



Rapport sommaire 2022 sur l'eau souterraine

Mine de sables bitumineux de Kearl

Pétrolière Impériale Ressources Limitée

15 avril 2023

417085-47598-23010

CE RAPPORT CONTIENT DES DISPOSITIONS LIMITANT LA RESPONSABILITÉ, LA PORTÉE DU RAPPORT ET LA DÉPENDANCE DES TIERS

Ces documents et les informations qu'ils contiennent sont confidentiels, propriété de l'Impériale, et leur divulgation est régie par les dispositions de chacune des lois provinciales et territoriales applicables en matière d'accès à l'information, de la Loi sur la protection des renseignements personnels (Canada) 1980-81-82-83, ch. 111, annexe II « 1 », et de la Loi sur l'accès à l'information (Canada) 1980-81-82-83, ch. 111, annexe I « 1 », telles que ces lois peuvent être modifiées de temps à autre.

Coordonnées de l'entreprise

Société en commandite Desika
Unit 150, 205 Quarry Park Blvd SE
Calgary (Alberta) T2C 3E7
CANADA

Tél. : 403-258-6411

PROJET : 417085-47598-23010-WW-REP-0001 : Rapport sommaire 2022 sur les eaux souterraines – Mine de sables bitumineux de Kearl

Rév.	Description	Auteur	Révision	Approbation de Desika	Date de révision
0	Publié comme version définitive	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	15 avril 2023
		[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	
		[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	
		[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	

U:\CAL\GBS\417085-47598 - 2023KearlGW\23010 - GW\02_Rpts\11_TechRpts&Studies\02_Final\417085-47598-23010-WW-REP-0001-GW Annual-Rev0_jh.docx

Table des matières

Sommaire.....	9
1 Présentation	1
1.1 Description du site.....	1
1.2 Contexte.....	1
2 Activités industrielles en 2022	4
3 Activités liées aux eaux souterraines en 2022	5
3.1 Participation aux initiatives régionales de surveillance.....	5
3.2 Programmes du champ d'Athabasca et des puits de l'Ouest du Canada	6
4 Hydrogéologie physique	7
4.1 Dépôts du Quaternaire	7
4.1.1 Élévation et écoulement des eaux souterraines	7
4.1.2 Vitesse moyenne d'écoulement latéral des eaux souterraines	9
4.1.3 Gradients hydrauliques verticaux et potentiel d'écoulement	11
4.2 Aquifère de fond de la formation McMurray.....	12
5 Résumé du programme réglementaire de surveillance des eaux souterraines	13
5.1 Aperçu du Réseau réglementaire de puits de surveillance 2022	13
5.1.1 Réseau de surveillance	13
5.1.2 Réseau de conformité	14
5.1.3 Réseau régional	15
5.2 Changements du Programme réglementaire de surveillance des eaux souterraines en 2022	16
5.3 Critères d'évaluation	17
5.4 Résultats et discussion	19
5.4.1 Sommaire de la qualité des eaux souterraines du Réseau de surveillance	20
5.4.2 Sommaire de la qualité des eaux souterraines du Réseau de conformité.....	25

5.4.3	Sommaire de la qualité des eaux souterraines dans le cadre de la surveillance régionale.....	27
5.5	Conclusions sur le Réseau réglementaire de puits de surveillance.....	29
6	Sommaire du Programme de l'aire de résidus interne 1	31
7	Sommaire des eaux souterraines de l'aire de résidus externe	32
7.1	Aperçu du Réseau de surveillance du SIS de l'aire de résidus externe 2022	33
7.2	Changements apportés au Programme de surveillance du SIS de l'aire de résidus externe en 2022	33
7.3	Mise à jour du modèle numérique hydrogéologique de la zone de résidus externe	34
7.4	Critères d'évaluation	34
7.5	Résultats et discussion	36
7.5.1	Zone 1 du Réseau du SIS de l'aire de résidus externe	37
7.5.2	Zone 2 du Réseau du SIS de l'aire de résidus externe	41
7.5.3	Zone 3 du Réseau du SIS de l'aire de résidus externe	44
7.5.4	Zone 4 du Réseau du SIS de l'aire de résidus externe	46
7.5.5	Zone 5 du Réseau du SIS de l'aire de résidus externe	48
7.5.6	Zone 6 du Réseau du SIS de l'aire de résidus externe	54
7.5.7	Zone 7 du Réseau du SIS de l'aire de résidus externe	54
7.6	Puits de pompage du système d'interception des suintements de l'aire de résidus externe	56
7.7	Conclusions sur les eaux souterraines de l'aire de résidus externe	56
8	Échantillonnage de l'étude sur les précipités de fer 2022	58
8.1	Critères d'évaluation	59
8.2	Résultats.....	59
9	Résumé de la dépressurisation de l'aquifère de fond.....	62
9.1	Surveillance.....	62
9.2	Mise en valeur	62
9.3	Planification.....	63

