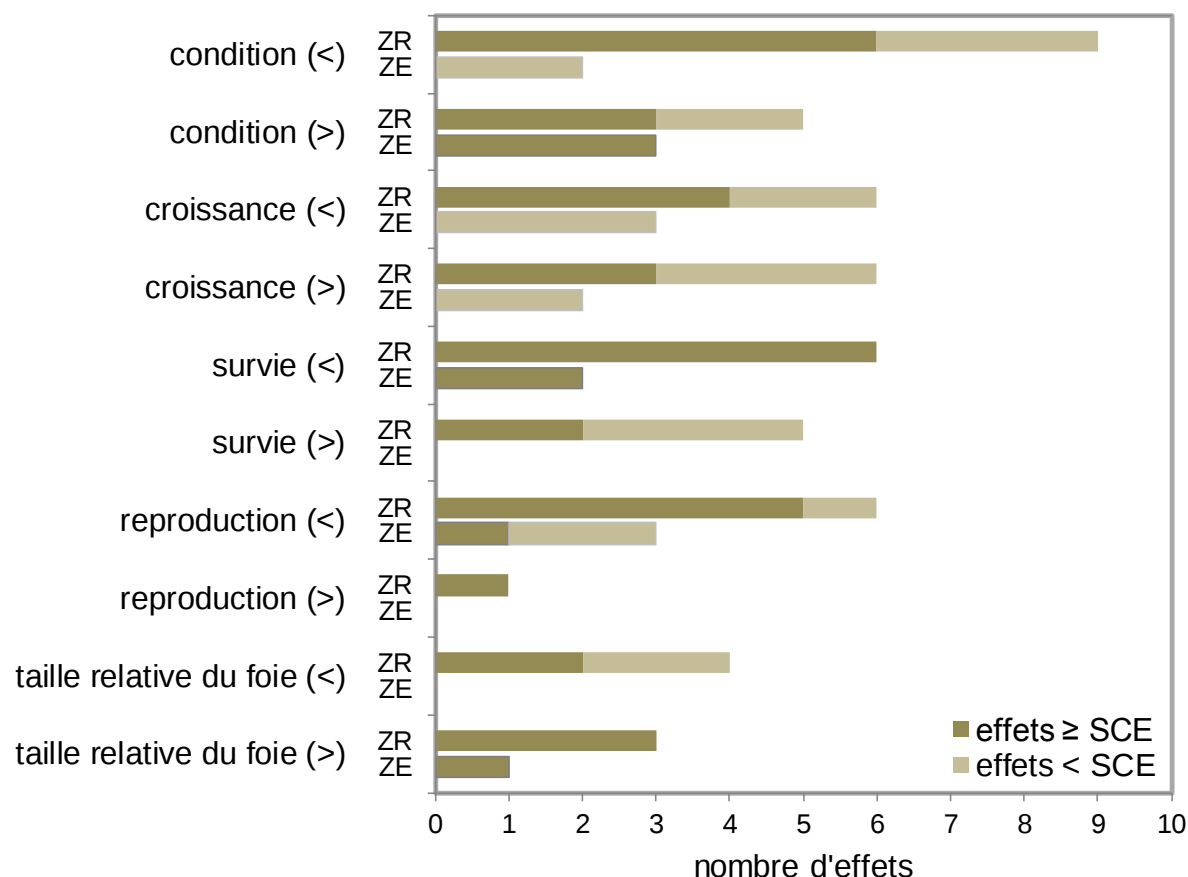


Figure 14. Nombre d'effets confirmés en zone proche et d'effets identiques en zone éloignée rapportés lors des études sur l'étendue géographique et l'ampleur des effets sur les populations de poissons.

Note : Les effets ont été dénotés « > » si l'indicateur était plus élevé en zone d'exposition qu'en zone de référence et « < » si l'indicateur était plus petit en zone d'exposition qu'en zone de référence.

La figure 15 représente, pour chaque indicateur de l'habitat des poissons, le nombre d'effets confirmés dans la zone proche dont l'ampleur et l'étendue géographique ont été évaluées et le nombre d'effets identiques qui ont aussi été observés dans la zone éloignée. Des 56 effets confirmés en zone proche, 55 % (31/56) ont été observés dans la zone éloignée. L'effet sur l'habitat des poissons le plus fréquemment observé à la fois en zone proche et en zone éloignée est un effet sur la structure de la communauté benthique (indice de similitude), suivi des effets de densité accrue et une baisse de la

¹⁴ Pour au moins une étude.

richesse taxonomique. Vingt pour cent (1/5) des baisses confirmées de la densité ont également été observées en zone éloignée, et l'unique effet confirmé de l'accroissement de la richesse a également été observé en zone éloignée. Les effets confirmés dans la zone proche sur la régularité n'ont pas été observés dans la zone éloignée.

Quatre-vingt-treize pour cent (52/56) des effets sur l'habitat des poissons confirmés dans les zones proches étaient égaux ou supérieurs au SCE¹⁵, et 87 % (27/31) l'étaient en zone éloignée. Des quatre effets confirmés en zone proche inférieurs au SCE, trois ont également été observés en zone éloignée, mais avec une ampleur égale ou supérieure au SCE.

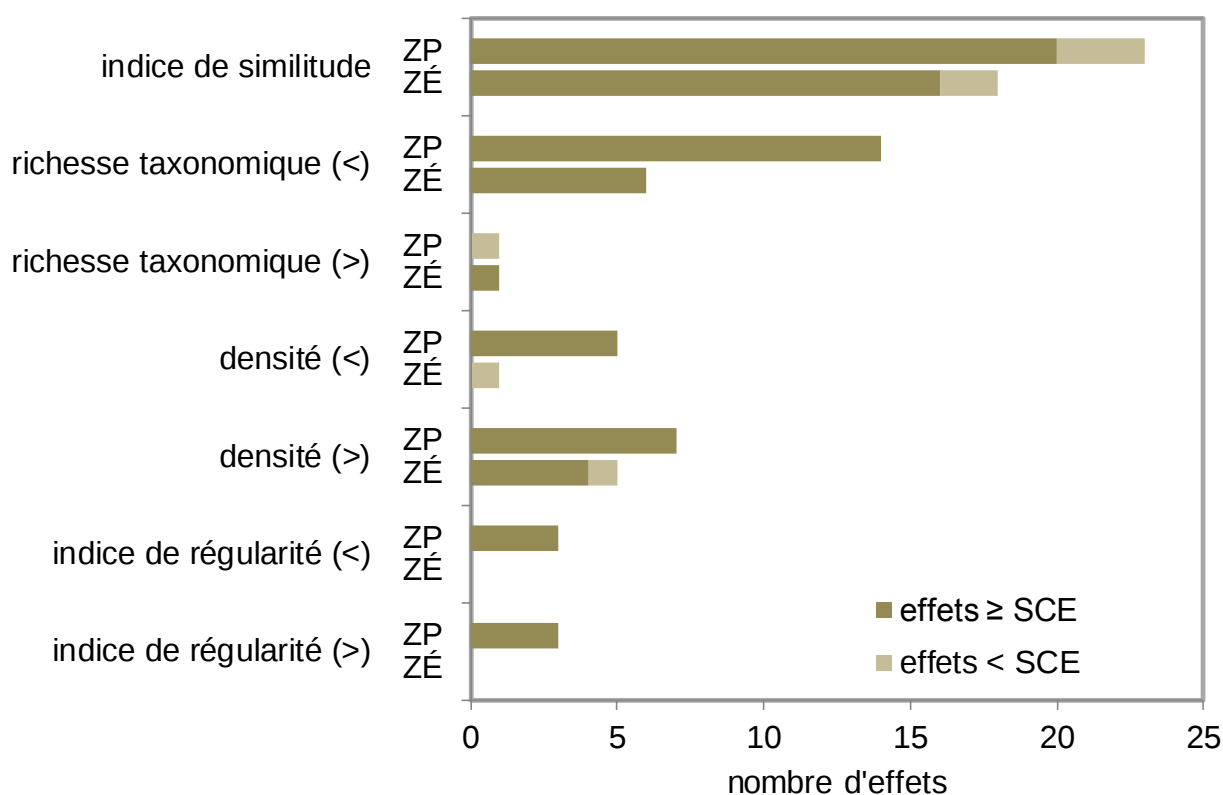


Figure 15. Nombre d'effets confirmés sur l'habitat des poissons en zone proche (ZP) et d'effets identiques en zone éloignée (ZÉ), observés lors des études sur l'ampleur et l'étendue géographique.

Note : les effets ont été dénotés « > » si l'indicateur était plus élevé en zone d'exposition qu'en zone de référence et « < » si l'indicateur était plus petit en zone d'exposition qu'en zone de référence.

¹⁵ Dans au moins une étude.

5.2 Études sur l'origine des causes

Avant juin 2014, trente-cinq mines avaient entrepris des recherches des causes¹⁶. D'entre elles, 26 ont terminé leurs recherches des causes, 18 grâce à une étude sur trois ans¹⁷ et les 8 autres grâce à deux études consécutives sur trois ans. Neuf mines effectuent actuellement une recherche des causes, chacune ayant terminé la première des deux études sur trois ans.

Vingt-six mines ont réalisé des recherches des causes qui ont conduit à recueillir de nouvelles données grâce à des études sur le terrain et/ou en laboratoire. Neuf mines ont réalisé leur recherche des causes à partir de renseignements existants. Ces dernières, soit réalisaient la première des deux études sur trois ans (cinq mines), soit étudiaient des effets pour lesquels les données existantes étaient considérées suffisantes pour identifier les causes (quatre mines).

Les effets confirmés visés par ces recherches sont :

- les effets sur les poissons et leur habitat (18 mines)
 - o effets multiples sur les poissons et leur habitat (14 mines)
 - o effets multiples sur les poissons et effet unique sur l'habitat des poissons (4 mines)
- les effets sur les poissons seulement (5 mines)
 - o effets multiples sur les poissons (2 mines)
 - o effet unique sur les poissons (3 mines)
- les effets sur l'habitat des poissons seulement (12 mines)
 - o effets multiples sur l'habitat des poissons (2 mines)
 - o effet unique sur l'habitat des poissons (6 mines)

Les effets peuvent être qualifiés d'inhibiteurs ou de stimulants. On considère que l'effet est stimulant lorsque l'indicateur mesuré est plus élevé dans la zone d'exposition que dans la zone de référence. Un effet est considéré inhibiteur lorsque l'indicateur mesuré est plus petit dans la zone d'exposition que dans la zone de référence. Des trente-cinq mines ayant effectué des recherches de causes, dix-sept ont étudié des effets principalement inhibiteurs, sept des effets principalement stimulants et onze un mélange d'effets inhibiteurs et stimulants.

Des 26 mines ayant terminé des recherches sur les causes, 77 % (20/26) ont identifié au moins une cause liée à l'effluent actuel de la mine, 14 d'entre elles ont identifié plusieurs causes potentielles, dont des causes liées et d'autres sans rapport à l'effluent minier actuel. Deux mines ont identifié des substances présentes dans leur effluent comme cause, mais n'ont pas indiqué si leur effluent actuel en était la source. Quatre mines ont identifié des causes liées à des facteurs autres que l'effluent minier, par exemple des différences naturelles entre les habitats dans la zone d'exposition et dans la zone de référence ou des sources d'effluent associées à une activité minière antérieure et des régions urbaines.

¹⁶ Ce nombre inclut sept mines ayant participé à trois études conjointes, ce qui se traduit par 31 études.

¹⁷ Ces études triennales sont appelées « phases ».

Les causes primaires et possibles liées à l'effluent minier actuel mentionnées dans les rapports sur les recherches des causes comprennent des ions principaux, la présence de métaux dans l'effluent minier ou les sédiments, des composés azotés, la sédimentation ou les solides totaux en suspension, le phosphore, l'effluent minier en général et le sélénium (figure 16).

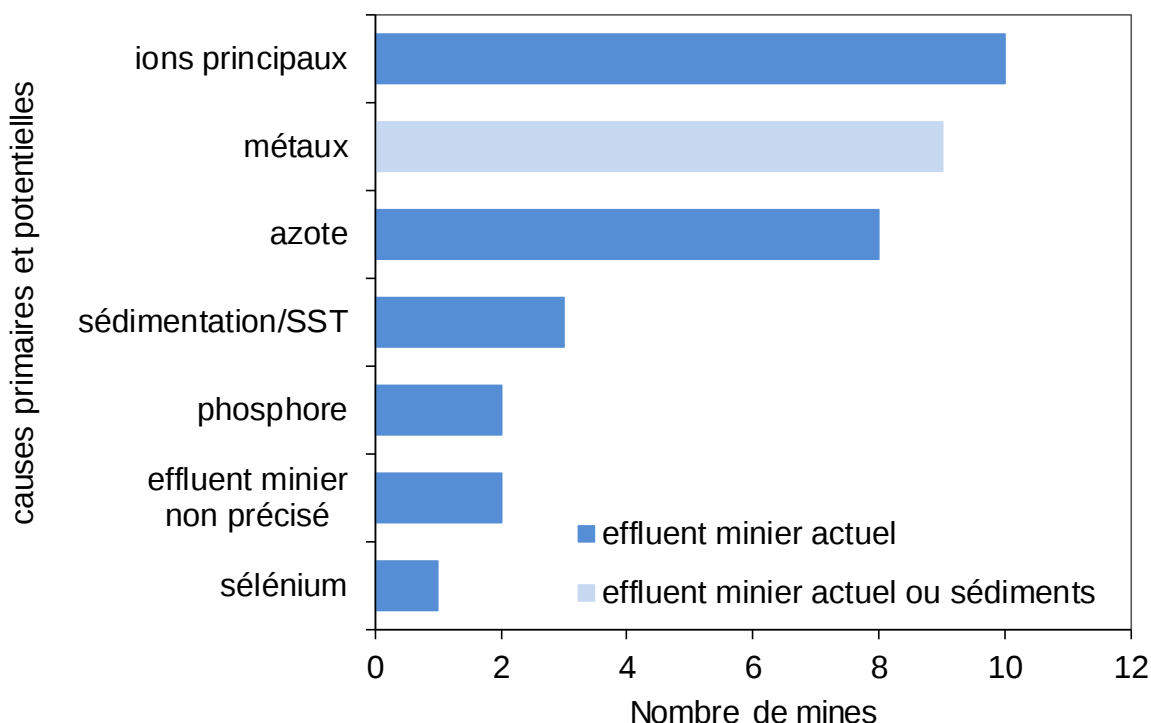


Figure 16. Causes primaires et potentielles liées à l'effluent minier actuel, identifiées par vingt mines ayant terminé des recherches de causes.

Parmi les ions principaux présents dans l'effluent minier identifiés lors de recherches des causes comme contribuant aux effets, on retrouve les ions chlorures, sulfates, du sodium, du calcium et du potassium. Le plus souvent, les ions principaux étaient associés à des effets stimulants, certaines études suggérant qu'ils contribuaient à l'enrichissement en nutriments, alors qu'il a aussi été rapporté que les ions principaux étaient la cause d'effets inhibiteurs. Dans un cas, les effets inhibiteurs liés aux ions majeurs découlaient d'une augmentation de la concentration des solides dissous totaux dans l'eau du lac, réduisant le mélange des eaux lacustres et provoquant une baisse de la concentration d'oxygène dissous au fond du lac. Dans un autre cas, la toxicité du chlorure et de la salinité ont été recensées parmi d'autres causes possibles d'effets inhibiteurs.

Les métaux identifiés comme cause des effets comprennent le cuivre, le nickel, le cadmium et le zinc, bien que certaines études n'aient pas identifié des métaux

individuellement. Le sélénium, un non métal, a été mentionné avec d'autres métaux comme cause lors d'une étude terminée et comme contaminant préoccupant lors d'une étude en cours. Parmi d'autres métaux et non métaux observés à des concentrations élevées dans l'environnement récepteur¹⁸, on retrouve l'aluminium, l'arsenic, le chrome, le cobalt, le fer, le plomb, le manganèse, le molybdène, le nickel, le strontium et l'uranium.

Une des mines ayant achevé des recherches de causes a identifié son effluent minier actuel comme principale source de métaux causant des effets. Huit mines ont indiqué que les sources de métaux pourraient comprendre l'effluent minier actuel et/ou les sédiments. Des concentrations élevées de métaux dans les sédiments pourraient avoir été causées par les rejets actuels de l'effluent minier ou des activités anciennes de la mine (rejet de l'effluent et/ou élimination des résidus avant la mise en application du REMM). Le plus souvent, des métaux ont été identifiés comme la cause d'effets inhibiteurs plutôt que d'effets stimulants.

Des composés azotés, principalement l'ammoniac et les nitrates, ont été associés à la fois des effets stimulants et à des effets inhibiteurs. Plusieurs mines ont indiqué que des concentrations élevées d'ammoniac et de nitrate dans l'effluent minier découlaient de l'emploi d'explosifs pour l'exploitation minière. Des effets stimulants ont été attribués principalement à l'enrichissement en nutriments, alors que certaines études ont suggéré qu'un effet inhibiteur pourrait être lié à un enrichissement en nutriments ou à des effets toxiques des composés azotés. On a déterminé que de fortes concentrations de phosphore dans l'effluent minier étaient la cause principale des effets stimulants observés pour deux mines. Dans les deux cas, les effets ont été attribués à l'enrichissement en nutriments.

Trois mines ont déterminé que les solides en suspension totaux ou la sédimentation liés au rejet de l'effluent minier actuel étaient les causes primaires ou partielles; tous avaient des effets surtout inhibiteurs. L'une de ces mines a indiqué que le dépôt de solides provenant des mines était nocif pour les habitats benthiques, alors que les études réalisées par les deux autres mines ont suggéré que les solides en suspension totaux pourraient contribuer à l'enrichissement en nutriments, en dépit des observations d'effets inhibiteurs sur les indicateurs liés à l'habitat des poissons et aux poissons.

Les causes potentielles identifiées à des fins de recherches supplémentaires par les neuf mines effectuant actuellement des recherches de causes en cours comprennent les métaux dans l'effluent minier ou les sédiments (7), les composés azotés dans l'effluent minier (4) les facteurs non liés à la mine (2), le sélénium dans l'effluent minier (2) et les ions principaux dans l'effluent minier (1)¹⁹.

¹⁸ Réfère à des concentrations élevées dans l'eau ou les sédiments relativement aux directives sur la qualité de l'eau et des sédiments et (ou) les zones de référence.

¹⁹ Comprend deux études conjointes. Dans chaque étude, les mêmes effets confirmés ont été examinés par deux mines.

6.0 Constatations clés

Prévalence des effets

La plupart des mines (62/82 ou 76 %) qui ont terminé des études pour confirmer la présence d'au moins un effet et la moitié de celles qui ont rapporté des effets (32/62 ou 52 %) ont confirmé des effets à la fois sur les poissons et l'habitat des poissons. Une mine a confirmé l'absence d'effet sur les poissons, leur habitat et l'utilisation des ressources halieutiques. Une autre mine a rapporté un effet sur l'utilisation des ressources halieutiques (mercure dans les tissus des poissons), attribué à la contamination historique de la zone d'exposition plutôt qu'à l'effluent minier actuel.

