

Suivi de la qualité de l'eau du secteur minier de la Haute-Bécancour 2021



Janvier 2022



Équipe de travail

Échantillonnage :

Laurence Comtois, Tech. bioécologie

Francis Bonin, B. Sc. Biologie et Tech. bioécologie

Rédaction :

Pierre-Alexandre Bergeron D'Aoust, M.Sc. Biologie

Francis Bonin, B. Sc. Biologie et Tech. bioécologie

Sandrine Desaulniers, M.Sc. Géographie

Cartographie :

Pierre-Alexandre Bergeron D'Aoust, M.Sc. Biologie

Révision :

Sandrine Desaulniers, M.Sc. Géographie

Le GROBEC est un organisme à but non lucratif ayant pour mandat de mettre en place la gestion intégrée de l'eau sur le territoire des bassins versants de la zone Bécancour.

Ce document est réalisé par :



Groupe de concertation des bassins versants de la zone Bécancour (GROBEC)

1800 avenue St-Laurent #1, Plessisville, Québec, G6L 2P8

Téléphone : 819-980-8038, Télécopieur : 819-980-8039

Adresse courriel : grobec@grobec.org

Site internet : www.grobec.org

GROBEC, 2022. Suivi de la qualité de l'eau du secteur minier de la Haute-Bécancour 2021. 39 p. + Annexes.

Table des matières

1. INTRODUCTION¹

2. OBJECTIFS ET LIMITES ²

2.1. OBJECTIFS ²

2.2. LIMITES ³

3. DESCRIPTION DU TERRITOIRE À L'ÉTUDE ⁵

4. ÉTAT DES CONNAISSANCES DE LA QUALITÉ DE L'EAU ⁸

4.1. SUIVIS PHYSICO-CHIMIQUES ET BACTÉRIOLOGIQUES ⁸

4.2. MÉTAUX ⁹

4.3. COMMUNAUTÉS DE POISSONS ⁹

4.4. BAPE SUR L'AMIANTE ¹⁰

4.5. PALÉOLIMNOLOGIE DES LACS FLUVIAUX DE LA BÉCANCOUR ¹⁰

5. MÉTHODOLOGIE D'ÉCHANTILLONNAGE ET D'ANALYSE ¹¹

5.1. PARAMÈTRES PHYSICO-CHIMIQUES ¹¹

5.1.1. *Indice de qualité bactériologique et physico-chimique - IQBP₆*.....11

5.1.2. *pH, turbidité, conductivité et température*12

5.1.3. *Métaux majeurs, dissous et extractibles*.....12

5.1.4. *Amiante*.....13

5.1.5. *Lixiviation des RMA*.....14

5.2. STATIONS D'ÉCHANTILLONNAGE : SUIVI DE LA QUALITÉ DE L'EAU EN RIVIÈRE ¹⁶

5.2.1. *Station n°1 - Colline*17

5.2.2. *Station n°2 - Désiré*.....17

5.2.3. *Station n°3 - Marcheterre*17

5.2.4. *Station n°4 - Poirier*18

5.3. STATIONS D'ÉCHANTILLONNAGE : SUIVI DE LA QUALITÉ DE L'EAU EN LACS ¹⁸

5.3.1. *Station Truite*.....18

5.3.2. *Station Stater*18

5.4. STATIONS D'ÉCHANTILLONNAGE DES ÉCOULEMENTS PRÉFÉRENTIELS DRAINANT LES HALDES DE RMA ¹⁸

5.5. SITES DES STATIONS D'ÉCHANTILLONNAGE POUR LES ESSAIS DE LIXIVIATION ²⁰

6. CALENDRIER D'ÉCHANTILLONNAGE ²¹

7. RÉSULTATS ET DISCUSSION ²²

7.1. AMIANTE ²²

7.1.1. *Présence de l'amiante dans la rivière Bécancour en amont et en aval des haldes minières*.....22

7.2. INDICE DE QUALITÉ BACTÉRIOLOGIQUE ET PHYSICOCHIMIQUE (IQBP₆) ²⁶

7.2.1. *Qualité de l'eau mesurée à l'aide de l'indice de la qualité bactériologique et physicochimique de l'eau (IQBP₆) de la rivière Bécancour et du ruisseau Poirier*...26

7.2.2.	<i>Station Colline</i>	27
7.2.3.	<i>Station Désiré</i>	28
7.2.4.	<i>Station Poirier</i>	29
7.2.5.	<i>Station Marcheterre</i>	31
7.3.	PH, CONDUCTIVITÉ, TURBIDITÉ	32
7.3.1.	<i>pH</i>	32
7.3.2.	<i>Conductivité</i>	34
7.3.3.	<i>Turbidité</i>	35
7.4.	LIXIVIATION DES RMA ET CONCENTRATIONS DES MÉTAUX	35
8.	CONCLUSION	41
9.	BIBLIOGRAPHIE	43

Liste des figures

- Figure 1: Carte des noms des mines et haldes du secteur minier de Thetford Mines, zone Bécancour. 5
- Figure 2: Photo aérienne de la rivière Bécancour s'écoulant entre des haldes minières et érodant ces dernières. 6
- Figure 3: Localisation des 5 stations d'échantillonnage pour l'analyse de la lixiviation des résidus miniers amiantés de la mine de British Canadian en 2021. 15
- Figure 4: Localisation des 5 stations d'échantillonnage pour l'analyse de la lixiviation des résidus miniers amiantés de la mine de King Beaver en 2021 15
- Figure 5: Bassins versants des stations d'échantillonnage d'eau de surface du secteur minier de la Haute-Bécancour en 2021 16
- Figure 6: Carte du plan de contrôle des sédiments amiantés – Secteur de Normandie.....19
- Figure 7: Carte du suivi des écoulements à la mine British Canadian (Écoulements 7, 11 et 16).....20
- Figure 8: Échelle logarithmique du nombre total de fibres d'amiante de plus de 0,5 µm en millions de fibres par litre (MFL) d'eau en fonction de la date d'échantillonnage et des temps de pluie officiels en amont (station n°1, Colline) et en aval (station n°3, Marcheterre) des haldes minières dans la rivière Bécancour du 10 mai 2021 au 31 octobre 2021. 23
- Figure 9: Échelle logarithmique du nombre de fibres d'amiante de plus de 10 µm en millions de fibres par litre (MFL) d'eau en fonction de la date d'échantillonnage et des temps de pluie officiels en amont (station n°1, Colline) et en aval (station n°3, Marcheterre) des haldes minières dans la rivière Bécancour du 10 mai 2021 au 31 octobre 2021. Un seuil de 7 MFL, correspondant au critère pour l'eau potable en vigueur aux États-Unis d'Amérique est illustré à l'aide d'une ligne pointillée.23
- Figure 10: Quantité de fibres d'amiante de 0,5 µm et plus en millions de fibres par litre (MFL) d'eau aux stations des lacs (Lac à la Truite et Étang Stater) le 14 septembre 2021 et le 31 octobre 2021 (n = 2) 24
- Figure 11: Quantité de fibres d'amiante de 10 µm et plus en millions de fibres par litre (MFL) d'eau aux stations des lacs (lac à la Truite d'Irlande et étang Stater) le 14 septembre 2021 et le 31 octobre 2021 (n = 2). Un seuil de 7 MFL, correspondant au critère pour l'eau potable en vigueur aux États-Unis d'Amérique, est illustré à l'aide d'une ligne pointillée. 25
- Figure 12: Indice de qualité bactériologique et physicochimique de l'eau médian des stations Colline, Désiré, Marcheterre et Poirier d'amont en aval des haldes minières échantillonnées du 10 mai 2021 au 2 novembre 2021 (n=15).27

Figure 13: Sous-indices des 6 paramètres inclus dans le calcul de l'IQBP₆ (Coliformes fécaux, chlorophylle α , nitrites et nitrates, azote ammoniacal, phosphore total et solides en suspension) de la station Colline du 10 mai 2021 au 2 novembre 2021 (n=15) **28**

Figure 14: Sous-indices des 6 paramètres inclus dans le calcul de l'IQBP₆ (Coliformes fécaux, chlorophylle α , nitrites et nitrates, azote ammoniacal, phosphore total et solides en suspension) de la station Désiré du 10 mai au 2 novembre 2021 (n=15) **29**

Figure 15: Sous-indices des 6 paramètres inclus dans le calcul de l'IQBP₆ (Coliformes fécaux, chlorophylle α , nitrites et nitrates, azote ammoniacal, phosphore total et solides en suspension) de la station Poirier du 10 mai au 2 novembre 2021 (n=15). **30**

Figure 16: Sous-indices des 6 paramètres inclus dans le calcul de l'IQBP₆ (Coliformes fécaux, chlorophylle α , nitrites et nitrates, azote ammoniacal, phosphore total et solides en suspension) de la station Marcheterre du 10 mai au 2 novembre 2021 (n=14) **32**

Figure 17: pH moyen des stations Colline, Désiré, Marcheterre et Poirier du 10 mai 2021 au 31 octobre 2021 ainsi que des stations Truite et Stater le 14 septembre et le 31 octobre 2021. **34**

Figure 18: Conductivité moyenne ($\mu\text{S}/\text{cm}$) des stations Colline, Désiré, Marcheterre, Poirier du 10 mai 2021 au 31 octobre 2021 ainsi que des stations Truite et Stater le 14 septembre et 31 octobre 2021 **35**

Liste des tableaux

Tableau 1 : Concentration des espèces inorganiques (mg/L) détectée par les essais de lixiviation à l'eau (CTEU-9) sur les résidus miniers amiantés du secteur minier de Thetford Mines en 2021. **35**

Tableau 2 : Concentration des espèces inorganiques (mg/L) détectée par les essais de lixiviation pour simuler les pluies acides (SPLP) sur les résidus miniers amiantés du secteur minier de Thetford Mines en 2021. **36**

Tableau 3 : Concentration des espèces inorganiques (mg/L) détectée par les essais de lixiviation pour l'évaluation de la mobilité des espèces inorganiques (TCLP) sur les résidus miniers amiantés du secteur minier de Thetford Mines en 2021. **37**

Tableau 4 : Concentration en fibres d'amiante (%) dénombrées selon la méthode EPA 100.2 des solides issus de la filtration du lixiviat suite à des essais de lixiviation à l'eau sur les résidus miniers amiantés du secteur minier de Thetford Mines en 2021. **37**

Tableau 5 : Statistiques descriptives (valeurs moyennes et maximales) des concentrations en métaux dissous ($\mu\text{g/l}$) pour les quatre stations d'échantillonnage du secteur minier de Thetford Mines en 2021. Les valeurs les plus élevées sont indiquées en gris foncé. **38**

Tableau 6 : Statistiques descriptives (valeurs moyennes et maximales) des concentrations en métaux extractibles ($\mu\text{g/l}$) pour les quatre stations d'échantillonnage du secteur minier de Thetford Mines en 2021. Les valeurs les plus élevées sont indiquées en gris foncé. **39**

Tableau 7 : Statistiques descriptives (valeurs moyennes et maximales) des concentrations en métaux majeurs (mg/l) pour les quatre stations d'échantillonnage du secteur minier de Thetford Mines en 2021. Les valeurs les plus élevées sont indiquées en gris foncé. **40**

Liste des annexes

Annexe 1 : Charges sédimentaires de l'écoulement au ponceau A au site Normandie le 9 juillet 2021 (gauche) et le 9 août 2021 (droite) II

Annexe 2 : Formules utilisées lors du calcul des sous-indices de l'IQBP₆ décrites par Hébert (1997) III

Annexe 3 : Paramètres physico-chimiques des écoulements sous 3 ponceaux au site Normandie et de 3 écoulements préférentiels du site British Canadian le 9 juillet 2021 et le 9 août 2021 VI

Annexe 4 : Histogramme des concentrations des 6 paramètres inclus dans le calcul d'IQBP₆ des stations Stater et Truite le 14 septembre 2021 et le 31 octobre 2021 (n=2) VII

Annexe 5 : Turbidité (UTN) en fonction de quantité de pluie (en mm) et de la date d'échantillonnage (10 mai 2021 au 31 octobre 2021) à chacune des stations en rivière. Les temps de pluie officiels sont marqués d'un astérisque. VIII

Annexe 6 : Corrélation entre la quantité de pluie des dernières 24h (en mm) et la turbidité (UTN) à toutes les stations en rivière confondues du 10 mai 2021 au 31 octobre 2021 X

Annexe 7 : Graphiques des concentrations de 16 métaux dissous, extractibles et majeurs (en µg/L) retrouvés aux stations d'échantillonnage « Colline », « Désiré », « Marcheterre » et « Poirier » du 10 mai 2021 au 2 novembre 2021 XI

RÉSUMÉ

L'extraction de l'amiante, un minéral fibreux, est une activité minière dont les vestiges du passé sont encore bien visibles, notamment dans la région de Thetford Mines. Les impacts négatifs de l'amiante sur la santé humaine sont bien connus, mais peu connus sur l'environnement aquatique. Les sites miniers de Thetford Mines contiennent des résidus miniers amiantés (RMA) qui se retrouvent dans les cours d'eau environnants importants comme la rivière Bécancour et les lacs fluviaux subséquents. Le GROBEC a mené une campagne intensive de suivi de la qualité de l'eau de la rivière Bécancour et du ruisseau Poirier de mai à octobre 2021 afin de déterminer l'impact de l'érosion hydrique des résidus miniers amiantés sur la rivière Bécancour et le ruisseau Poirier. La qualité de l'eau de ces cours d'eau a été évaluée à l'aide de l'Indice de qualité bactériologique et physico-chimique (IQBP6), les concentrations de fibres d'amiante dans l'eau, le potentiel de lixiviation des RMA et la concentration des métaux. En général, l'IQBP6 était bas et la concentration en coliformes fécaux était de plus de 1 000 UFC/100 ml, compromettant toutes baignades et activités récréatives. La quantité de fibres d'amiante dans l'eau allait de 18 millions de fibre par litre (MFL) à 14 676 MFL. En aval des haldes minières, le pH est de plus en plus alcalin et la conductivité de l'eau augmente graduellement. Les RMA sont sujets à la lixiviation de l'amiante, du magnésium, du manganèse, du calcium et du nickel. Toutefois, les RMA ne sont pas considérés comme étant lixiviables selon le guide de caractérisation des résidus miniers et du minerai. Les concentrations des métaux ne dépassent pas les critères de qualité de l'eau en vigueur et ne sont pas considérés néfastes.

1. Introduction

La rivière Bécancour dans sa portion amont est parmi les rivières les plus dégradées au Québec. Sa très mauvaise qualité est attribuée à la contamination bactériologique provenant du système de gestion et de traitement des eaux usées municipales de Thetford Mines. Mais qu'en est-il de l'impact des anciens sites miniers d'amiante sur la qualité de l'eau de la rivière et ses lacs fluviaux en aval ? La Haute-Bécancour abrite la plus grande concentration de résidus miniers amiantés (RMA) au Québec. Des centaines de millions de tonnes de résidus fins issus de l'exploitation de l'amiante sont entassées sur ses rives. Ces haldes de RMA, à nu, subissent une érosion hydrique active. Jusqu'à maintenant, aucune étude n'a tenté de mesurer l'impact des haldes minières de Thetford Mines sur la qualité de l'eau de la rivière Bécancour. Toutefois, l'étude paléolimnologique de MM. Jacques et Pienitz a démontré depuis le dragage du lac Noir de 1955 à 1959, liée à l'exploitation de l'amiante de la région de Thetford Mines, il y a une problématique de sédimentation accélérée des lacs fluviaux de la rivière Bécancour, notamment au lac à la Truite d'Irlande.

Dans son rapport sur l'état des lieux et la gestion de l'amiante et des résidus amiantés, le Bureau d'audience sur l'environnement constate : « *le peu de données et l'absence de suivis périodiques réalisés par le ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques quant aux effets potentiels du ruissellement des haldes de résidus miniers amiantés sur la qualité des eaux de surface, dont l'apport de sédiments, d'éléments chimiques et de fibres d'amiante* » (BAPE, 2020, p.204). La commission d'enquête est d'avis qu'un : « *programme de suivi périodique soit mis en place par le ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques pour mieux documenter l'impact des haldes de résidus miniers amiantés sur la qualité des eaux de surface. Tout en étant élaboré et supervisé par ce ministère, ce programme de suivi pourrait être déployé en collaboration avec les organismes de bassin versant* » (BAPE, 2020, p. 204).

Cette campagne d'échantillonnage intensive vise donc à pallier ce manque et à déterminer les impacts de l'érosion hydrique et de la lixiviation des RMA sur la qualité de

l'eau de surface du réseau hydrologique et des écosystèmes aquatiques de la Haute-Bécancour. La qualité de l'eau de surface de la rivière Bécancour et du ruisseau Poirier a donc été évaluée à l'aide des paramètres physico-chimiques, des métaux lourds majeurs, extractibles et dissous ainsi que les concentrations de fibres d'amiante dans l'eau. Le potentiel lixiviable des résidus miniers amiantés (RMA) a été également déterminé en laboratoire. Ces résultats seront comparés, lorsque possible, aux critères de qualité de l'eau en vigueur pour les activités humaines, pour la vie aquatique et aux règlements établis par le MELCC sous la Directive 019 sur les activités minières.

Cette campagne de suivi de la qualité de l'eau est une des activités réalisées dans le cadre du projet « d'Élaboration d'un plan de contrôle des sédiments amiantés du secteur minier de la Haute-Bécancour 2020-2022 » mené par le GROBEC. Cette initiative est prévue dans le Plan d'action 2018-2023 de la Stratégie québécoise de l'eau, qui déploie des mesures concrètes pour protéger, utiliser et gérer l'eau et les milieux aquatiques de façon responsable, intégrée et durable. Ce projet est rendu possible grâce à une contribution du Programme de soutien régional aux enjeux de l'eau.

2. Objectifs et limites

2.1. Objectifs

L'objectif principal de ce suivi de la qualité de l'eau est de comparer la qualité de l'eau de la rivière Bécancour en amont et en aval des sites miniers d'amiante de Thetford Mines afin de déterminer si l'érosion hydrique de ces sites ont un impact défavorable sur les écosystèmes aquatiques ainsi que sur la vie aquatique et humaine de la Haute-Bécancour. Les concentrations de fibres d'amiante dans l'eau de surface seront pour leur part mesurées pour la première fois dans ce secteur. Il s'agit également de déterminer le potentiel lixiviable des résidus miniers amiantés afin de savoir si ceux-ci peuvent contaminer les eaux de surface ainsi que les eaux souterraines du secteur. Toutes les analyses menées permettront donc d'établir une base de référence par rapport au lessivage de l'amiante, des métaux et des sédiments issus des anciens sites miniers de la Haute-Bécancour.

Jusqu'à maintenant, peu d'efforts de restauration de ces sites miniers n'ont été menés, mise à part la végétalisation de quelques hectares de haldes de stériles miniers. Ce portrait de la qualité de l'eau permettra donc d'évaluer les gains à obtenir dans les années à venir par des efforts de rétention des résidus miniers amiantés sur les sites miniers du secteur de Thetford Mines.

2.2. Limites

Habituellement, une campagne de suivi de la qualité de l'eau de surface se déroule sur 2 ou 3 années consécutives afin de tamponner les variations interannuelles (Anderson, document non publié). Toutefois, en raison des contraintes imposées par la durée du financement obtenu, la campagne de suivi était limitée à une saison de suivi, soit de mai à novembre 2021. Suivant les conseils de la direction de la qualité du milieu aquatique (DQMA) du MELCC, un échantillonnage aux 2 semaines a été privilégié (Anderson, communication personnelle, 2021). Un total de 16 échantillons a donc été prélevé pour tous les paramètres, sauf l'amiante.

Au départ, nous envisagions que la station *Colline* de la rivière Bécancour située en amont du secteur urbain et minier de Thetford Mines représente une station témoin pour ce secteur. Elle est en effet située sur la formation géologique propre aux gisements d'amiante. Toutefois, des résidus miniers amiantés ont servi de remblai en amont, pour des chemins le long du lac Bécancour ainsi que dans un ancien dépotoir situé dans l'aire de drainage de ce lac (Jacques, communication personnelle, 2021). La station *Colline* peut également être influencée par l'érosion éolienne des résidus miniers amiantés. Aucune station témoin à proprement parler n'a été prise en compte dans ce rapport. La station *Colline* représente toutefois la situation en amont des concentrations de haldes minières de RMA.

Compte tenu des coûts élevés (près de 1000\$/échantillon) associés à l'analyse de chaque échantillon d'amiante, seuls 16 échantillons ont pu être analysés. De plus, en l'absence de critère de qualité de l'eau en lien avec l'amiante au Québec, il a été déterminé en collaboration avec la DQMA d'analyser toutes les longueurs de fibres d'amiante détectables. Toutefois, puisque le seul critère de qualité de l'eau potable en vigueur actuellement (aux États-Unis d'Amérique) vise les fibres d'amiante de plus de 10 micromètres, il a été déterminé que les fibres de plus de 10 microns feraient l'objet d'une

analyse à part entière. Les autres fibres détectables, entre 0,5 microns et 10 microns, ont donc fait l'objet d'une analyse séparée.

Il aurait été pertinent de suivre les paramètres physico-chimiques des écoulements préférentiels permanents drainant les haldes de RMA riveraines de la rivière Bécancour. Faute de ressources, seuls quelques suivis ont été effectués. Les contraintes techniques et budgétaires n'ont pas permis d'effectuer des mesures de charge sédimentaire dans les écoulements préférentiels et les cours d'eau. Seules quelques données expérimentales ont été obtenues ; elles sont présentées en Annexe 1.

À la demande de l'Association de protection du Lac à la Truite d'Irlande (APLTI), un suivi des paramètres physico-chimiques, de l'IQBP₆ et de la quantité de fibres d'amiante a été réalisé dans l'Étang Stater et dans le lac à la Truite d'Irlande. Faute de ressources et de temps, seuls 2 échantillons ont pu être réalisés dans ces lacs.

3. Description du territoire à l'étude

La Haute-Bécancour correspond au secteur de la source de la rivière Bécancour, soit le bassin versant de la rivière Bécancour du lac Bécancour jusqu'au lac Joseph. La Figure 1 présente les secteur des sites miniers de la Haute-Bécancour. Les sites miniers se trouvent principalement aux alentours de la municipalité de Thetford Mines et du secteur de Black Lake.