9.3.1	Modélisation numérique de la dépressurisation de l'aquifère de fond	63
9.4	Résultats.....	63
9.4.1	Quantité d'eau souterraine	63
9.4.2	Qualité des eaux souterraines.....	63
10	Résumé de la dépressurisation de l'aquifère du Dévonien	65
10.1	Surveillance.....	65
10.2	Mise en valeur	65
10.3	Planification	65
10.3.1	Modélisation de l'aquifère du Dévonien	66
10.4	Résultats.....	66
10.4.1	Quantité d'eau souterraine	66
10.4.2	Qualité des eaux souterraines	66
11	Assurance de la qualité/contrôle de la qualité	67
12	Recommandations	68
13	Clôture	71
14	Références	72

Tableaux dans le texte

Tableau 4-1	Conductivités hydrauliques, gradient hydraulique et vitesse moyenne d'écoulement linéaire des eaux souterraines par zone.....	10
Tableau 5-1	Qualité des eaux souterraines potentiellement affectées par des réactions hydrogéochimiques (Réseau de surveillance)	23
Tableau 7-1	Emplacements de surveillance des eaux souterraines de la zone 1 du SIS de l'aire de résidus externe étudiés dans le cadre du Plan d'intervention sur les eaux souterraines en 2022.	39
Tableau 7-2	Emplacements de surveillance des eaux souterraines de la zone 2 du SIS de l'aire de résidus externe étudiés dans le cadre du Plan d'intervention sur les eaux souterraines en 2022.	42
Tableau 7-3	Emplacements de surveillance des eaux souterraines de la zone 3 du SIS de l'aire de résidus externe étudiés dans le cadre du Plan d'intervention sur les eaux souterraines en 2022.	45
Tableau 7-4	Emplacements de surveillance des eaux souterraines de la zone 4 du SIS de l'aire de résidus externe étudiés dans le cadre du Plan d'intervention sur les eaux souterraines en 2022.	47

Tableau 7-5	Emplacements de surveillance des eaux souterraines de la zone 5 du SIS de l'aire de résidus externe étudiés dans le cadre du Plan d'intervention sur les eaux souterraines en 2022.	50
Tableau 7-6	Emplacements de surveillance des eaux souterraines de la zone 7 du SIS de l'aire de résidus externe étudiés dans le cadre du Plan d'intervention sur les eaux souterraines en 2022.	55
Tableau 8-1	Étude sur le précipité de fer : Résumé de l'évaluation de la qualité des eaux souterraines ...	61

Tableaux

Tableau 1	Conformité avec les exigences de l'approbation n° 46586-01-00
Tableau 2	Calendrier de surveillance pour 2022
Tableau 3	Détails de l'installation du puits de surveillance : élévations de référence/de surface des eaux souterraines et conductivités hydrauliques
Tableau 4	Estimations du gradient hydraulique vertical aux emplacements des puits jumelés
Tableau 5	Résultats relatifs aux eaux souterraines : mesures sur le terrain
Tableau 6A/B/C/D	Résultats d'analyse des eaux souterraines : paramètres d'analyse des indicateurs
Tableau 7A/B/C/D	Résultats d'analyse des eaux souterraines : hydrocarbures pétroliers (HCP) et acides naphthéniques
Tableau 8A/B/C/D	Résultats d'analyse des eaux souterraines : métaux dissous et oligo-éléments
Tableau 9A/B/C	Résultats d'analyse des eaux souterraines : métaux totaux et oligo-éléments
Tableau 10A/B/C	Résultats d'analyse des eaux souterraines : hydrocarbure aromatique polycyclique (HAP)
Tableau 11A/B/C/D	Résultats d'analyse des eaux souterraines : nutriments et cyanure
Tableau 12	Calendrier d'échantillonnage proposé pour 2023