Dans le cas particulier des poissons, 66 % (44/66) des mines ayant terminé des études pour évaluer des effets ont confirmé au moins un effet sur le poisson, alors que trois mines ont confirmé l'absence d'effet sur tous les indicateurs ayant trait aux poissons. Les changements (hausses ou baisses) du rapport entre le poids et la longueur du corps, « condition », ont été l'effet observé le plus prévalent, mais des changements au niveau de la survie, de la croissance, de la reproduction et de la taille relative du foie ont également été observés. Dans la zone d'exposition à l'effluent, les indicateurs ayant trait à la survie, à la croissance et à la taille relative du foie étaient souvent plus élevés, alors que ceux ayant trait à la reproduction et à la condition corporelle étaient souvent plus faibles.

En ce qui concerne l'habitat des poissons, 64 % des mines ayant entrepris des études pour évaluer des effets ont confirmé au moins un effet sur l'habitat des poissons, et trois mines ont confirmé l'absence d'effet sur tous les indicateurs de l'état du poisson. Les changements dans la structure de la communauté des invertébrés benthiques (mesurés par l'indice de Bray-Curtis) ont constitué l'effet confirmé le plus fréquent sur l'habitat, suivi par la baisse de la richesse taxonomique, les changements de densité (hausses et baisses) et les changements dans la distribution des individus parmi les divers taxons (mesurés par l'indice de régularité). Le nombre de mines qui ont confirmé une hausse de la densité dans la zone d'exposition à l'effluent était plus élevé que celui des mines ayant confirmé des baisses de densité dans cette zone. Les effets confirmés sur la régularité étaient à nombre égal des hausses ou des baisses dans la zone d'exposition à l'effluent. L'analyse comparative décrite à la sous-section 2.3 a confirmé l'absence d'effet faux positif qui aurait pu être dû à l'utilisation de la méthode décrite dans le Guide technique des ESEE (Environnement Canada 2012a) pour le calcul de la signification statistique des différences indiquées par l'indice de Bray-Curtis.

Ampleur des effets

Presque toutes les mines (57/62 ou 92 %) ayant rapporté des effets confirmés ont observé au moins un effet dont l'ampleur peut indiquer un risque plus élevé pour l'environnement²⁰. Soixante-quatre pour cent (28/44) des mines ayant rapporté des

²⁰ Un effet qui pourrait être indicatif d'un risque plus élevé pour l'environnement est un effet dont l'ampleur égale ou dépasse le seuil critique d'effet (SCE).

effets confirmés sur les poissons et toutes les mines, sauf une, ayant rapporté des effets confirmés sur l'habitat des poissons, ont observé au moins un effet dont l'ampleur peut indiquer un risque plus élevé pour l'environnement. Les effets confirmés sur la reproduction du poisson et la taille relative du foie et sur tous les indicateurs relatifs à l'habitat des poissons sont le plus souvent d'une ampleur qui pourrait indiquer un risque plus élevé pour l'environnement.

Types d'effets

Les types d'effets identifiés par la présente Troisième évaluation nationale étaient similaires à ceux identifiés lors de précédentes évaluations nationales publiées par ECCC (Lowell et al. 2008, Environnement Canada 2012b). Des effets sur la croissance, la survie, la reproduction et la condition du corps et du foie ont été observés chez les poissons dans les zones d'exposition. Les habitats des poissons exposés à l'effluent ont subi des changements au niveau de la structure de la communauté des invertébrés benthiques et du nombre d'espèces et d'individus présents (tableau 2).

Tableau 2. Résumé des effets confirmés, observés chez les poissons et leur habitat dans les environnements aquatiques recevant des effluents de mines de métaux

dans les environnements aquatiques relevant des impacts de mines de métaux

Indicateur de l'effet	Comparaison avec la zone de référence (nombre de mines)	
Poisson		
condition	poissons plus gras (10)	poissons plus minces (16)
Taille du foie	foies plus gros (9)	foies plus petits (6)
reproduction	gonades plus grosses (8)	gonades plus petites (11)
croissance	croissance accélérée (12)	croissance ralentie (9)
survie	poissons plus vieux (10)	poissons plus jeunes (7)
Habitat des poissons (communauté des invertébrés benthiques)		
densité	plus d'individus par unité de surface (11)	moins d'individus par unité de surface (5)
richesse taxonomique	plus d'espèces (4)	moins d'espèces (16)
indice de régularité	distribution plus égale parmi les taxons (4)	distribution moins égale parmi les taxons (5)
indice de similitude	changement dans la structure de la communauté (45)	

Qualité des effluents

La toxicité sublétales globale des effluents miniers est demeurée stable pendant les dix premières années de l'entrée en vigueur du REMM. L'inhibition de la croissance des algues a diminué de 2007 à 2011, suggérant une tendance possible à la décroissance de la toxicité sublétales de l'effluent pour la croissance des algues. Toutefois la toxicité sublétales s'est accrue de nouveau en 2012. Parmi les types de minerai, nous avons noté les mêmes tendances à la baisse de la toxicité sublétales pour les algues pour les métaux de base et les métaux précieux, et une hausse de cette toxicité en 2012. Dans le cas des minerais d'uranium, de fer ou « autres », il a été difficile de dégager des tendances significatives, à cause du petit nombre d'essais réalisés chaque année et la

forte variabilité d'une année à l'autre. Les essais les plus sensibles pour les effluents des mines de métaux ont été ceux sur l'inhibition de la reproduction des invertébrés et de la croissance des plantes aquatiques (nombre de feuilles). L'essai le moins sensible était celui sur l'inhibition de la croissance des larves de poissons. Pendant la période au cours de laquelle les incidences de stimulation (croissance accrue) ont été rapportées, entre 2010 et 2012, on a observé une stimulation respective de 19 et 55 % lors des essais sur la croissance des plantes et des algues.

Ampleur et étendue géographique des effets

La plupart des mines (25/29 ou 86 %) qui ont évalué l'ampleur et l'étendue géographique des effets confirmés dans la zone d'exposition près du point de rejet de l'effluent (zone proche) ont observé un ou plusieurs effets identiques dans la zone d'exposition éloignée du point de rejet de l'effluent (zone éloignée). La moitié des mines (14/25 ou 56 %) qui ont évalué l'ampleur et l'étendue géographique de plusieurs effets confirmés (en zone proche) ont observé les mêmes effets multiples dans les zones éloignées. Les effets confirmés en zone proche sur les poissons et l'habitat des poissons ont été respectivement observés dans 31 et 55 % des cas en zone éloignée. Plus de 50 % du temps, l'ampleur des effets observés sur les poissons dans les zones éloignées était plus faible que celle des effets confirmés en zone proche. L'ampleur des effets sur l'habitat des poissons observés dans les zones éloignées était similaire à celle des effets confirmés en zone proche, ce qui est indicatif d'un risque plus grand pour l'environnement. Aucune relation n'a pu être établie entre l'occurrence d'effets en zones éloignées et la distance entre ces zones et le point de rejet de l'effluent.

Causes des effets

La plupart des recherches de causes entreprises par les mines ont porté sur des effets confirmés multiples. Environ la moitié des 35 mines ayant réalisé des recherches sur les causes cherchaient à expliquer des effets inhibiteurs (pour lesquels les indicateurs pertinents sont plus petits dans la zone d'exposition que dans la zone de référence). Les autres mines cherchaient les causes d'effets stimulants (pour lesquels les indicateurs pertinents sont plus élevés dans la zone d'exposition que dans la zone de référence), ou encore une combinaison d'effets inhibiteurs et stimulants.

Des 26 mines qui ont terminé leurs recherches sur les causes, 77 % ont déterminé que l'effluent actuel de la mine est la cause principale ou probable contribuant aux effets. Deux mines ont déterminé que les substances de l'effluent constituaient une cause, mais n'ont pas indiqué si l'effluent minier actuel en était la source. Quatre mines ont indiqué que les effets étaient causés par des facteurs non liés à la mine.

Les substances suivantes présentes dans l'effluent ont été identifiées comme causes possibles des effets observés :

- principaux ions
- métaux
- composés de l'azote (ammoniac et nitrates)

- solides en suspension totaux
- phosphore
- sélénium

Les ions principaux et le phosphore tendent à être associés à des effets stimulants, alors que les métaux, le sélénium et les solides en suspension totaux étaient le plus souvent associés à des effets inhibiteurs. Les composés azotés étaient associés à des effets et stimulants et inhibiteurs.

Les causes potentielles identifiées comme devant faire l'objet d'une étude plus poussée par les neuf mines réalisant actuellement des recherches de causes comprennent les composés azotés, le sélénium et les ions principaux dans l'effluent minier, les métaux présents dans l'effluent minier et/ou les sédiments, ainsi que des facteurs non liés aux mines.

7.0 Glossaire

Approche par condition de référence — Plan d'étude qui comprend l'évaluation d'un grand nombre de sites dans des zones de référence à des fins de comparaison aux sites testés (zones exposées).

Communauté des invertébrés benthiques — Les diverses populations de petits animaux (à l'exclusion des poissons et autres vertébrés) qui vivent sur le fond dans les sédiments du fond ou sur un lit rocheux et qui constituent une ressource alimentaire pour les poissons. La mesure des changements de la communauté benthique aide à comprendre les changements dans les habitats aquatiques et fournit une évaluation des ressources alimentaires aquatiques disponibles pour les poissons et donne une indication des changements dans la qualité de l'eau.

Condition corporelle — Une mesure de l'état physique d'un poisson basée sur le rapport entre le poids et la longueur du corps; la condition mesure essentiellement à quel point un poisson est *gras* dans chaque zone étudiée.

Densité — Nombre total de spécimens de tous taxons capturés à une station d'échantillonnage, exprimé par unité de surface.

Effet — Dans le contexte du REMM, on appelle effet sur les poissons ou la communauté des invertébrés benthiques, un écart statistiquement significatif entre les mesures prises dans la zone d'exposition et la zone de référence ou des mesures faites dans des lieux d'échantillonnage dans lesquels se trouve une concentration graduellement décroissante d'effluent à mesure que l'on s'éloigne du point de rejet. Un « effet sur les tissus de poissons » est défini comme des mesures de la concentration du mercure total dépassant 0,5 µg/g en poids humide dans les tissus des poissons capturés dans la zone d'exposition qui sont statistiquement supérieures aux concentrations de mercure total dans les tissus de poissons capturés dans une zone de référence.

Effet inhibiteur — Situation dans laquelle les indicateurs mesurés sont plus petits dans la zone d'exposition que dans la zone de référence.

Effets stimulants — Situation dans laquelle les indicateurs mesurés sont plus grands dans la zone d'exposition que dans la zone de référence.

Essais de toxicité sublétales (TSL) — Dans le contexte d'une ESEE, les essais de toxicité sublétales consistent à mesurer la concentration d'effluent à laquelle un niveau d'effet donné sur les organismes est observé en laboratoire. On observe parfois une stimulation plutôt qu'une inhibition. La stimulation désigne une hausse de la croissance des organismes par rapport aux témoins après l'exposition à l'effluent. Un essai de toxicité sublétales sert à mesurer ce qui est nocif pour l'organisme (par ex. effets sur la croissance ou la reproduction), tout en restant inférieur à ce qui entraîne directement la mort pendant la période de l'essai.

Indice de régularité — Une mesure de la régularité de la distribution des individus parmi les différents taxons. Cette mesure aide à évaluer les changements de l'abondance relative des taxons.

Indice de similitude — Un indice de la différence entre les structures des communautés (notamment leur composition taxonomique) entre deux sites. Un chiffre plus élevé indique une différence plus grande. L'indice sert à évaluer la similitude entre les communautés d'invertébrés benthiques de différents sites par rapport aux conditions de référence.

Plan d'étude en gradient — Étude conçue avec un échantillonnage le long d'un gradient de concentration d'effluent décroissante, en débutant par les zones exposées proche de la mine puis en allant vers les zones plus éloignées de la mine et moins exposées.

Plan d'étude témoin-exposition — Un plan d'étude comportant au moins une zone témoin, normalement en amont de la mine ou situé dans un autre bassin versant (non exposé à l'effluent minier), et une zone exposée ou une série de telles zones, souvent en aval de la mine (exposées à l'effluent minier).

Poids corporel selon l'âge — Mesure du taux de croissance des poissons décrit par la relation entre la taille (poids) et l'âge. Sur toute la vie d'un poisson, le taux de croissance peut décliner avec l'âge de l'animal.

Poids relatif des gonades — Une mesure de l'investissement du poisson dans sa reproduction qui décrit la relation entre le poids des gonades et celui du corps.

Richesse taxonomique — Nombre total des différentes catégories taxonomiques collectées dans un échantillon à une station de prélèvement (par ex., nombre d'espèces, nombre de familles).

Seuil critique d'effet (SCE) — Valeur au-dessus de laquelle un effet peut indiquer un risque plus élevé pour l'environnement.

Taille du foie (poids relatif du foie) — Une mesure des réserves en énergie du poisson ou de la réponse à l'exposition à un composé toxique qui décrit la relation entre le poids du foie et le poids corporel.

Taxon — Un groupe taxonomique dans lequel un organisme est classifié sur la base de similitudes structurelles et de relation évolutive avec d'autres organismes. Par tradition, ces groupes sont organisés hiérarchiquement en espèce, genre, famille, ordre, classe, embranchement, etc.

Zone de référence — Eau fréquentée par les poissons qui n'est pas exposée à l'effluent et dont l'habitat est aussi similaire que possible à celui de la zone exposée.

Zone d'exposition — Tous les habitats de poisson et les eaux qui sont exposés à l'effluent et fréquentés par des poissons.

8.0 Références

Booty W.G., Wong I., Lam D. et Resler O. 2009. « A decision support system for environmental effects monitoring ». *Environ. Modelling & Software*, vol. 24, p. 889-900.

Borcard D. et Legendre P. 2013. *Review of the pros and cons of available indices applicable to the environmental effects monitoring to evaluate changes in benthic invertebrate community structure in response to effluent exposure*. (Peut être obtenue sur demande auprès d'Environnement Canada at ec.esee-eem.ec@canada.ca)

Environnement Canada. 2012a. *Guide technique pour l'étude de suivi des effets sur l'environnement (ESEE) des mines de métaux*.

Environnement Canada. 2012b. *Deuxième évaluation nationale de l'information tirée de la surveillance des effets environnementaux des Mines de métaux visés par le Règlement sur les effluents des mines de métaux*. Bureau national des études de suivi des effets sur l'environnement, Division de la foresterie, de l'agriculture et de l'aquaculture, Environnement Canada.

Environnement Canada. 2015. *Évaluation sommaire de la performance des mines de métaux assujetties au Règlement sur les effluents des mines de métaux en 2013*.

Lowell R.B., Tessier C., Walker S.L., Willsie A., Bowerman M. et Gautron D. 2008. *Évaluation nationale des données de la phase 1 du Programme d'étude de suivi des effets sur l'environnement des mines de métaux*. Gatineau (Québec), Bureau national des études de suivi sur l'environnement, Environnement Canada.

Munkittrick K.M., Arens C.J., Lowell R.B. et Kaminski G.P. 2009. « A review of potential methods of determining critical effects size for designing environmental monitoring programs ». *Environ. Toxicol. Chem.* Vol. 28, n° 7, p. 1361-1371.

Annexe A : Mines de métaux visées par le *Règlement sur les effluents des mines de métaux* en 2013

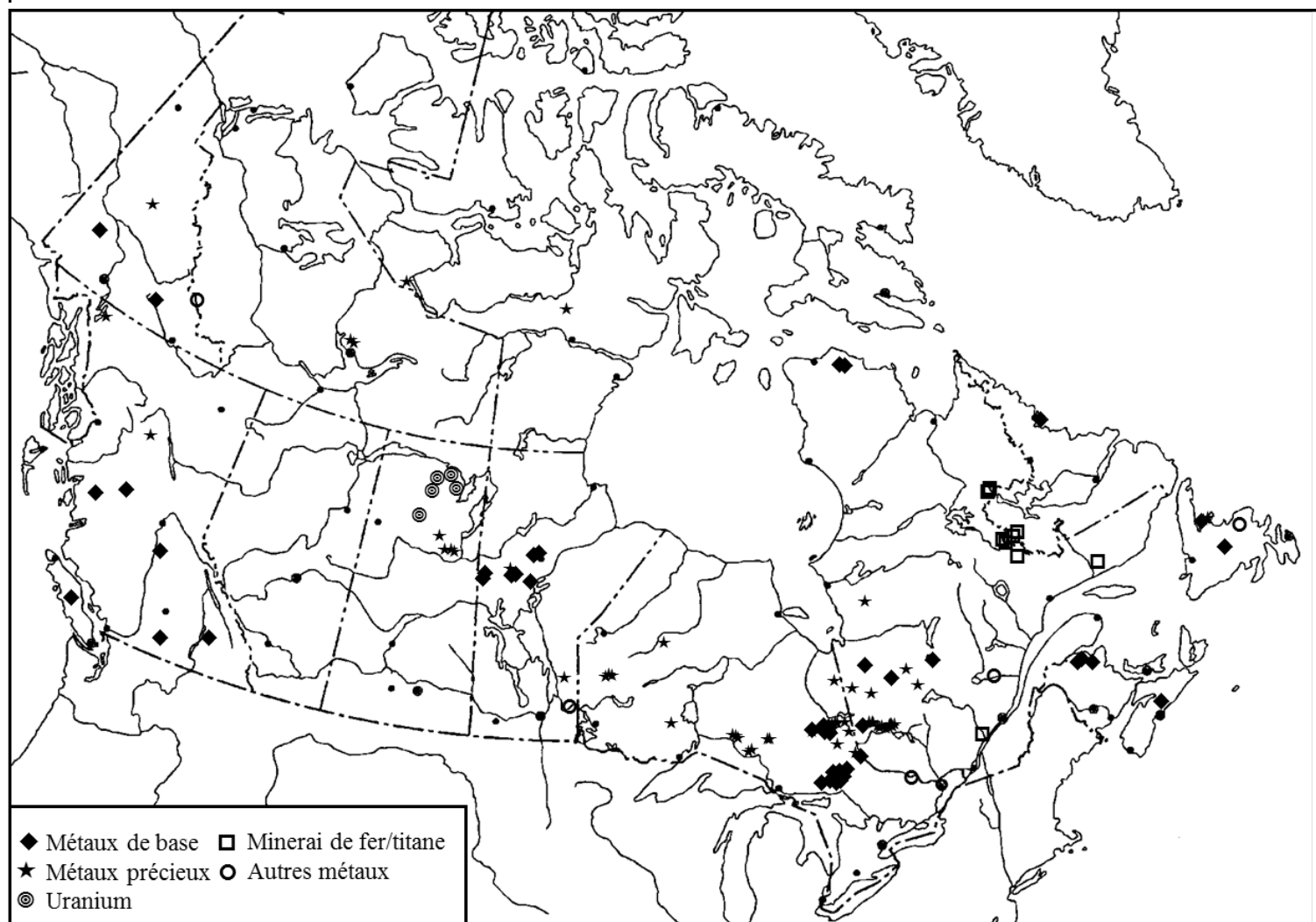


Figure A1. Position géographique des mines de métaux visées par le *Règlement sur les effluents des mines de métaux* en 2013.