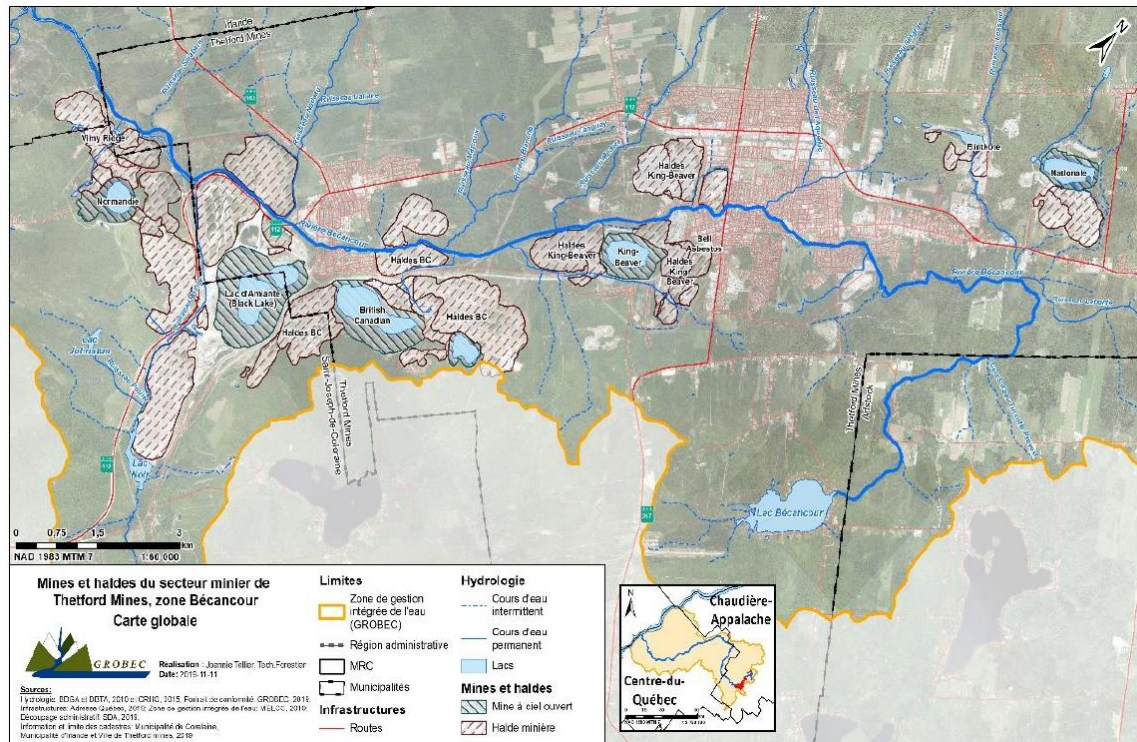


Figure 1: Carte des noms des mines et haldes du secteur minier de Thetford Mines, zone Bécancour.

Les activités minières d'extraction de l'amiante s'y sont déroulées de 1880 à 2012, transformant de manière significative le paysage et le réseau hydrographique. Sur plusieurs sites miniers, les résidus miniers amiantés fins et les stériles miniers ont été entassés, par camions ou convoyeurs, en haldes pouvant atteindre plus de 100 m de hauteur (Moore et Zimmermann, 1977; Villeneuve, 2013). Ces vestiges de l'exploitation de l'amiante au Québec sont divisés en 2 catégories : les stériles miniers et les résidus miniers fins (Villeneuve, 2013; MELCC, 2020). Les stériles sont de tailles variables,

comprenant des blocs, des graviers et des cailloux (Villeneuve, 2013; MELCC, 2020). Concernant les résidus miniers fins, ils ont été concassés dans les moulins des anciens sites miniers d'amiante. Leurs tailles varient de sables grossiers (> 10 mm) à fins ($> 6,3$ mm) (Villeneuve, 2013) et peuvent donc permettre le passage de l'eau provenant des précipitations. Ces haldes sont encore à nu et sont donc sujettes à une érosion hydrique active (Moore et Zimmermann, 1977; Villeneuve, 2013; GROBEC, 2015b; Jacques et Pienitz, 2021).

Une cinquantaine de ces haldes de résidus fins ponctuent le paysage et se retrouvent en rive de la rivière Bécancour et du ruisseau Poirier. En effet, 10 km des rives de ces cours d'eau sont occupés par ces haldes, encore à nu (figure 2). Elles subissent une érosion hydrique active et d'importants décrochements (GROBEC, 2015a) Au fur et à mesure que ces haldes s'agrandissaient, elles ont détourné le lit de la rivière Bécancour sur plusieurs centaines de mètres. Le long de la mine King Beaver, la rivière Bécancour a été détournée sur plus d'un km. Son parcours est aujourd'hui davantage rectiligne qu'avant l'ère minière.



Figure 2: Photo aérienne de la rivière Bécancour s'écoulant entre des haldes minières et érodant ces dernières.

De 1955 à 1959, le lac Noir, ancien lac fluvial de la rivière Bécancour, situé à Black Lake, a été asséché et dragué. La rivière Bécancour a été détournée sur plus de 2 km afin de contourner ce qui allait devenir la mine Lac d'Amiante. L'étang Stater a été aménagé à même le cours de la Bécancour juste en amont du lac à la Truite d'Irlande afin de décanter les eaux chargées en sédiments en provenance du chantier de dragage du lac Noir.

Plusieurs fosses de mines ont été creusées au fil du temps. Les fosses de Vimy-Ridge et de British Canadian sont aujourd'hui ennoyées et se déversent dans la rivière Bécancour. Les fosses de King Beaver et de lac d'Amiante sont en cours d'ennoisement. La qualité de l'eau de ces fosses et leurs émissaires demeure inconnue.

En aval de ce secteur nommé la Haute-Bécancour, la rivière Bécancour s'élargit en une série de 3 lacs fluviaux, les lacs à la Truite d'Irlande, William et Joseph. La qualité de ces lacs sont impactés directement par les activités anthropiques se déroulant dans la Haute-Bécancour, tel que démontré par l'étude de MM. Jacques et Pienitz (2022). Ces 3 plans d'eau ainsi que l'étang Stater sont de hauts-lieux de villégiature fortement utilisés pour des usages récréatifs tels que les sports nautiques de contact, la baignade et la pêche sportive.

4. État des connaissances de la qualité de l'eau

Des résultats d'études concernant des suivis physico-chimiques, bactériologiques, de concentration de métaux et même la caractérisation de communautés de poissons utilisées comme bioindicateurs sont décrits dans cette section. Les paramètres énumérés ci-haut sont ceux les plus communément analysés dans les études de la qualité de l'eau de la rivière Bécancour. Des études plus récentes concernant l'étude de l'impact de l'amiante sont également listées ci-bas. Les études concernant l'amiante dans le bassin versant de la rivière Bécancour sont toutefois moins communes.

4.1. Suivis physico-chimiques et bactériologiques

Durant une campagne d'échantillonnage menée par Canards Illimités en 2007, 28 stations d'échantillonnages ont été suivies dans la Haute-Bécancour. Des paramètres physico-chimiques (l'oxygène dissous, température, conductivité, turbidité) et de l'indice de qualité bactériologique et physico-chimique (IQBP) de l'eau (coliformes fécaux, matières en suspension, nitrites-nitrates, phosphore total) ont été mesurés à chacune des stations. En général, Canards Illimités rapporte que les eaux de surface sont basiques. Les valeurs de pH sont parfois au-dessus de 9 dans le secteur minier de Thetford Mines. L'IQBP est quant à lui très variable et varie de 0 (très mauvaise qualité) à 100 (bonne qualité). Ils mentionnent que la qualité bactériologique est la source principale de contamination puisque les résultats concernant les coliformes fécaux compromettent toutes activités nautiques (>1 000 UFC/100 ml), surtout en aval de la municipalité de Thetford Mines. Le phosphore total est aussi une source de pollution importante. Environ 20 sur 28 des stations étudiées avaient une qualité d'eau qui correspondaient à des eaux en voie d'eutrophisation et est jugée de « très mauvaise » dans le secteur de Thetford Mines (incluant le secteur minier). De plus, il y a une augmentation des polluants d'amont vers l'aval de la Haute-Bécancour (Masi et Bourget, 2007).

Quant au suivi physico-chimique et bactériologique, le MELCC procède à l'échantillonnage de plusieurs stations du Réseau-Rivières, dont la station 02400005 sur la rivière Bécancour, située au pont Marcheterre, soit en aval du secteur urbain et minier de Thetford Mines. Elle est suivie par le MELCC depuis 1998 pour 6 paramètres liés à l'IQBP₆. Ces paramètres sont les coliformes fécaux, la chlorophylle a active, l'azote

ammoniacal, les matières en suspension, les nitrites-nitrates et le phosphore total (MELCC, 2021). Entre 1998 et 2020, à cette station, la qualité de l'eau varie de 0 (très mauvaise) à 20 (mauvaise). Dans les 3 dernières années, cette station a obtenu un score de 0 (qualité « très mauvaise ») et le facteur déclassant est la concentration en coliformes fécaux (médiane de 3 150 UFC/100 ml) (MELCC, 2021).

4.2. Métaux

En 2012, le GROBEC a mené une brève étude de suivi des métaux pouvant se retrouver dans l'eau de la rivière Bécancour. Cette étude visait à acquérir des connaissances en lien avec les types et la concentration des métaux provenant des haldes minières de Thetford Mines. L'étude montre que le pH de l'eau, aux stations en aval des haldes minières, est généralement plus basique (pH de 8,5 - 9,0). L'étude montre qu'il y a une présence de 21 métaux divers dans l'eau, notamment le manganèse, le fer, l'arsenic et le nickel. Leurs concentrations se rapprochaient du critère de vie aquatique chronique (CVAC) établis par le MELCC (MDDELCC, 2015) sans les dépasser. Le GROBEC recommande alors d'investiguer plus profondément l'analyse de métaux et l'IQBP en amont et en aval des haldes plutôt que seulement en aval de celles-ci (GROBEC, 2015b).

4.3. Communautés de poissons

Le MELCC a échantillonné les communautés de poissons, les substances toxiques et contaminants d'intérêts émergents à des stations de la rivière Bécancour en amont et en aval de Thetford Mines (MELCC, 2020). Les contaminants retrouvés dans les poissons étaient les BPC et autres perturbateurs endocriniens. Les résultats indiquent que la communauté de poissons en amont était « faible » à « très faible ». Concernant les substances toxiques en aval de Thetford Mines, il y avait des concentrations élevées de résidus de médicaments, de produits ménagers et de certains métaux, comme l'antimoine, l'arsenic, le chrome, le nickel, le molybdène et le cobalt. Toutefois, leurs concentrations ne dépassaient pas les critères de qualité de l'eau concernant la protection de la vie aquatique. Le MELCC note que le nickel est en plus fortes concentrations en aval de Thetford Mines que dans les autres cours d'eau au Québec (MELCC, 2020).

4.4. BAPE sur l'amiante

Le rapport du Bureau d'audience publique sur l'environnement (BAPE) a regroupé beaucoup d'informations concernant l'impact de l'amiante sur la qualité de l'eau, sur la qualité de l'air et sur la santé humaine (BAPE, 2020). Le BAPE constate qu'aucun suivi de la qualité de l'eau de la rivière Bécancour n'a été entrepris ni par les minières ni par le MELCC. Le BAPE constate également que concernant la qualité de l'eau et les sources de contamination pouvant provenir de sites miniers, la plupart des règlements en vigueur s'appuient sur la Directive 019 sur l'industrie minière (MDDEP, 2012), or celle-ci ne s'applique pas aux anciens sites miniers d'amiante de Thetford Mines (BAPE, 2020). Il est connu que l'eau ruisselant sur un site où des résidus miniers reposent à ciel ouvert contamine les cours d'eau par la dissolution d'éléments chimiques dans ce dernier (MDDELCC, 2016).

Cependant, le BAPE déplore le fait qu'il n'y ai que des critères physico-chimiques décrivant la présence d'amiante plutôt que l'établissement d'une concentration ou densité limite d'amiante dans l'eau. En lien avec cette critique, le BAPE insiste que les effets néfastes (carcinogènes et physiques) de l'amiante sur la santé humaine et sur les organismes se trouvant dans un milieu naturel quelconque est largement reconnu par la communauté scientifique et ce, depuis quelques années (BAPE, 2020).

4.5. Paléolimnologie des lacs fluviaux de la Bécancour

L'étude paléolimnologique de reconstitution de l'état des lacs de la rivière Bécancour menée par MM. Jacques et Pienitz de l'Université Laval est en cours de publication par le biais de 4 articles scientifiques, dont 3 ont été publiés récemment (Jacques et Pienitz, 2021; 2022). En 2017, des carottes sédimentaires ont été prélevées dans les fosses des lacs à la Truite d'Irlande, William et Joseph, se situant en aval des haldes minières. Les carottes de sédiments ont pu être étudiées jusqu'à l'époque « pré-minière » afin de déterminer les différences en composition des sédiments avant et après l'évènement d'exploitation à l'aide de datations radiométriques. Leurs résultats déterminent que depuis la vidange du lac Noir, l'apport en sédiments est plus élevé et se maintient. Les auteurs ont aussi déterminé que la composition de ces sédiments était similaire à celle des RMA et qu'ils provenaient des haldes de Thetford Mines. Finalement, les auteurs affirment que la sédimentation accrue participe directement à l'eutrophisation de ces 3 lacs (Jacques et

Pienitz, 2022). Des fibres d'amiante se retrouvent également dans les sédiments des lacs fluviaux de la Bécancour depuis la vidange du lac Noir (Jacques et Pienitz, 2022) .

5. Méthodologie d'échantillonnage et d'analyse

Lors de la planification de la campagne d'échantillonnage, certains aspects (comme l'emplacement et le nombre de stations, les paramètres à échantillonner ainsi que le nombre d'échantillons) ont été déterminé en collaboration avec l'équipe de la Direction sur la qualité des milieux aquatiques (DQMA) du MELCC. La planification des analyses de lixiviation des RMA a été réalisée en collaboration avec la Direction de la restauration minière du MERN ainsi que la Direction des eaux usées du MELCC.

Les résidus d'usinage proviennent des opérations de concassage nécessaire à la libération des fibres d'amiante. Le procédé de libération et de concentration de la fibre d'amiante chrysotile s'effectue à sec et ne requiert l'ajout d'aucun produit chimique. Les RMA sont des matériaux granulaires de 0 à 10 cm de diamètre assez bien étalés. Leur densité est de l'ordre de 2 t.m./m (FNX-Innov, 2021). Leur pH est basique, en général autour de 9. Ils sont riches en magnésium, calcium, fer, nickel, aluminium, nickel, chrome, manganèse et fibres d'amiante (MERN, 2019). Les paramètres choisis pour détecter leur impact sur la qualité de l'eau de surface sont donc les matières en suspension, la turbidité, la conductivité, le pH, les métaux solubles, extractibles et totaux et les fibres d'amiante.

Les 3 lacs fluviaux de la rivière Bécancour ainsi que l'étang Stater, situés en aval du secteur minier, sont fortement utilisés pour des activités récréatives de sports nautiques, baignade et pêche sportive, en plus d'être des écosystèmes aquatiques abritant notamment des ésoicidés. Les impacts sur les usages de l'eau et la vie aquatique en aval des stations d'échantillonnage seront évalués en fonction des différents critères établis par le MELCC.

5.1. Paramètres physico-chimiques

5.1.1. Indice de qualité bactériologique et physico-chimique - IQBP₆

L'indice IQBP₆, développé par le MELCC en 1996, permet de détecter les impacts des activités humaines sur un cours d'eau donné, plus précisément s'il y a épandage

d'engrais, de fumiers ou de lisiers, présence de rejets municipaux, domestiques ou de fosses septiques, présence d'activités agricoles, présence d'activités forestières et présence d'un fort ruissellement urbain (Hébert et Légaré, 2000).

Afin de calculer l'indice de qualité bactériologique et physico-chimique (IQBP₆), 6 paramètres ont été mesurés, soient le phosphore total, les coliformes fécaux, les solides en suspension, l'azote ammoniacal, les nitrites-nitrates, la chlorophylle a active. Les échantillonnages ont été effectués directement dans le cours, d'eau, à gué selon le protocole suggéré par Hébert et Légaré (2000) pour l'IQBP₆. La personne responsable de l'échantillonnage a pris les échantillons d'eau à la main et rempli les bouteilles dans le sens contraire de l'écoulement de l'eau jusqu'à l'épaule de celles-ci.

Étant donné que l'IQBP₆ est déjà mesuré à la station n°3 dans le cadre du suivi de qualité de l'eau effectué par l'équipe du Réseau-rivières à chaque début de mois, ce paramètre a été mesuré à cette station à 10 reprises. Aux 3 autres stations, 16 échantillons ont été prélevés respectivement. Un total de 58 échantillons a donc été analysé pour l'IQBP₆ par le Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec (CEAEQ).

Les calculs des sous-indices des paramètres de l'IQBP₆ ont été effectués par le GROBEC en utilisant les formules proposées dans Hébert (1997); elles sont présentées à l'Annexe 2.

Les stations en lacs fluviaux, Stater et Truite, sont aussi échantillonnées afin de calculer l'IQBP₆. Les mêmes paramètres nommés ci-haut y sont mesurés à 2 reprises (voir calendrier d'échantillonnage).

5.1.2. pH, turbidité, conductivité et température

Le pH, la conductivité et la température ont été mesurés à l'aide d'une sonde multi-paramètres YSI, et la turbidité, à l'aide d'un turbidimètre Lamotte. La calibration des appareils a été effectuée avant chaque sortie sur le terrain. Les échantillonnages ont été effectués directement dans le cours d'eau selon le protocole suggéré par Hébert et Légaré (2000). Un total de 64 mesures a été obtenu pour chaque paramètre.

Ces paramètres ont aussi été mesurés aux stations en lacs fluviaux soient Stater et Truite.

5.1.3. Métaux majeurs, dissous et extractibles

Les métaux majeurs analysés sont la dureté (CaCO₃), le calcium, le potassium, le magnésium et le sodium. À partir du 31 août 2021, les métaux majeurs ont été ajoutés aux analyses afin d'obtenir des informations sur la concentration en magnésium dans les échantillons d'eau. Les métaux dissous et extractibles analysés sont l'argent, l'aluminium, l'arsenic, le bore, le baryum, le béryllium, le cadmium, le cobalt, le chrome, le cuivre, le fer, le manganèse, le molybdène, le nickel, le plomb, l'antimoine, le sélénium, le strontium, le thallium, le titane, l'uranium, le vanadium et le zinc. Un total de 64 échantillons a été analysé pour les métaux. L'échantillonnage a été effectué en suivant les procédures du Protocole d'échantillonnage de l'eau de surface pour l'analyse des métaux en traces (MDDELCC, 2014). Cependant, les étapes subséquentes au prélèvement de l'échantillon pour les métaux traces (minéralisation et filtration) ont été effectuées par le CEAEQ, lequel a également analysé les échantillons.

5.1.4. Amiante

Un total de 16 échantillons a été analysé pour les fibres d'amiante, soit 8 à la station n°1 et 8 à la station n°3. Ces échantillons ont été prélevés durant les 3 temps de pluie et lors de 5 échantillonnages réguliers. Les fibres d'amiante ont été analysées par le laboratoire ALS à Cincinnati aux États-Unis d'Amérique selon la méthode EPA 100.2 avec une limite de détection de <0.2MFL (Million Fibers per Liter). Les types de fibres d'amiante potentiellement détectables étaient les suivantes : Chrysotile, Amosite, Crocidolite, Actinolite, Tremolite et Anthophyllite. Toutefois, parmi tous les échantillons analysés, seules des fibres de Chrysotile et de Actinolite ont été détectées. Les résultats présentés à la section 6 ne s'attarderont donc qu'à ces 2 types de fibres d'amiante. Les fibres d'amiante ont été comptabilisées par ALS selon 2 catégories de longueur, soit : **(1)** des fibres: plus grandes ou égales à 0,5 µm et plus petites que 10 µm et **(2)** plus grandes ou égales à 10 µm. En l'absence de critère québécois ou canadien par rapport à la présence d'amiante dans l'eau, le GROBEC a préféré obtenir les résultats les plus détaillés possible afin de pouvoir analyser rétrospectivement ces résultats en fonction d'un éventuel critère de qualité de l'eau.

Un échantillon contrôle (« blanc ») de terrain par station a été prélevé au cours de la campagne d'échantillonnage, et ce, à différents moments durant la saison. Ces contrôles ont été pris en même temps que les échantillons habituels le 25 mai 2021, le 9 juin 2021, le 21 juin 2021 ainsi que le 21 juillet 2021.

Des données météorologiques ont aussi été notées lors de chaque échantillonnage, soit les précipitations des dernières 24h avant l'échantillonnage, l'orientation du vent et la vitesse du vent (km/h). Cependant, seules les données concernant les précipitations des dernières 24h ont été utilisées lors de l'analyse des résultats. Les précipitations des dernières 24h ont été complétées au besoin avec les données publiées par Environnement Canada (2021). Les données provenaient des stations Thetford Mines et Thetford Mines RCS localisées aux coordonnées respectives suivantes : 46.100000, -71.350000 et 46.049166, -71.266111.

5.1.5. Lixiviation des RMA

Les échantillons ont été prélevés le 11 août 2021 sur les haldes de résidus miniers amiantés (RMA) des mines British Canadian (Lix1, Lix2, PU-3, PU-4 et PU-6) (figure 3) et King Beaver (Lix3, Lix4, Lix5, PU-8 et PU-9) (figure 4) à l'aide d'une truelle sur les 15 premiers centimètres de sol. Ceux-ci ont été placés dans des sacs en plastique avec fermeture à glissière et ont été envoyés aux laboratoires pour être analysés. Les essais de lixiviation à l'eau (CTEU-9) et les essais de lixiviation pour simuler les pluies acides (SPLP) ont été réalisés par le *Centre d'expertise en analyse environnemental du Québec* (CEAEQ). Les essais de lixiviation pour l'évaluation de la mobilité des espèces inorganiques (TCLP) ont été réalisés par le laboratoire *EMSL Analytical Inc.* et les analyses de fibres d'amiante lixiviées ont été réalisées par le Laboratoire *Silica* d'ALS. Ces dernières ont été analysées à l'aide d'une version adaptée par le laboratoire et le GROBEC de la méthode EPA 100.2 consistant à appliquer cette méthode sur les résidus solides filtrés du lixiviat obtenu. Les résultats de cette dernière analyse représentent la proportion des solides filtrés équivalent aux fibres d'amiante. Celles-ci ont été classées selon deux classes de longueur, soit les fibres de 0,5 à 10 µm et les fibres de 10 µm et plus.



5.2. Stations d'échantillonnage : Suivi de la qualité de l'eau en rivière

Les 4 stations d'échantillonnage des eaux de surface sont situées dans la rivière Bécancour et le ruisseau Poirier (figure 5). Le sous-bassin versant couvrant la plus grande surface est celui de la station Marcheterre (en jaune), puisqu'il inclut les sous-bassins versants des stations Désiré (en vert) et Colline (en mauve) se trouvant en amont. Le sous-bassin versant de la station Poirier est illustré en beige et se situe dans le ruisseau Poirier, affluent de la rivière Bécancour drainant le secteur lac d'Amiante (figure 5).