Figures

Figure 1	Description officielle et limites du projet
Figure 2	Caractéristiques de la mine et zones susceptibles d'affecter les eaux souterraines
Figure 3	Données topographiques
Figure 4	Régimes d'écoulement des eaux de surface
Figure 5	Épaisseur des dépôts du Quaternaire préalable à la mise en valeur
Figure 6	Emplacement des puits de surveillance des eaux souterraines

Figure 7	Emplacement des puits de surveillance et de pompage du système d'interception des suintements de l'aire de résidus externe
Figure 8	Élévations et courbes de niveau des eaux souterraines du Quaternaire – juillet-novembre 2022
Figure 9A	Dépassements des critères d'évaluation et tendances à la hausse dans les puits réglementaires
Figure 9B	Dépassements des objectifs de contrôle et tendances à la hausse dans les puits de surveillance du SIS de l'aire de résidus externe
Figure 10	Emplacement des puits de surveillance dans le cadre de l'étude sur les précipités de fer
Figure 11	Contours d'élévation des eaux souterraines de l'aquifère de fond – décembre 2022
Figure 12	Contours d'élévation des eaux souterraines du complexe aquifère évaporitique de Keg River-Prairie – décembre 2022
Figure 13	Emplacements proposés pour la surveillance des eaux souterraines en 2023

Annexes

Annexe 1	Limitation de la responsabilité, de la portée du rapport et de la dépendance des tiers
Annexe 2	Utilisateurs d'eau à moins de 5 km de la concession de Kearn
Annexe 3	Profil en travers hydrogéologiques du Quaternaire
Annexe 4	Coupes de sondage
Annexe 5	Hydrogrammes
Annexe 6	Résumés statistiques
Annexe 6A	Résumés statistiques réglementaires
Annexe 6B	Résumés statistiques des suintements de l'aire de résidus externe
Annexe 6C	Résumés statistiques sur la dépressurisation de fond et du Dévonien
Annexe 7	Cartes de contrôle de Shewhart
Annexe 7A	Cartes de contrôle de Shewhart réglementaires
Annexe 7B	Cartes de contrôle de Shewhart des suintements de l'aire de résidus externe
Annexe 7C	Cartes de contrôle de Shewhart de fond et du Dévonien
Annexe 7D	Cartes de contrôle et de surveillance des bassins revêtus
Annexe 8	Statistiques sur les suintements de l'aire de résidus externe dans le puits

Annexe 9A	Assurance et contrôle de la qualité
Annexe 9B	Sommaire statistique de l'assurance et du contrôle de la qualité
Annexe 9C	Cartes d'assurance et de contrôle de la qualité du Réseau réglementaire
Annexe 9D	Tableaux des différences en pourcentage relatif du Réseau de surveillance du SIS de l'aire de résidus externe

Sommaire

La mine de sables bitumineux Kearl (le site) de la Pétrolière Impériale Ressources Limitée (l'Impériale) est une mine de sables bitumineux à ciel ouvert et une installation de traitement du bitume située dans la municipalité régionale de Wood Buffalo, en Alberta, à environ 70 kilomètres (km) au nord de Fort McMurray. Le site couvre une superficie d'environ 197 km² entre les cantons 95 à 97 et les rangs 7 à 8, à l'ouest du 4^e méridien (figure 1).

La mine Kearl est devenue opérationnelle avec le début de la production de pétrole et le premier puits en avril 2013. En 2022, la mine Kearl se trouvait à différents stades de conception, de construction et d'exploitation, et elle continuera à franchir ces étapes tout au long de sa durée de vie.