Annexe B : Indicateurs d'effets, seuils critiques d'effet et études réalisées

Tableau B1. Indicateurs d'effets sur les populations de poisson et paramètres pour les différents plans d'étude

Indicateurs d'effets sur les poissons	Paramètres pour les effets sur les poissons		
	Conception avec échantillonnage légal	Conception avec échantillonnage non légal	Autres conceptions*
Survie	Âge Distribution de la fréquence des âges	Distribution des fréquences de longueur	Analyse des fréquences de longueur
Croissance (utilisation de l'énergie)	Poids corporel selon l'âge	Poids des jeunes de l'année (âge 0) à la fin de la période de croissance Longueur des jeunes de l'année (âge 0) à la fin de la période de croissance	Poids humide des animaux entiers Longueur et largeur des coquilles Poids frais des tissus mous
Reproduction (utilisation de l'énergie)	Poids des gonades selon le poids corporel	Abondance relative des jeunes de l'année (pourcentage)	Poids des gonades selon le poids corporel (indice gonado-somatique, IGS)
Condition (stockage d'énergie)	Poids corporel selon la longueur	Poids corporel selon la longueur	Poids (poids sec des animaux entiers, poids sec de la coquille ou des tissus mous) en fonction de la longueur de la coquille
Taille relative du foie (stockage d'énergie)	Poids du foie selon le poids corporel		

*D'autres conceptions de suivi sont décrites du Guide technique pour les ESEE des mines de métaux (Environnement Canada 2012a).

Tableau B2. Indicateurs d'effets sur l'habitat des poissons

Indicateurs d'effets sur l'habitat des poissons
Densité totale (nombre d'animaux par unité de surface)
Indice de régularité (distribution du nombre d'individus parmi les types d'organismes)
Richesse taxonomique (nombre de types différents d'organismes)
Indice de similitude (ressemblance dans la structure des communautés d'invertébrés entre les zones exposées et de référence ²¹)

Tableau B3. Seuils critique d'effet (SCE)

Paramètres pour les effets sur les poissons	SCE	Paramètres pour les effets sur les invertébrés benthiques	SCE
Poids corporel en fonction de la longueur	± 10 %	Densité totale	± 2 E-T
Taille relative du foie	± 25 %	Richesse taxonomique	± 2 E-T
Taille relative des gonades	± 25 %	Indice de régularité	± 2 E-T
Masse en fonction de l'âge	± 25 %	Indice de similitude (Bray-Curtis)	≥ 2 E-T
Âge	± 25 %		

Note : Les différences pour les paramètres pour les effets sur les poissons sont exprimées en pourcentage (%) de la moyenne de référence, tandis que les différences pour les paramètres pour les effets sur les invertébrés benthiques sont exprimées en multiple des écarts-types (E-T) calculés pour les zones de référence.

²¹ L'indice de similitude le plus fréquemment utilisé par les mines est en fait un indice de dissimilitude, l'indice de Bray-Curtis, qui mesure la différence entre deux zones afin de traiter de la structure de la communauté des invertébrés benthiques.

Tableau B4. Nombre et conception des études de suivi biologique effectuées ou entreprises par les mines (entre parenthèses : nombre de mines réalisant des études)

Type d'étude de suivi biologique	1 ^{re} étude*	2 ^e étude	3 ^e étude	4 ^e étude	Total
Habitat des poissons					
Témoïn-exposition et plusieurs T-E	109 (114)	73 (77)	27 (28)	4 (4)	213
Gradient	3 (3)	2 (2)	0	0	5
Approche des conditions de référence	1 (3)	1 (3)	0	0	2
<i>Ampleur et étendue géographique**</i>			11 (13)	3 (3)	14
<i>Recherche des causes</i>			10 (13)	21 (25)	31
Population de poissons **					
Létale (seulement)	66 (69)	36 (38)	17 (17)	3 (3)	122
Non létale (seulement)	24 (24)	17 (17)	5 (5)	0 (0)	46
Létale et non létale	12 (14)	17 (19)	5 (6)	2 (2)	36
Autres	4 (5)	5 (7)	2 (2)	0 (0)	11
<i>Ampleur et étendue géographique</i>			9 (11)	2 (2)	11
<i>Recherche des causes</i>			7 (7)	16 (18)	23
Utilisation de ressources halieutiques					
Tissus de poissons	30 (30)	25 (26)	11 (12)	1 (1)	67

Note : certaines études ont été réalisées conjointement par au moins deux mines.

* Comprend cinq mines qui ont réalisé la première étude à deux reprises (deux avaient déplacé leur point de rejet final, une avait fait un changement important dans son traitement de l'eau et deux durent relancer l'évaluation des effets, car les zones de référence et d'exposition échantillonnées dans la première étude différaient sur le plan du type d'habitat).

** Il n'a pas été nécessaire pour sept mines d'évaluer la composante des poissons dans au moins une étude de surveillance biologique, car la proportion de l'effluent dans l'environnement récepteur était inférieure à 1 % à 250 m du point de rejet final.

Annexe C : Résultats par mine des études d'évaluation des effets potentiels

Tableau C1. Résultat pour chaque mine des études d'évaluation des effets potentiels sur les poissons et leur habitat

Légende :

effet ≥ SCE	effet observé lors d'une étude dont l'ampleur est ≥ SCE
effet < SCE	effet observé lors d'une étude dont l'ampleur est < SCE
effet d'une ampleur inconnue	effet observé lors d'une étude dont l'ampleur est inconnue
absence d'effet	effet non observé lors d'une étude
confirmé ≥ SCE	effet de type similaire observé lors de deux études consécutives dont l'ampleur est ≥ SCE
confirmé d'ampleur variable	effet de type similaire observé lors de deux études consécutives dont l'ampleur est ≥ SCE lors d'une étude et < SCE lors de l'autre
confirmé < SCE	effet de type similaire observé lors de deux études consécutives dont l'ampleur est < SCE
confirmé d'ampleur inconnue	effet de type similaire observé lors de deux études consécutives dont l'ampleur est non déterminée
absence confirmée d'effet	effet non observé lors de deux études consécutives
effet non confirmé	effet observé lors d'une étude et non observé lors d'une autre
(<)	effet ou effet confirmé dont l'indicateur d'effet est plus faible dans la zone d'exposition que dans la zone de référence
(>)	effet ou effet confirmé dont l'indicateur d'effet est plus élevé dans la zone d'exposition que dans la zone de référence
n.d.	données insuffisantes pour évaluer l'effet

	Effet le plus intense pour l'habitat des poissons	Densité	Richesse taxonomique	Indice de similitude	Indice de régularité	Effet le plus intense pour les poissons	Survie	Croissance	Reproduction	Condition	Taille relative du foie	Effet le plus intense pour les poissons et leur habitat
Mines de métaux de base (dont cuivre, nickel, plomb, zinc et molybdène)												
BM1	effet confirmé d'ampleur variable	absence confirmée d'effet	absence confirmée d'effet	effet confirmé d'ampleur variable	effet non confirmé	confirmé ≥ SCE	effet confirmé d'ampleur variable (<)	effet confirmé d'ampleur variable (>)	effet confirmé d'ampleur variable (>)	effet confirmé d'ampleur variable (>)	effet confirmé ≥ SCE (>)	effet confirmé ≥ SCE
BM2	effet confirmé ≥ SCE	absence confirmée d'effet	absence confirmée d'effet	effet confirmé ≥ SCE	effet non confirmé	effet non confirmé	n.d.	n.d.	n.d.	effet non confirmé	n.d.	effet confirmé ≥ SCE
BM3	effet confirmé ≥ SCE	effet non confirmé	effet confirmé ≥ SCE (<)	effet confirmé ≥ SCE	absence confirmée d'effet	effet confirmé d'ampleur inconnue	effet confirmé d'ampleur inconnue (<)	effet confirmé d'ampleur inconnue (>)	n.d.	effet non confirmé	n.d.	effet confirmé ≥ SCE

	Effet le plus intense pour l'habitat des poissons	Densité	Richesse taxonomique	Indice de similitude	Indice de régularité	Effet le plus intense pour les poissons	Survie	Croissance	Reproduction	Condition	Taille relative du foie	Effet le plus intense pour les poissons et leur habitat
BM4	effet confirmé $\geq$ SCE	absence confirmée d'effet	effet confirmé $\geq$ SCE (<)	effet confirmé $\geq$ SCE	effet non confirmé	effet confirmé $\geq$ SCE	effet confirmé d'ampleur variable (>)	confirmé < SCE (>)	effet confirmé $\geq$ SCE (<)	effet confirmé d'ampleur variable (>)	effet non confirmé	effet confirmé $\geq$ SCE
BM5	effet confirmé $\geq$ SCE	effet non confirmé	effet confirmé $\geq$ SCE (<)	effet non confirmé	n.d.	effet non confirmé	absence confirmée d'effet	n.d.	absence confirmée d'effet	effet non confirmé	absence confirmée d'effet	effet confirmé $\geq$ SCE
BM6	effet non confirmé	absence confirmée d'effet	effet non confirmé	effet non confirmé	n.d.	effet $\geq$ SCE	absence d'effet	n.d.	absence d'effet	$\geq$ SCE (>)	absence d'effet	effet $\geq$ SCE
BM7	effet confirmé $\geq$ SCE	absence confirmée d'effet	absence confirmée d'effet	effet confirmé $\geq$ SCE	absence confirmée d'effet	effet confirmé d'ampleur variable	effet non confirmé	absence confirmée d'effet	absence confirmée d'effet	absence confirmée d'effet	effet confirmé d'ampleur variable (<)	effet confirmé $\geq$ SCE
BM8	absence d'effet	absence d'effet	absence d'effet	absence d'effet	absence d'effet	effet d'une ampleur inconnue	absence d'effet	effet d'une ampleur inconnue (>)	n.d.	effet d'une ampleur inconnue (>)	n.d.	effet d'une ampleur inconnue
BM9	effet confirmé $\geq$ SCE	effet confirmé $\geq$ SCE (>)	absence confirmée d'effet	confirmé < SCE	n.d.	effet confirmé d'ampleur inconnue	n.d.	effet confirmé d'ampleur inconnue (>)	n.d.	absence confirmée d'effet	n.d.	effet confirmé $\geq$ SCE
BM10	effet confirmé $\geq$ SCE	absence confirmée d'effet	effet confirmé d'ampleur variable (<)	effet non confirmé	effet non confirmé	effet confirmé $\geq$ SCE	confirmé < SCE (>)	effet confirmé $\geq$ SCE (<)	confirmé < SCE (<)	effet confirmé $\geq$ SCE (<)	effet non confirmé	effet confirmé $\geq$ SCE
BM11	effet confirmé $\geq$ SCE	effet confirmé $\geq$ SCE (>)	effet non confirmé	effet non confirmé	n.d.	effet non confirmé	absence confirmée d'effet	n.d.	absence confirmée d'effet	effet non confirmé	absence confirmée d'effet	effet confirmé $\geq$ SCE
BM12	effet < SCE	absence d'effet	absence d'effet	< SCE	< SCE (<)	aucun résultat : étude non nécessaire						effet < SCE
BM13	absence confirmée d'effet	absence confirmée d'effet	absence confirmée d'effet	absence confirmée d'effet	absence confirmée d'effet	effet confirmé $\geq$ SCE	effet non confirmé	effet non confirmé	effet confirmé d'ampleur variable (>)	effet non confirmé	effet confirmé $\geq$ SCE (>)	effet confirmé $\geq$ SCE
BM14	effet confirmé $\geq$ SCE	effet non confirmé	effet confirmé $\geq$ SCE (<)	effet confirmé $\geq$ SCE	effet confirmé d'ampleur variable (<)	confirmé < SCE	effet non confirmé	effet non confirmé	confirmé < SCE (<)	confirmé < SCE (<)	effet non confirmé	effet confirmé $\geq$ SCE

	Effet le plus intense pour l'habitat des poissons	Densité	Richesse taxonomique	Indice de similitude	Indice de régularité	Effet le plus intense pour les poissons	Survie	Croissance	Reproduction	Condition	Taille relative du foie	Effet le plus intense pour les poissons et leur habitat
BM15	effet non confirmé	absence confirmée d'effet	effet non confirmé	effet non confirmé	absence confirmée d'effet	effet d'une ampleur inconnue	effet d'une ampleur inconnue (>)	effet d'une ampleur inconnue (>)	effet d'une ampleur inconnue (<)	effet d'une ampleur inconnue (>)	n.d.	effet non confirmé
BM16	effet confirmé $\geq$ SCE	effet non confirmé	effet confirmé $\geq$ SCE (<)	effet confirmé $\geq$ SCE	effet confirmé $\geq$ SCE (>)	effet non confirmé	effet non confirmé	n.d.	n.d.	effet non confirmé	n.d.	effet confirmé $\geq$ SCE
BM17	effet confirmé d'ampleur variable	effet non confirmé	absence confirmée d'effet	effet confirmé d'ampleur variable	effet non confirmé	effet non confirmé	effet non confirmé	absence confirmée d'effet	effet non confirmé	effet non confirmé	effet non confirmé	effet confirmé d'ampleur variable
BM18	effet confirmé d'ampleur variable	effet non confirmé	effet non confirmé	effet confirmé d'ampleur variable	effet non confirmé	effet non confirmé	absence confirmée d'effet	effet non confirmé	absence confirmée d'effet	effet non confirmé	n.d.	effet confirmé d'ampleur variable
BM19	effet confirmé $\geq$ SCE	absence confirmée d'effet	absence confirmée d'effet	effet confirmé $\geq$ SCE	effet confirmé $\geq$ SCE (<)	effet confirmé d'ampleur inconnue	effet confirmé d'ampleur inconnue (>)	effet non confirmé	n.d.	effet non confirmé	n.d.	effet confirmé $\geq$ SCE
BM20	effet confirmé $\geq$ SCE	effet confirmé $\geq$ SCE (>)	absence confirmée d'effet	confirmé < SCE	effet non confirmé	effet non confirmé	n.d.	effet non confirmé	effet non confirmé	effet non confirmé	absence confirmée d'effet	effet confirmé $\geq$ SCE
BM21	effet non confirmé	effet non confirmé	absence confirmée d'effet	effet non confirmé	absence confirmée d'effet	confirmé < SCE	n.d.	n.d.	n.d.	confirmé < SCE (>)	n.d.	confirmé < SCE
BM22	effet confirmé d'ampleur variable	absence confirmée d'effet	effet non confirmé	effet confirmé d'ampleur variable	effet non confirmé	effet confirmé d'ampleur inconnue	n.d.	n.d.	n.d.	effet confirmé d'ampleur inconnue (>)	n.d.	effet confirmé d'ampleur variable
BM23	effet non confirmé	absence confirmée d'effet	absence confirmée d'effet	effet non confirmé	absence confirmée d'effet	effet non confirmé	absence confirmée d'effet	effet non confirmé	effet non confirmé	absence confirmée d'effet	absence confirmée d'effet	effet non confirmé
BM24	effet non confirmé	absence confirmée d'effet	absence confirmée d'effet	effet non confirmé	absence confirmée d'effet	effet confirmé d'ampleur inconnue	effet confirmé d'ampleur inconnue (<)	n.d.	n.d.	effet non confirmé	n.d.	effet confirmé d'ampleur inconnue
BM25	effet confirmé d'ampleur variable	absence confirmée d'effet	absence confirmée d'effet	effet confirmé d'ampleur variable	effet non confirmé	effet non confirmé	effet non confirmé	effet non confirmé	effet non confirmé	effet non confirmé	effet non confirmé	effet confirmé d'ampleur variable
BM26	effet < SCE	< SCE (<)	absence d'effet	absence d'effet	absence d'effet	effet $\geq$ SCE	$\geq$ SCE (<)	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	effet $\geq$ SCE

	Effet le plus intense pour l'habitat des poissons	Densité	Richesse taxonomique	Indice de similitude	Indice de régularité	Effet le plus intense pour les poissons	Survie	Croissance	Reproduction	Condition	Taille relative du foie	Effet le plus intense pour les poissons et leur habitat
BM27	effet confirmé $\geq$ SCE	effet non confirmé	absence confirmée d'effet	effet confirmé $\geq$ SCE	effet non confirmé	effet confirmé $\geq$ SCE	confirmé < SCE (>)	effet confirmé $\geq$ SCE (<)	confirmé < SCE (<)	effet confirmé $\geq$ SCE (<)	effet non confirmé	effet confirmé $\geq$ SCE
BM28	effet non confirmé	effet non confirmé	effet non confirmé	effet non confirmé	effet non confirmé	aucun résultat : l'étude des poissons n'a pas pu être réalisée ou complétée						effet non confirmé
BM29	effet $\geq$ SCE	< SCE (>)	$\geq$ SCE (<)	$\geq$ SCE	$\geq$ SCE (<)	effet $\geq$ SCE	absence d'effet	$\geq$ SCE (>)	effet d'une ampleur inconnue (>)	effet d'une ampleur inconnue (>)	$\geq$ SCE (>)	effet $\geq$ SCE
BM30	effet confirmé d'ampleur variable	effet confirmé d'ampleur variable (>)	confirmé < SCE (>)	effet confirmé d'ampleur variable	effet non confirmé	effet confirmé d'ampleur inconnue	effet confirmé d'ampleur inconnue (>)	effet confirmé d'ampleur inconnue (>)	n.d.	effet non confirmé	n.d.	effet confirmé d'ampleur variable
BM31	effet < SCE	< SCE (<)	absence d'effet	absence d'effet	absence d'effet	effet < SCE	n.d.	n.d.	absence d'effet	< SCE (<)	absence d'effet	effet < SCE
BM32	effet confirmé $\geq$ SCE	effet confirmé $\geq$ SCE (>)	absence confirmée d'effet	effet confirmé $\geq$ SCE	effet non confirmé	effet < SCE	absence d'effet	effet d'une ampleur inconnue (>)	n.d.	< SCE (>)	n.d.	effet confirmé $\geq$ SCE
BM33	effet confirmé d'ampleur variable	absence confirmée d'effet	absence confirmée d'effet	effet confirmé d'ampleur variable	absence confirmée d'effet	confirmé < SCE	effet non confirmé	effet non confirmé	effet non confirmé	confirmé < SCE (>)	confirmé < SCE (>)	effet confirmé d'ampleur variable
BM34	effet non confirmé	absence confirmée d'effet	absence confirmée d'effet	effet non confirmé	effet non confirmé	absence confirmée d'effet	n.d.	n.d.	n.d.	absence confirmée d'effet	n.d.	effet non confirmé
BM35	effet $\geq$ SCE	$\geq$ SCE (<)	< SCE (<)	$\geq$ SCE	absence d'effet	aucun résultat : étude non nécessaire						effet $\geq$ SCE
BM36	absence confirmée d'effet	absence confirmée d'effet	absence confirmée d'effet	absence confirmée d'effet	absence confirmée d'effet	effet confirmé $\geq$ SCE	effet non confirmé	effet non confirmé	effet confirmé $\geq$ SCE (>)	effet confirmé $\geq$ SCE (>)	effet confirmé $\geq$ SCE (>)	effet confirmé $\geq$ SCE
BM37	absence confirmée d'effet	absence confirmée d'effet	absence confirmée d'effet	absence confirmée d'effet	absence confirmée d'effet	absence confirmée d'effet	n.d.	n.d.	n.d.	absence confirmée d'effet	n.d.	absence confirmée d'effet
BM38	effet $\geq$ SCE	absence d'effet	absence d'effet	$\geq$ SCE	$\geq$ SCE (>)	aucun résultat : étude non nécessaire						effet $\geq$ SCE
BM39	effet confirmé $\geq$ SCE	effet non confirmé	absence confirmée d'effet	effet confirmé $\geq$ SCE	absence confirmée d'effet	effet confirmé d'ampleur variable	n.d.	n.d.	effet confirmé d'ampleur variable (<)	effet non confirmé	effet non confirmé	effet confirmé $\geq$ SCE