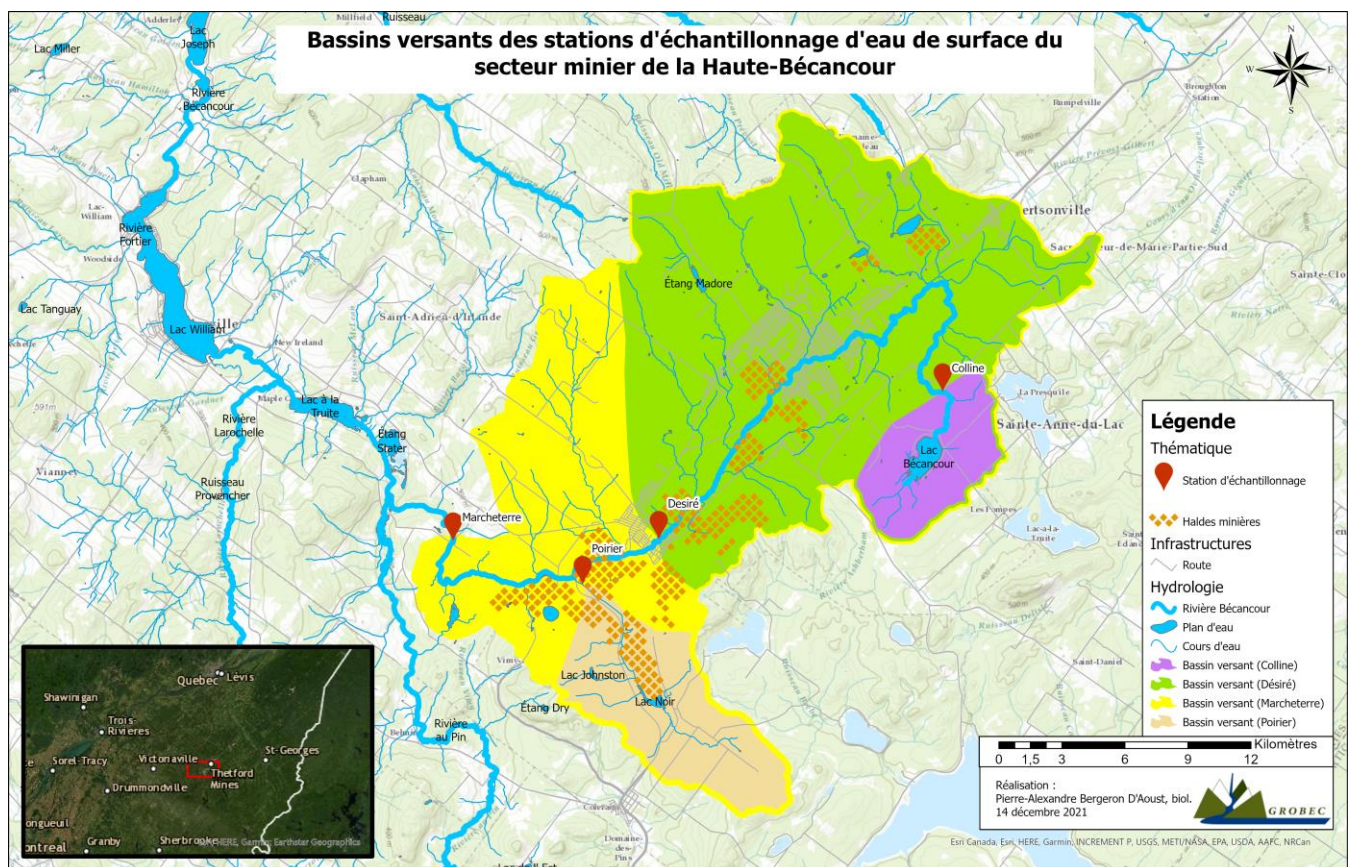


Figure 5: Bassins versants des stations d'échantillonnage d'eau de surface du secteur minier de la Haute-Bécancour en 2021

5.2.1. Station n°1 - Colline

Elle se situe dans la rivière Bécancour à l'intersection du rang de la Colline aux coordonnées suivantes : 46.088900, -71.237900. La station 1 est la station « témoin » de la campagne d'échantillonnage, située 300 mètres en amont du secteur minier. Son aire de drainage d'environ 15,43 km² est représentée en mauve sur la figure 5. Cette aire de drainage est majoritairement occupée par des milieux naturels (95 %). Les milieux anthropiques et agricoles occupent respectivement 4 % et 1% de l'aire de drainage. Elle représente la géologie type du secteur minier. Il est à noter qu'elle est influencée par l'érosion éolienne des haldes de résidus miniers amiantés (RMA) de Thetford Mines ainsi que les RMA utilisés comme remblai en amont (Jacques, communication personnelle, 2021).

5.2.2. Station n°2 - Désiré

Elle se situe dans la rivière Bécancour – à mi-parcours : à 300 m en amont du pont de la rue Désiré aux coordonnées suivantes : 46.045300, -71.359000. Son aire de drainage d'environ 146,98 km² est représentée en vert et mauve sur la figure 5. Cette aire de drainage est majoritairement occupée par des milieux naturels (73 %). Les milieux anthropiques et agricoles occupent respectivement 11 % et 8 % de l'aire de drainage de la station Désiré. Son sous-bassin versant est aussi occupé par des sites miniers couvrant 8 % de l'aire de drainage. La station 2 permet d'évaluer les apports des sites miniers situés en amont, soit Flintkote, Nationale, King Beaver, Bell Asbestos et British Canadian. Il est à noter que le centre-ville de Thetford Mines est également dans ce secteur.

5.2.3. Station n°3 - Marcheterre

Elle se situe dans la rivière Bécancour – Secteur aval : à 300 mètres en amont du pont de la route Marcheterre aux coordonnées suivantes : 46.043800, -71.447900. Son aire de drainage de 229,26 km² est représentée en jaune, vert, mauve et beige sur la figure 5. Cette aire de drainage est majoritairement occupée par des milieux naturels (74 %). Les milieux anthropiques et agricoles couvrent respectivement 9 % et 7 % de l'aire de drainage de cette station. À cela s'ajoute aussi des mines couvrant 10 % de l'aire de drainage. La station 3 correspond à la station 02400005 du Réseau-Rivières du MELCC, suivie depuis

1998. Elle est suivie mensuellement par le MELCC pour l'IQBP₆. Cette station se situe complètement en aval du secteur minier et de la Ville de Thetford Mines.

5.2.4. Station n°4 - Poirier

Elle se situe dans le ruisseau Poirier, dans le secteur de la mine lac d'Amiante, à 300 mètres en amont du pont de la route 112, aux coordonnées suivantes : 46.031300, -71.390900. Son aire de drainage de 25,42 km² est représentée en beige sur la figure 5. Cette aire de drainage est majoritairement occupée par des milieux naturels (87 %). Les milieux anthropiques et miniers couvrent respectivement 2 % et 11 % de l'aire de drainage. Il n'y a pas de territoire agricole dans le sous-bassin versant de la station 4. Cette station permet d'évaluer l'apport du principal affluent de la rivière Bécancour dans ce secteur. Le ruisseau Poirier draine le site minier de lac d'Amiante, l'ancien lac Noir.

5.3. Stations d'échantillonnage : Suivi de la qualité de l'eau en lacs

5.3.1. Station Truite

Cette station se situe au point d'eau de profondeur maximale du lac à la Truite de la municipalité d'Irlande, aux coordonnées suivantes : 46.083420, -71.504970. Comme mentionné plus haut, cette station a été effectuée à la demande de l'APLTI.

5.3.2. Station Stater

Cette station se situe au point d'eau de profondeur maximale de l'Étang Stater, près de la municipalité d'Irlande, aux coordonnées suivantes : 46.073630, -71.473410. L'étang Stater est un ancien bassin de sédimentation qui servaient à accumuler les résidus miniers lors de la drague et drainage du lac Noir (Jacques et Pienitz, 2022).

5.4. Stations d'échantillonnage des écoulements préférentiels drainant les haldes de RMA

La conductivité et le pH ont été mesurés dans les écoulements préférentiels drainant les haldes de RMA de la mine Normandie et ce, en aval des ponceaux 2, 3 et 4 situés sous la digue longeant la rivière Bécancour, représentés en rouge sur la figure 6. La conductivité et le pH ont aussi été mesurés dans 3 écoulements préférentiels drainant les

halles de RMA du site British Canadian, tel que présenté à la figure 7 ci-bas. Les résultats des paramètres physico-chimiques se trouvent à l'Annexe 3.



Figure 6: Carte du plan de contrôle des sédiments amiantés – Secteur de Normandie

Les charges sédimentaires ont été mesurées seulement en aval du ponceau A de la mine Normandie à l'aide d'un bac en plastique, d'un chronomètre et d'une règle graduée de 30 cm à 2 reprises. Une lecture aux 5 minutes pendant une heure a été prise la journée suivant une faible pluie. Comme mentionné plus haut, les résultats se trouvent à l'annexe 1.

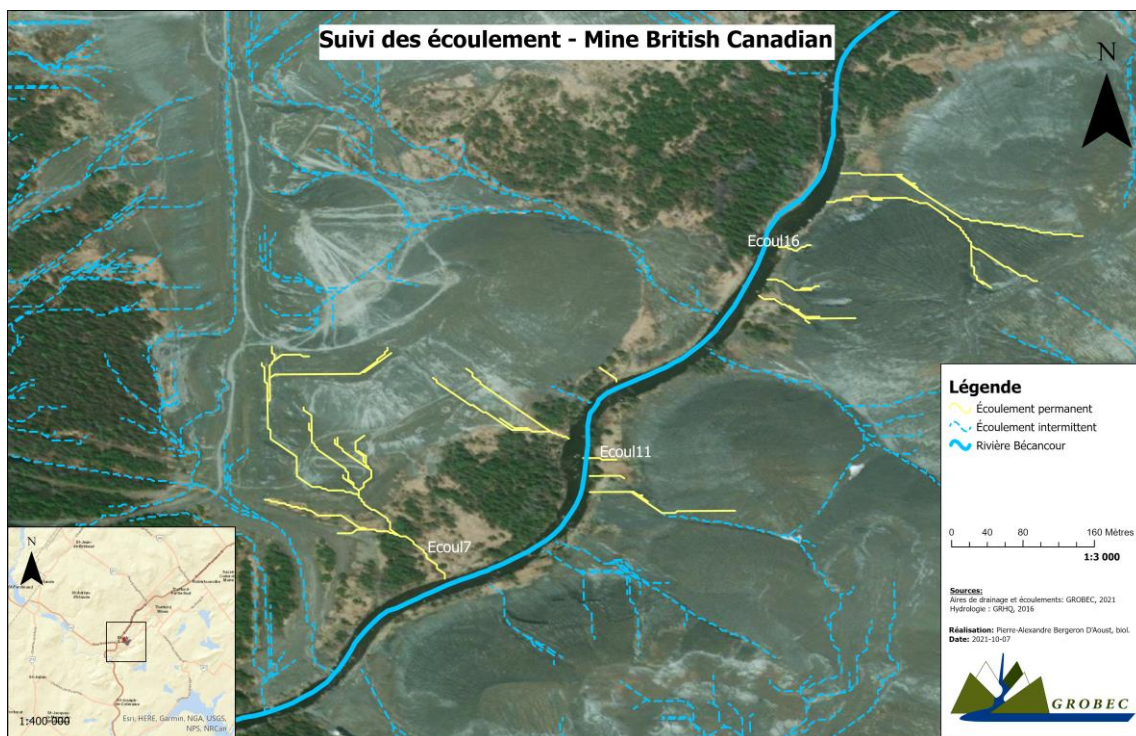


Figure 7: Carte du suivi des écoulements à la mine British Canadian (Écoulements 7, 11 et 16)

5.5. Sites des stations d'échantillonnage pour les essais de lixiviation

Le site British Canadian (BC) (figure 3 et 7, présentées plus haut) est situé dans le secteur de Black Lake. Les résidus miniers amiantés sont issus du moulin de la mine British Canadian située au sud du chemin du lac Noir et ont été empilés en haldes par convoyeur. Les complexes de haldes de BC sont répartis de part et d'autre de la rivière Bécancour.

La figure 4, présentée plus haut, présente les 5 stations d'échantillonnage des RMA de la mine King Beaver, pour l'analyse de la lixiviation. Le site King Beaver est situé environ à mi-chemin entre Thetford Mines et Black Lake. Les résidus miniers amiantés sont issus du moulin de la mine King Beaver située au sud du chemin du lac Noir et ont été empilés en haldes par convoyeur et/ou camion. Les complexes de haldes de King Beaver sont répartis le long de la rivière Bécancour.

6. Calendrier d'échantillonnage

L'échantillonnage des stations en rivière a suivi un calendrier de 13 dates fixe. Ces dates sont le 10 mai, le 25 mai, le 9 juin, le 21 juin, le 6 juillet, le 21 juillet, le 3 août, le 17 août, le 31 août, le 14 septembre, le 28 septembre, le 12 octobre et le 26 octobre 2021. Un 14^e échantillonnage a été effectué le 2 novembre 2021, puisque les échantillons du 26 octobre n'ont pu être analysés à temps par le laboratoire. Les fibres d'amiante ont été échantillonnées les 14 septembre, 15 septembre, 26 octobre et 31 octobre aux stations en rivière et seulement les 14 septembre et 31 octobre 2021 en lacs fluviaux (stations Stater et Truite).

Trois dates d'échantillonnage prévues en temps de pluie ont été déterminées en fonction des conditions météorologiques. Un temps de pluie correspond à une journée pendant laquelle il y a eu plus de 5 mm de précipitations dans les dernières 24h, critère déterminé par Hébert et Légaré (2000). Les temps de pluie officiel de cette campagne de suivi sont le 30 juin, le 15 septembre et le 31 octobre 2021. Les échantillons du 31 octobre 2021, concernant l'IQBP6, n'ont pu être compris dans l'analyse, car ceux-ci n'ont pas été analysés à temps. De plus, la sonde multiparamètre YSI a rencontré un bris à cette même date et donc certaines données concernant les paramètres physico-chimiques sont manquantes. Il faut noter que l'année 2021 fût une année particulièrement sèche où il s'avérait difficile de bien répartir 3 échantillonnages en temps de pluie. De plus, ces journées d'échantillonnage se devait d'être réparties du dimanche au mercredi afin que les échantillons soient reçus par le laboratoire à temps pour être analysés.

7. Résultats et discussion

À cette section sont présentés les résultats concernant la quantité de fibres d'amiante, les IQBP₆, les paramètres physico-chimiques dans l'eau des stations en rivière et en lacs fluviaux et ce, pour chaque paramètre. La lixiviation des RMA aux sites King Beaver et British Canadian sont ensuite décrits. Finalement, les concentrations des métaux retrouvés aux stations en rivières sont décrits.

7.1. Amiante

7.1.1. Présence de l'amiante dans la rivière Bécancour en amont et en aval des haldes minières

Le nombre de fibres d'amiante en millions de fibres par litre (MFL) d'eau de plus de 0,5 µm pour les stations n°1 et n°3 est illustré à l'aide d'une échelle logarithmique à la figure 8 pour chacune des dates de la campagne d'échantillonnage. Les temps de pluie considérés « officiels » par la campagne d'échantillonnage sont marqués d'un astérisque (*). En général, il y a une plus grande quantité de fibres d'amiante en aval (Marcheterre) qu'en amont (Colline) des haldes minières, surtout lors des temps de pluie. On a mesuré un minimum de 18 MFL de plus de 0,5 µm en amont et un minimum de 62 MFL de plus de 0,5 µm, en aval. Les plus grandes quantités de fibres d'amiante ont été détectées le 30 juin 2021, soit 14 676 MFL à la station Marcheterre. Le 31 octobre 2021, la quantité d'amiante retrouvée dans la rivière Bécancour était également élevée, soit de 422 MFL en amont et 5 612 MFL en aval. Lors des temps secs, il y avait généralement une moins grande quantité d'amiante dans l'eau, à l'exception du 14 septembre 2021. À cette date, 343 MFL se trouvaient en amont et 653 MFL se trouvaient en aval des haldes minières.

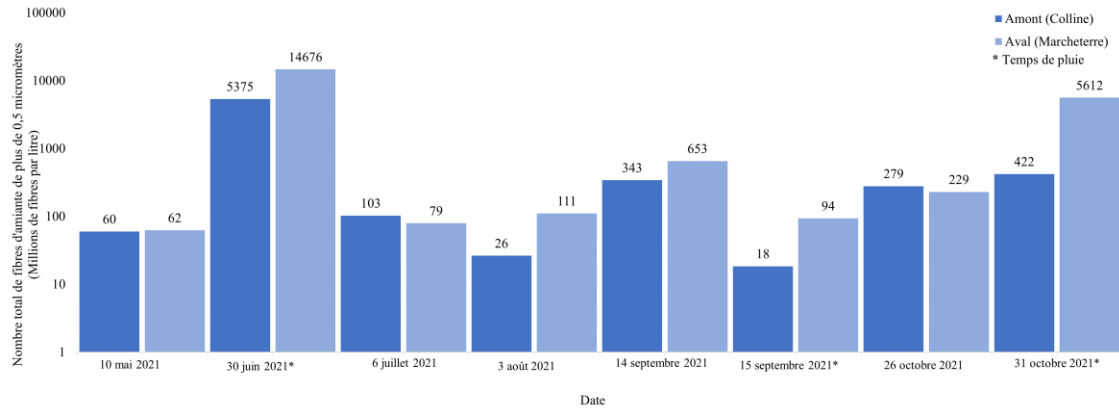


Figure 8: Échelle logarithmique du nombre total de fibres d'amiante de plus de 0,5 µm en millions de fibres par litre (MFL) d'eau en fonction de la date d'échantillonnage et des temps de pluie officiels en amont (station n°1, Colline) et en aval (station n°3, Marcheterre) des haldes minières dans la rivière Bécancour du 10 mai 2021 au 31 octobre 2021.

Le nombre de fibres d'amiante en millions de fibres par litre (MFL) d'eau de plus de 10 µm pour les stations n°1 et n°3 est illustré à l'aide d'une échelle logarithmique à la Figure 9 pour chacune des dates de la campagne d'échantillonnage.

En général, il y a une forte concentration de fibres d'amiante de plus de 10 µm en aval des haldes minières et ce, surtout lors des temps de pluie (Figure 9). La concentration la plus forte de fibres d'amiante de plus de 10 µm a été détectée le 30 juin 2021 en aval des haldes minières, soit près de 4 milliards de fibres par litre. Moins de 2 MFL fût détecté en aval des haldes le 10 mai 2021 et le 6 juillet 2021 en amont de celles-ci.

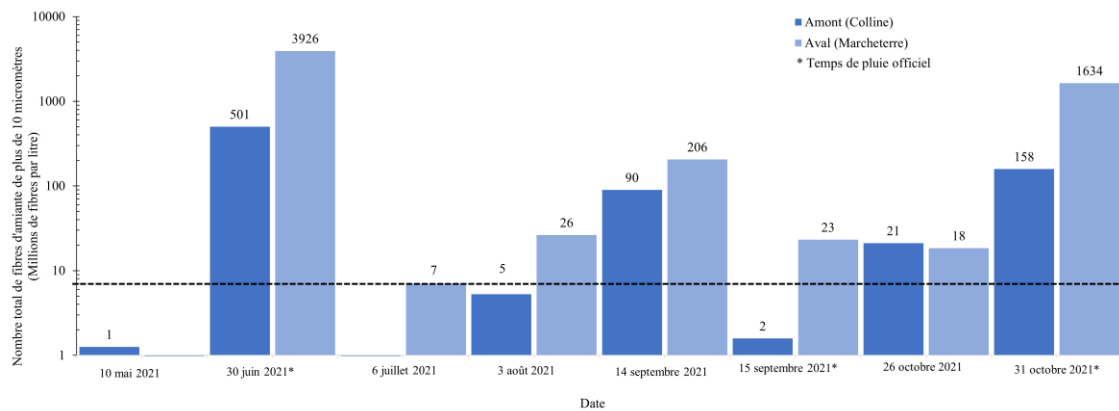


Figure 9: Échelle logarithmique du nombre de fibres d'amiante de plus de 10 µm en millions de fibres par litre (MFL) d'eau en fonction de la date d'échantillonnage

et des temps de pluie officiels en amont (station n°1, Colline) et en aval (station n°3, Marcheterre) des haldes minières dans la rivière Bécancour du 10 mai 2021 au 31 octobre 2021. Un seuil de 7 MFL, correspondant au critère pour l'eau potable en vigueur aux États-Unis d'Amérique est illustré à l'aide d'une ligne pointillée.

La quantité en MFL de fibres d'amiante de plus de 0,5 µm aux stations de l'étang Stater et du lac à la Truite d'Irlande est illustrée à la figure 10. Pour les 2 dates de la campagne d'échantillonnage à ces stations, il y avait plus de fibres d'amiante à l'étang Stater qu'au lac à la Truite. Lors du temps de pluie officiel, la quantité de fibres d'amiante est plus élevée seulement à l'étang Stater.

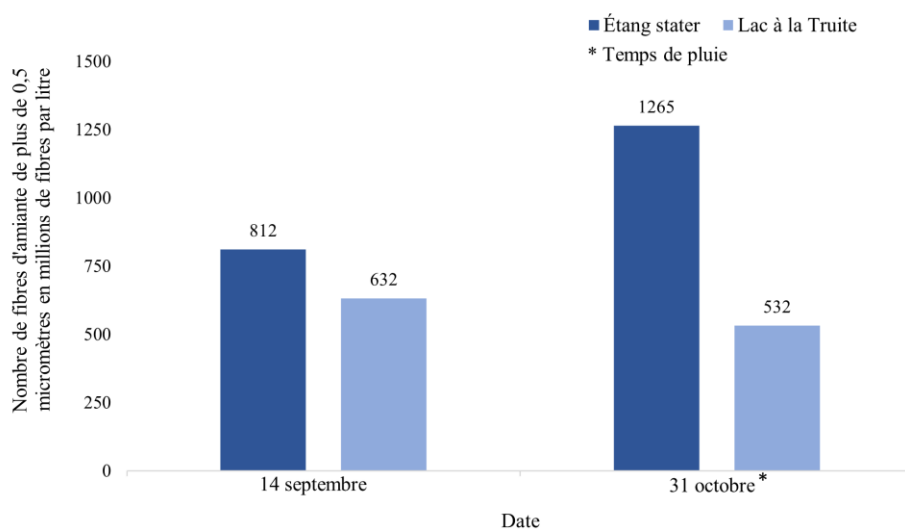


Figure 10: Quantité de fibres d'amiante de 0,5 µm et plus en millions de fibres par litre (MFL) d'eau aux stations des lacs (Lac à la Truite et Étang Stater) le 14 septembre 2021 et le 31 octobre 2021 (n = 2)

La quantité de fibres d'amiante de plus de 10 µm en millions de fibres par litre à l'Étang Stater et au lac à la Truite d'Irlande est illustrée à la figure 11. La quantité de fibres d'amiante est plus élevée lors du temps de pluie officiel aux 2 stations. La station de l'étang Stater a des concentrations de fibres d'amiante plus élevée que la station du Lac à la Truite.