Les activités liées aux eaux souterraines à Kearl en 2022 étaient les suivantes :

- le Programme du champ d'Athabasca et programme des puits de l'Ouest du Canada (section 3.2);
- le Programme réglementaire de surveillance des eaux souterraines (section 5);
- le Programme de surveillance de l'aire de résidus interne 1 (section 6);
- le Programme de surveillance du système d'interception des suintements (SIS) de l'aire de résidus externe (section 7);
- étude sur les précipités de fer (section 8);
- le programme de dépressurisation de fond (section 9);
- programme de dépressurisation du Dévonien (section 10);
- l'exploitation du système de pompage du SIS de l'aire de résidus externe, y compris l'activation de huit puits de pompage du SIS pour capter les suintements de l'eau utilisée pour l'extraction et les retourner dans l'aire de résidus externe (section 7.6);
- l'activation des puits d'assèchement du Quaternaire dans les zones minières de l'avancement Sud de la fosse Nord et de la fosse Est;
- d'autres activités liées aux eaux souterraines ont été menées par des hydrogéologues sur place en fonction des besoins, notamment l'inspection, l'abandon et l'entretien des puits de surveillance des eaux souterraines de la mine de Kearl.

Préalablement à la mise en valeur, la direction d'écoulement des eaux souterraines dans les sédiments du Quaternaire était généralement interprétée comme suivant la topographie de surface, principalement vers l'ouest et le nord-ouest, en direction des rivières Muskeg et Firebag (Impériale 2005). Après la mise en valeur de la fosse Nord et de l'aire de résidus externe, les régimes d'écoulement ont été modifiés dans les parties septentrionales du bail d'exploitation des minéraux de surface. Les interprétations des écoulements pour 2022 sont décrites ci-dessous :

- un écoulement radial s'éloignant de l'aire de résidus externe, en particulier de l'aire de résidus externe Ouest, a été interprété sur la base de preuves soutenant une connexion hydraulique entre l'aire de résidus externe et les sédiments du Quaternaire, y compris les coupes de sondage, les changements de la chimie des eaux souterraines et l'augmentation des élévations des eaux souterraines dans la

région. L'écoulement des eaux souterraines au nord de l'aire de résidus externe se fait généralement vers le nord et le nord-ouest, en direction de la rivière Firebag et d'un grand complexe de zones humides au nord-ouest du site;

- à l'ouest et au sud de l'aire de résidus externe, les eaux souterraines du Quaternaire s'écoulent généralement vers la fosse Nord, où les rejets dans la fosse pénètrent dans le système d'eaux usées industrielles. Cependant, dans la partie nord-ouest de l'aire de résidus externe Ouest, les eaux souterraines s'écoulent vers l'ouest, sous l'aire de dépôt des morts-terrains Nord, puis vers le complexe de zones humides situé au nord-ouest du site;
- à l'ouest de la fosse Nord et dans la partie sud de l'aire de dépôt des morts-terrains Ouest, la direction d'écoulement des eaux souterraines du Quaternaire était généralement orientée vers le nord-ouest;
- au sud-est de l'usine et au nord-est de l'aire de dépôt des morts-terrains centrale, l'écoulement des eaux souterraines à travers l'empreinte de la fosse Est et de l'aire de dépôt des morts-terrains centrale se faisait généralement vers la rivière Muskeg au sud-est et vers l'aire d'assèchement de l'avancement Sud au sud-ouest;
- dans la partie sud du site, l'écoulement des eaux souterraines se fait généralement à partir de la topographie plus élevée du mont Muskeg au sud-est vers la plaine inférieure de la rivière Muskeg au nord-ouest.