	Effet le plus intense pour l'habitat des poissons	Densité	Richesse taxonomique	Indice de similitude	Indice de régularité	Effet le plus intense pour les poissons	Survie	Croissance	Reproduction	Condition	Taille relative du foie	Effet le plus intense pour les poissons et leur habitat
BM40	effet ≥ SCE	≥ SCE (>)	absence d'effet	≥ SCE	absence d'effet	effet < SCE	n.d.	n.d.	absence d'effet	< SCE (<)	absence d'effet	effet ≥ SCE
BM41	effet ≥ SCE	≥ SCE (<)	< SCE (>)	≥ SCE	absence d'effet	aucun résultat : l'étude des poissons n'a pas pu être réalisée ou complétée						effet ≥ SCE
BM42	effet ≥ SCE	< SCE (<)	< SCE (<)	≥ SCE	absence d'effet	effet ≥ SCE	< SCE (<)	≥ SCE (<)	≥ SCE (<)	< SCE (>)	< SCE (>)	effet ≥ SCE
BM43	effet confirmé ≥ SCE	effet non confirmé	effet non confirmé	effet confirmé ≥ SCE	absence confirmée d'effet	effet non confirmé	effet non confirmé	effet non confirmé	effet non confirmé	effet non confirmé	effet non confirmé	effet confirmé ≥ SCE
BM44	absence d'effet	absence d'effet	absence d'effet	absence d'effet	absence d'effet	effet < SCE	n.d.	n.d.	n.d.	< SCE (<)	n.d.	effet < SCE
BM45	effet d'une ampleur inconnue	effet d'une ampleur inconnue (<)	effet d'une ampleur inconnue (<)	effet d'une ampleur inconnue	n.d.	effet d'une ampleur inconnue	absence d'effet	effet d'une ampleur inconnue (>)	absence d'effet	absence d'effet	effet d'une ampleur inconnue (>)	effet d'une ampleur inconnue
Mines de fer (incluant le fer et le titane)												
FeTi1	effet confirmé ≥ SCE	effet confirmé ≥ SCE (<)	effet confirmé ≥ SCE (<)	effet confirmé ≥ SCE	effet non confirmé	effet confirmé ≥ SCE	effet non confirmé	effet confirmé ≥ SCE (<)	effet confirmé d'ampleur variable (<)	effet confirmé ≥ SCE (<)	effet non confirmé	effet confirmé ≥ SCE
FeTi2	effet confirmé ≥ SCE	absence confirmée d'effet	absence confirmée d'effet	effet confirmé ≥ SCE	absence confirmée d'effet	confirmé < SCE	effet non confirmé	confirmé < SCE (<)	effet non confirmé	effet non confirmé	effet non confirmé	effet confirmé ≥ SCE
FeTi3	effet non confirmé	effet non confirmé	effet non confirmé	effet non confirmé	effet non confirmé	effet non confirmé	effet non confirmé	n.d.	n.d.	effet non confirmé	n.d.	effet non confirmé
FeTi4	effet ≥ SCE	absence d'effet	absence d'effet	≥ SCE	absence d'effet	effet d'une ampleur inconnue	absence d'effet	absence d'effet	absence d'effet	absence d'effet	effet d'une ampleur inconnue (<)	effet ≥ SCE
FeTi5	effet confirmé d'ampleur variable	absence confirmée d'effet	effet confirmé d'ampleur variable (<)	confirmé < SCE	absence confirmée d'effet	effet confirmé d'ampleur variable	effet non confirmé	effet non confirmé	effet confirmé d'ampleur variable (<)	effet non confirmé	effet non confirmé	effet confirmé d'ampleur variable
FeTi6	effet ≥ SCE	absence d'effet	< SCE (<)	≥ SCE	absence d'effet	aucun résultat : l'étude des poissons n'a pas pu être réalisée ou complétée						effet ≥ SCE
FeTi7	absence d'effet	absence d'effet	absence d'effet	absence d'effet	absence d'effet	effet ≥ SCE	≥ SCE (>)	effet d'une ampleur inconnue (>)	effet d'une ampleur inconnue (<)	effet d'une ampleur inconnue (<)	effet d'une ampleur inconnue (<)	effet ≥ SCE

	Effet le plus intense pour l'habitat des poissons	Densité	Richesse taxonomique	Indice de similitude	Indice de régularité	Effet le plus intense pour les poissons	Survie	Croissance	Reproduction	Condition	Taille relative du foie	Effet le plus intense pour les poissons et leur habitat
Mines de métaux précieux (incluant l'or, l'argent et les métaux du groupe du platine)												
PM1	effet confirmé ≥ SCE	absence confirmée d'effet	effet non confirmé	effet confirmé ≥ SCE	effet confirmé ≥ SCE (>)	effet confirmé ≥ SCE	effet confirmé d'ampleur variable (<)	effet confirmé ≥ SCE (>)	effet non confirmé	confirmé < SCE (<)	effet confirmé d'ampleur variable (>)	effet confirmé ≥ SCE
PM2	effet confirmé ≥ SCE	effet confirmé d'ampleur variable (<)	effet confirmé ≥ SCE (<)	effet non confirmé	effet non confirmé	effet confirmé ≥ SCE	effet confirmé ≥ SCE (>)	effet non confirmé	effet confirmé d'ampleur variable (<)	effet confirmé ≥ SCE (<)	effet confirmé ≥ SCE (<)	effet confirmé ≥ SCE
PM3	effet non confirmé	absence confirmée d'effet	effet non confirmé	effet non confirmé	absence confirmée d'effet	effet confirmé ≥ SCE	absence confirmée d'effet	effet non confirmé	effet confirmé ≥ SCE (>)	effet non confirmé	effet confirmé ≥ SCE (>)	effet confirmé ≥ SCE
PM4	effet confirmé ≥ SCE	effet non confirmé	absence confirmée d'effet	effet confirmé ≥ SCE	absence confirmée d'effet	effet non confirmé	effet non confirmé	effet non confirmé	absence confirmée d'effet	effet non confirmé	effet non confirmé	effet confirmé ≥ SCE
PM5	confirmé < SCE	absence confirmée d'effet	absence confirmée d'effet	effet non confirmé	confirmé < SCE (>)	effet ≥ SCE	≥ SCE (<)	≥ SCE (>)	≥ SCE (>)	< SCE (>)	≥ SCE (>)	confirmé < SCE
PM6	effet ≥ SCE	≥ SCE (<)	absence d'effet	< SCE	absence d'effet	effet ≥ SCE	effet d'une ampleur inconnue (>)	n.d.	n.d.	≥ SCE (>)	< SCE (<)	effet ≥ SCE
PM7	effet confirmé ≥ SCE	effet non confirmé	effet non confirmé	effet confirmé ≥ SCE	effet non confirmé	confirmé < SCE	effet non confirmé	effet non confirmé	confirmé < SCE (>)	effet non confirmé	effet non confirmé	effet confirmé ≥ SCE
PM8	effet non confirmé	effet non confirmé	effet non confirmé	absence confirmée d'effet	absence confirmée d'effet	effet d'une ampleur inconnue	effet d'une ampleur inconnue (>)	absence d'effet	absence d'effet	effet d'une ampleur inconnue (<)	effet d'une ampleur inconnue (>)	effet non confirmé
PM9	effet non confirmé	absence confirmée d'effet	effet non confirmé	effet non confirmé	absence confirmée d'effet	effet non confirmé	effet non confirmé	effet non confirmé	n.d.	effet non confirmé	effet non confirmé	effet non confirmé
PM10	effet non confirmé	absence confirmée d'effet	effet non confirmé	absence confirmée d'effet	absence confirmée d'effet	effet non confirmé	effet non confirmé	absence confirmée d'effet	n.d.	effet non confirmé	effet non confirmé	effet non confirmé
PM11	effet confirmé ≥ SCE	effet confirmé d'ampleur variable (<)	effet confirmé ≥ SCE (<)	effet non confirmé	effet non confirmé	effet confirmé ≥ SCE	effet confirmé ≥ SCE (>)	effet confirmé d'ampleur variable (<)	effet confirmé d'ampleur variable (<)	effet confirmé ≥ SCE (<)	effet confirmé ≥ SCE (<)	effet confirmé ≥ SCE
PM12	effet ≥ SCE	absence d'effet	absence d'effet	≥ SCE	absence d'effet	effet < SCE	< SCE (<)	absence d'effet	absence d'effet	absence d'effet	absence d'effet	effet ≥ SCE

	Effet le plus intense pour l'habitat des poissons	Densité	Richesse taxonomique	Indice de similitude	Indice de régularité	Effet le plus intense pour les poissons	Survie	Croissance	Reproduction	Condition	Taille relative du foie	Effet le plus intense pour les poissons et leur habitat
PM13	effet confirmé $\geq$ SCE	effet confirmé $\geq$ SCE ($>$)	effet non confirmé	effet confirmé $\geq$ SCE	effet confirmé $\geq$ SCE ($<$)	confirmé $<$ SCE	effet non confirmé	confirmé $<$ SCE ($<$)	effet non confirmé	effet non confirmé	effet non confirmé	effet confirmé $\geq$ SCE
PM14	effet confirmé d'ampleur variable	absence confirmée d'effet	absence confirmée d'effet	effet confirmé d'ampleur variable	effet non confirmé	confirmé $<$ SCE	effet non confirmé	effet non confirmé	confirmé $<$ SCE ($<$)	confirmé $<$ SCE ($<$)	effet non confirmé	effet confirmé d'ampleur variable
PM15	effet non confirmé	effet non confirmé	absence confirmée d'effet	effet non confirmé	effet non confirmé	effet d'une ampleur inconnue	effet d'une ampleur inconnue ($>$)	effet d'une ampleur inconnue ($>$)	n.d.	effet d'une ampleur inconnue ($<$)	n.d.	effet non confirmé
PM16	effet confirmé $\geq$ SCE	effet non confirmé	effet confirmé d'ampleur variable ($<$)	effet confirmé $\geq$ SCE	effet non confirmé	effet confirmé d'ampleur variable	effet non confirmé	effet non confirmé	effet non confirmé	effet non confirmé	effet confirmé d'ampleur variable ($>$)	effet confirmé $\geq$ SCE
PM17	effet non confirmé	absence confirmée d'effet	effet non confirmé	absence confirmée d'effet	effet non confirmé	effet $<$ SCE	absence d'effet	absence d'effet	absence d'effet	absence d'effet	$<$ SCE ($<$)	effet non confirmé
PM18	effet non confirmé	effet non confirmé	effet non confirmé	effet non confirmé	absence confirmée d'effet	effet non confirmé	n.d.	n.d.	n.d.	effet non confirmé	n.d.	effet non confirmé
PM19	effet non confirmé	absence confirmée d'effet	effet non confirmé	absence confirmée d'effet	absence confirmée d'effet	effet non confirmé	effet non confirmé	effet non confirmé	effet non confirmé	absence confirmée d'effet	n.d.	effet non confirmé
PM20	effet confirmé d'ampleur variable	effet non confirmé	effet confirmé d'ampleur variable ($>$)	effet non confirmé	absence confirmée d'effet	effet d'une ampleur inconnue	absence d'effet	effet d'une ampleur inconnue ($<$)	n.d.	effet d'une ampleur inconnue ($<$)	n.d.	effet confirmé d'ampleur variable
PM21	effet confirmé d'ampleur variable	effet confirmé d'ampleur variable ($>$)	absence confirmée d'effet	effet confirmé d'ampleur variable	effet non confirmé	effet confirmé $\geq$ SCE	effet confirmé d'ampleur variable ($<$)	effet confirmé $\geq$ SCE ($>$)	effet non confirmé	confirmé $<$ SCE ($>$)	effet non confirmé	effet confirmé $\geq$ SCE
PM22	effet $\geq$ SCE	$\geq$ SCE ($<$)	absence d'effet	absence d'effet	absence d'effet	effet $\geq$ SCE	absence d'effet	$<$ SCE ($<$)	absence d'effet	absence d'effet	$\geq$ SCE ($>$)	effet $\geq$ SCE
PM23	effet non confirmé	absence confirmée d'effet	absence confirmée d'effet	effet non confirmé	absence confirmée d'effet	effet d'une ampleur inconnue	effet d'une ampleur inconnue ($<$)	absence d'effet	absence d'effet	effet d'une ampleur inconnue ($>$)	n.d.	effet non confirmé
PM24	effet non confirmé	absence confirmée d'effet	absence confirmée d'effet	absence confirmée d'effet	effet non confirmé	effet $\geq$ SCE	$\geq$ SCE ($>$)	$<$ SCE ($>$)	$<$ SCE ($<$)	$\geq$ SCE ($>$)	$\geq$ SCE ($<$)	effet non confirmé

	Effet le plus intense pour l'habitat des poissons	Densité	Richesse taxonomique	Indice de similitude	Indice de régularité	Effet le plus intense pour les poissons	Survie	Croissance	Reproduction	Condition	Taille relative du foie	Effet le plus intense pour les poissons et leur habitat
PM25	effet non confirmé	effet non confirmé	effet non confirmé	effet non confirmé	effet non confirmé	confirmé < SCE	effet non confirmé	effet non confirmé	absence confirmée d'effet	confirmé < SCE (<)	effet non confirmé	confirmé < SCE
PM26	effet confirmé d'ampleur variable	effet non confirmé	absence confirmée d'effet	effet confirmé d'ampleur variable	effet non confirmé	effet confirmé ≥ SCE	effet confirmé ≥ SCE (<)	absence confirmée d'effet	effet confirmé ≥ SCE (<)	effet confirmé ≥ SCE (<)	effet non confirmé	effet confirmé ≥ SCE
PM27	effet non confirmé	absence confirmée d'effet	absence confirmée d'effet	absence confirmée d'effet	effet non confirmé	effet non confirmé	effet non confirmé	effet non confirmé	effet non confirmé	effet non confirmé	effet non confirmé	effet non confirmé
PM28	effet confirmé ≥ SCE	effet non confirmé	effet confirmé ≥ SCE (<)	effet confirmé ≥ SCE	effet confirmé ≥ SCE (>)	effet confirmé ≥ SCE	effet confirmé ≥ SCE (>)	effet confirmé ≥ SCE (>)	effet non confirmé	effet non confirmé	effet non confirmé	effet confirmé ≥ SCE
PM29	effet non confirmé	absence confirmée d'effet	absence confirmée d'effet	effet non confirmé	absence confirmée d'effet	effet confirmé d'ampleur variable	n.d.	n.d.	n.d.	effet confirmé d'ampleur variable (<)	n.d.	effet confirmé d'ampleur variable
PM30	effet ≥ SCE	absence d'effet	absence d'effet	≥ SCE	absence d'effet	confirmé < SCE	absence confirmée d'effet	effet non confirmé	effet non confirmé	confirmé < SCE (<)	effet non confirmé	confirmé < SCE
PM31	effet non confirmé	absence confirmée d'effet	absence confirmée d'effet	effet non confirmé	absence confirmée d'effet	effet confirmé d'ampleur variable	effet non confirmé	effet confirmé d'ampleur inconnue (<)	effet confirmé d'ampleur variable (>)	effet confirmé d'ampleur inconnue (<)	effet non confirmé	effet confirmé d'ampleur variable
PM32	effet confirmé d'ampleur variable	absence confirmée d'effet	effet confirmé d'ampleur variable (<)	effet confirmé d'ampleur variable	effet non confirmé	effet confirmé d'ampleur variable	effet non confirmé	effet non confirmé	effet non confirmé	effet confirmé d'ampleur variable (>)	effet non confirmé	effet confirmé d'ampleur variable
PM33	effet confirmé ≥ SCE	absence confirmée d'effet	effet non confirmé	effet confirmé ≥ SCE	absence confirmée d'effet	aucun résultat : l'étude des poissons n'a pas pu être réalisée ou complétée						effet confirmé ≥ SCE
PM34	effet non confirmé	absence confirmée d'effet	absence confirmée d'effet	effet non confirmé	absence confirmée d'effet	effet non confirmé	effet non confirmé	effet non confirmé	n.d.	effet non confirmé	effet non confirmé	effet non confirmé
PM35	effet confirmé ≥ SCE	effet confirmé ≥ SCE (>)	absence confirmée d'effet	effet confirmé ≥ SCE	absence confirmée d'effet	effet confirmé ≥ SCE	confirmé < SCE (>)	effet confirmé d'ampleur inconnue (<)	effet non confirmé	effet confirmé ≥ SCE (<)	effet confirmé d'ampleur variable (<)	effet confirmé ≥ SCE