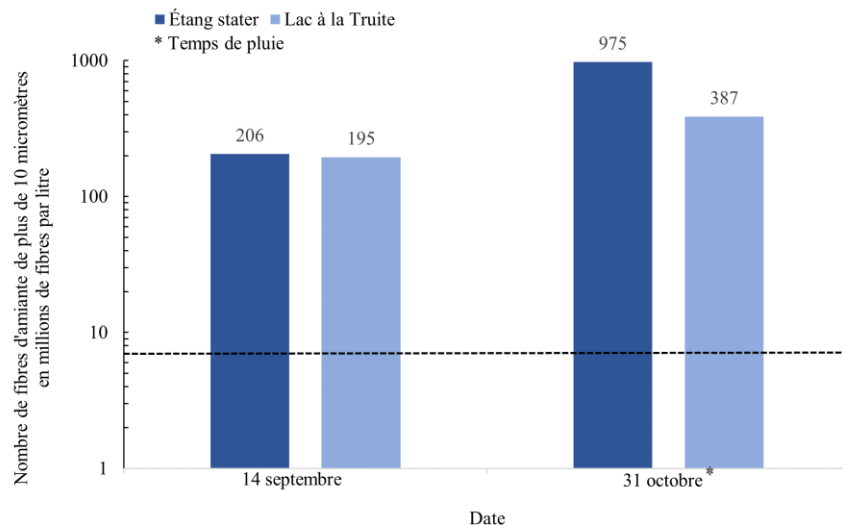


Figure 11: Quantité de fibres d’amiante de 10 µm et plus en millions de fibres par litre (MFL) d’eau aux stations des lacs (lac à la Truite d’Irlande et étang Stater) le 14 septembre 2021 et le 31 octobre 2021 (n = 2). Un seuil de 7 MFL, correspondant au critère pour l’eau potable en vigueur aux États-Unis d’Amérique, est illustré à l’aide d’une ligne pointillée.

Au Québec, il n’y a pas de seuil maximal de concentration d’amiante dans l’eau et ce, peu importe la taille des fibres d’amiante. Donc, il est seulement possible de conclure que les concentrations en fibres d’amiante de 0,5 µm à 10 µm et de plus de 10 µm dans l’eau de la rivière Bécancour sont élevées. Advenant qu’un critère pour la santé humaine ou pour la vie aquatique soit développé, il sera pertinent d’analyser ces données de manière retrospective. Cependant, des auteurs rapportent que les fibres d’amiante dans l’eau peuvent se retrouver dans les branchies des poissons, provoquant des lésions qui limitent les capacités respiratoires (Woodhead *et al.*, 1983). Des lésions peuvent même être présentes au niveau de d’autres organes comme aux reins et au cœur, provoquant la nécrose des tissus affectés (Woodhead *et al.*, 1983). L’amiante peut donc avoir un impact négatif sur la vie aquatique. Selon une étude récente, il a été soulevé que la migration des fibres de chrysotile de l’eau vers l’air ambiant est possible (Avataneo *et al.*, 2022). Avec une concentration d’environ 45 MFL dans l’eau, entre 0,5 et 10 MFL se retrouveraient dans l’air ambiant, advenant que l’eau est en circulation (Avataneo *et al.*, 2022). Par contre, ces résultats sont très variables et des études supplémentaires sont nécessaires afin de pouvoir tirer des conclusions certaines au niveau de l’impact des fibres migratrices sur la santé humaine et sur les écosystèmes. Il est à noter que selon les recherches paléolimnologique menées par Jacques et Pienitz (2022) des fibres d’amiante se

retrouvent dans les sédiments des lacs à la Truite d'Irlande, William et Joseph depuis la vidange du lac Noir.

7.2. Indice de qualité bactériologique et physicochimique (IQBP₆)

7.2.1. Qualité de l'eau mesurée à l'aide de l'indice de la qualité bactériologique et physicochimique de l'eau (IQBP₆) de la rivière Bécancour et du ruisseau Poirier

Les classes d'appréciation de la qualité de l'eau (utilisées dans cette section sont celles décrites par Hébert (1997).

L'IQBP₆ médian des stations d'échantillonnage Colline, Désiré, Marcheterre et Poirier est illustré à la figure 12 ci-bas. Selon les calculs d'IQBP effectués, un résultat de 66, classe la station Colline en tête pour la qualité de l'eau. Ce résultat correspond à la classe de qualité de l'eau « Satisfaisante ». La station Désiré obtient le résultat le plus bas, soit de 0, correspondant à la classe de qualité de l'eau « Très mauvaise ». Généralement, les espaces interquartiles sont élevés, signifiant une grande variation des résultats obtenus.

Seule la station Marcheterre a été étudiée dans le passé par le MELCC. De 2018 à 2020, la station Marcheterre avait un IQBP de 0, signifiant que la qualité de l'eau était « très mauvaise » (MELCC, 2021). En 2021, cette station a obtenu de score de 26, classe de qualité de l'eau considérée comme « mauvaise », ce qui est inhabituellement élevé. Considérant l'écart interquartile élevé, il est possible que l'IQBP₆ soit surestimé à cette station notamment en raison de la saison particulièrement sèche.

Les autres stations n'étaient pas suivies par le MELCC. On peut toutefois comparer les résultats de cette campagne avec ceux obtenus en 2007 dans le cadre de l'étude menée par Canards Illimités (Masi et Bourget, 2007). La classe de qualité de l'eau « Satisfaisante » obtenu pour la station Colline lors de la présente étude montre une amélioration par rapport à la classe obtenue par Canards Illimités en 2007, qui était de « Douteuse » (Masi et Bourget, 2007). La qualité de l'eau à la station Colline est donc meilleure en 2021 qu'elle l'était en 2007. Quant aux stations Poirier et Désiré, Canards Illimités avait obtenu les mêmes classes de qualités de l'eau que lors de notre étude, soit de « Douteuse » et « Très mauvaise », respectivement (Masi et Bourget, 2007). La qualité

de l'eau aux stations Désiré et Poirier n'a donc pas changé en comparaison avec les résultats de 2007 de Canards Illimités.

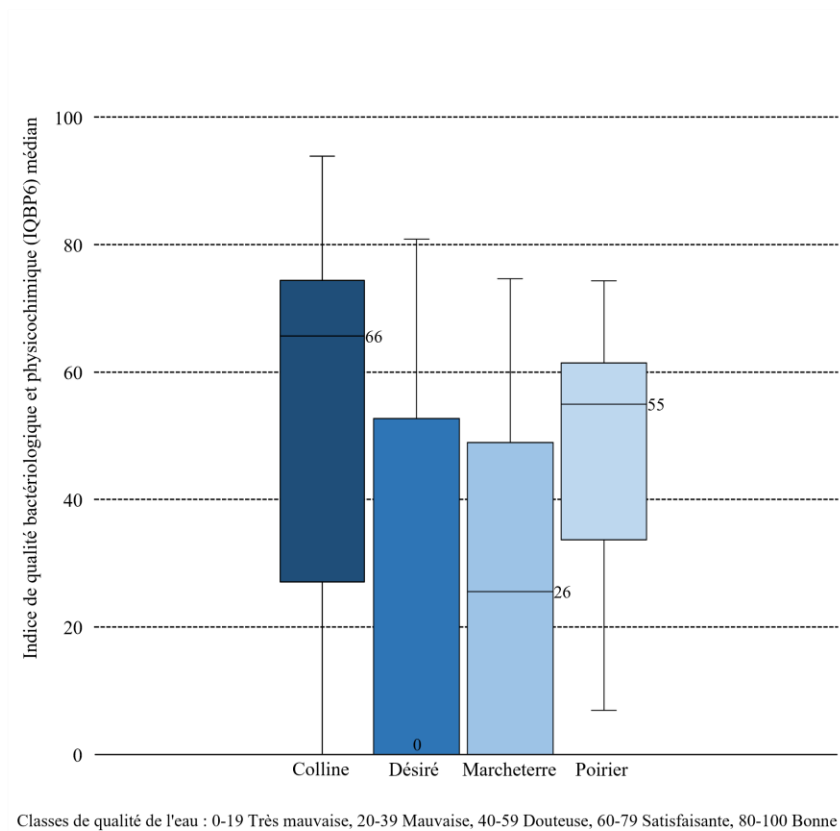


Figure 12: Indice de qualité bactériologique et physicochimique de l'eau médian des stations Colline, Désiré, Marcheterre et Poirier d'amont en aval des haldes minières échantillonnées du 10 mai 2021 au 2 novembre 2021 (n=15).

7.2.2. Station Colline

Les résultats des sous-indices de l'IQBP₆ de la station Colline sont illustrés à la figure 13 ci-bas. En général, les scores sont très élevés (> 90) en plus d'avoir des écarts interquartiles faibles, à l'exception du sous-indice de la concentration des coliformes fécaux (UFC/100 ml), lequel correspond au paramètre déclassant. Lors des temps de pluie, les valeurs de concentration en coliformes fécaux dans l'eau dépassaient le seuil et compromettaient toutes activités nautiques (>1 000 UFC/100 ml) (MELCC, 2022). Il est donc possible que la forte variabilité concernant le calcul du sous-indice des coliformes fécaux provienne des données prises lors des temps de pluie. Il y a des terres agricoles à proximité de la station Colline, quoique très petites (figure 5). L'épandage de fumiers ou

de lisiers provenant des activités agricoles pourraient être en cause de l'augmentation périodique de la concentration en coliformes fécaux à cette station, surtout lors des temps de pluie. Une autre source potentielle de coliformes fécaux sont les installations sanitaires des résidences isolées riveraines du lac Bécancour.

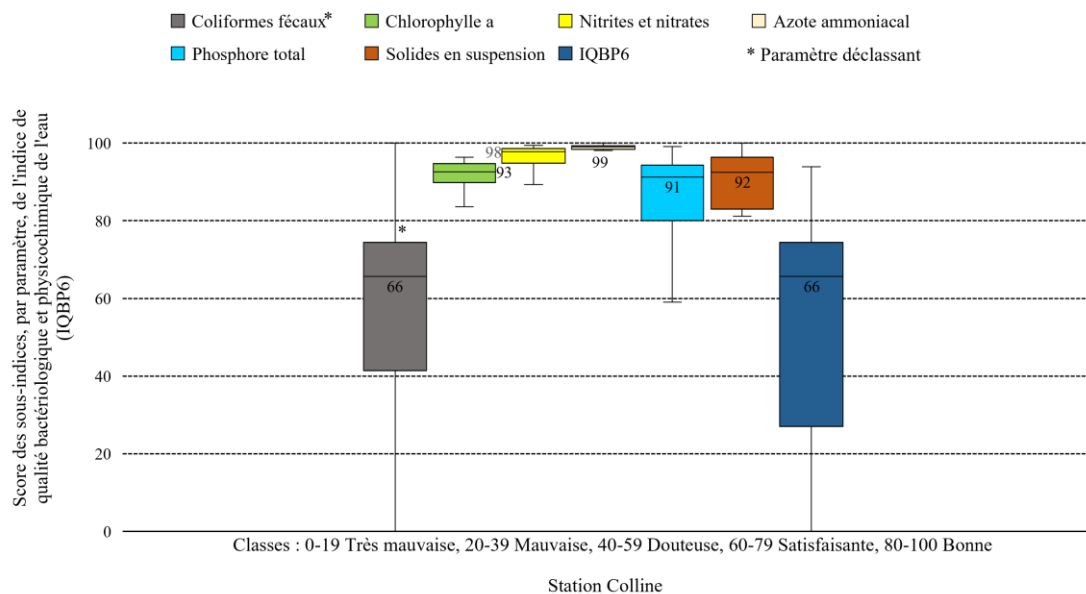


Figure 13: Sous-indices des 6 paramètres inclus dans le calcul de l'IQBP₆ (Coliformes fécaux, chlorophylle α , nitrites et nitrates, azote ammoniacal, phosphore total et solides en suspension) de la station Colline du 10 mai 2021 au 2 novembre 2021 (n=15)

7.2.3. Station Désiré

Les résultats des sous-indices de l'IQBP₆ de la station Désiré sont illustrés à la figure 14. Les concentrations en coliformes fécaux et en chlorophylle α sont les plus bas (0 et 69, respectivement). Ces 2 mêmes paramètres ont des écarts interquartiles plus élevés que les autres. Le paramètre déclassant est la concentration de coliformes fécaux et en conséquence, la station obtient un score de 0, correspondant à une classe de qualité de l'eau « Très mauvaise ». La concentration en coliformes fécaux compromettrait toutes activités aquatiques à cette station (>1 000 UFC/100 ml) (MELCC, 2022), et ce, à plusieurs reprises. La station Désiré se trouve entre le centre-ville de Thetford Mines et de Black Lake, en aval de plusieurs trop-pleins du réseau d'égouts de la municipalité. Ce réseau, principalement unitaire, est connu pour son nombre élevé de surverses (Baril and

Saladzius, 2020). Il est alors fort probable que les rejets d'eaux usées non traitées soient responsables des très fortes concentrations en coliformes fécaux observées.

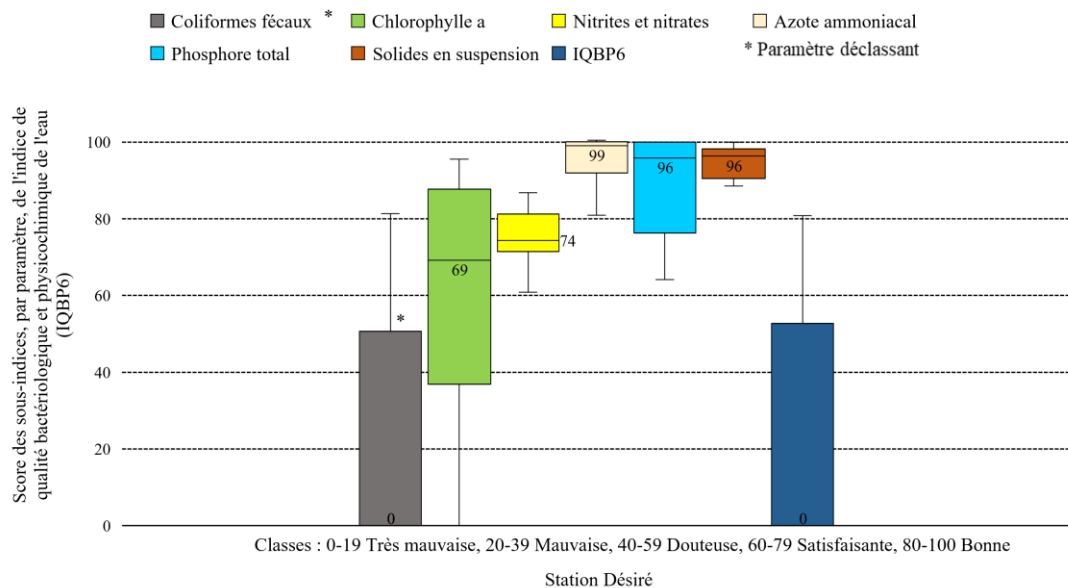


Figure 14: Sous-indices des 6 paramètres inclus dans le calcul de l'IQBP₆ (Coliformes fécaux, chlorophylle α , nitrites et nitrates, azote ammoniacal, phosphore total et solides en suspension) de la station Désiré du 10 mai au 2 novembre 2021 (n=15)

7.2.4. Station Poirier

Les résultats des sous-indices de l'IQBP₆ de la station Poirier sont illustrés à la figure 15 ci-bas. Les sous-indices ont des valeurs élevées (98 à 100), à l'exception des concentrations en coliformes fécaux et en nitrites-nitrates. Les valeurs de ces sous-indices sont respectivement de 64 et 61, en faisant les paramètres déclassants pour cette station. Quoique l'espace interquartile de chacun des paramètres soit bas, on observe une forte variation entre le minimum et le maximum des valeurs du sous-indice des coliformes fécaux. L'IQBP₆ de cette station est de 55, ce qui correspond à une classe de qualité de l'eau « douteuse ». Selon le maximum et le minimum de la concentration en coliformes fécaux à cette station, la qualité de l'eau varie de « Mauvaise » à « Bonne ».

Tel que mentionné pour les autres stations, ceci peut être dû aux échantillonnages effectués lors des temps de pluie. Par ailleurs, la firme Environnement Viridis procède à la végétalisation des haldes minières de la mine lac d'Amiante, situées dans l'aire de

drainage de cette station, en utilisant des matières résiduelles fertilisantes (MRF) ainsi que des biosolides municipaux pouvant contenir des nutriments ainsi que des rejets municipaux (Fréchette, communication personnelle, 2021). Depuis 2016, Environnement Viridis suit la qualité de l'eau à 2 sites sur le ruisseau Poirier, au pied de la halde de RMA sur laquelle est épandue ces MRF, notamment pour le phosphore, l'azote ammoniacal, les nitrites-nitrates, les coliformes totaux et les *E. coli*. Mises à part quelques données ponctuelles élevées des coliformes totaux, aucun critère pour la qualité des eaux naturelles n'est dépassé (FNX-Innov, 2021).

Le fait que l'année 2021 ait été plutôt sèche peut expliquer la forte variation des données de concentration en coliformes fécaux obtenues dans l'eau du ruisseau Poirier. Le seuil de concentration des coliformes fécaux étant parfois dépassé, les activités récréatives ont été compromises selon le seuil en vigueur (MELCC, 2022). Malgré les hautes concentration en nitrites et nitrates, le seuil du MELCC n'a pas été dépassé tout au long de la saison estivale de 2021 (MELCC, 2022).

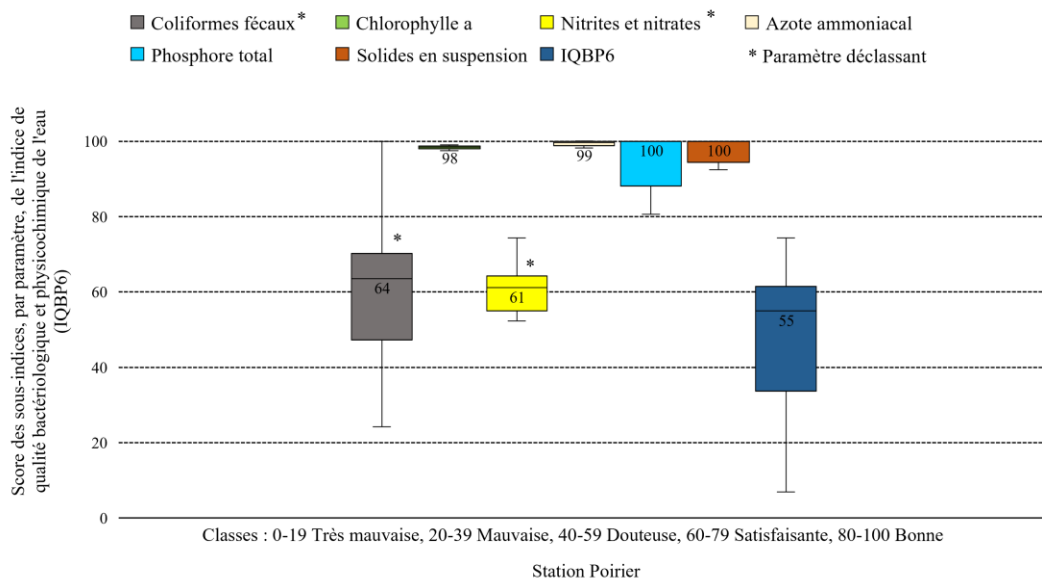


Figure 15: Sous-indices des 6 paramètres inclus dans le calcul de l'IQBP₆ (Coliformes fécaux, chlorophylle α , nitrites et nitrates, azote ammoniacal, phosphore total et solides en suspension) de la station Poirier du 10 mai au 2 novembre 2021 (n=15).

7.2.5. Station Marcheterre

Les résultats des sous-indices de l'IQBP₆ de la station Marcheterre sont illustrés à la figure 16 ci-bas. Les valeurs des sous-indices varient de 60 à 99. Le sous-indice le plus bas est celui de la concentration en phosphore total. Le sous-indice le plus haut est celui de la concentration en azote ammoniacal. Malgré leur médiane élevée, les concentrations en coliformes fécaux et en chlorophylle α sont les paramètres déclassants de cette station. La concentration en phosphore était limitant, mais à un moins grand nombre d'occurrences que la concentration en coliformes fécaux et en nitrites-nitrates. Ces deux mêmes paramètres ont des écarts interquartiles élevés. L'IQBP₆ de cette station est de 26, ce qui correspond à une qualité de l'eau « mauvaise ». Comme à la station Désiré, la concentration en coliformes fécaux compromettait souvent toutes activités nautiques puisqu'elle dépassait à plusieurs reprises le seuil de 1 000 UFC/100 ml (MELCC, 2022).

Puisque la station Marcheterre se trouve en aval des 3 autres stations, il est fort probable que les eaux usées municipales non traitées provenant des débordements du réseau d'égouts de Thetford Mines soient responsables du faible score d'IQBP à la présente station. Également, il est à noter que la station d'épuration des eaux usées de Thetford Mines, laquelle déverse son effluent dans la rivière Bécancour dans le secteur de Black Lake, n'est pas encore munie d'une filière de désinfection. Cette filière devrait être installée et opérationnelle à partir du printemps 2023 (Cyr, communication personnelle, 2021).

Cependant, les minimum et maximum des données concernant les coliformes fécaux et la chlorophylle a à Marcheterre indiquent que la qualité de l'eau peut être considérée autant « Bonne » que « Très mauvaise ». La qualité classée « Bonne » s'explique potentiellement par les périodes sans précipitations pendant lesquels peu de débordements du réseau d'égout se produisent. En ce qui concerne la chlorophylle a , la grande variabilité des résultats peut être aussi due à la variabilité dans les précipitations ainsi qu'aux conditions chaudes et sèches. Ces conditions climatiques peuvent provoquer la prolifération d'algues vertes et d'autres microorganismes dans les cours d'eau (Agriculture et Agroalimentaire Canada, 2002), faisant augmenter à quelques reprises la concentration en chlorophylle a au-delà du seuil maximal de 13,90 $\mu\text{g/l}$ du MELCC (MELCC, 2022).