La vitesse moyenne d'écoulement linéaire dans les dépôts du Quaternaire sur le site varie entre 5 et 62 m/an. Deux zones de vitesse plus élevée ont été relevées près de l'aire de résidus externe en raison du gradient hydraulique créé par cette dernière et des zones locales dans les dépôts du Quaternaire présentant une conductivité hydraulique plus élevée. Une vitesse moyenne d'écoulement linéaire d'environ 270 m/an a été estimée dans les sédiments du Quaternaire sous la digue du côté nord de l'aire de résidus externe Ouest et en amont du système d'interception des suintements, et une vitesse d'écoulement linéaire moyenne d'environ 300 m/an a été estimée le long d'une voie d'écoulement à la digue centrale près du puits KH11-179.

En 2022, le Réseau réglementaire de surveillance des eaux souterraines a été enrichi de 14 puits de surveillance et le Réseau de surveillance du SIS de l'aire de résidus externe de 30 puits de surveillance afin d'accroître la couverture des Réseaux de surveillance, de répondre aux éléments déclencheurs du Plan d'intervention sur les eaux souterraines et d'étudier les suintements des nappes phréatiques peu profondes vers la surface où des précipités de fer étaient présents en aval de l'aire de résidus.

Les concentrations des paramètres indicateurs clés des eaux souterraines présentant des tendances à la hausse statistiquement significatives ou des dépassements des critères d'évaluation ont généralement été interprétées comme étant causées par un ou plusieurs des facteurs suivants :

- variation naturelle;
- réactions hydrogéochimiques, principalement l'oxydation de minéraux sulfurés;
- suintements de l'eau utilisée pour l'extraction à partir de l'aire de résidus externe;
- connexions avec les aquifères de fond et du Dévonien plus profonds dans le canal de Kearl.

Dans le Réseau réglementaire de surveillance des eaux souterraines, plusieurs puits de surveillance ont montré une augmentation des concentrations des paramètres indicateurs clés ou des dépassements des critères d'évaluation propres à un emplacement, qui ont été interprétés comme étant le résultat de réactions hydrogéochimiques liées à l'oxydation de minéraux sulfurés. Des impacts attribués ou potentiellement attribués à l'oxydation de minéraux sulfurés sont survenus dans plusieurs zones du site, principalement près des zones de dépôt des morts-terrains et de l'aire de résidus externe, mais aussi au lac Muskeg et potentiellement à la pile de stockage de matériaux de récupération 8. Les dépassements des critères d'évaluation étaient dus à une source inconnue à un emplacement du Réseau réglementaire de surveillance des eaux souterraines.

Dans le Réseau de surveillance du SIS de l'aire de résidus externe, des suintements de l'eau utilisée pour l'extraction et des impacts de l'oxydation de minéraux sulfurés ont été détectés sur les côtés nord et est de l'aire de résidus externe, la plupart des dépassements de l'objectif de contrôle (OC) étant signalés au nord de l'aire de résidus miniers externe Ouest dans les zones 1 et 2 du SIS de l'aire de résidus miniers externe et à l'est de l'aire de résidus miniers externe Est près du Plan d'eau 3 dans la zone 5 du SIS de l'aire de résidus miniers externe. La détection de suintements de l'eau utilisée pour l'extraction a déclenché l'activation de huit nouveaux puits de pompage du SIS au nord de l'aire de résidus externe Ouest en 2022, avec un total de 12 puits de pompage actifs à la fin de 2022. En aval du SIS de l'aire de résidus externe, des dépassements des critères d'évaluation attribués à des suintements d'oxydation de minéraux sulfurés ou d'eau utilisée pour l'extraction ont été signalés dans les puits de surveillance de conformité de l'aire de résidus externe à la limite nord du site et, à environ 540 m au nord du site, dans deux puits de surveillance régionaux. Les dépassements des critères d'évaluation ont également été attribués à une source d'hydrocarbures inconnue dans deux zones de l'aire de résidus externe.