	Effet le plus intense pour l'habitat des poissons	Densité	Richesse taxonomique	Indice de similitude	Indice de régularité	Effet le plus intense pour les poissons	Survie	Croissance	Reproduction	Condition	Taille relative du foie	Effet le plus intense pour les poissons et leur habitat
PM36	effet confirmé ≥ SCE	effet confirmé ≥ SCE (<)	effet confirmé ≥ SCE (<)	effet confirmé d'ampleur variable	absence confirmée d'effet	effet confirmé d'ampleur inconnue	effet confirmé d'ampleur inconnue (>)	effet confirmé d'ampleur inconnue (<)	n.d.	effet confirmé d'ampleur inconnue (<)	n.d.	effet confirmé ≥ SCE
PM37	effet ≥ SCE	< SCE (<)	absence d'effet	≥ SCE	≥ SCE (>)	absence d'effet	absence d'effet	absence d'effet	absence d'effet	absence d'effet	absence d'effet	effet ≥ SCE
PM38	effet ≥ SCE	absence d'effet	absence d'effet	≥ SCE	absence d'effet	effet ≥ SCE	< SCE (<)	absence d'effet	≥ SCE (<)	absence d'effet	≥ SCE (<)	effet ≥ SCE
PM39	effet non confirmé	effet non confirmé	absence confirmée d'effet	effet non confirmé	absence confirmée d'effet	aucun résultat : étude non nécessaire						effet non confirmé
PM40	effet ≥ SCE	≥ SCE (>)	absence d'effet	≥ SCE	< SCE (<)	effet ≥ SCE	< SCE (>)	≥ SCE (<)	< SCE (<)	≥ SCE (>)	≥ SCE (>)	effet ≥ SCE
PM41	effet confirmé ≥ SCE	effet non confirmé	absence confirmée d'effet	effet confirmé ≥ SCE	effet non confirmé	effet confirmé ≥ SCE	effet non confirmé	effet confirmé ≥ SCE (>)	effet confirmé d'ampleur variable (>)	confirmé < SCE (>)	confirmé < SCE (>)	effet confirmé ≥ SCE
PM42	effet ≥ SCE	absence d'effet	absence d'effet	≥ SCE	absence d'effet	effet ≥ SCE	absence d'effet	≥ SCE (>)	absence d'effet	≥ SCE (>)	< SCE (>)	effet ≥ SCE
PM43	effet ≥ SCE	absence d'effet	absence d'effet	≥ SCE	< SCE (>)	effet d'une ampleur inconnue	n.d.	n.d.	n.d.	effet d'une ampleur inconnue (>)	n.d.	effet ≥ SCE
PM44	effet < SCE	absence d'effet	< SCE (<)	absence d'effet	absence d'effet	effet ≥ SCE	effet d'une ampleur inconnue (>)	effet d'une ampleur inconnue (>)	absence d'effet	≥ SCE (>)	n.d.	effet ≥ SCE
PM45	absence d'effet	absence d'effet	absence d'effet	absence d'effet	absence d'effet	absence d'effet	absence d'effet	n.d.	n.d.	absence d'effet	n.d.	absence d'effet
PM46	effet confirmé ≥ SCE	effet non confirmé	effet non confirmé	effet confirmé ≥ SCE	absence confirmée d'effet	effet ≥ SCE	≥ SCE (>)	< SCE (<)	≥ SCE (>)	< SCE (<)	< SCE (<)	effet confirmé ≥ SCE
PM47	effet ≥ SCE	≥ SCE (<)	≥ SCE (<)	≥ SCE	absence d'effet	effet ≥ SCE	absence d'effet	absence d'effet	absence d'effet	effet d'une ampleur inconnue (<)	≥ SCE (<)	effet ≥ SCE
PM48	effet ≥ SCE	absence d'effet	absence d'effet	≥ SCE	absence d'effet	effet ≥ SCE	< SCE (<)	< SCE (<)	absence d'effet	≥ SCE (<)	absence d'effet	effet ≥ SCE
PM49	effet ≥ SCE	≥ SCE (>)	absence d'effet	≥ SCE	≥ SCE (<)	effet ≥ SCE	≥ SCE (>)	effet d'une ampleur inconnue (>)	effet d'une ampleur inconnue (>)	≥ SCE (>)	< SCE (<)	effet ≥ SCE

	Effet le plus intense pour l'habitat des poissons	Densité	Richesse taxonomique	Indice de similitude	Indice de régularité	Effet le plus intense pour les poissons	Survie	Croissance	Reproduction	Condition	Taille relative du foie	Effet le plus intense pour les poissons et leur habitat
PM50	effet < SCE	< SCE (<)	absence d'effet	< SCE	absence d'effet	effet ≥ SCE	absence d'effet	< SCE (<)	< SCE (<)	< SCE (>)	≥ SCE (>)	effet ≥ SCE
PM51	absence d'effet	absence d'effet	absence d'effet	absence d'effet	absence d'effet	effet < SCE	absence d'effet	n.d.	< SCE (<)	absence d'effet	absence d'effet	effet < SCE
PM52	absence d'effet	absence d'effet	absence d'effet	absence d'effet	absence d'effet	aucun résultat : étude non nécessaire						absence d'effet
PM53	effet < SCE	< SCE (>)	absence d'effet	< SCE	< SCE (<)	effet ≥ SCE	absence d'effet	≥ SCE (<)	effet d'une ampleur inconnue (>)	< SCE (>)	< SCE (>)	effet ≥ SCE
Mines d'uranium												
U1	effet confirmé ≥ SCE	effet confirmé ≥ SCE (<)	effet confirmé ≥ SCE (<)	effet confirmé ≥ SCE	effet non confirmé	effet confirmé d'ampleur variable	effet non confirmé	effet non confirmé	effet non confirmé	effet confirmé d'ampleur variable (<)	confirmé < SCE (<)	effet confirmé ≥ SCE
U2	effet confirmé ≥ SCE	effet non confirmé	absence confirmée d'effet	effet confirmé ≥ SCE	absence confirmée d'effet	effet confirmé ≥ SCE	effet non confirmé	effet confirmé ≥ SCE (>)	effet non confirmé	effet non confirmé	effet confirmé ≥ SCE (<)	effet confirmé ≥ SCE
U3	effet confirmé ≥ SCE	effet confirmé ≥ SCE (>)	confirmé < SCE (>)	effet confirmé d'ampleur variable	effet non confirmé	effet non confirmé	effet non confirmé	effet non confirmé	effet non confirmé	effet non confirmé	effet non confirmé	effet confirmé ≥ SCE
U4	effet non confirmé	absence confirmée d'effet	absence confirmée d'effet	effet non confirmé	absence confirmée d'effet	effet confirmé ≥ SCE	effet non confirmé	effet confirmé d'ampleur inconnue (>)	effet non confirmé	effet confirmé d'ampleur variable (>)	n.d.	effet confirmé ≥ SCE
U5	effet confirmé ≥ SCE	effet confirmé ≥ SCE (>)	effet confirmé d'ampleur variable (>)	effet confirmé ≥ SCE	absence confirmée d'effet	effet confirmé ≥ SCE	absence confirmée d'effet	effet confirmé ≥ SCE (>)	effet non confirmé	effet non confirmé	effet confirmé ≥ SCE (>)	effet confirmé ≥ SCE
U6	effet ≥ SCE	≥ SCE (<)	≥ SCE (<)	≥ SCE	≥ SCE (>)	effet d'une ampleur inconnue	effet d'une ampleur inconnue (<)	effet d'une ampleur inconnue (<)	effet d'une ampleur inconnue (>)	effet d'une ampleur inconnue (<)	absence d'effet	effet ≥ SCE
Autres mines de métaux (incluant le tungstène, le tantale, le niobium et le magnésium)												
O1	effet confirmé ≥ SCE	effet non confirmé	effet non confirmé	effet confirmé d'ampleur variable	effet confirmé ≥ SCE (>)	absence confirmée d'effet	n.d.	n.d.	n.d.	absence confirmée d'effet	n.d.	effet confirmé ≥ SCE

	Effet le plus intense pour l'habitat des poissons	Densité	Richesse taxonomique	Indice de similitude	Indice de régularité	Effet le plus intense pour les poissons	Survie	Croissance	Reproduction	Condition	Taille relative du foie	Effet le plus intense pour les poissons et leur habitat
O2	effet non confirmé	absence confirmée d'effet	absence confirmée d'effet	effet non confirmé	absence confirmée d'effet	effet d'une ampleur inconnue	effet d'une ampleur inconnue (>)	effet d'une ampleur inconnue (>)	n.d.	absence d'effet	n.d.	effet non confirmé
O3	effet confirmé $\geq$ SCE	effet non confirmé	effet confirmé $\geq$ SCE (<)	effet confirmé $\geq$ SCE	effet confirmé $\geq$ SCE (<)	effet confirmé d'ampleur variable	effet confirmé d'ampleur variable (<)	effet non confirmé	confirmé < SCE (>)	effet non confirmé	effet non confirmé	effet confirmé $\geq$ SCE
O4	effet confirmé $\geq$ SCE	effet confirmé $\geq$ SCE (>)	effet non confirmé	effet confirmé $\geq$ SCE	absence confirmée d'effet	aucun résultat : étude non nécessaire						effet confirmé $\geq$ SCE

Annexe D : Concentrations moyennes de mercure total dans les tissus des poissons, par mine

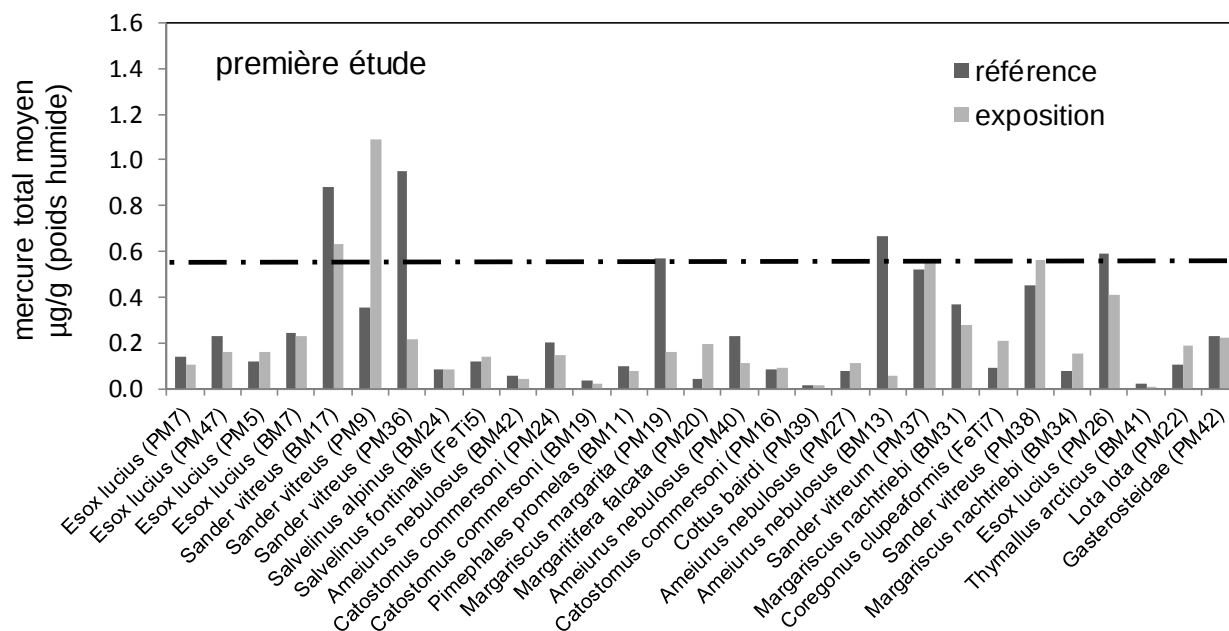


Figure D1. Mercure total moyen dans les tissus des poissons capturés dans les zones de référence et d'exposition, échantillonnées lors de l'étude de suivi biologique de la première ESEE de la mine.

Note : La ligne pointillée représente le niveau d'effet du REMM de 0,50 µg/g.

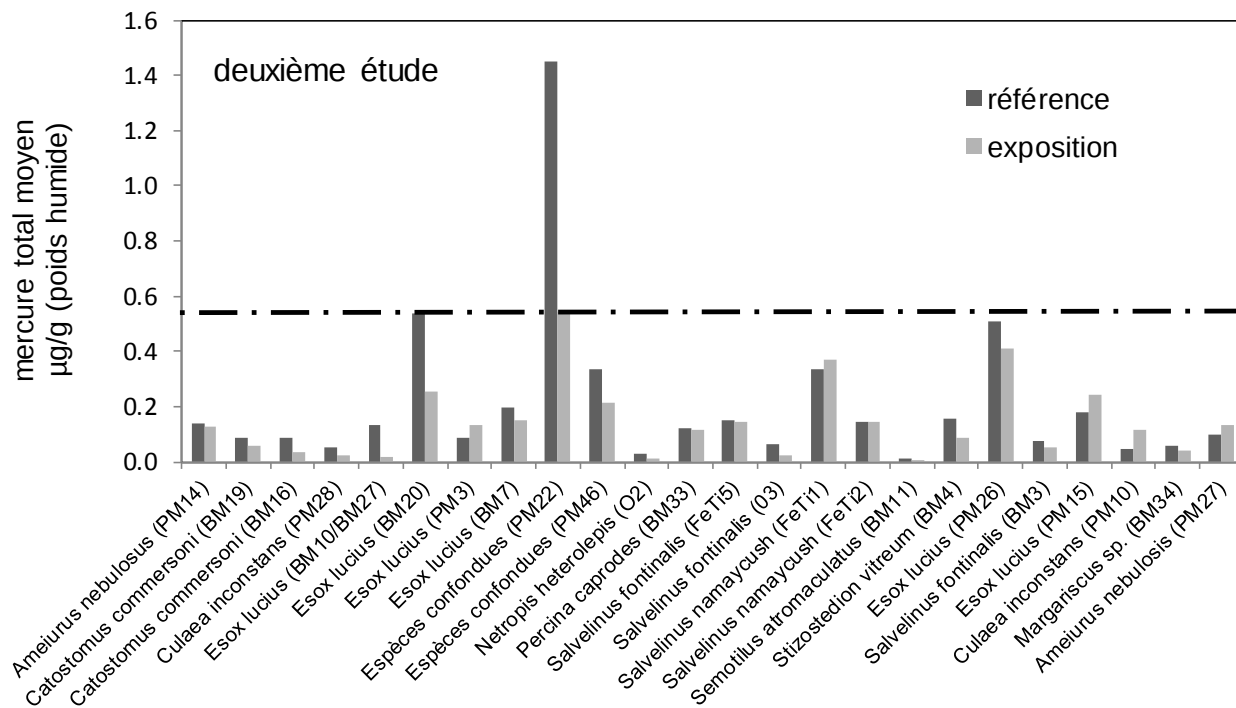


Figure D2. Mercure total moyen dans les tissus des poissons capturés dans les zones de référence et exposées, échantillonnées lors de l'étude de suivi biologique de la deuxième ESEE de la mine.

Note : La ligne pointillée représente le niveau d'effet du REMM de 0,50 µg/g.

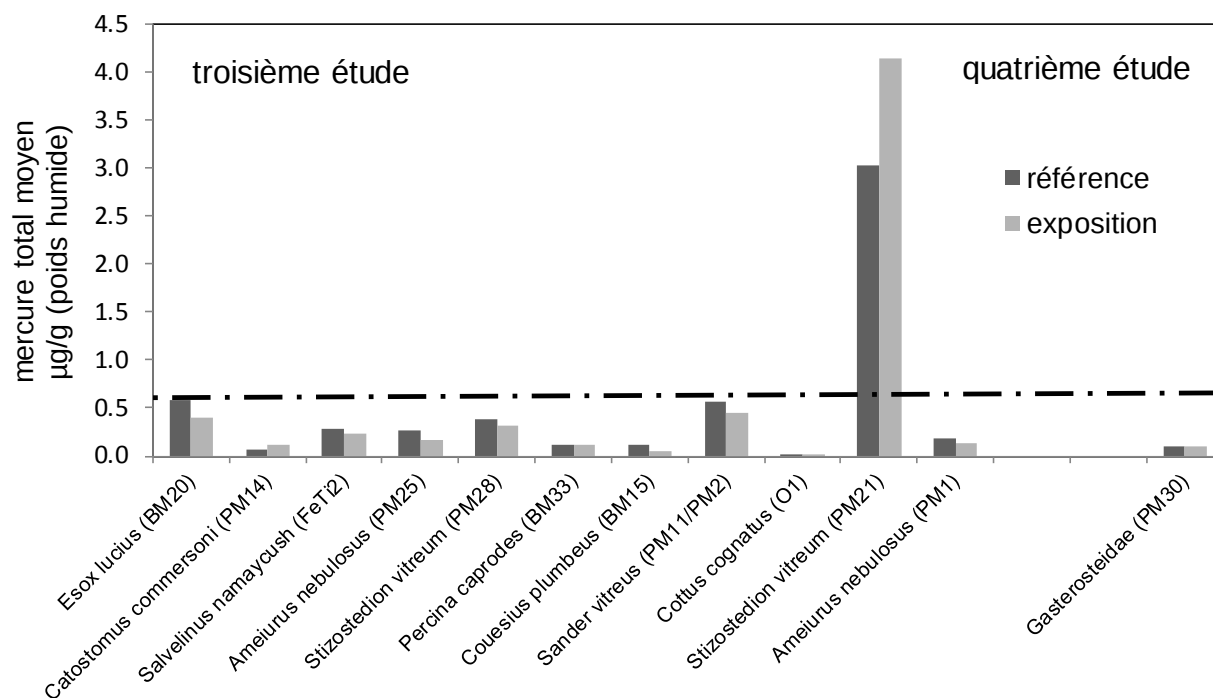


Figure D3. Mercure total moyen dans les tissus des poissons capturés dans les zones de référence et d'exposition, échantillonnées lors de l'étude de suivi biologique pour la troisième et quatrième ESEE de la mine.

Note : La ligne pointillée représente le niveau d'effet du REMM de 0,50 µg/g.