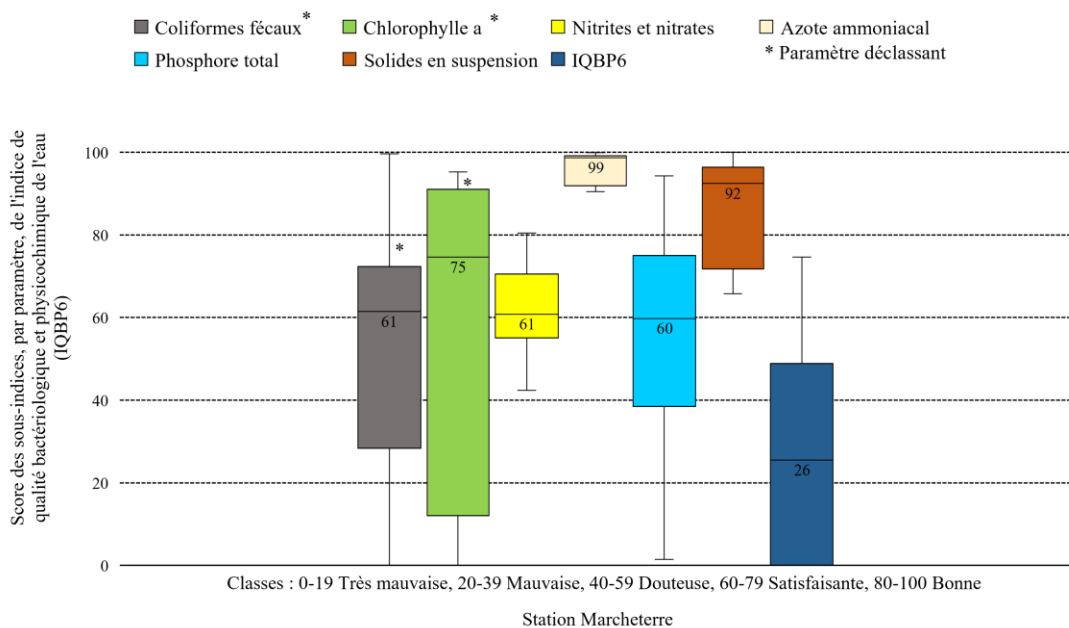


Figure 16: Sous-indices des 6 paramètres inclus dans le calcul de l'IQBP₆ (Coliformes fécaux, chlorophylle α , nitrites et nitrates, azote ammoniacal, phosphore total et solides en suspension) de la station Marcheterre du 10 mai au 2 novembre 2021 (n=14)

Finalement, les paramètres déclassants de l'IQBP des 4 stations témoignent davantage des impacts sur la qualité de l'eau des usages municipaux et urbains du territoire drainé et des rejets directs à la rivière Bécancour. Les résidus miniers amiantés fins, ne contenant ni matière organique ni nutriments, ne sont visiblement pas en cause dans les mesures d'azote ammoniacal, nitrites-nitrates, phosphore et coliformes fécaux. Leur érosion hydrique aurait pu se refléter dans les mesures de solides en suspension. Toutefois, aux 4 stations, les solides en suspension ne sont pas jugés problématiques; ils témoignent plutôt d'une eau de qualité « Bonne » ou « Satisfaisante ».

7.3. pH, conductivité, turbidité

7.3.1. pH

La moyenne du pH des stations Colline, Désiré, Marcheterre et Poirier est illustrée à la figure 17 ci-bas. Le pH mesuré le 14 septembre 2021 aux stations Truite et Stater y est également présenté. Le pH moyen augmente graduellement d'amont en aval des haldes minières, à l'exception des stations Truite et Stater. Le pH le plus bas est à la station

Colline et le plus haut à la station Poirier, soit respectivement de $6,99 \pm 0,48$ et de $9,54 \pm 0,28$. Aux stations du lac à la Truite d'Irlande et de l'étang Stater, le pH était légèrement plus bas qu'en rivière, avec une tendance vers l'alcalinité. En aval des haldes, les pH moyens sont alcalins puisque les RMA contiennent beaucoup de magnésium (Moore et Zimmermann, 1977). En effet, une grande quantité de magnésium présente en milieu aqueux provoque l'alcalinisation du pH de ce dernier à cause de ses propriétés chimiques (Moore et Zimmermann, 1977). Ceci explique pourquoi les pH moyens des stations Marcheterre, Poirier, Truite et Stater sont alcalins. En amont, soit à la station Colline, le cours d'eau est moins affecté par les RMA, donc il est normal que cette dernière station ait un pH moyen se rapprochant de la neutralité.

Selon le ministère de l'Environnement et de la Lutte aux changements climatiques, l'eau de surface utilisée de façon récréative ou à des fins de consommation ne doit pas dépasser un seuil de pH 9,0 (MELCC, 2022b). En ce qui concerne la protection de la vie aquatique, le seuil maximal recommandé est de 9,5 (MELCC, 2022b). À la station Poirier, ces seuils ont souvent été dépassés durant la saison estivale de 2021. Aux stations Désiré et Marcheterre, le seuil d'utilisation récréative de l'eau a parfois été dépassé. Ainsi, les activités récréatives ont parfois été compromises à ces 3 stations à différents moments entre les mois de mai et novembre 2021.

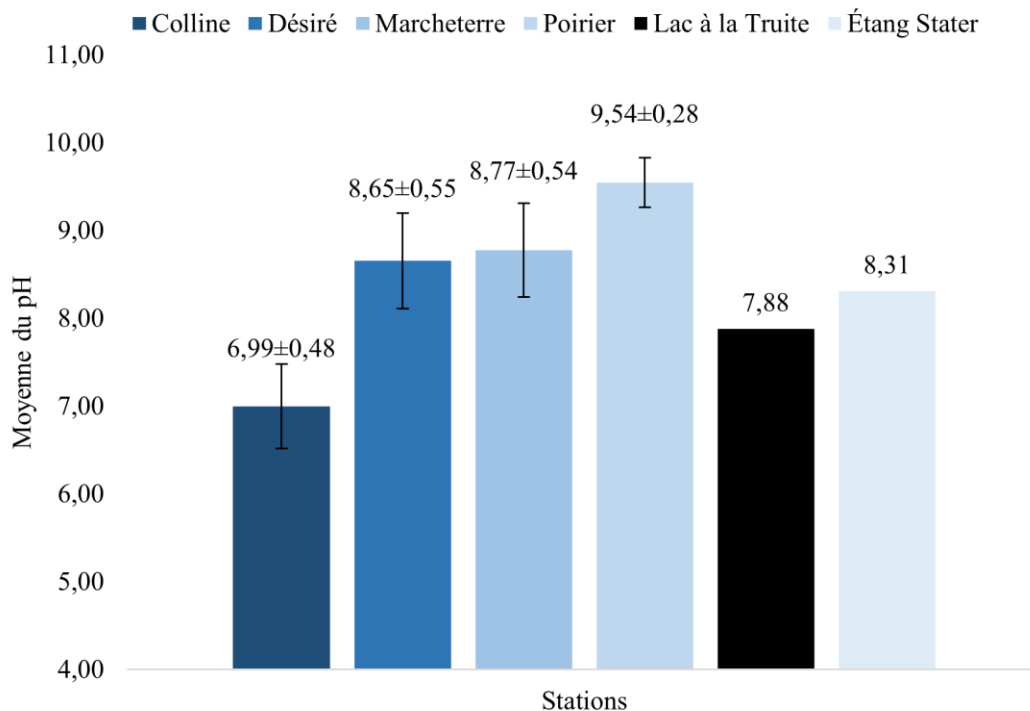


Figure 17: pH moyen des stations Colline, Désiré, Marcheterre et Poirier du 10 mai 2021 au 31 octobre 2021 ainsi que des stations Truite et Stater le 14 septembre et le 31 octobre 2021.

Les RMA sont particulièrement riches en magnésium (FNX-Innov, 2021). Le pH des ruisseau Poirier et de la rivière Bécancour est donc principalement affecté par le lessivage des RMA. Nous sommes donc en présence de drainage minier basique dont la lixiviation a un impact sur le pH de l'eau, tel que détaillé ci-bas (voir section 6.4).

7.3.2. Conductivité

La conductivité moyenne des stations Colline, Désiré, Marcheterre, Poirier, Truite et Stater est illustrée à la figure 18 ci-bas. La conductivité moyenne est plus basse à la station Colline qu'aux autres stations. De la station Désiré à la station Stater, la conductivité moyenne se situe entre $311 \pm 36 \mu\text{S/cm}$ et $428 \pm 122 \mu\text{S/cm}$. Ceci correspond aux valeurs rapportées par d'autres auteurs et est plutôt élevée, mais non problématique (Jacques et Pienitz, 2021). En effet, Jacques et Pienitz (2021) mentionnent que la conductivité moyenne élevée du lac à la Truite d'Irlande peut être due à plusieurs facteurs environnementaux de la région, mais ils ont démontré qu'elle est aussi influencée par la lixiviation des RMA contenant des métaux alcalins. Ceci explique la conductivité moyenne

plus faible à la station Colline, soit en amont des haldes de RMA. Ainsi, la lixiviation des RMA fait augmenter la conductivité moyenne de la rivière Bécancour de l'amont vers l'aval.

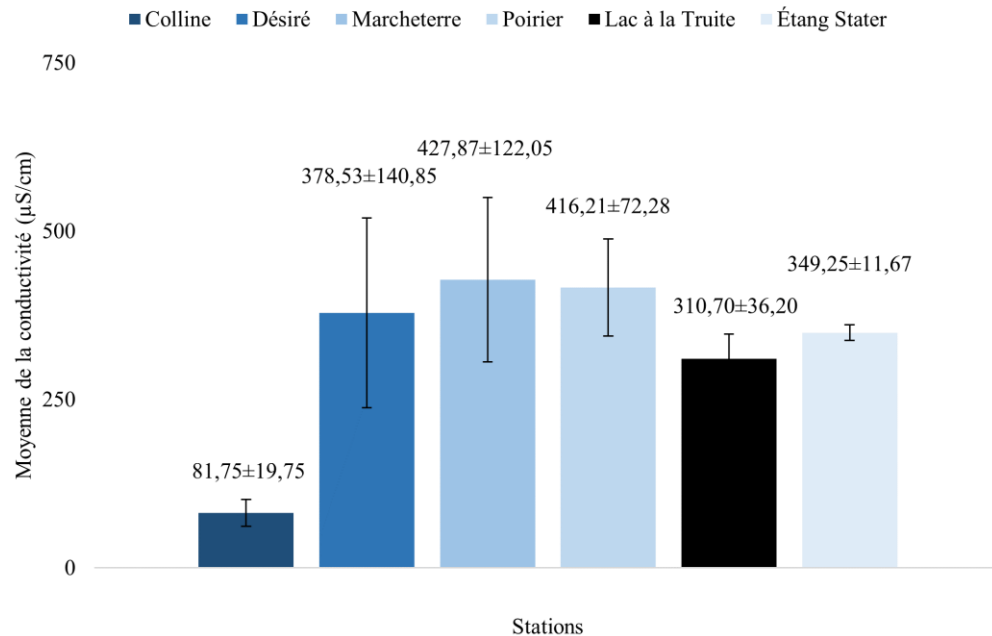


Figure 18: Conductivité moyenne (μS/cm) des stations Colline, Désiré, Marcheterre, Poirier du 10 mai 2021 au 31 octobre 2021 ainsi que des stations Truite et Stater le 14 septembre et 31 octobre 2021

7.3.3. Turbidité

La turbidité figurait parmi les paramètres physico-chimiques analysés. Une corrélation entre la turbidité et la quantité de pluie des dernières 24h a été effectuée ($R^2 = 0,5246$). La quantité de pluie des dernières 24h n'expliquait donc pas une turbidité élevée dans les cours d'eau. De plus, une turbidité élevée n'est pas spécifique à la quantité de fibres d'amiante dans l'eau, mais aussi aux particules de sol ou de végétation qui peuvent s'y retrouver. Ces résultats n'ont donc pas été interprétés et se trouvent aux annexes 5 et 6.

7.4. Lixiviation des RMA et concentrations des métaux

Tableau 1 : Concentration des espèces inorganiques (mg/L) détectée par les essais de lixiviation à l'eau (CTEU-9) sur les résidus miniers amiantés du secteur minier de Thetford Mines en 2021.

Site Échantillon	British Canadian					King Beaver				
	Lix1	Lix2	PU-3	PU-4	PU-6	Lix3	Lix4	Lix5	PU-8	PU-9
Magnésium	45	37,5	54,5	40,8	52,3	49,4	35,9	34,6	45,6	64,2
Baryum	0	0	0	0	0	0	0,047	0	0	0,032
Calcium	0	0	0	2	0	0	3	2	2	0
Aluminium	0,26	0,36	0	0	0	0,17	0,3	0,11	0,19	0,15

Parmi les espèces inorganiques détectées par les essais de lixiviation à l'eau par la méthode CTEU-9, seul le baryum présente un critère basé sur les teneurs de fond (pour les sols). Pour la région des Appalaches, ce critère est fixé à 350 mg/kg (MELCC, 2020). Ce seuil étant bien au-delà des valeurs observées, aucune concentration d'espèces inorganiques mesurée par ces essais ne dépassent des critères connus, même selon le guide de caractérisation des résidus miniers et du minerai (MELCC, 2020). Le magnésium est l'espèce inorganique présente en plus grande concentration dans le lixiviat obtenu par cette méthode.

Tableau 2 : Concentration des espèces inorganiques (mg/L) détectée par les essais de lixiviation pour simuler les pluies acides (SPLP) sur les résidus miniers amiantés du secteur minier de Thetford Mines en 2021.

Site Échantillon	British Canadian					King Beaver				
	Lix1	Lix2	PU-3	PU-4	PU-6	Lix3	Lix4	Lix5	PU-8	PU-9
Magnésium	4,6	4,8	21,7	4,9	5,4	4,4	3,8	4,5	3,6	10,8
Calcium	2,5	0	0	0	3,1	4,4	4	4,6	3	2,9

Lors des essais de lixiviation simulant les pluies acides, seul le magnésium et le calcium ont été détectés dans le lixiviat. Aucun critère n'a été fixé pour ces espèces inorganiques. Aucun minéral problématique n'a été détecté dans le cadre de ces essais.

Tableau 3 : Concentration des espèces inorganiques (mg/L) détectée par les essais de lixiviation pour l'évaluation de la mobilité des espèces inorganiques (TCLP) sur les résidus miniers amiantés du secteur minier de Thetford Mines en 2021.

Site Échantillon	British Canadian					King Beaver				
	Lix1	Lix2	PU-3	PU-4	PU-6	Lix3	Lix4	Lix5	PU-8	PU-9
Aluminium	0	0	1,2	0	0	0	0	0	0	0
Calcium	20	0	12	0	45	30	28	25	20	25
Magnésium	150	82	260	150	200	98	88	82	90	150
Manganèse	2,5	0	3,4	3	2,7	2,2	1,6	1,4	1,8	2
Nickel	7,6	0,2	7,9	9,1	8,1	0,2	4,8	4,6	7,2	7,3

Les essais de lixiviation pour l'évaluation de la mobilité des espèces inorganiques (TCLP) n'ont relevé aucun métal considéré « à risques élevés », selon le guide de caractérisation des résidus miniers et du minerai (MELCC, 2020). Le magnésium est l'espèce inorganique présentant la mobilité la plus élevée, suivi du Calcium qui était cependant absent dans deux échantillons prélevés à la mine British Canadian. Aucun critère n'est établi au Canada quant à ces métaux. Le Nickel a été détecté, à des quantités variables, dans l'ensemble des échantillons.

À la lumière de ces résultats et de la grille d'évaluation du potentiel de lixiviation et classement des matériaux du Guide de caractérisation des résidus miniers et du minerai du MELCC (2020), les résidus miniers amiantés des haldes de King Beaver et British Canadian ne sont pas considérés lixiviables. Ces matériaux sont donc considérés à faibles risques.

Tableau 4 : Concentration en fibres d'amiante (%) dénombrées selon la méthode EPA 100.2 des solides issus de la filtration du lixiviat suite à des essais de lixiviation à l'eau sur les résidus miniers amiantés du secteur minier de Thetford Mines en 2021.

Site Échantillon	British Canadian					King Beaver				
	Lix1	Lix2	PU-3	PU-4	PU-6	Lix3	Lix4	Lix5	PU-8	PU-9
Moins de 10 µm	27	37	37	27	37	27	17	29	27	27
Plus de 10 µm	17	15,5	8	15,5	15,5	27	8	17	15,5	17

Toutefois, l'ensemble des échantillons analysés présentaient des fibres d'amiante dans le lixiviat. La proportion de fibres courtes (moins de 10 µm) était presque toujours supérieure

à celle des fibres longues, excepté pour l'échantillon Lix3 dans lequel les proportions étaient équivalentes. Les fibres de plus de 10 µm comptent pour 35 % des fibres observées. Au final, l'amiante représente de 25 à 54 % des solides lixiviés dans les haldes de résidus miniers amiantés. Les fibres d'amiante représentent le principal enjeu en termes de lixiviation des haldes de RMA. Selon le Guide de caractérisation des résidus miniers et du minerai du MELCC (2020), la présence d'amiante dans les RMA nécessite une caractérisation plus détaillée réalisée selon la méthode prescrite par l'INSPQ. Cette caractérisation n'a pas été réalisée dans le cadre de la présente étude. De plus, ce Guide précise que l'amiante est considérée un minéral potentiellement problématique. Nous sommes donc en présence d'un drainage minier susceptible d'être contaminé à l'amiante.

Tableau 5 : Statistiques descriptives (valeurs moyennes et maximales) des concentrations en métaux dissous (µg/l) pour les quatre stations d'échantillonnage du secteur minier de Thetford Mines en 2021. Les valeurs les plus élevées sont indiquées en gris foncé.

Métal	Colline		Désiré		Poirier		Marcheterre	
	Moy.	Max	Moy.	Max	Moy.	Max	Moy.	Max
Chrome	2,627	5,7	1,859	5,3	1,606	4,1	1,367	5,5
Nickel	14,433	23	9,08	17	16,127	40	10,927	19
Cuivre	1,713	7,6	1,563	3,1	0,908	1,3	1,84	2,1
Fer	340,467	550	96,4	320	119,287	420	85,533	260
Titane	3,674	12	0,921	4,9	0,889	3	0,643	3
Plomb	0,464	0,69	0,11	0,42	0,137	0,54	0,088	0,24
Aluminium	97,1	370	28,487	150	21,28	65	24,18	76
Arsenic	0,614	0,9	1,019	3,5	3,396	9,6	1,343	1,9
Bore	15,467	120	78,333	140	24,913	41	65,133	97
Baryum	3,173	8,2	7,140	10	6,667	9,6	6,627	9,2
Béryllium	0,008	0,019	0,005	0,007	0,005	0,007	0,005	0,005
Cadmium	0,01	0,023	0,007	0,013	0,006	0,01	0,009	0,013
Cobalt	0,177	0,52	0,148	0,32	0,154	0,27	0,265	0,4
Manganèse	11,92	36	10,427	30	17,5	58	19,153	41
Molybdène	0,321	1,3	1,086	2,4	2,141	5,1	1,73	2,4
Antimoine	0,097	0,22	0,199	0,3	0,272	0,37	0,194	0,25
Strontium	31,333	110	87,867	120	27,067	38	89,533	110
Thallium	0,003	0,004	0,004	0,007	0,007	0,013	0,004	0,005
Uranium	0,07	0,28	0,213	0,31	0,161	0,36	0,236	0,35
Vanadium	0,425	0,8	0,206	0,46	0,337	1,4	0,529	0,89
Zinc	1,367	4	0,867	1,8	0,567	4	2,813	5,1

Aucun dépassement du critère de vie aquatique chronique (CVAC) n'a été observé lors des analyses de métaux dissous. L'argent et le sélénium ont également été analysés, mais les valeurs observées étaient nulles ou minimales. Contrairement aux attentes, la

majorité des métaux présente des valeurs moyennes ou maximales supérieures au niveau de la station « Colline » qui se trouve en amont des haldes de RMA. Ces concentrations ne sont donc pas dues à la présence de haldes de RMA. Alors que les concentrations moyennes les plus élevées de chrome, cuivre, fer, titane, fer, aluminium, béryllium et cadmium se retrouvent en amont des sites miniers, les stations Poirier et Marcheterre enregistrent les concentrations les plus élevées en cobalt, manganèse, molybdène, antimoine, strontium, thallium, uranium, vanadium et zinc.

Tableau 6 : Statistiques descriptives (valeurs moyennes et maximales) des concentrations en métaux extractibles (µg/l) pour les quatre stations d'échantillonnage du secteur minier de Thetford Mines en 2021. Les valeurs les plus élevées sont indiquées en gris foncé.

Métal	Colline		Désiré		Poirier		Marcheterre	
	Moy.	Max	Moy.	Max	Moy.	Max	Moy.	Max
Chrome	3,67	11	3,87	21	5,83	53	2,98	20
Nickel	17,26	42	14,56	67	33,60	210	15,99	70
Cuivre	2,23	12	2,69	11	2,46	18	3,1	15
Fer	730,53	3600	689,4	7100	1560,13	17000	656,2	6500
Titane	5,04	43	4,52	57	11,81	140	4,94	49
Plomb	0,81	3	0,62	6,1	0,7	6,7	0,46	4,8
Aluminium	274,2	2000	307,71	3500	789,47	9000	281,47	3100
Arsenic	0,78	2	1,33	4,2	3,93	10	1,64	3,6
Bore	15,59	120	82,73	150	25,64	43	66,33	100
Baryum	4,39	15	9,23	26	9,83	43	8,58	25
Béryllium	0,01	0,06	0,01	0,09	0,02	0,22	0,01	0,08
Cadmium	0,02	0,06	0,02	0,11	0,01	0,07	0,02	0,07
Cobalt	0,52	3,1	0,68	6,1	1,47	16	0,69	5,4
Manganèse	36,6	150	61,13	490	57,33	450	57,07	380
Molybdène	0,33	1,3	1,13	2,5	2,23	5,4	1,78	2,5
Antimoine	0,1	0,23	0,21	0,31	0,27	0,39	0,21	0,25
Strontium	32,67	110	90,67	120	30,4	60	92,2	110
Thallium	1,36	13	0,99	13	1,8	22	0,19	0,95
Uranium	0,08	0,3	0,25	0,36	0,2	0,55	0,27	0,36
Vanadium	2,01	14	3,8	30	1,82	9,7	4,24	39
Zinc	1,24	2,7	1,29	4,7	3,19	37	2,82	7,1

La station « Poirier » présente les valeurs moyennes et maximales de concentration de métaux extractibles les plus élevées pour la majorité des métaux analysés. Seul le cuivre, le strontium, l'uranium et le vanadium présentaient des valeurs moyennes plus élevées en aval du secteur minier. Le bore, le cadmium et le manganèse étaient plus élevés à la station « Désiré » situé dans le secteur Black Lake de la ville de Thetford Mines.

Tableau 7 : Statistiques descriptives (valeurs moyennes et maximales) des concentrations en métaux majeurs (mg/l) pour les quatre stations d'échantillonnage du secteur minier de Thetford Mines en 2021. Les valeurs les plus élevées sont indiquées en gris foncé.

Métal	Colline		Désiré		Poirier		Marcheterre	
	Moy.	Max	Moy.	Max	Moy.	Max	Moy.	Max
Sodium	5,09	24	16,54	25	9,80	13	19,74	25
Calcium	6,5	18	13	18	5,14	7	15	17
Potassium	1,67	8,1	6,86	14	12,08	24	7,21	9,7
Magnésium	15,74	55	42,57	67	52,94	70	43,29	55
Dureté (CaCO₃)	80,86	270	206,86	300	233	310	214,29	270

Le potassium, le magnésium et la dureté (carbonates de calcium) présentent des valeurs moyennes et maximales plus élevées au niveau du ruisseau Poirier. La station « Colline » présente les valeurs de concentration en métaux majeurs les plus faibles, excepté pour le Calcium, dont la concentration moyenne semble augmenter de l'amont vers l'aval de la rivière Bécancour. Le ruisseau Poirier présente les valeurs de calcium généralement plus faible que la rivière Bécancour. Le sodium présente des patrons semblables au calcium avec une augmentation de l'amont vers l'aval et des valeurs plus faibles dans le ruisseau Poirier.