Dans le cadre des investigations sur les infiltrations d'eaux souterraines peu profondes vers la surface où des précipités de fer étaient présents en aval de l'aire de résidus externe, un programme d'échantillonnage et de surveillance des eaux souterraines a été achevé en 2022. Au total, 46 puits de surveillance existants qui n'ont pas été échantillonnés régulièrement dans le cadre des programmes de surveillance de l'eau existants ont été utilisés pour mesurer les niveaux d'eau et prélever des échantillons à certains emplacements. La plupart des emplacements échantillonnés ont rapporté des concentrations de paramètres indicateurs clés conformes aux Groundwater Remediation Guidelines [Lignes directrices relatives à l'assainissement des eaux souterraines] de l'Alberta Tier 1 (ABT1) en ce qui concerne l'utilisation naturelle des terres et des sédiments à grains fins et grossiers, à l'exception de l'ammoniac total (sous forme de N) qui a naturellement dépassé la ligne directrice ABT1 dans plusieurs puits par le passé. Quatre emplacements, au nord de l'aire de résidus externe Ouest ou de l'aire de dépôt des morts-terrains Nord, ont fait état de concentrations potentiellement élevées par rapport aux données historiques pour au moins un paramètre indicateur clé, notamment pour les paramètres inorganiques sulfate ou matières dissoutes totales (MDT), ce qui peut laisser supposer l'apparition de nouveaux impacts.

Au total, six nouveaux puits de source de l'aire de résidus interne 1 ont été installés et des données de référence ont été recueillies en 2022, avant le dépôt des résidus dans l'aire de résidus interne 1 prévue. Les six puits de surveillance des sources de l'aire de résidus interne 1 sont encore dans la phase de collecte des données de base et un ensemble complet de données de base sera recueilli avant d'analyser les données sur la qualité des eaux souterraines. La période de collecte des données de référence devrait s'achever au quatrième trimestre 2024.

L'exploitation du système de puits de dépressurisation de l'aquifère de fond s'est poursuivie en 2022. Les données sur les niveaux d'eau ont été analysées en continu par l'Impériale pour déterminer les tendances du rabattement de l'aquifère et les comparer à l'élévation de l'alimentation. La chimie de l'eau de l'aquifère de fond a été surveillée tout au long de l'année 2022. Au total, six piézomètres à fil vibrant (PFV) ont été installés dans l'aquifère de fond dans le cadre des réseaux de surveillance et de pompage de dépressurisation de l'aquifère de fond. Un puits de pompage a été mis en service en octobre 2022.

En 2022, l'Impériale a exploité un puits de dépressurisation de l'aquifère du Dévonien. L'objectif du programme de dépressurisation du complexe aquifère évaporitique du Dévonien de Keg River-Prairie (également appelé aquifère du Dévonien) est de gérer le risque d'afflux d'eau dans le puits de mine, ce qui pourrait avoir une incidence sur la sécurité et la productivité. Dans le cadre du programme de surveillance, l'Impériale a prélevé des échantillons de qualité de l'eau souterraine dans le puits de dépressurisation du Dévonien en exploitation. Les résultats ont été examinés régulièrement afin de comprendre les changements potentiels de la qualité de l'eau qui pourraient affecter l'installation et le fonctionnement du système de dépressurisation de l'aquifère du Dévonien.

Les changements de la qualité des eaux souterraines notés à Kearl et les mesures d'atténuation mises en œuvre ont continué à être gérés par le biais du Plan d'intervention sur les eaux souterraines (GRP; Advisian 2018a), du Plan de surveillance et d'intervention du SIS de l'aire de résidus externe (Impériale 2015) et du Plan de surveillance et d'intervention des bassins revêtus (Impériale 2020) en 2022.

1 Présentation

La société en commandite Desika (Desika) a été retenue par Pétrolière Impériale Ressources Limitée (Impériale) pour préparer le rapport sommaire sur les eaux souterraines de 2022 pour la mine de sables bitumineux de Kearl (la mine de Kearl; le « site »). Les travaux ont été réalisés dans le cadre du contrat A4003976 de l'Impériale. Le rapport a été préparé conformément aux modalités des sections 2.1.9 et 4.5.8 de l'approbation n° 46586-01-00 (l'« approbation ») en vertu de l'*Environmental Protection and Enhancement Act* de l'Alberta, EPEA. Les sections du présent rapport qui traitent des conditions énoncées dans l'approbation sont indiquées dans le tableau 1. La limitation de la responsabilité, la portée du rapport et la dépendance des tiers figurent à l'annexe 1.