Annexe E : Tendances de la toxicité sublétales

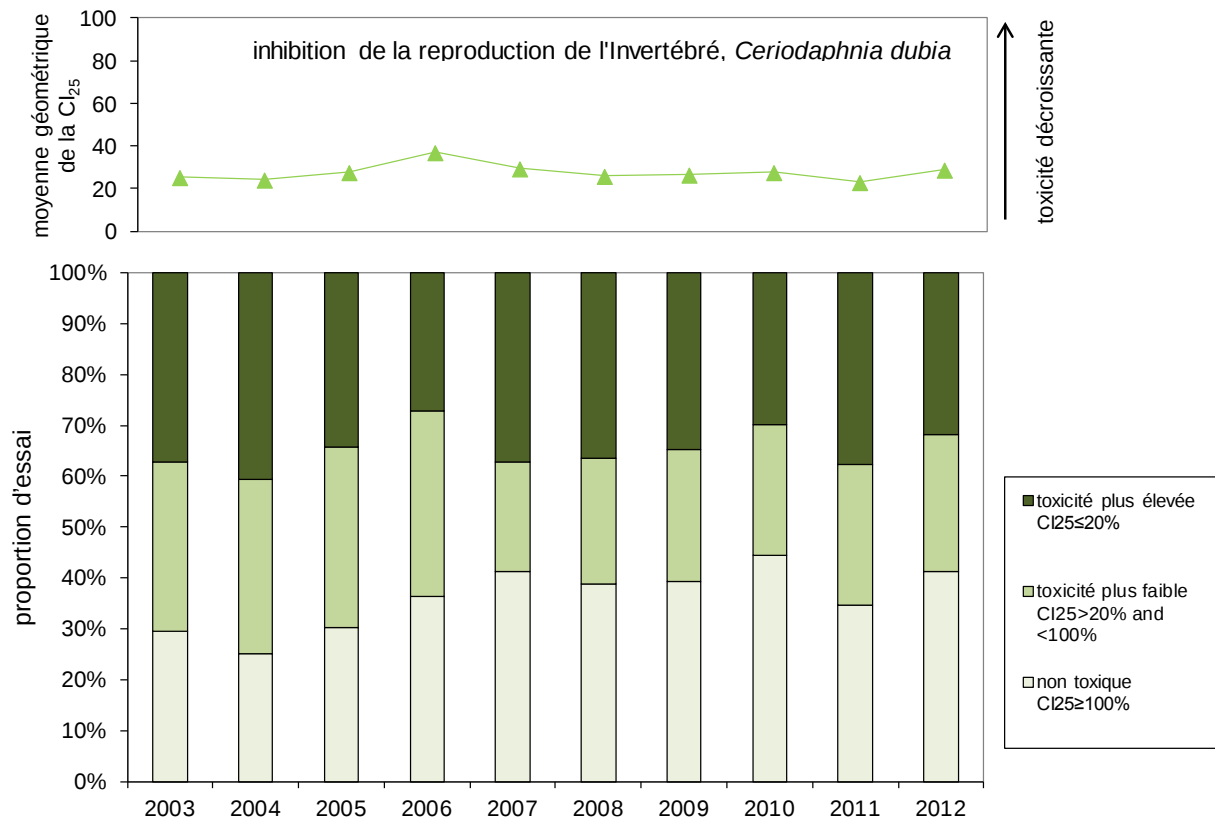


Figure E1. Moyenne géométrique de CI_{25} (pourcentage d'effluent en volume) et proportion des essais pour chaque catégorie de toxicité sublétales par année pour l'essai d'inhibition de la reproduction de l'invertébré *Ceriodaphnia dubia*.

Note : Le nombre d'essais réalisés chaque année varie entre 121 et 155.

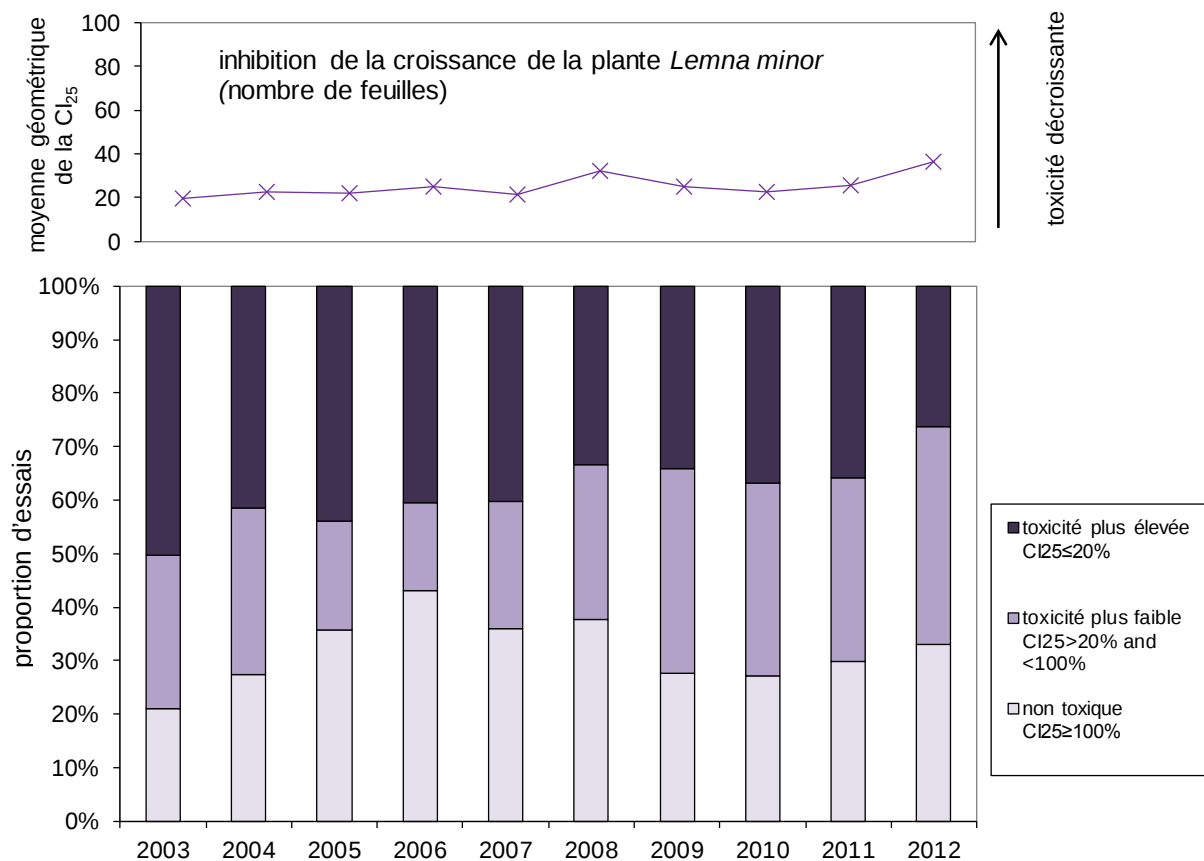


Figure E2. Moyenne géométrique de CI_{25} (pourcentage d'effluent en volume) et proportion des essais pour chaque catégorie de toxicité sublétales par année pour l'essai d'inhibition de la croissance végétale basé sur le nombre de feuilles de *Lemna minor*.

Note : Le nombre d'essais réalisés chaque année varie entre 116 et 145.

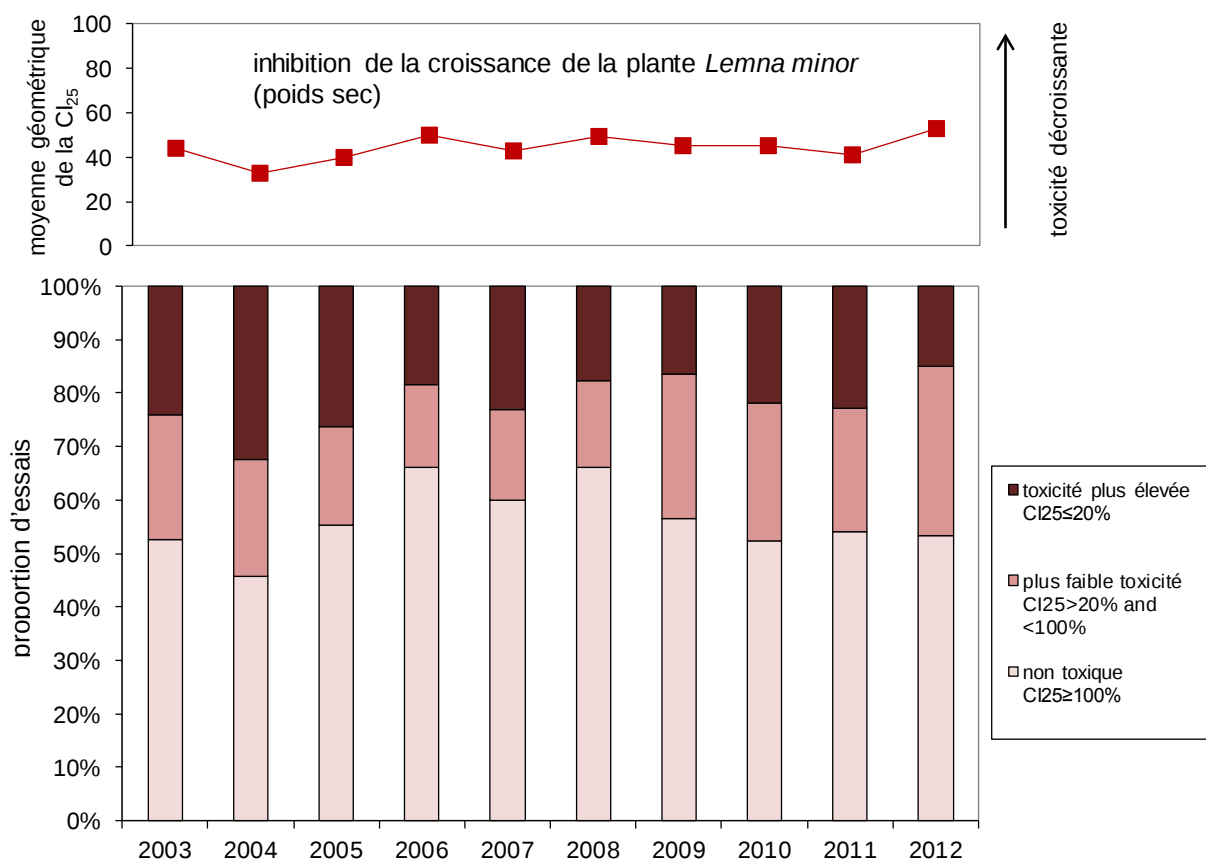


Figure E3. Moyenne géométrique de CI_{25} (pourcentage d'effluent en volume) et proportion des essais pour chaque catégorie de toxicité sublétales par année pour l'essai d'inhibition de la croissance végétale basé sur le poids sec de *Lemna minor*.

Note : Le nombre d'essais réalisés chaque année varie entre 117 et 142.

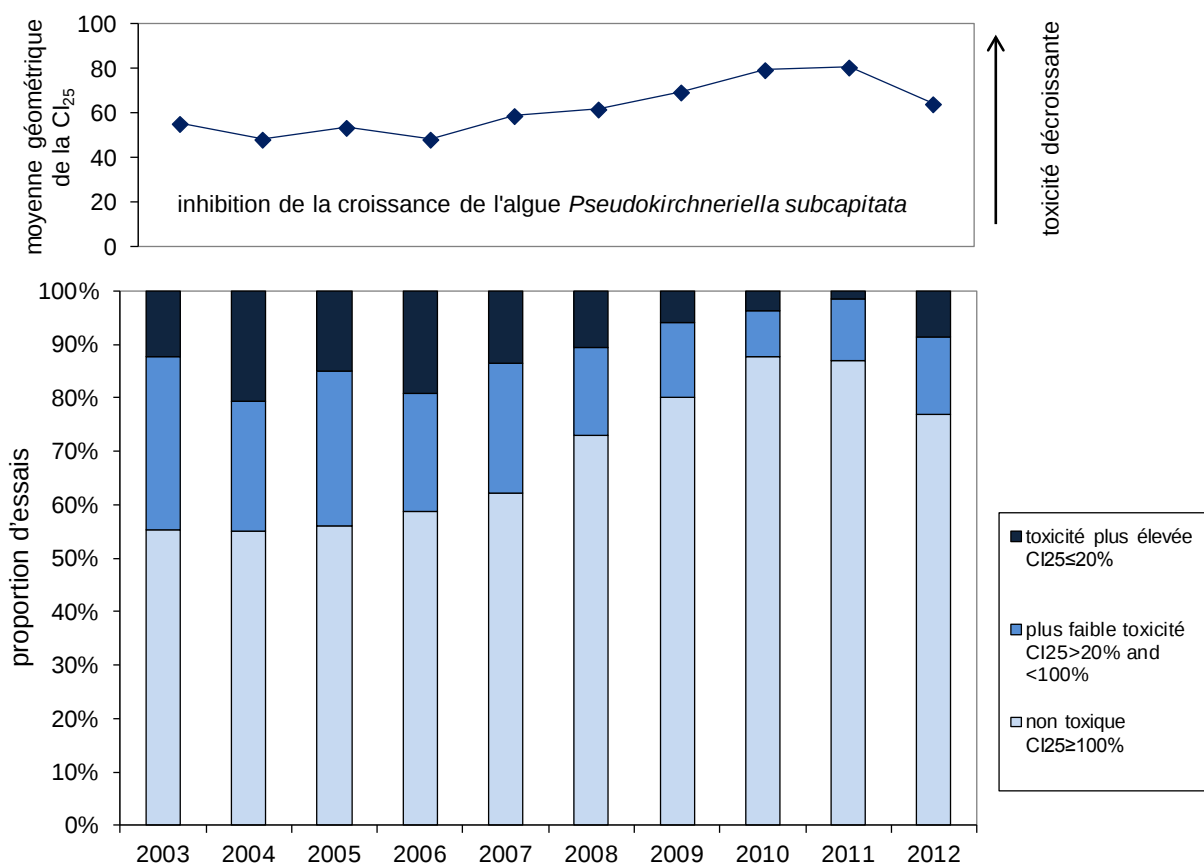


Figure E4. Moyenne géométrique de CI_{25} (pourcentage d'effluent en volume) et proportion des essais pour chaque catégorie de toxicité sublétales par année pour l'essai d'inhibition de la croissance de l'algue *Pseudokirchneriella subcapitata*
 Note : Le nombre d'essais réalisés chaque année varie entre 119 et 152.

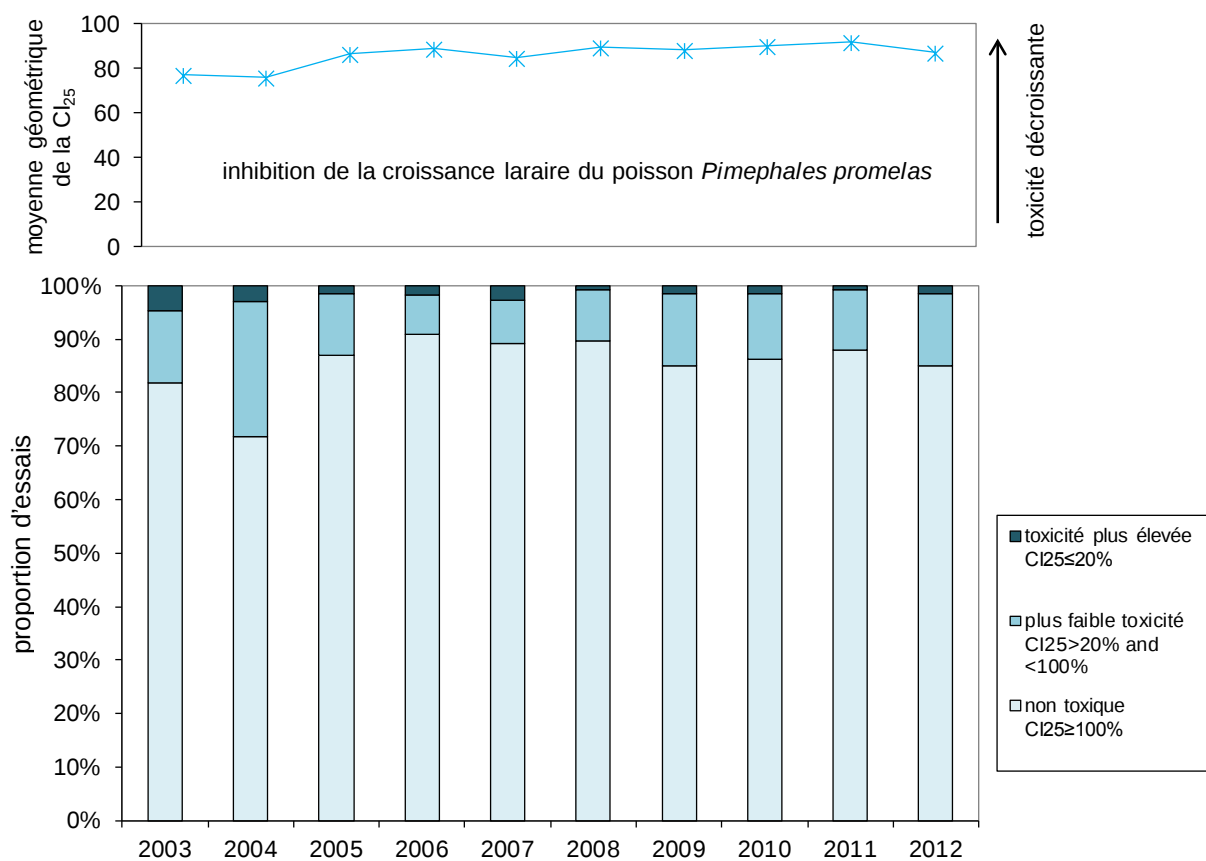


Figure E5. Moyenne géométrique de CI_{25} (pourcentage d'effluent en volume) et proportion des essais pour chaque catégorie de toxicité sublétales par année pour l'essai d'inhibition de la croissance larvaire du poisson *Pimephales promelas*
 Note : Le nombre d'essais réalisés chaque année varie entre 111 et 140.

Annexe F : Tendances de la toxicité sublétaie en fonction du type de minerai

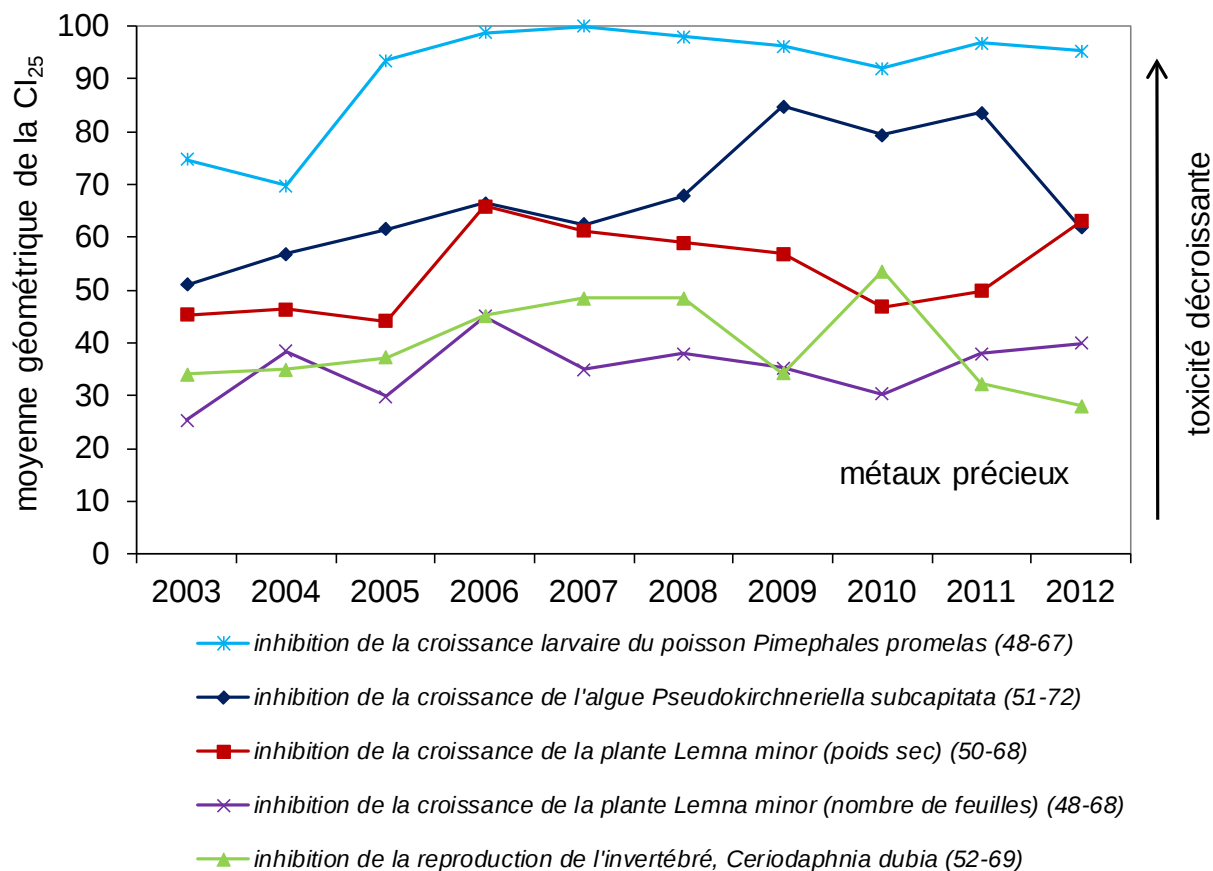


Figure F1. Moyenne géométrique annuelle de CI_{25} (pourcentage d'effluent par volume) pour chaque essai de toxicité sublétaie de l'effluent des mines de métaux précieux.
 Note : La fourchette du nombre d'essais réalisés annuellement est indiquée entre parenthèses.