Les métaux les plus présents dans les RMA sont le magnésium, le fer, l'aluminium, le calcium, le manganèse, le nickel et le chrome. Les concentrations moyennes en magnésium triplent de l'amont vers l'aval, ce phénomène se présente déjà entre les stations Colline et Désiré et se poursuit vers Marcheterre. Les concentrations moyennes en calcium doublent de l'amont vers l'aval. Les métaux dissous et extractibles ne se comportent pas de la même manière. Alors que les concentrations moyennes en fer, aluminium, nickel et chrome dissous sont plus élevées en amont des haldes de RMA, les concentrations moyennes en fer, aluminium, nickel et chrome extractibles se maintiennent de l'amont vers l'aval de la rivière Bécancour. Ces dernières sont toutefois de 2 à 3 fois plus élevées à la station Poirier. Seul le manganèse se comporte différemment; ses concentrations moyennes augmentent vers l'aval de la rivière Bécancour. En somme, mis à part les métaux dissous, tous les autres métaux typiques des RMA augmentent significativement dans la rivière Bécancour au contact des haldes résidus miniers amiantés. Ils sont autant, sinon plus, présents dans le ruisseau Poirier.

8. Conclusion

Pour conclure, la qualité de l'eau de la rivière Bécancour se détériore de l'amont vers l'aval des haldes et ce, pour la plupart des paramètres analysés. C'est le cas de la quantité d'amiante dans l'eau, plus concentrée en aval qu'en amont des haldes. Il n'y a cependant pas de seuil ou de critère relatif à la qualité de l'eau concernant l'amiante. C'est le cas des paramètres physico-chimiques, soient le pH et la conductivité, en moyenne plus élevés en aval qu'en amont des haldes. Si les concentrations en métaux dissous sont plus élevées à la station « Colline », en amont des haldes et dans le ruisseau Poirier, concentrations de métaux extractibles augmentent vers l'aval des haldes de RMA. Les concentrations en métaux ne dépassaient jamais le seuil CVAC. Les métaux n'étaient donc pas considérés comme toxiques pour la vie aquatique. L'amiante, le magnésium, le calcium et le nickel étaient retrouvés dans les lixiviats des RMA. Quoique ces résidus ne soient pas considérés lixiviables, la présence d'amiante en grande quantité dans le lixiviat demande une attention particulière. On peut considérer que nous sommes en présence de drainage minier susceptible d'être contaminé. Il est donc possible de statuer que les activités minières sur le territoire de Thetford Mines ont un impact négatif sur la qualité de l'eau de la rivière Bécancour et ce, malgré les indications de la Directive 019.

Pour sa part, l'IQBP₆ était problématique, surtout en ce qui concerne la concentration en coliformes fécaux à toutes les stations dans la rivière Bécancour, compromettant toutes activités nautiques et baignades. Les activités humaines ont donc un impact négatif sur la qualité de l'eau de la rivière Bécancour. La présente étude montre que l'amiante se retrouve en grandes quantités dans le bassin versant, visiblement touché par les RMA. Toutefois, plus d'études sont nécessaires afin d'évaluer l'ampleur de l'impact des fibres d'amiante sur la vie aquatique et sur la santé humaine. Plus d'études sont aussi nécessaires afin de trouver des moyens de valorisation, de filtration, de sédimentation ou de séquestration des RMA afin que les fibres d'amiante ne soient pas en contact direct avec l'environnement.

En vertu de la Loi sur le Développement durable, l'importante présence d'amiante dans la rivière Bécancour devrait être analysée selon les principes de précaution et de prévention. Compte tenu des effets carcinogènes sur l'humain de l'amiante dans l'air bien connus et documentés, les fibres d'amiante emportées par la rivière Bécancour devraient être

contenues à la source. Des mesures de rétention des sédiments amiantés à la source sur les sites miniers dont elles émanent devraient être mises en place à court terme.

Cette recommandation va dans le sens des constats et recommandations de la commission d'enquête du BAPE sur l'amiante. Celle-ci constate le peu de données et l'absence de suivis au Québec pour documenter l'effet des haldes de résidus miniers amiantés sur les différentes composantes biologiques des écosystèmes aquatiques alors que des études expérimentales témoignent de la toxicité de l'amiante sur celles-ci (BAPE 2020). La commission d'enquête est d'avis qu'un programme de recherche devrait être développé et mis en place par le ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, en collaboration avec le ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs, pour mieux documenter l'impact des haldes de résidus miniers amiantés sur les composantes biologiques des milieux aquatiques récepteurs.

9. Bibliographie

Agriculture et Agroalimentaire Canada, 2002. Les algues, les cyanobactéries et la qualité de l'eau.

Anderson, C. 2021. Communication personnelle, par courriel.

Anderson, C. 2022. Document non publié

Avataneo, C., Petriglieri, J.R., Capella, S., Tomatis, M., Luiso, M., Marangoni, G., Lazzari, E., Tinazzi, S., Lasagna, M., De Luca, D.A., Bergamini, M., Belluso, E., Turci, F., 2022. Chrysotile asbestos migration in air from contaminated water: An experimental simulation. *J Hazard Mater* 424 : 127528

BAPE, 2020. L'état des lieux et la gestion de l'amiante et des résidus miniers amiantés (Rapport d'enquête et d'audience publique), 351, 283 p. + annexes.

Baril, S., Saladzius, A., 2020. Évaluation de la performance des ouvrages municipaux d'assainissement des eaux - Bassin versant de la zone Bécancour, années 2014 à 2017, 43 p. + annexes.

Cyr, D. Communication personnelle, décembre 2021, 3e rencontre du comité de pilotage, en vidéoconférence.

Environnement Canada, 2021. Données historiques. Gouvernement du Canada - Environnement et ressources naturelles. Repéré à https://climat.meteo.gc.ca/historical_data/search_historic_data_f.html

FNX-Innov, 2021. Mise à niveau #2. Plan de restauration. Mine Lac d'Amiante. Municipalité de Thetford Mines et de Saint-Joseph-de-Coleraine, 23 p. + annexes.

GROBEC, 2015a. Caractérisation de l'état des bandes végétales riveraines et de l'érosion du secteur urbain et minier, Ville de Thetford Mines. GROBEC, 75p. + annexes.

GROBEC, 2015b. Présence de métaux dans l'eau de surface du bassin versant de la rivière Bécancour, secteur minier de Thetford Mines. GROBEC, 48 p.

Hébert, S., 1997. Développement d'un indice de la qualité bactériologique et physico-chimique de l'eau pour les rivières du Québec, No. n°EN/970102, 20 p. + annexes.

Hébert, S., Légaré, S., 2000. Suivi de la qualité des rivières et petits cours d'eau (No. n°QE-123). Direction du suivi de l'état de l'environnement, ministère de l'Environnement, 24 p. + annexes.

Jacques, O., Pienitz, R., 2022. Asbestos mining waste impacts on the sedimentological evolution of the Bécancour chain of lakes, southern Quebec (Canada). *Sci. Total Environ.* 807.

Jacques, O., Pienitz, R., 2021. Impacts des activités minières d'amiante sur l'évolution du lac à la Truite d'Irlande, région de Thetford Mines (Québec, Canada) Impacts of asbestos

mining activities on the evolution of Lac à la Truite d'Irlande, Thetford Mines region (Quebec, Canada). Can. Water. Res. J. 1–21.

Jacques, O. 2020. Communication personnelle, par courriel.

Masi, M.-E., Bourget, D., 2007. Diagnostic sur les ressources et les usages de la Haute-Bécancour. Canards Illimités Canada, 68 p. + annexes.

MDDELCC, 2015. Critères de qualité de l'eau de surface au Québec. Fondements des critères de qualité pour chaque usage de l'eau. Repéré à http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/eau/criteres_eau/fondements.htm (accessed 12.15.15).

Ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles (MERN), 2019. Rapport sectoriel sur l'état de la situation de l'amiante au Québec, Gouvernementale No. PR4.4. Gouvernement du Québec, 68 p. + annexes.

Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC), 2022a. La qualité de l'eau et les usages récréatifs. Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC). Repéré à <https://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/recreative/qualite.htm>

Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC), 2022b. Critères de qualité de l'eau de surface. Repéré à https://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/criteres_eau/details.asp?code=S0381

Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC), 2021. Atlas de l'eau. Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC). Repéré à <https://environnement.gouv.qc.ca/eau/atlas/atlas-argis/index.html>

Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC), 2020. Guide de caractérisation des résidus miniers et du minéral. Gouvernement du Québec.

Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC), 2020. Contaminants d'intérêt émergent, substances toxiques et état des communautés de poissons dans des cours d'eau du Québec méridional. Gouvernement du Québec, 66 p. + annexes.

Ministère du Développement Durable de l'Environnement de la Faune et des Parcs (MDDEP), 2012. Directive 019 sur l'industrie minière. Gouvernement du Québec, 66 p. + annexes.

Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC), 2016. Le secteur minier au Québec – Enjeux environnementaux et cadre normatif pour les rejets liquides.

Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la lutte contre les changements climatiques (MDDELCC), 2014. Protocole d'échantillonnage de l'eau de surface pour l'analyse des métaux en traces.

Moore, T.R., Zimmermann, R.C., 1977. Establishment of Vegetation on Serpentine Asbestos Mine Wastes, Southeastern Quebec, Canada. *J. Appl. Ecol.*, 14, 589–599.

Villeneuve, M., 2013. Rapport de caractérisation des résidus miniers Région de Thetford Mines. Ministère du Développement durable, Environnement, Faune et Parcs (MDDEFP), 87 p. + annexes.

Woodhead, A.D., Setlow, R.B., Pond, V., 1983. The effects of chronic exposure to asbestos fibers in the Amazon molly *Poecilia formosa*. *Environ. Int.* 9, 173-176.

Annexes

Annexe 1 : Charges sédimentaires de l'écoulement au ponceau A au site Normandie le 9 juillet 2021 (gauche) et le 9 août 2021 (droite)

Lecture	Sédiments (cm ³)
1	99
2	24,75
3	24,75
4	49,5
5	39,6
6	99
7	24,75
8	74,25
9	64,35
10	74,25
11	49,5
12	84,15
Moyenne	58,99
Total	707,85

Lecture	Sédiments (cm ³)
1	148,5
2	74,25
3	123,75
4	69,3
5	84,15
6	49,5
7	123,75
8	123,75
9	79,2
10	99
11	123,75
12	123,75
Moyenne	101,89
Total	1222,65

Annexe 2 : Formules utilisées lors du calcul des sous-indices de l'IQBP₆ décrites par Hébert (1997)

Une formule différente est utilisée pour chacun des 6 paramètres mesurés. Les formules sont les suivantes :

Coliformes fécaux :

$$y1 = 100,000707 + 199,4112625 * x1 - 633,2498635 * x1^2 + 794,5776709 * x1^3 - 509,8647342 * x1^4 + 176,015402 * x1^5 - 31,1373636 * x1^6 + 2,2100002 * x1^7$$

Où :

y1 = valeur du sous-indice

x1 = donnée (nbr de coliformes fécaux/100 ml) transformée en logarithme de base 10*

*Prendre note que pour les données des coliformes fécaux, les données brutes doivent être préalablement converties en logarithme de base 10.

Chlorophylle a :

$$y2 = 99,95788803 - 2,55025335 * x2 + 0,24361295 * x2^2 - 0,11344181 * x2^3 + 0,0078366 * x2^4 - 0,00015391 * x2^5$$

Où :

y2 = valeur du sous-indice

x2 = Donnée brute (en µg/L)

Nitrites et nitrates :

$$y_3 = 100,211834 - 40,1159071 * x_3 - 11,1812228 * x_3^2 + 17,8562719 * x_3^3 - 7,2985492 * x_3^4 + 1,4940264 * x_3^5 - 0,1670551 * x_3^6 + 0,0097349 * x_3^7 - 0,0002315 * x_3^8$$

Où :

y_3 = valeur du sous-indice

x_3 = Donnée brute (en mg/L)

Azote ammoniacal :

$$y_4 = 100,9766652 - 100,1069915 * x_4 + 43,0165198 * x_4^2 - 9,2398993 * x_4^3 + 0,7928877 * x_4^4$$

Où :

y_4 = valeur du sous-indice

x_4 = Donnée brute (en mg/L)

Phosphore total :

$$y5 = 131,811 - 2470,73 * x5 + 29919,88 * x5^2 - 215866,395 * x5^3 + 907127,101 * x5^4 - 2179260,623 * x5^5 + 2767313,71 * x5^6 - 1436922,807 * x5^7$$

Où :

y5 = valeur du sous-indice

x5 = Donnée brute (en mg/L)

Solides en suspension :

$$y6 = 100,0091735 - 8,2787124 * x6 - 7,4497699 * x6^2 - 18,0716277 * x6^3 - 0,7974349 * x6^4 + 3,1353762 * x6^5$$

Où :

y6 = valeur du sous-indice

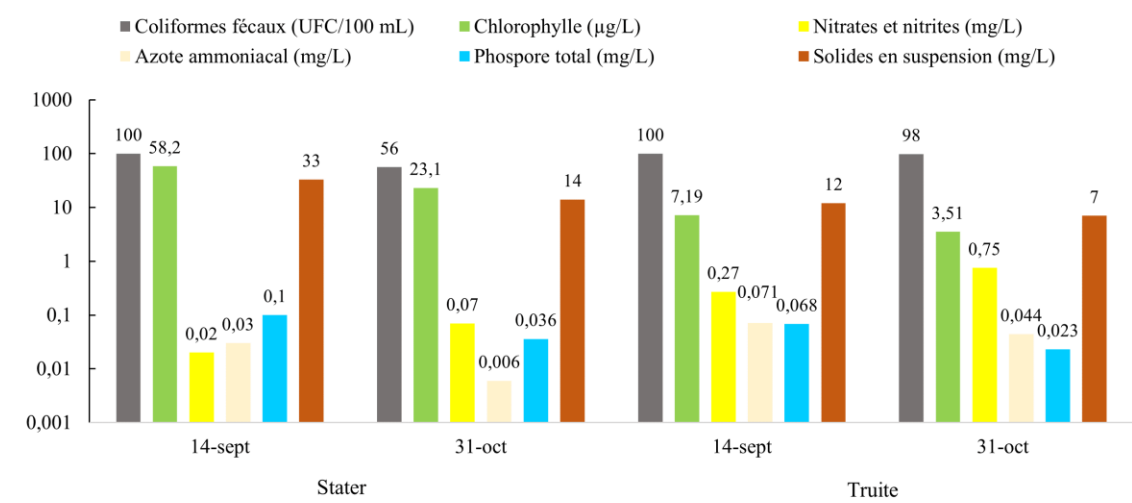
x6 = donnée (en mg/L) transformée en logarithme de base 10*

*Prendre note que pour les données des solides en suspension, les données brutes doivent être préalablement converties en logarithme de base 10.

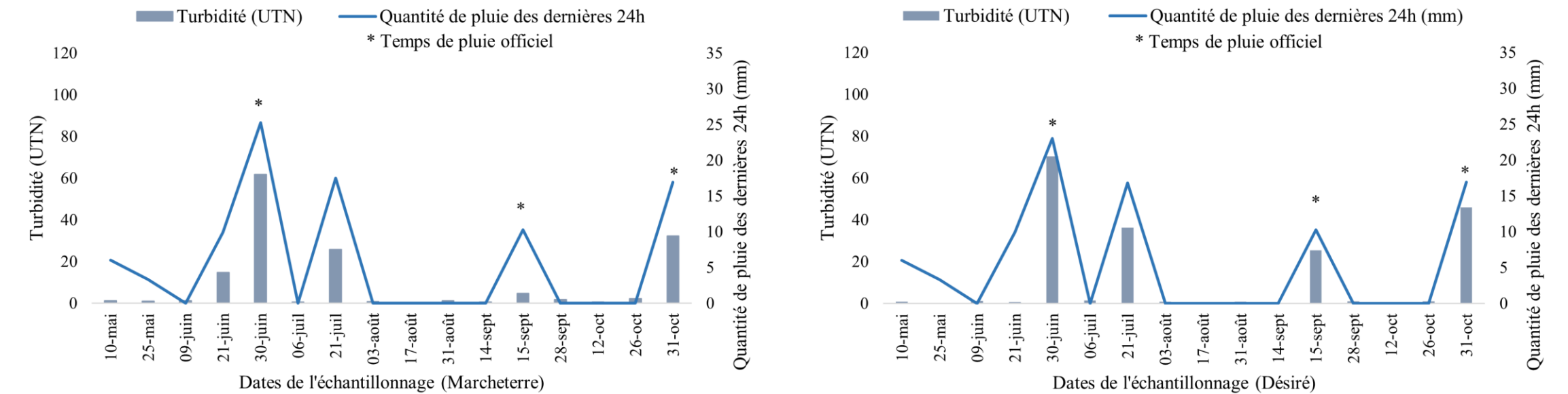
Annexe 3 : Paramètres physico-chimiques des écoulements sous 3 ponceaux au site Normandie et de 3 écoulements préférentiels du site British Canadian le 9 juillet 2021 et le 9 août 2021

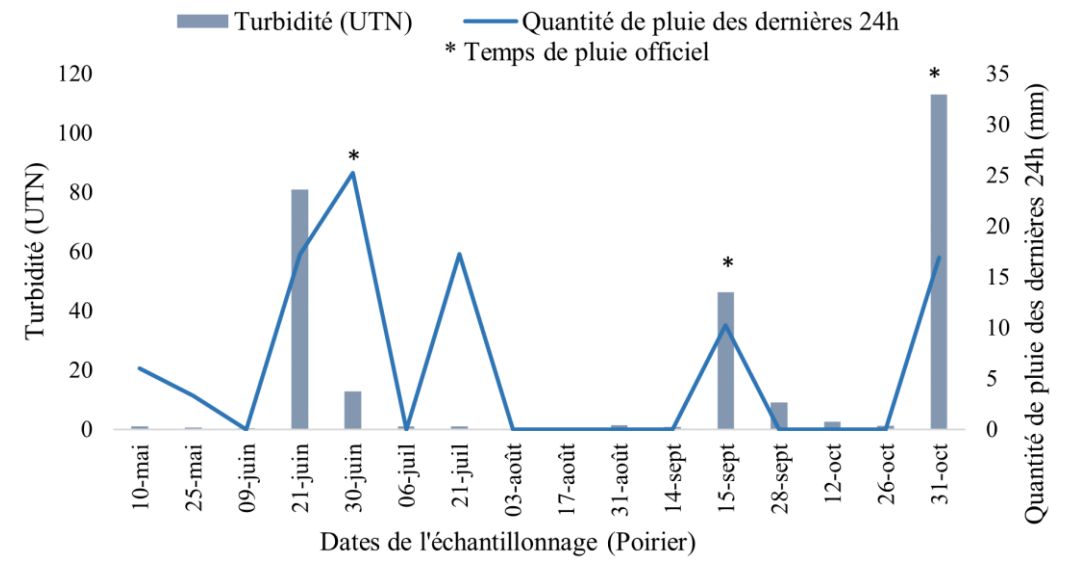
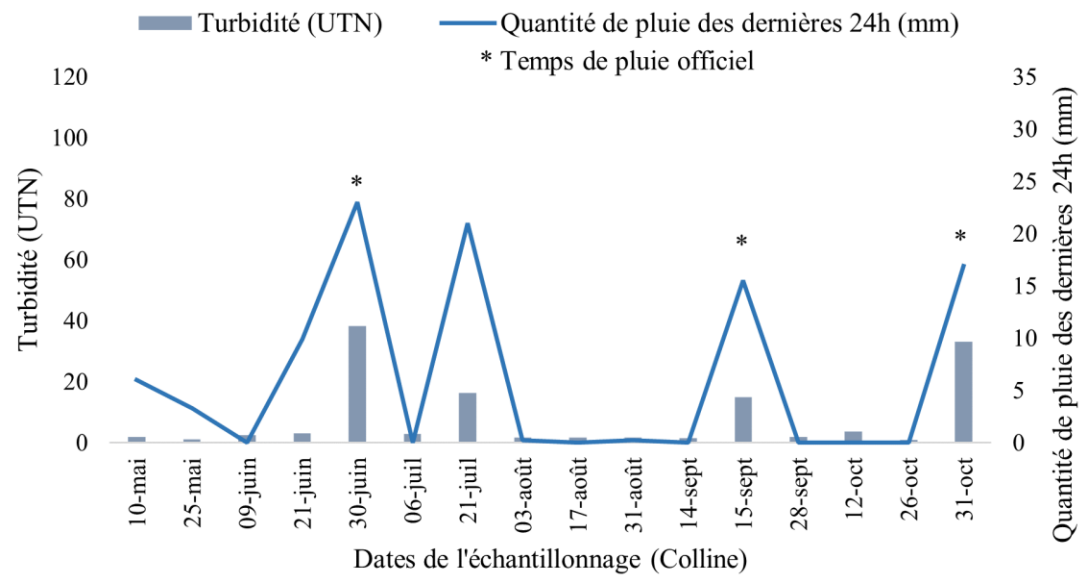
	Sites					
	Normandie			British Canadian		
	Ponceau 2	Ponceau 3	Ponceau 4	Écoul. 7	Écoul. 11	Écoul. 16
pH	9,24 ± 0,08	8,45	8,32	8,29	8,52	9,63
Conductivité (µS)	772,5 ± 68,6	235,2	530	407,4	599	662
Température (°C)	15,9	12,9	16,4	15,9	-	-

Annexe 4 : Histogramme des concentrations des 6 paramètres inclus dans le calcul d'IQBP6 des stations Stater et Truite le 14 septembre 2021 et le 31 octobre 2021 (n=2)

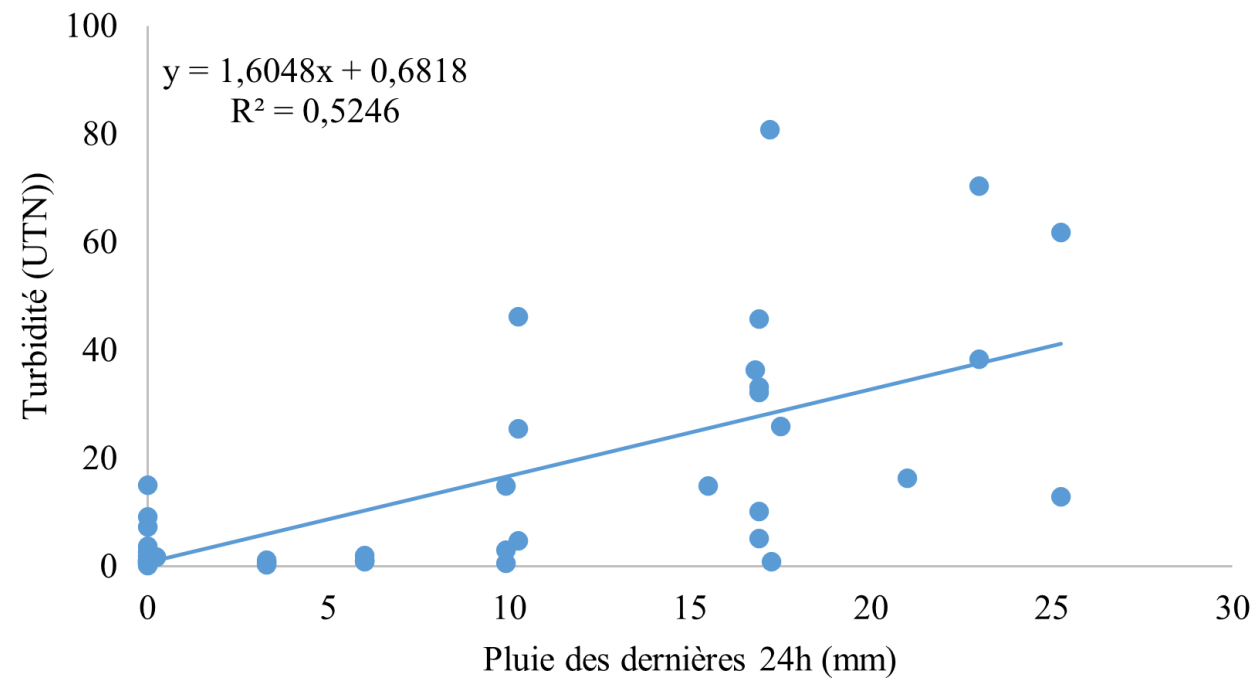


Annexe 5 : Turbidité (UTN) en fonction de quantité de pluie (en mm) et de la date d'échantillonnage (10 mai 2021 au 31 octobre 2021) à chacune des stations en rivière. Les temps de pluie officiels sont marqués d'un astérisque.