Le présent rapport (sections 3 à 10) fournit un résumé des activités liées aux eaux souterraines achevées sur le site en 2022. Les activités liées aux eaux souterraines sur le site en 2022 ont généralement été guidées par le Plan de surveillance des eaux souterraines (GMP; Advisian 2018a).

1.1 Description du site

La mine Kearl comprend la mise en valeur d'une mine de sables bitumineux à ciel ouvert ainsi que la construction et l'exploitation d'une usine d'extraction de bitume à partir des sables bitumineux. Le site est situé dans la région de Wood Buffalo en Alberta, à environ 70 km au nord de Fort McMurray. Le site couvre la zone de concession minière d'environ 197 km², au sein de laquelle le bail d'exploitation minière de Kearl couvre environ 132 km². La mine Kearl est située entre les cantons 95 à 97 et les rangs 7 à 8, à l'ouest du 4^e méridien (figure 1). Le gisement de bitume en subsurface chevauche plusieurs concessions appartenant à l'Impériale (figure 1).

La mine Kearl est devenue opérationnelle avec le début de la production de pétrole en avril 2013. En 2022, la mine Kearl se trouvait à différents stades de conception, de construction et d'exploitation, et elle continuera d'évoluer à travers ces étapes pendant toute sa durée de vie. Les principales activités industrielles qui ont eu lieu en 2022 sont énumérées dans la section 2 du présent rapport. La figure 2 présente une carte des installations ou zones du site susceptibles d'affecter la qualité, le niveau ou l'écoulement des eaux souterraines.

Un rapport détaillé sur le cadre du site préalablement à la mise en valeur, comprenant des cartes, des figures, des profils en travers, des régimes d'écoulement des eaux de surface, la topographie, la géologie et l'hydrogéologie, a été fourni en annexe du Plan de surveillance des eaux souterraines (Advisian 2018a). Les mises à jour des profils en travers, de la topographie, des régimes d'écoulement des eaux de surface et de l'épaisseur des dépôts du Quaternaire figurent à l'annexe 3 et aux figures 3, 4 et 5, respectivement. Les utilisateurs d'eau de surface et d'eau souterraine dans un rayon de 5 km autour du site sont indiqués dans les figures A2-1 et A2-2 et sont résumés dans les tableaux A2-1 et A2-2 (annexe 2).

1.2 Contexte

Des investigations géologiques et hydrogéologiques de terrain ont été menées sur le site depuis 1996, notamment la caractérisation et la surveillance des eaux souterraines (y compris la surveillance du niveau

et de la qualité des eaux souterraines), des essais sur les aquifères et des investigations géophysiques (Worley-Parsons 2013).

Les données de surveillance des eaux souterraines jusqu'en 2006 ont été présentées dans Kearn Oil Sands Project (KOSP) – Mine Development Regulatory Application (Vol. 3, Section 3; Impériale 2005). La surveillance des eaux souterraines a été réalisée par AMEC de 2007 à 2011 (AMEC 2008, 2009, 2010, 2011 et 2012).

WorleyParsons/Advisian/Mikisew Advisian Environmental (MAE) a mené des programmes de surveillance des eaux souterraines sur le site depuis 2012 (WorleyParsons 2013, 2014, 2015, 2016; Advisian 2017, 2018b; MAE 2019, 2020, 2021, 2022a).