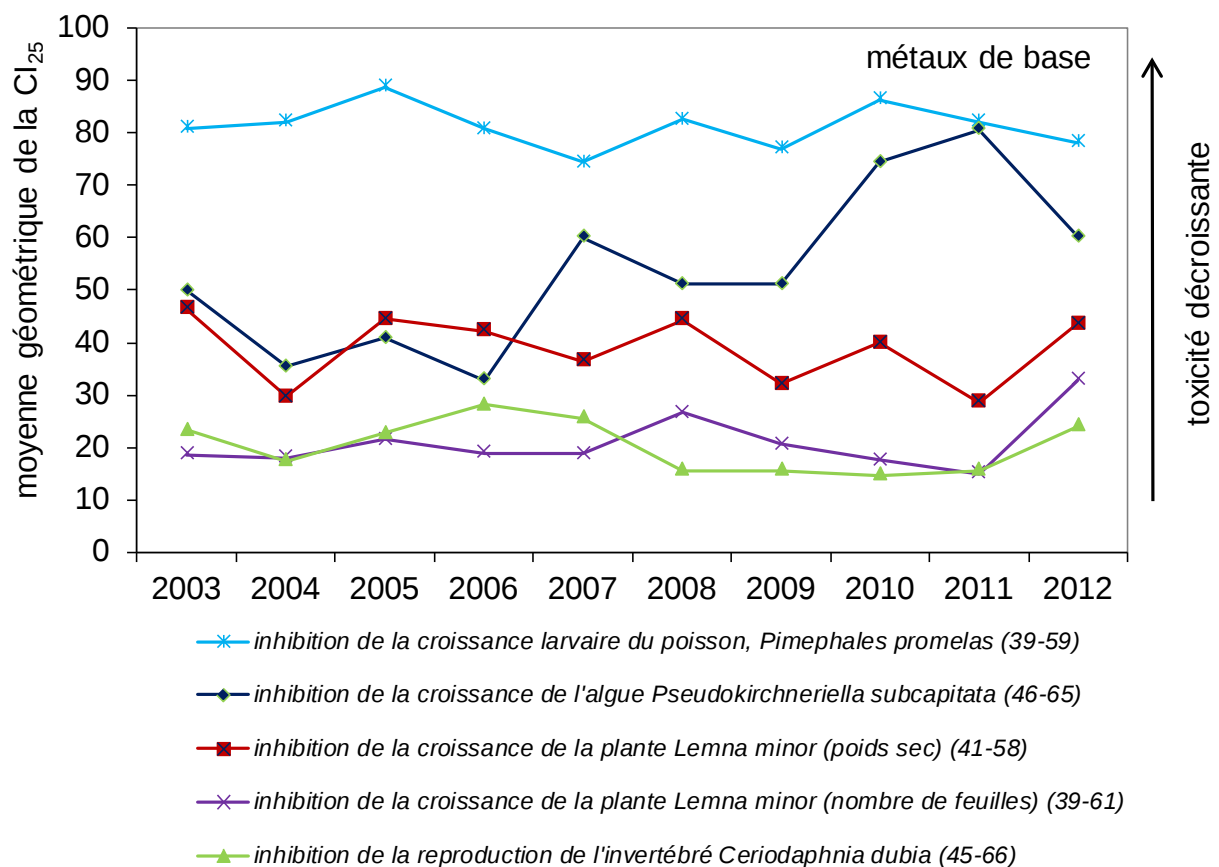


Figure F2. Moyenne géométrique annuelle de CI_{25} (pourcentage d'effluent par volume) pour chaque essai de toxicité sublétales de l'effluent des mines de métaux de base
 Note : La fourchette du nombre d'essais réalisés annuellement est indiquée entre parenthèses.

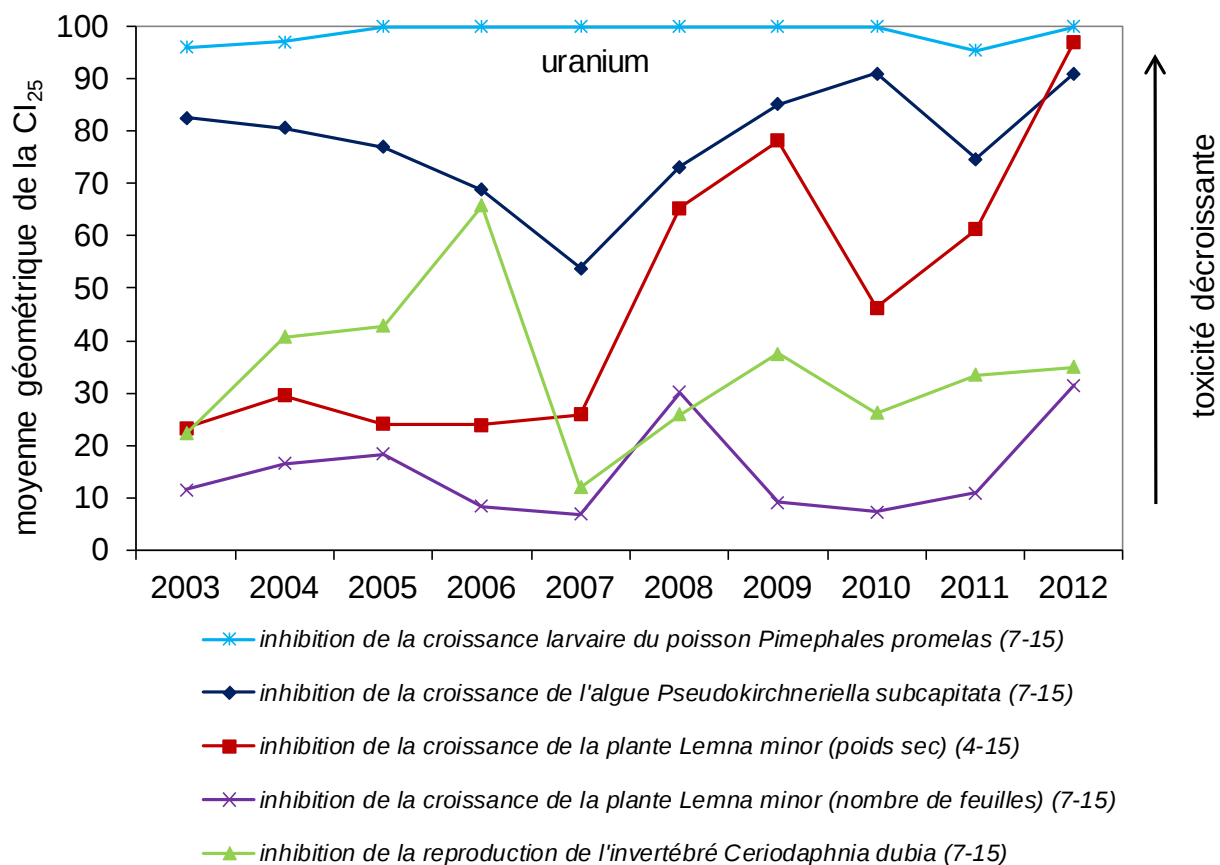


Figure F3. Moyenne géométrique annuelle de CI_{25} (pourcentage d'effluent par volume) pour chaque essai de toxicité sublétales de l'effluent des mines d'uranium
 Note : La fourchette du nombre d'essais réalisés annuellement est indiquée entre parenthèses.

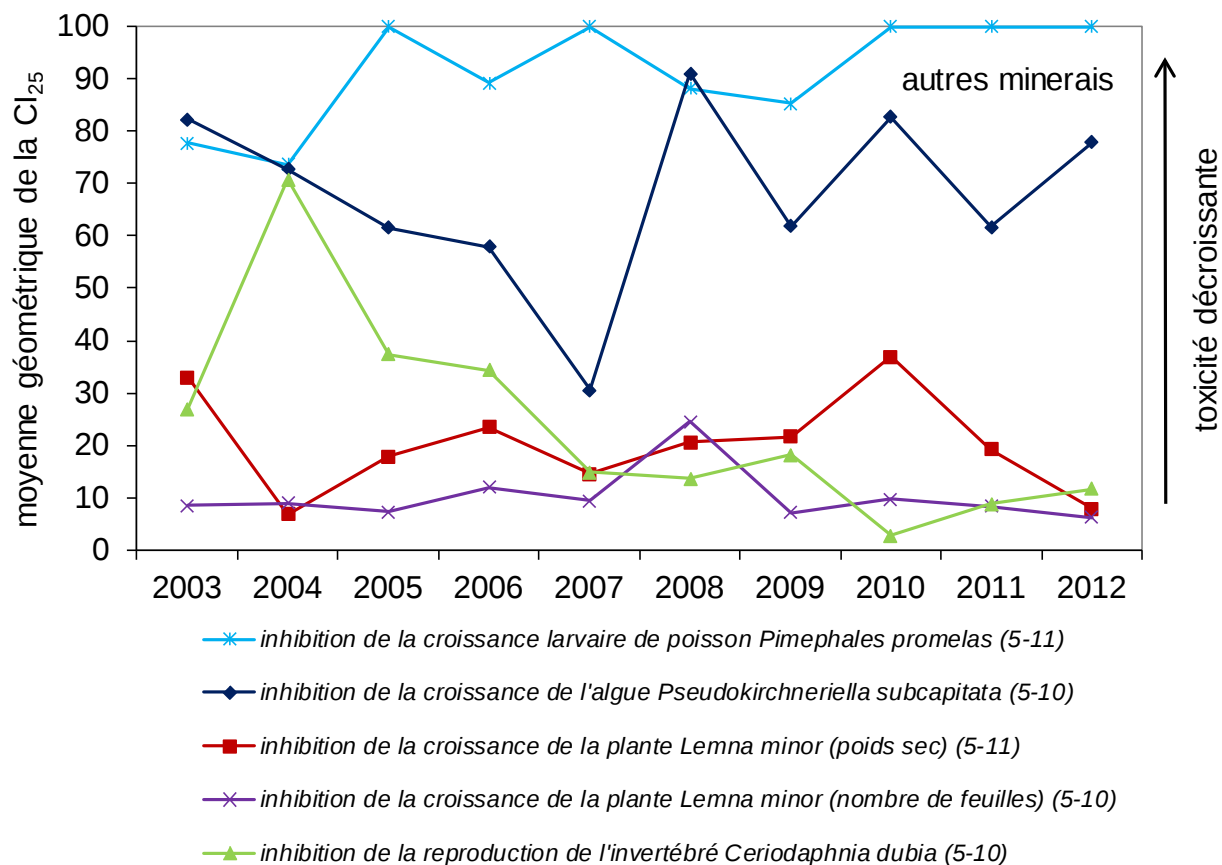


Figure F4. Moyenne géométrique annuelle de Cl_{25} (pourcentage d'effluent par volume) pour chaque essai de toxicité sublétales de l'effluent des mines d'autres minerais.
 Note : La fourchette du nombre d'essais réalisés annuellement est indiquée entre parenthèses.

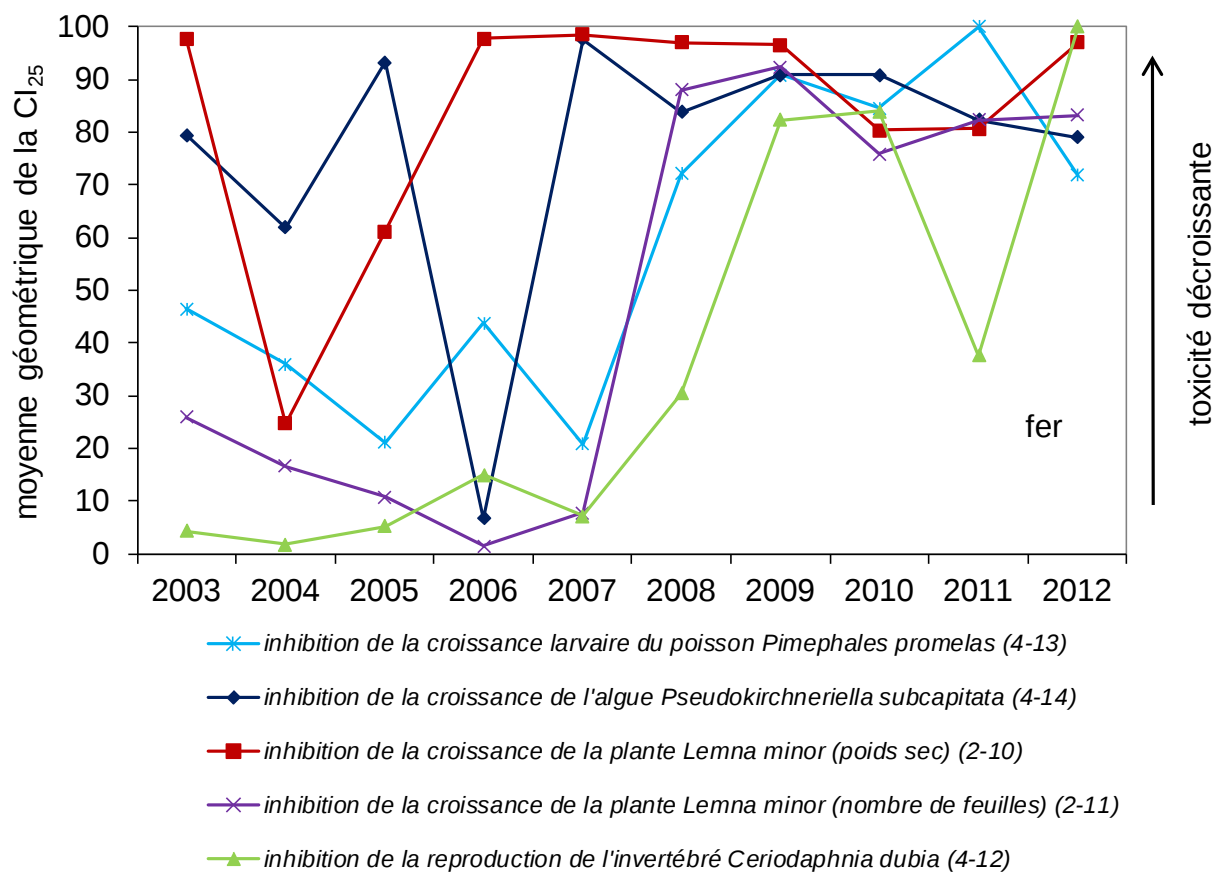


Figure F5. Moyenne géométrique annuelle de CI_{25} (pourcentage d'effluent par volume) pour chaque essai de toxicité sublétales de l'effluent des mines de fer.
 Note : La fourchette du nombre d'essais réalisés annuellement est indiquée entre parenthèses.

Annexe G : Concentrations annuelles moyennes des données de caractérisation de l'effluent

Tableau G1. Concentrations annuelles moyennes de 2004 à 2012 des substances mesurées dans les effluents des mines de métaux de base au point de rejet final (PRF) associée au études de suivi biologique et à tous les autres PRF

Année	Type de PRF	n	Dureté mg/L	Alcalinité mg/L	Aluminium mg/L	Cadmium mg/L	Fer mg/L	Mercure mg/L	Molybdène mg/L	Ammoniac mg/L	Nitrate mg/L
2004	<i>PRF biologiques</i>	33	1100	70	0,155	0,00086	0,219	0,00018	0,146	3,03	23,16
	<i>autres PRF</i>	11	681	105	0,140	0,00215	0,418	0,00002	2,323	0,26	3,46
2005	<i>PRF biologiques</i>	35	995	59	0,180	0,00104	0,331	0,00025	0,184	1,51	6,94
	<i>autres PRF</i>	18	603	106	0,224	0,00903	0,594	0,00090	1,721	1,79	4,52
2006	<i>PRF biologiques</i>	35	912	70	1,178	0,15115	3,654	0,00547	0,220	1,47	5,30
	<i>autres PRF</i>	20	510	82	0,438	0,00134	0,864	0,00001	1,152	0,47	2,14
2007	<i>PRF biologiques</i>	37	918	75	0,396	0,00074	0,419	0,00253	0,207	1,93	6,00
	<i>autres PRF</i>	17	572	104	0,242	0,01579	1,384	0,00002	1,819	0,20	1,95
2008	<i>PRF biologiques</i>	45	863	95	0,504	0,00165	0,286	0,00006	0,267	2,36	7,43
	<i>autres PRF</i>	19	539	100	0,237	0,00147	0,376	0,00002	1,935	0,51	2,47
2009	<i>PRF biologiques</i>	43	826	76	0,119	0,00092	0,265	0,00002	0,212	1,12	4,89
	<i>autres PRF</i>	20	518	98	0,150	0,00183	0,377	0,00003	2,094	0,22	1,83
2010	<i>PRF biologiques</i>	43	920	79	0,096	0,00072	0,233	0,00002	0,211	1,35	4,24
	<i>autres PRF</i>	18	574	103	0,149	0,00288	0,279	0,00002	2,407	0,20	1,41
2011	<i>PRF biologiques</i>	48	888	76	0,082	0,01145	0,456	0,00002	0,224	1,52	4,88
	<i>autres PRF</i>	25	615	131	1,249	0,00114	3,330	0,00001	1,854	0,17	1,70
2012	<i>PRF biologiques</i>	51	891	75	0,333	0,14092	0,299	0,00002	0,141	1,18	4,50
	<i>autres PRF</i>	24	618	125	0,211	0,00079	0,330	0,00094	2,389	0,26	2,82

Tableau G2. Concentrations annuelles moyennes de 2004 à 2012 des substances mesurées dans les effluents des mines de fer au point de rejet final (PRF) associé au études de suivi biologique et à tous les autres PRF