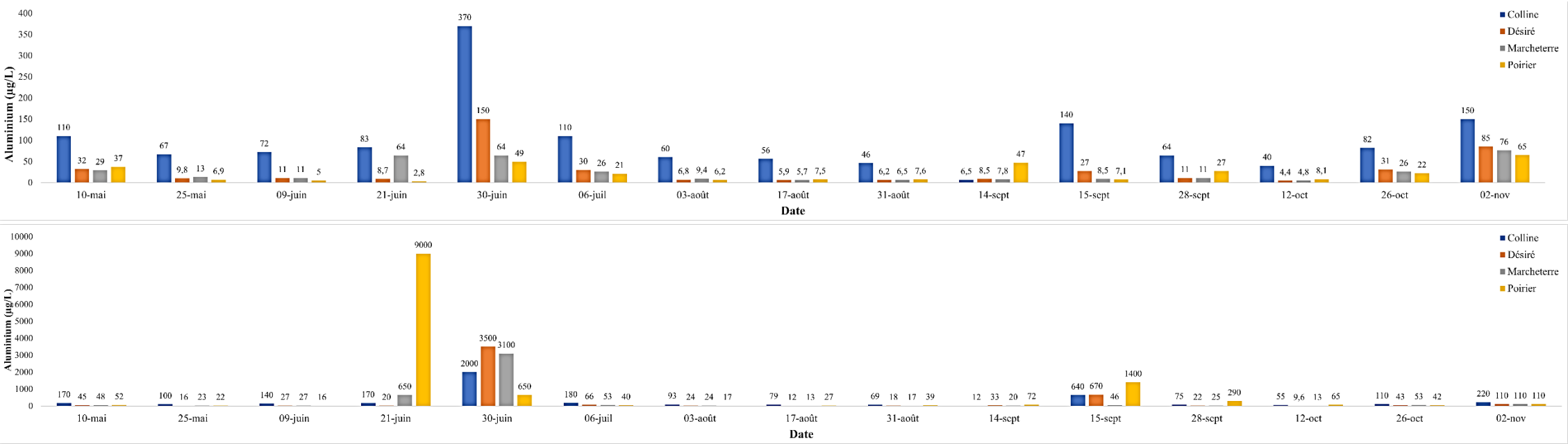




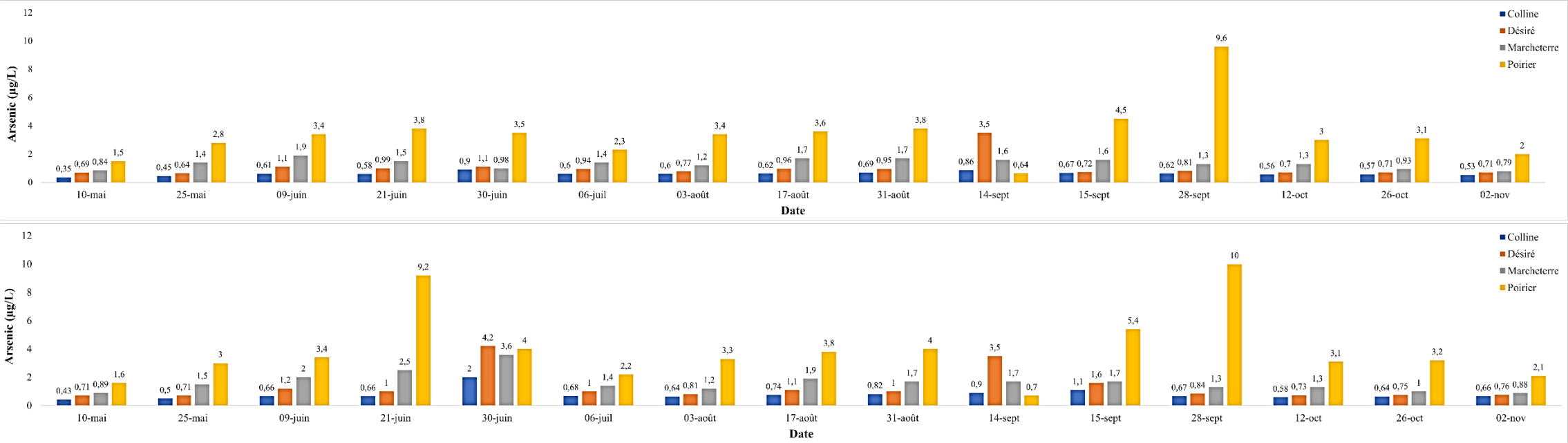
Annexe 6 : Corrélation entre la quantité de pluie des dernières 24h (en mm) et la turbidité (UTN) à toutes les stations en rivière confondues du 10 mai 2021 au 31 octobre 2021



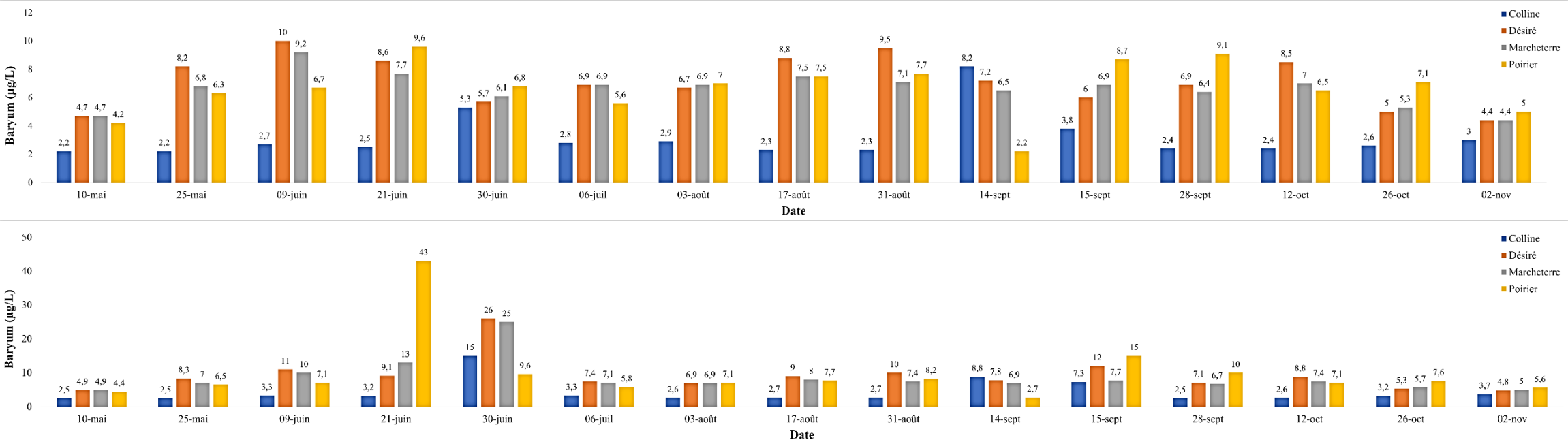
Annexe 7 : Graphiques des concentrations de 16 métaux dissous, extractibles et majeurs (en µg/L) retrouvés aux stations d'échantillonnage « Colline », « Désiré », « Marcheterre » et « Poirier » du 10 mai 2021 au 2 novembre 2021



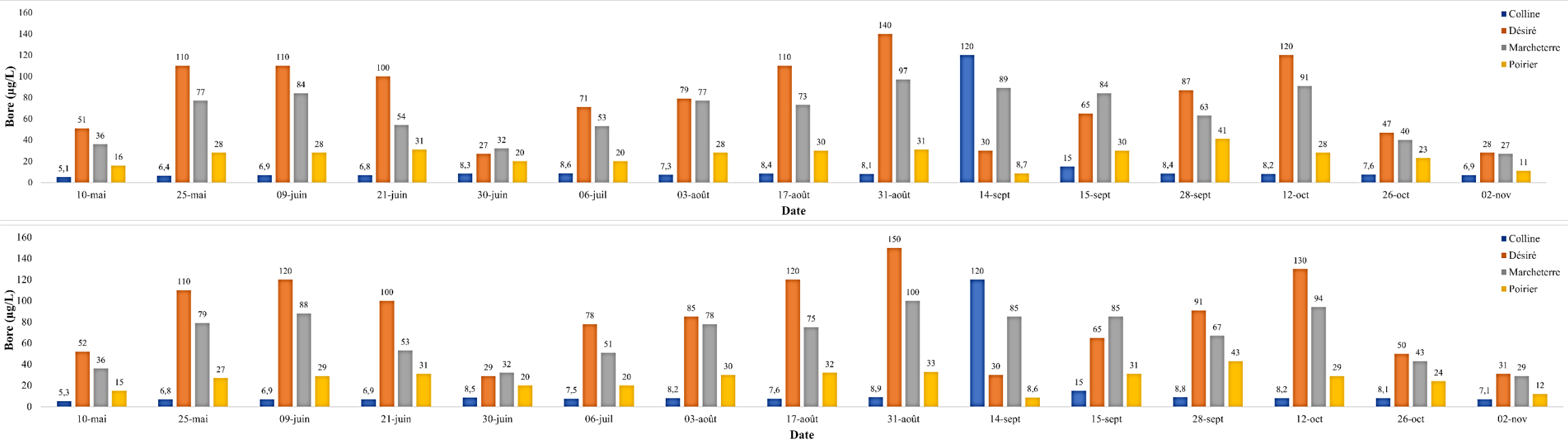
Aluminium (µg/l) dissous (haut) et extractible (bas) mesuré dans l'eau de surface des quatre stations d'échantillonnage (Colline, Désiré, Marcheterre et Poirier) du secteur minier de la Haute Bécancour entre le 10 mai et le 2 novembre 2021.



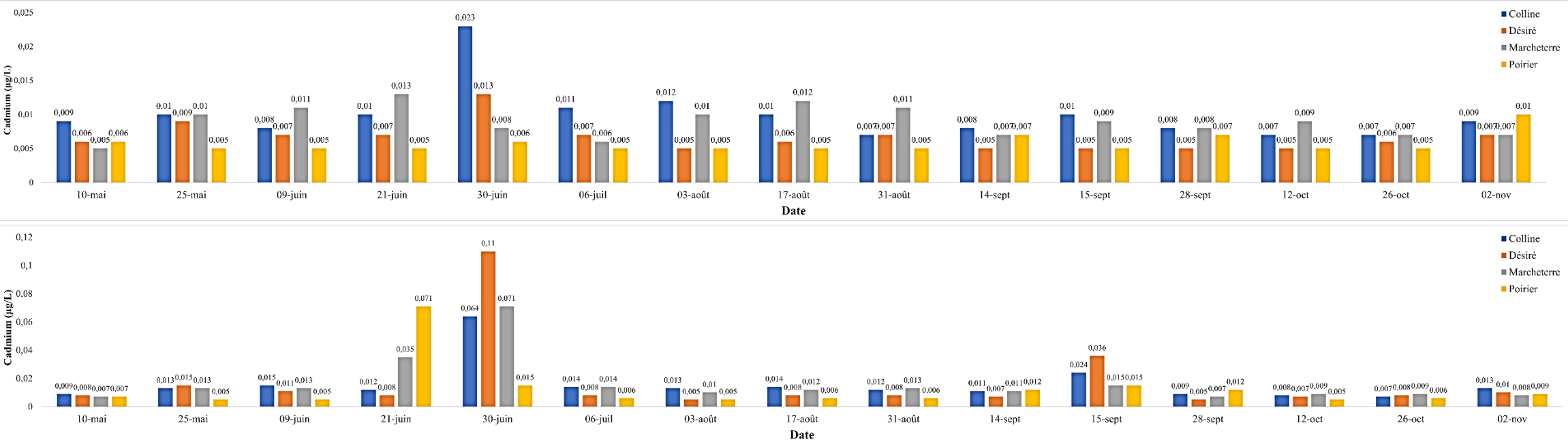
Arsenic (µg/l) dissous (haut) et extractible (bas) mesuré dans l'eau de surface des quatre stations d'échantillonnage (Colline, Désiré, Marcheterre et Poirier) du secteur minier de la Haute Bécancour entre le 10 mai et le 2 novembre 2021.



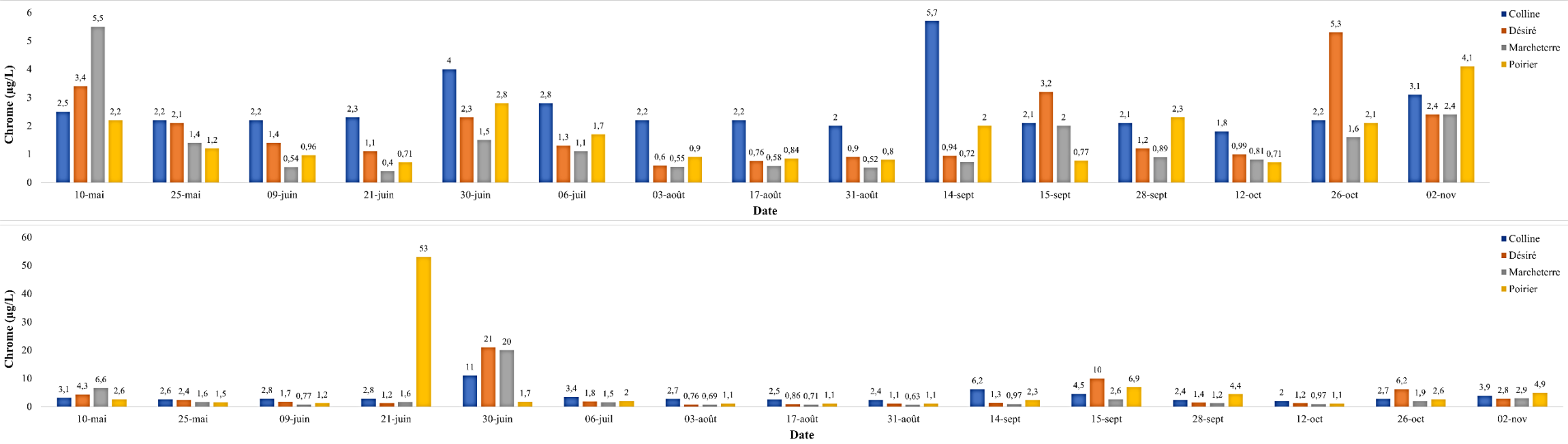
Baryum (µg/l) dissous (haut) et extractible (bas) mesuré dans l'eau de surface des quatre stations d'échantillonnage (Colline, Désiré, Marcheterre et Poirier) du secteur minier de la Haute Bécancour entre le 10 mai et le 2 novembre 2021.



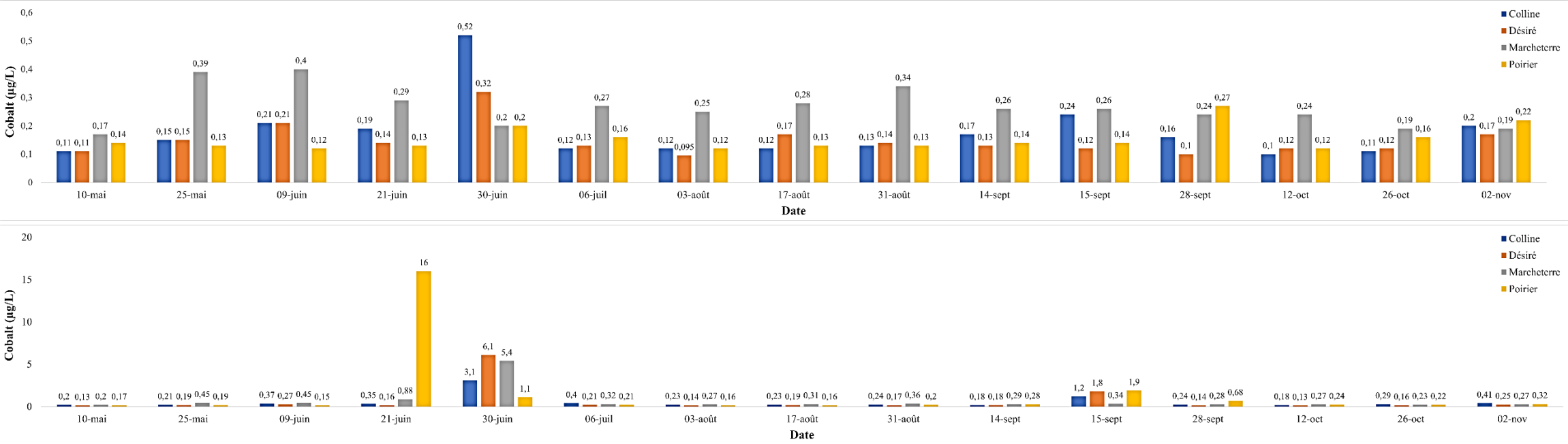
Bore (µg/l) dissous (haut) et extractible (bas) mesuré dans l'eau de surface des quatre stations d'échantillonnage (Colline, Désiré, Marcheterre et Poirier) du secteur minier de la Haute Bécancour entre le 10 mai et le 2 novembre 2021.



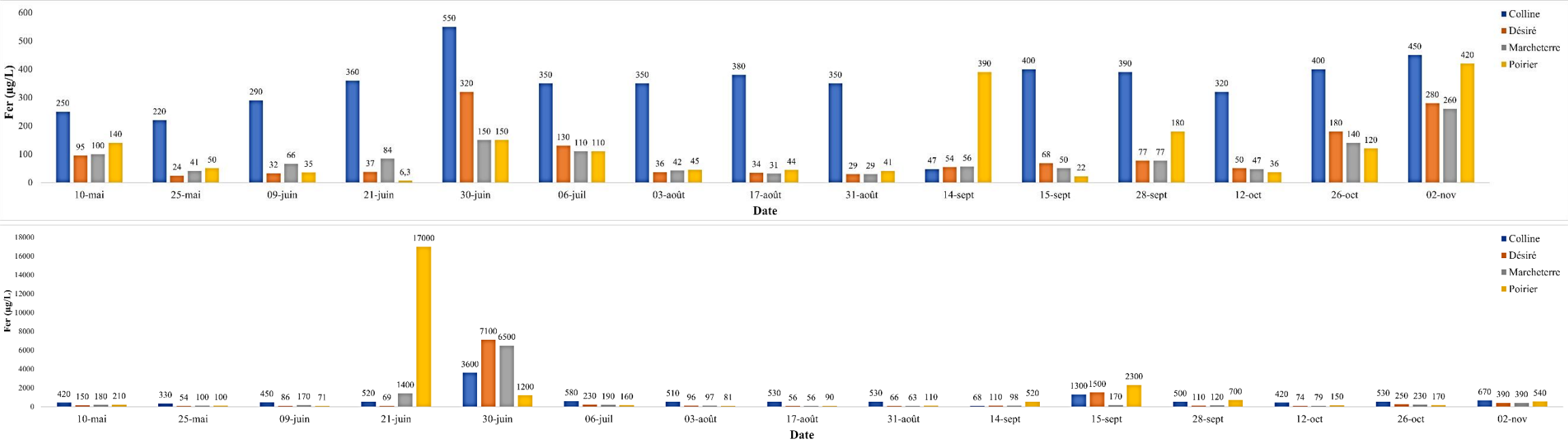
Cadmium (µg/l) dissous (haut) et extractible (bas) mesuré dans l'eau de surface des quatre stations d'échantillonnage (Colline, Désiré, Marcheterre et Poirier) du secteur minier de la Haute Bécancour entre le 10 mai et le 2 novembre 2021.



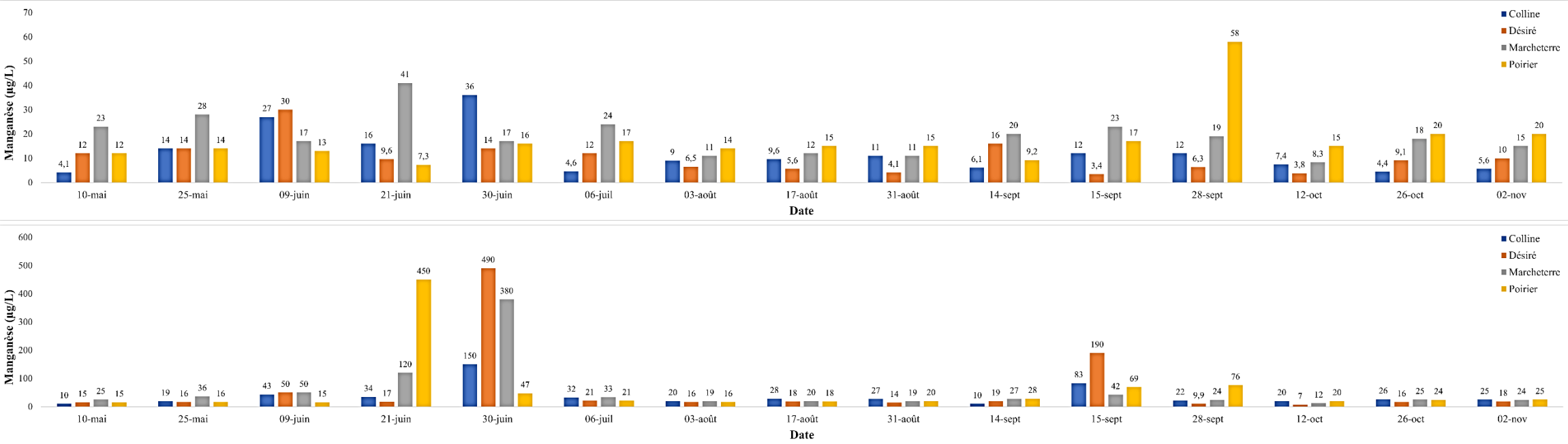
Chrome (µg/l) dissous (haut) et extractible (bas) mesuré dans l'eau de surface des quatre stations d'échantillonnage (Colline, Désiré, Marcheterre et Poirier) du secteur minier de la Haute Bécancour entre le 10 mai et le 2 novembre 2021.