Année	Type de PRF	n	Dureté mg/L	Alcalinité mg/L	Aluminium mg/L	Cadmium mg/L	Fer mg/L	Mercure mg/L	Molybdène mg/L	Ammoniac mg/L	Nitrate mg/L
2004	PRF biologiques	3	556	45	4,720	0,00325	1044,891	0,00004	0,007	3,64	5,60
	autres PRF	10	226	42	0,970	0,00051	405,405	0,00004	0,004	0,46	1,67
2005	PRF biologiques	3	2305	46	39,131	0,01181	2846,823	0,00009	0,010	2,35	4,07
	autres PRF	11	253	39	2,508	0,00139	332,712	0,00004	0,002	0,97	2,69
2006	PRF biologiques	3	1521	43	27,941	0,00886	1635,333	0,00006	0,010	2,85	5,22
	autres PRF	11	229	41	2,073	0,00122	214,710	0,00005	0,002	1,34	3,24
2007	PRF biologiques	3	503	37	9,158	0,00471	591,118	0,00336	0,004	3,15	6,04
	autres PRF	11	198	43	1,467	0,00138	129,370	0,00139	0,002	2,69	4,75
2008	PRF biologiques	4	1092	38	25,794	0,00	1655,911	0,00027	0,010	2,89	5,34
	autres PRF	13	150	50	1,531	0,00031	102,672	0,00002	0,002	1,24	5,22
2009	PRF biologiques	4	50	36	0,196	0,00023	0,586	0,00001	0,001	0,57	2,61
	autres PRF	10	80	47	0,443	0,00024	1,376	0,00001	0,001	1,73	6,27
2010	PRF biologiques	5	48	32	0,116	0,00019	0,590	0,00003	0,001	0,39	2,60
	autres PRF	9	76	43	0,189	0,00020	1,539	0,00002	0,115	2,00	6,16
2011	PRF biologiques	7	51	33	0,251	0,00014	1,446	0,00004	0,002	0,58	3,65
	autres PRF	7	87	47	0,324	0,00006	2,193	0,00001	0,001	1,50	6,28
2012	PRF biologiques	6	66	39	0,087	0,00015	0,561	0,00001	0,002	0,77	4,98
	autres PRF	7	89	50	0,218	0,00004	0,889	0,00001	0,001	2,02	6,80

Tableau G.3. Concentrations annuelles moyennes de 2004 à 2012 des substances mesurées dans les effluents des mines de métaux précieux aux points de rejet final (PRF) associé au études de suivi biologique et à tous les autres PRF

Année	Type de PRF	n	Dureté mg/L	Alcalinité mg/L	Aluminium mg/L	Cadmium mg/L	Fer mg/L	Mercure mg/L	Molybdène mg/L	Ammoniac mg/L	Nitrate mg/L
2004	<i>PRF biologiques</i>	25	792	81	0,158	0,00065	0,322	0,00005	0,052	5,48	9,65
	<i>autres PRF</i>	11	157	65	0,065	0,00041	1,763	0,00006	0,009	2,74	2,75
2005	<i>PRF biologiques</i>	28	681	75	0,221	0,00041	0,318	0,00024	0,045	5,57	12,58
	<i>autres PRF</i>	9	187	61	0,072	0,00019	1,942	0,00015	0,009	1,69	3,01
2006	<i>PRF biologiques</i>	36	557	87	0,301	0,00041	0,279	0,00005	0,050	3,77	10,78
	<i>autres PRF</i>	13	267	71	0,162	0,00022	1,091	0,00005	0,054	0,92	6,59
2007	<i>PRF biologiques</i>	35	549	95	0,177	0,00033	0,281	0,00005	0,036	3,71	9,77
	<i>autres PRF</i>	19	370	74	0,650	0,00014	1,075	0,00004	0,069	3,39	11,01
2008	<i>PRF biologiques</i>	42	547	88	0,787	0,00054	2,311	0,00025	0,041	3,97	12,72
	<i>autres PRF</i>	15	329	66	0,138	0,00019	1,660	0,00003	0,039	4,27	13,89
2009	<i>PRF biologiques</i>	40	480	92	0,186	0,00026	0,439	0,00016	0,039	3,08	13,51
	<i>autres PRF</i>	14	324	74	0,089	0,00022	1,459	0,00003	0,055	2,04	6,86
2010	<i>PRF biologiques</i>	41	531	91	0,137	0,00028	0,272	0,00008	0,041	3,36	13,27
	<i>autres PRF</i>	15	428	86	0,075	0,00022	1,817	0,00002	0,071	2,55	6,21
2011	<i>PRF biologiques</i>	42	497	98	0,451	0,00014	0,329	0,00008	0,052	3,06	14,48
	<i>autres PRF</i>	9	448	68	0,073	0,00011	0,122	0,00004	0,084	2,75	7,19
2012	<i>PRF biologiques</i>	47	522	95	0,287	0,00013	0,421	0,00014	0,050	4,13	19,55
	<i>autres PRF</i>	8	455	78	0,270	0,00012	0,232	0,00002	0,104	3,07	10,39

Tableau G4. Concentrations annuelles moyennes de 2004 à 2012 des substances mesurées dans les effluents des mines d'uranium aux points de rejet final (PRF) associé au études de suivi biologique et à tous les autres PRF

Année	Type de PRF	n	Dureté mg/L	Alcalinité mg/L	Aluminium mg/L	Cadmium mg/L	Fer mg/L	Mercur mg/L	Molybdène mg/L	Ammonia c mg/L	Nitrate mg/L
2004	<i>PRF biologiques</i>	6	741	21	0,065	0,00050	0,325	0,00106	1,498	6,50	3,77
	<i>autres PRF</i>	2	27	12	0,003	0,00050	0,083	0,00003	0,003	0,06	1,51
2005	<i>PRF biologiques</i>	7	815	20	0,052	0,00052	0,232	0,00057	1,707	7,66	8,55
	<i>autres PRF</i>	2	30	14	0,003	0,00050	0,041	0,00003	0,002	0,06	1,85
2006	<i>PRF biologiques</i>	6	938	15	0,148	0,00050	0,209	0,00003	1,212	7,79	19,37
	<i>autres PRF</i>	1	1	9	0,003	0,00063	0,004	0,00003	0,004	0,09	0,33
2007	<i>PRF biologiques</i>	6	925	19	0,193	0,00041	0,326	0,00003	1,011	7,03	17,49
	<i>autres PRF</i>	1	2	7	0,001	0,00005	0,026	0,00003	0,006	0,04	1,78
2008	<i>PRF biologiques</i>	6	915	17	0,111	0,00052	0,210	0,00003	0,898	6,70	26,80
	<i>autres PRF</i>	1	2	5	0,000	0,00005	0,009	0,00003	0,000	0,04	2,40
2009	<i>PRF biologiques</i>	6	920	19	0,081	0,00036	0,225	0,00002	0,742	5,57	24,42
	<i>autres PRF</i>	2	37	13	0,004	0,00004	0,117	0,00002	0,003	0,05	3,11
2010	<i>PRF biologiques</i>	5	1094	17	0,098	0,00004	0,149	0,00001	0,305	5,03	15,45
	<i>autres PRF</i>	2	40	12	0,003	0,00001	0,088	0,00001	0,003	0,05	4,66
2011	<i>PRF biologiques</i>	5	1010	16	0,124	0,00001	0,242	0,00065	0,128	4,58	20,28
	<i>autres PRF</i>	3	120	11	0,003	0,00001	0,075	0,00001	0,008	0,02	21,98
2012	<i>PRF biologiques</i>	5	978	18	0,115	0,00002	0,142	0,00002	0,169	5,98	21,08
	<i>autres PRF</i>	3	94	11	0,002	0,00001	0,052	0,00001	0,008	0,04	21,87

Tableau G5. Concentrations annuelles moyennes de 2004 à 2012 des substances mesurées dans les effluents de mines d'autres types de minerais aux points de rejet final (PRF) associé au études de suivi biologique et à tous les autres PRF

Année	Type de PRF	n	Dureté mg/L	Alcalinité mg/L	Aluminium mg/L	Cadmium mg/L	Fer mg/L	Mercure mg/L	Molybdène mg/L	Ammoniac mg/L	Nitrate mg/L
2004	PRF biologiques	2	208	81	0,063	0,00005	0,228	0,00008	0,013	7,25	3,78
	autres PRF	1	157	216	0,050	0,00001	0,933	0,00010	0,005	0,15	0,06
2005	PRF biologiques	2	208	68	0,092	0,00007	0,082	0,00004	0,013	6,79	4,07
	autres PRF	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2006	PRF biologiques	2	233	101	0,053	0,00005	0,186	0,00004	0,012	7,96	3,64
	autres PRF	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2007	PRF biologiques	2	249	97	0,097	0,00007	0,273	0,00008	0,014	6,21	3,29
	autres PRF	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2008	PRF biologiques	2	246	75	0,030	0,00003	0,113	0,00003	0,013	6,29	4,01
	autres PRF	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2009	PRF biologiques	2	261	73	0,020	0,00004	0,158	0,00003	0,013	12,38	5,55
	autres PRF	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2010	PRF biologiques	2	328	90	0,027	0,00003	0,148	0,00002	0,010	8,20	5,18
	autres PRF	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2011	PRF biologiques	2	345	91	0,043	0,00003	0,169	0,00003	0,009	10,58	5,81
	autres PRF	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2012	PRF biologiques	2	317	77	0,038	0,00004	0,122	0,00002	0,010	10,09	6,61
	autres PRF	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Annexe H : Résumé des études poussées, par mine

Tableau H1. Résumé, présenté par mine, des recherches des causes et des études sur l'ampleur et l'étendue géographique

n.d. : évaluation des effets dans la zone éloignée non disponible, car l'évaluation de l'ampleur et de l'étendue géographique reposait sur des données existantes, ou impossible à cause de facteurs confondants dans l'environnement récepteur.

^a : Recherche des causes en cours (première étude triennale terminée).

Mine	Composante avec des effets confirmés	Causes établies Tel que déclaré dans le Rapport d'étude remis à Environnement Canada	Étude de l'ampleur et de l'étendue — au moins un effet confirmé dans la zone éloignée?
Effets principalement inhibiteurs (habitat des poissons et/ou poissons)			
BM5, BM6, BM11	habitat du poisson	Effet subtil lié à l'effluent dans deux de trois zones d'exposition; effet lié à l'effluent non détecté dans une zone	n.d.
BM10, BM27	habitat des poissons et poissons	Exposition aux métaux liée à la mine; les contaminants préoccupant les plus probables sont le cadmium, le cuivre, le fer, le sélénium et le zinc ^a	Oui (habitat des poissons et poissons)
BM14	habitat du poisson	Concentrations élevées de cadmium, de sélénium et de zinc dans l'eau et les sédiments provenant de l'effluent rejeté	Oui
BM19	habitat du poisson	Plusieurs facteurs stressants découlant d'impacts anciens et d'activité courantes dans le bassin versant; des sources non ponctuelles en aval du point de rejet de l'effluent sont les principales sources des charges métalliques	Oui

Mine	Composante avec des effets confirmés	Causes établies Tel que déclaré dans le Rapport d'étude remis à Environnement Canada	Étude de l'ampleur et de l'étendue — au moins un effet confirmé dans la zone éloignée?
PM2, PM11	habitat des poissons et poissons	Les effets sur la communauté benthique sont probablement liés à de fortes concentrations de métaux dans l'eau et les sédiments; d'autres études sont nécessaires pour déterminer l'importance relative de l'effluent minier actuel et des déchets miniers historiques ^a .	Oui (poissons)
PM14	habitat des poissons et poissons	Les effets sur les poissons et l'habitat des poissons pourraient être liés aux composés azotés présents dans l'effluent ^a .	n.d.
PM25	poissons	Les effets pourraient découler de l'enrichissement en nutriments dû à des composés azotés et des solides en suspension totaux dans l'effluent	n.d.
PM29	poissons	Causes potentielles : teneur en cuivre de l'eau, différentes dates d'éclosion des poissons entre les zones échantillonnées.	n.d.
PM30	poissons	Causes potentielles : ammoniac et nitrates dans l'effluent minier, cuivre lié à la mine dans les sédiments et/ou hydrocarbures dans les sédiments.	n.d.
PM36	habitat des poissons et poissons	Méromixie provoquée par les effluents à forte teneur en solides dissous, conduisant à une baisse de la teneur en oxygène dissous et à une faible productivité dans la zone d'exposition.	Oui (habitat des poissons)

Mine	Composante avec des effets confirmés	Causes établies Tel que déclaré dans le Rapport d'étude remis à Environnement Canada	Étude de l'ampleur et de l'étendue — au moins un effet confirmé dans la zone éloignée?
U1	habitat des poissons	Des effets peuvent être liés à des éléments présents en traces dans les sédiments et/ou l'eau : une approche du poids de la preuve n'a pas permis de trouver une unique voie d'exposition (effluents miniers actuels ou sédiments) comme voie principale d'exposition de la communauté benthique aux contaminants.	oui
FeTi1	habitat des poissons et poissons	Les effets benthiques sont attribués à l'étouffement de l'habitat par des matériaux colloïdaux riches en fer; les effets sur les poissons sont liés à la réduction de la disponibilité des aliments consécutive aux effets sur la communauté benthique.	Oui (habitat des poissons et poissons)
O3	habitat des poissons et poissons	Exposition à des teneurs en chlorure, en sel et en solides en suspension totaux, ammoniac et nitrate élevées dans l'effluent	non
Effets principalement inhibiteurs sur l'habitat des poissons, effets mixtes sur les poissons			
BM3	habitat des poissons et poissons	Effets benthiques associés aux effets continus de la contamination historique du lit du cours d'eau ou de la plaine inondable sur le pH et les concentrations des métaux; certains effets peuvent être liés aux concentrations levées des ions principaux, de strontium et de thallium dans l'effluent minier.	Oui (habitat des poissons)

Mine	Composante avec des effets confirmés	Causes établies Tel que déclaré dans le Rapport d'étude remis à Environnement Canada	Étude de l'ampleur et de l'étendue — au moins un effet confirmé dans la zone éloignée?
BM4	habitat des poissons et poissons	Les effets benthiques sont probablement causés par voie aqueuse à des métaux présent dans l'effluent, plus probablement le zinc; d'autres études sont nécessaires pour évaluer la cause des effets sur les poissons; la variabilité naturelle pourrait être une cause plus probable que l'exposition aux métaux. ^a	Oui (poissons)
Effets principalement inhibiteurs sur les poissons, effets stimulants sur l'habitat des poissons			
PM35	habitat des poissons et poissons	Causes possibles : ions principaux, enrichissement en substance nutritives, métaux traces, variabilité naturelle ^a	Oui (habitat des poissons)
Effets principalement stimulants (invertébrés benthiques et/ou poissons)			
BM1	habitat des poissons et poissons	Aucune preuve que l'effluent actuel cause les effets, les effets sur les poissons sont indicatifs de la variabilité naturelle entre les zones d'exposition et de référence	Oui (poissons)
BM20	habitat des poissons	Les effets peuvent être reliés aux ions principaux (chlorure, sulfate, sodium, calcium) dans l'effluent minier et à la contamination (nickel) actuelle ou historique des sédiments	n.d.
PM3	poissons	Ions majeurs (chlorure, sulfate) ou nutriments (nitrate, ammoniac) dans l'effluent minier	n.d.

Mine	Composante avec des effets confirmés	Causes établies Tel que déclaré dans le Rapport d'étude remis à Environnement Canada	Étude de l'ampleur et de l'étendue — au moins un effet confirmé dans la zone éloignée?
U3	habitat des poissons	Variabilité naturelle de l'habitat entre les sites; influence possible de l'enrichissement naturel ou causé par la mine en nutriments et en contaminants produits par la mine	oui
U4	poissons	Concentration élevée d'ions principaux dans l'effluent minier et des températures légèrement élevées dans la zone d'exposition peuvent avoir contribué à l'effet stimulant	oui
U5	habitat des poissons et poissons	Effets benthiques reliés aux concentrations accrues des ions principaux (calcium, sodium, potassium, sulfate, chlorure) dans la zone d'exposition; les effets sur les poissons découlent fort probablement de différences dans la qualité des habitats et la disponibilité des proies (non liés à l'effluent)	Oui (habitat des poissons)
O4	habitat des poissons	Enrichissement en nutriments (phosphore) provenant de l'effluent minier	oui
Effets principalement stimulants sur l'habitat des poissons, effets mixtes sur les poissons			
PM1	habitat des poissons et poissons	Aucune indication forte d'eutrophisation ou de substances toxiques causant des effets dans la zone d'exposition	Oui (habitat des poissons)
PM21	habitat des poissons et poissons	Effets probablement causés par la présence de nitrate et d'ammoniac dans l'effluent minier	Oui (habitat des poissons)
Effets principalement stimulants sur les poissons, effets mixtes sur l'habitat des poissons			

Mine	Composante avec des effets confirmés	Causes établies Tel que déclaré dans le Rapport d'étude remis à Environnement Canada	Étude de l'ampleur et de l'étendue — au moins un effet confirmé dans la zone éloignée?
PM28	habitat des poissons et poissons	Cause non encore déterminée; les effets peuvent être liés à l'enrichissement en nutriments causé les composé azotés de l'effluent ^a	non
Effet de similitude affectant seulement l'habitat des poissons, effets mixtes sur les poissons			
U2	habitat des poissons et poissons	Les nutriments et les ions principaux pourraient avoir une co-influence sur la croissance accrue des poissons	Oui (habitat des poissons)
FeTi2	habitat des poissons et poissons	Cause non encore déterminée; des recherches additionnelles sur les composés du fer et de l'azote proposés comme cause possible doivent être réalisées ^a	n.d.
Effet de similitude affectant seulement l'habitat des poissons, aucun effet confirmé sur les poissons			
BM2	habitat du poisson	Les effets pourraient dépendre des ions principaux (p. ex. chlorure, sulfate, sodium) et de l'azote dans l'effluent minier, et les métaux traces (nickel) dans l'effluent minier et les sédiments.	n.d.
BM18	habitat du poisson	Phosphate dans l'effluent minier	n.d.

Mine	Composante avec des effets confirmés	Causes établies Tel que déclaré dans le Rapport d'étude remis à Environnement Canada	Étude de l'ampleur et de l'étendue — au moins un effet confirmé dans la zone éloignée?
PM4	habitat des poissons	Effet causé par les activités minières, notamment les fortes concentrations d'ions principaux dans l'effluent minier et les métaux traces dans les sédiments; certaines variations dans les communautés benthiques pourraient découler de différences dans l'habitat naturel.	n.d.

Pour des renseignements supplémentaires :

Environnement et Changement climatique Canada

Centre de renseignements à la population

7^e étage, édifice Fontaine

200, boulevard Sacré-Cœur

Gatineau (Québec) K1A 0H3

Téléphone : 1-800-668-6767 (au Canada seulement) ou 819-997-2800

Courriel : ec.enviroinfo.ec@canada.ca