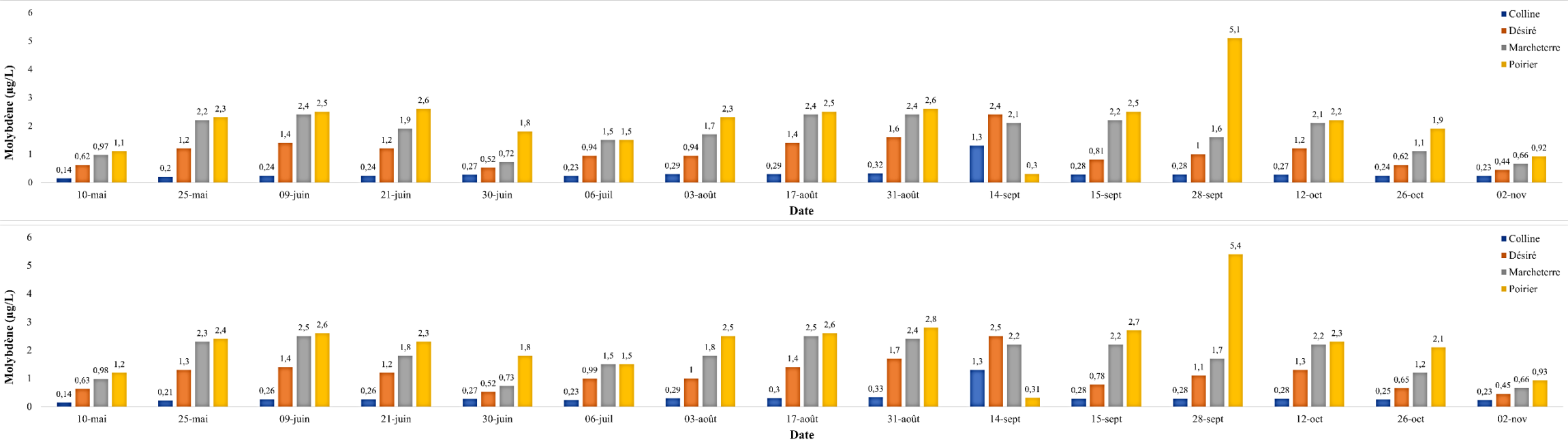
Cobalt (µg/l) dissous (haut) et extractible (bas) mesuré dans l'eau de surface des quatre stations d'échantillonnage (Colline, Désiré, Marcheterre et Poirier) du secteur minier de la Haute Bécancour entre le 10 mai et le 2 novembre 2021.



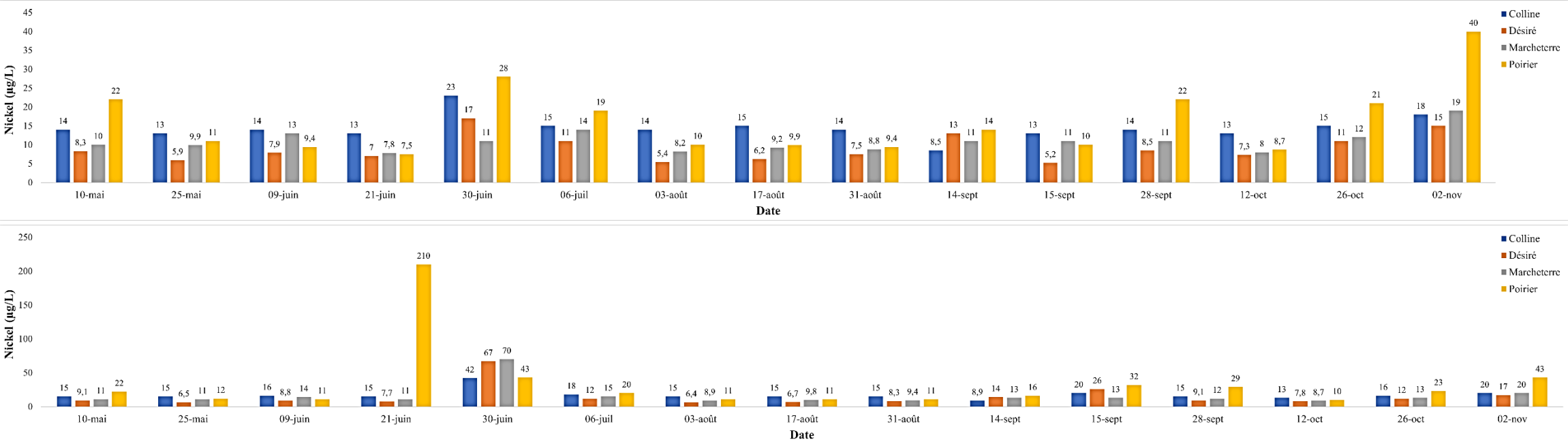
Fer (µg/l) dissous (haut) et extractible (bas) mesuré dans l'eau de surface des quatre stations d'échantillonnage (Colline, Désiré, Marcheterre et Poirier) du secteur minier de la Haute Bécancour entre le 10 mai et le 2 novembre 2021.



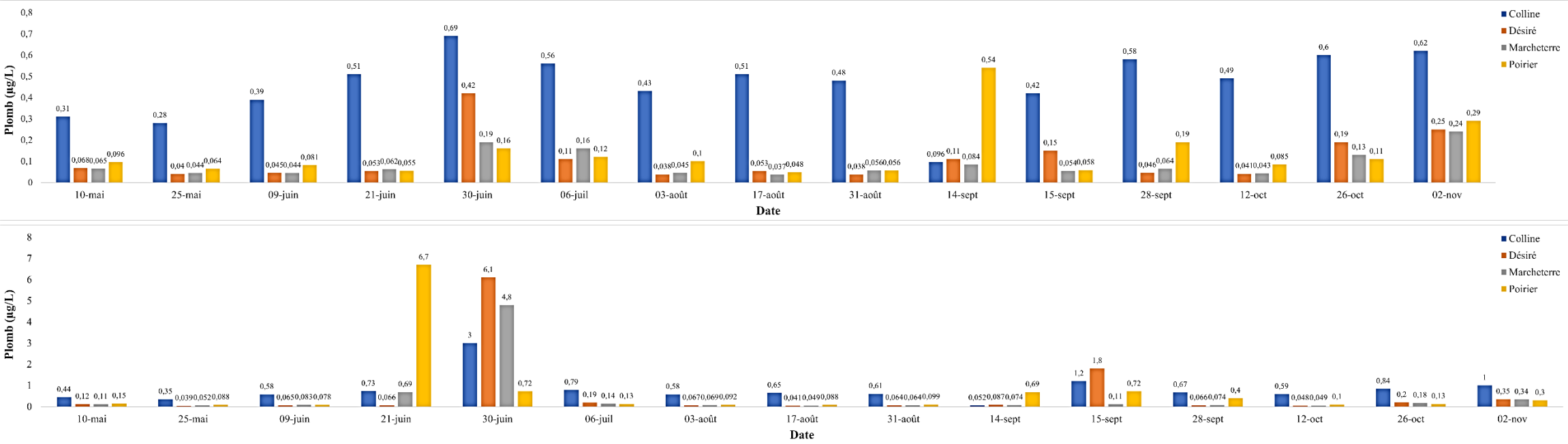
Manganèse (µg/l) dissous (haut) et extractible (bas) mesuré dans l'eau de surface des quatre stations d'échantillonnage (Colline, Désiré, Marcheterre et Poirier) du secteur minier de la Haute Bécancour entre le 10 mai et le 2 novembre 2021.



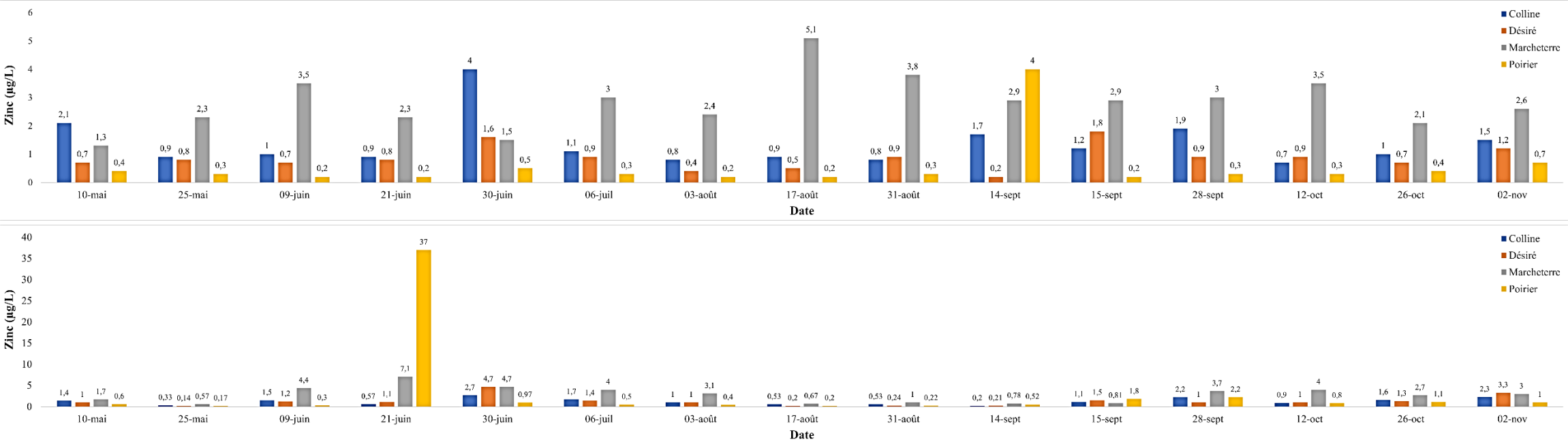
Molybdène (µg/l) dissous (haut) et extractible (bas) mesuré dans l'eau de surface des quatre stations d'échantillonnage (Colline, Désiré, Marcheterre et Poirier) du secteur minier de la Haute Bécancour entre le 10 mai et le 2 novembre 2021.



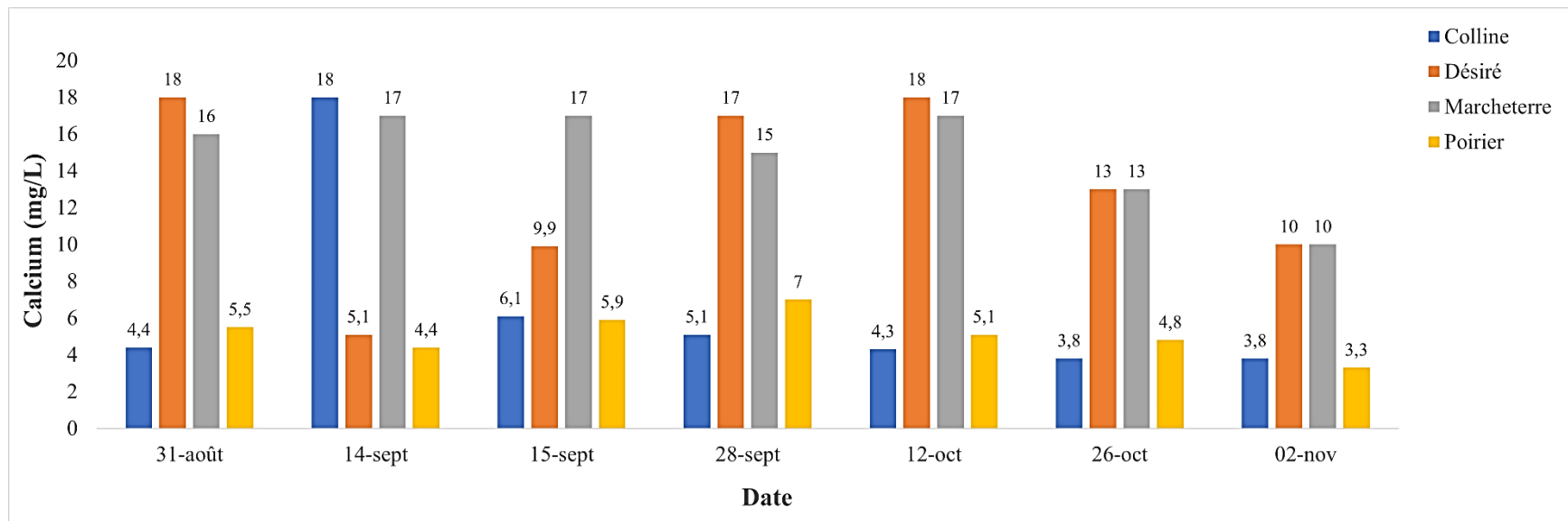
Nickel (µg/l) dissous (haut) et extractible (bas) mesuré dans l'eau de surface des quatre stations d'échantillonnage (Colline, Désiré, Marcheterre et Poirier) du secteur minier de la Haute Bécancour entre le 10 mai et le 2 novembre 2021.



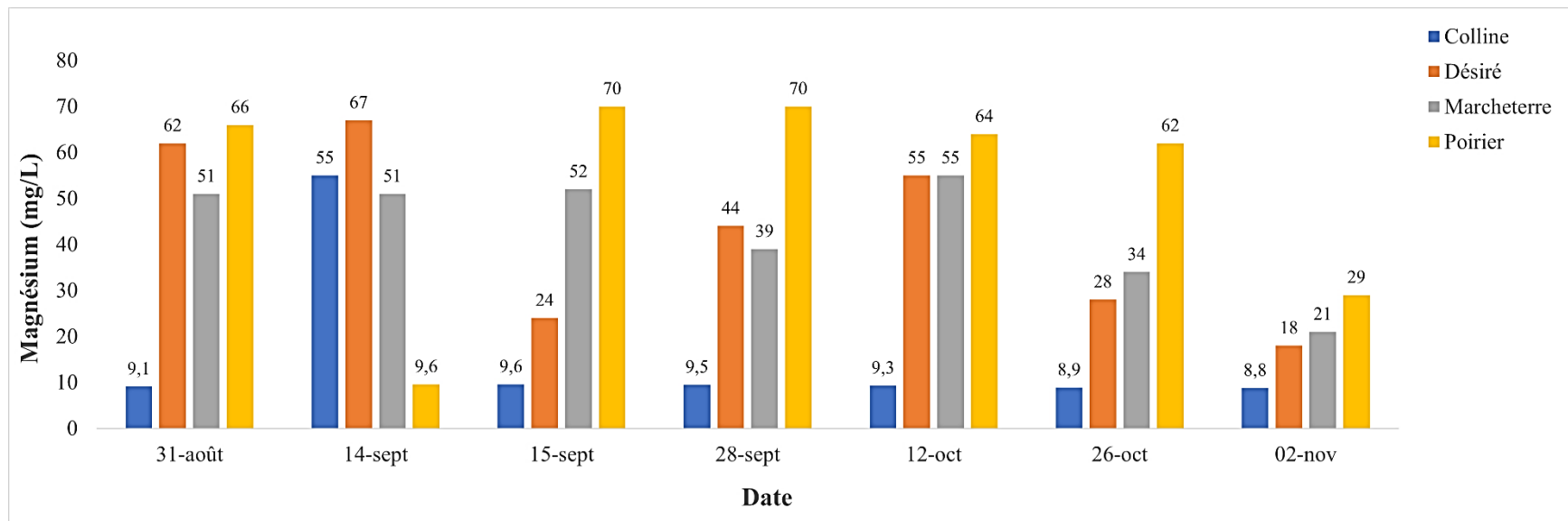
Plomb (µg/l) dissous (haut) et extractible (bas) mesuré dans l'eau de surface des quatre stations d'échantillonnage (Colline, Désiré, Marcheterre et Poirier) du secteur minier de la Haute Bécancour entre le 10 mai et le 2 novembre 2021.



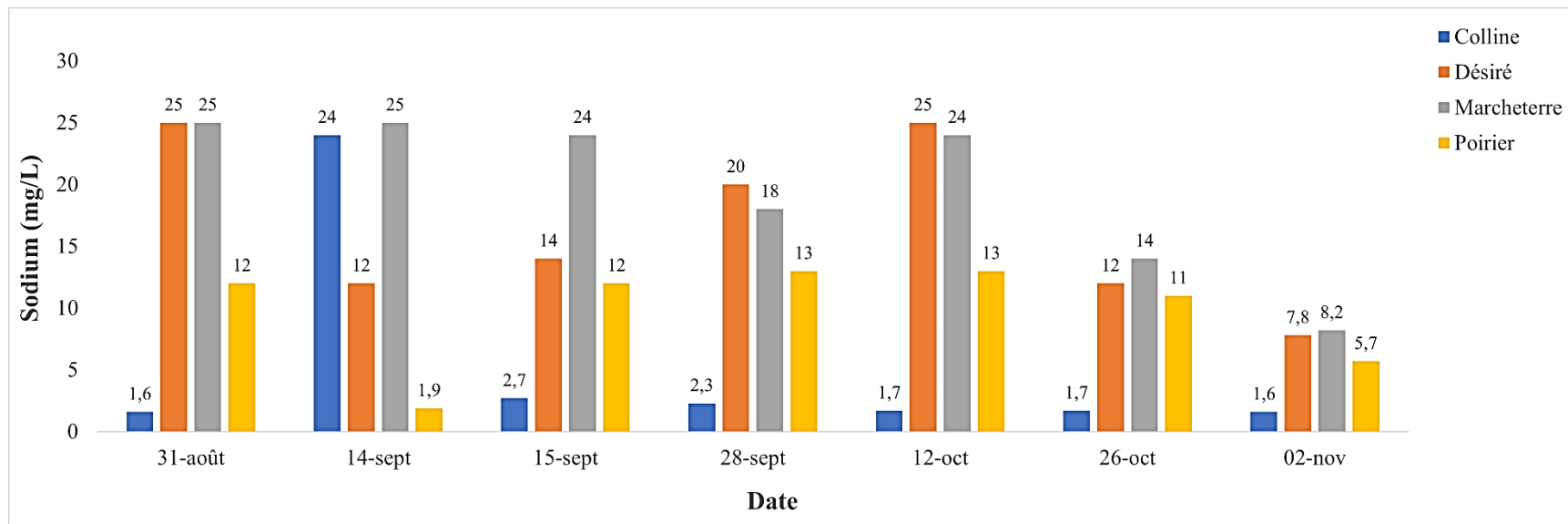
Zinc (µg/l) dissous (haut) et extractible (bas) mesuré dans l'eau de surface des quatre stations d'échantillonnage (Colline, Désiré, Marcheterre et Poirier) du secteur minier de la Haute Bécancour entre le 10 mai et le 2 novembre 2021.



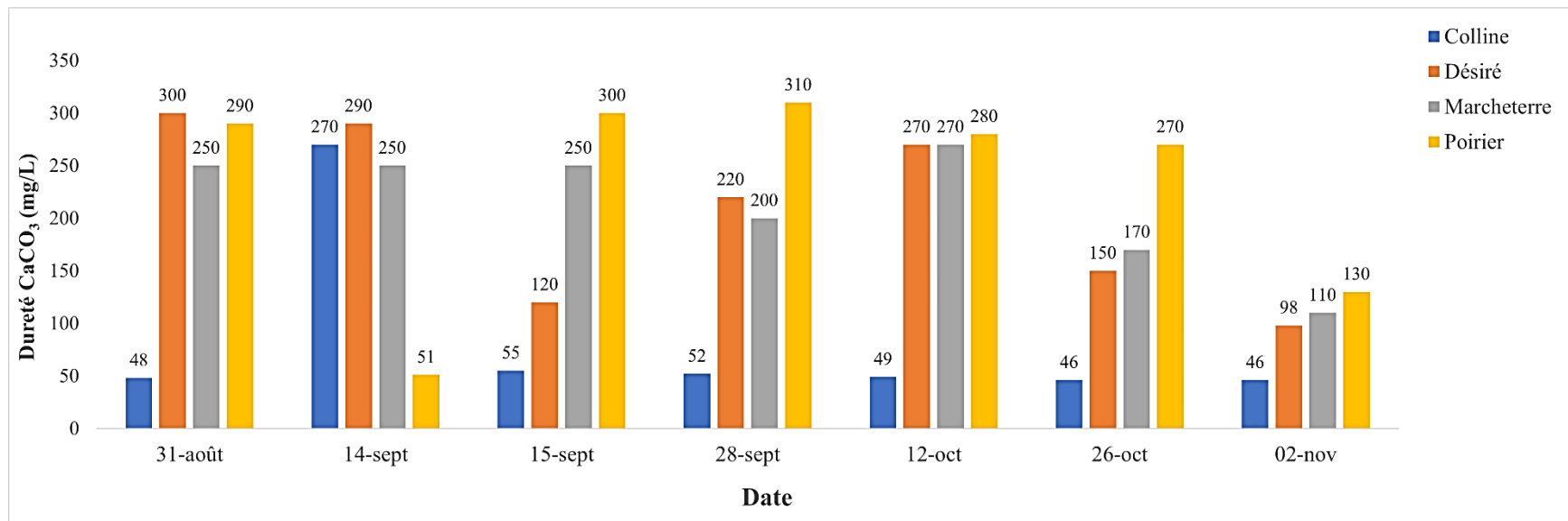
Calcium (mg/L) mesuré dans l'eau de surface des quatre stations d'échantillonnage (Colline, Désiré, Marcheterre et Poirier) du secteur minier de la Haute Bécancour entre le 31 octobre et le 2 novembre 2021.



Magnésium (mg/L) mesuré dans l'eau de surface des quatre stations d'échantillonnage (Colline, Désiré, Marcheterre et Poirier) du secteur minier de la Haute Bécancour entre le 31 octobre et le 2 novembre 2021.



Sodium (mg/L) mesuré dans l'eau de surface des quatre stations d'échantillonnage (Colline, Désiré, Marcheterre et Poirier) du secteur minier de la Haute Bécancour entre le 31 octobre et le 2 novembre 2021.



Dureté CaCO_3 (mg/L) mesuré dans l'eau de surface des quatre stations d'échantillonnage (Colline, Désiré, Marcheterre et Poirier) du secteur minier de la Haute Bécancour entre le 31 octobre et le 2 novembre 2021.