Des preuves d'oxydation de minéraux sulfurés ou de la dissolution de gypse dans les eaux souterraines ont été signalées pour la première fois à certains emplacements de surveillance dans le rapport sommaire sur les eaux souterraines de 2018 (MAE 2019). Des preuves de la présence d'oxydation de minéraux sulfurés ou de la dissolution de gypse dans les eaux souterraines ont continué à être signalées sur le site de 2019 à 2021 (MAE 2020, 2021, 2022a). L'oxydation de minéraux sulfurés est une réaction chimique qui se produit lorsque des minéraux contenant des sulfures sont exposés à l'oxygène, par exemple lorsque des matériaux extraits sont exposés à l'atmosphère, ce qui entraîne la production d'ions hydrogène et de sulfate. Le fer et d'autres métaux peuvent être mobilisés, en fonction de la minéralogie et de la chimie de l'eau (Price 1998). Bien que l'oxydation de minéraux sulfurés soit un processus de météorisation naturel, elle peut être accélérée par les perturbations causées par la construction et l'exploitation minière. Au cours de ces activités, les minéraux contenant des sulfures précédemment enfouis sont exposés à certains facteurs, notamment l'oxygène et les précipitations, qui favorisent la météorisation. En l'absence d'un pouvoir tampon naturel suffisant, ces réactions peuvent conduire à une acidification qui favorise souvent la mobilisation des métaux (Price 1998). L'oxydation de minéraux sulfurés (en particulier la pyrite) a été documentée dans les digues à résidus miniers grossiers de l'aire de résidus externe (MAE 2022b). Les produits de l'oxydation de minéraux sulfurés présents dans la partie non saturée des digues à résidus miniers grossiers sont transportés par l'infiltration, le suintement de l'eau utilisée pour l'extraction provenant des bassins de décantation des résidus et une élévation de la nappe phréatique, ce qui entraîne un mélange d'eau utilisée pour l'extraction, de produits d'oxydation de minéraux sulfurés et d'eaux souterraines naturelles (Okane 2022).

Des preuves de suintements de l'eau utilisée pour l'extraction, ou de venue d'eau de résidus, provenant de l'aire de résidus externe ont été détectées pour la première fois en 2020 au puits de surveillance de conformité du puits KH11-179, situé au nord de la digue centrale de l'aire de résidus externe, à quelques mètres (m) au nord de la limite de la concession (MAE 2021). Depuis lors, l'arrivée d'eau utilisée pour l'extraction a été détectée dans de nombreux puits de surveillance du système d'interception des suintements (SIS) de l'aire de résidus externe et des puits de surveillance de conformité (MAE 2022a). L'Impériale a activé quatre puits de pompage du SIS de l'aire de résidus externe en juin et juillet 2021 pour capter et renvoyer l'eau utilisée pour l'extraction dans l'aire de résidus externe (MAE 2022a).

En mai 2022, plusieurs zones où les eaux souterraines se déversaient en surface (suintements) ont été observées le long de la limite nord de la concession et près du Plan d'eau 3. Les suintements ont d'abord été relevés par des arbres décolorés visibles sur les images aériennes ou par une décoloration orange à la surface du sol, présumée être causée par un précipité de fer associé à l'écoulement de surface. La zone

hors concession au nord du site et la zone entourant le Plan d'eau 3 ont été étudiées, ce qui a permis de vérifier sur place la présence de quatre zones de suintements de l'eau souterraine en 2022. Les suintements ont généralement été relevés sur le site et à l'extérieur, dans la zone entourant le Plan d'eau 3, au nord de l'aire de résidus externe Ouest, au nord du Bassin de drainage 4 et au nord de l'aire de dépôt des morts-terrains Nord. D'autres investigations et délimitations ont été achevées en 2022, y compris la surveillance et l'échantillonnage des eaux de surface, des eaux souterraines et des sols (Paragon 2023), l'évaluation préliminaire des risques et l'évaluation géochimique (Okane 2022).

2 Activités industrielles en 2022

Voici les principales activités minières et industrielles de la mine Kearl en 2022 (Impériale 2023b) :

- évacuation des morts-terrains et des couches intermédiaires vers les aires suivantes :
 - les aires de dépôt hors fosse, y compris l'aire de dépôt des morts-terrains Nord, l'aire de dépôt des morts-terrains centrale et l'aire de dépôt des morts-terrains Ouest;
 - les aires de dépôt en fosses, y compris l'aire de dépôt en fosses 1, l'aire de dépôt en fosses 2 et l'aire de dépôt en fosses 3;
 - l'aire de résidus en fosse 1, la digue 1, la digue de départ;
- extraction et la mise en stock du bitume dans la pile de stockage de minerai;
- traitement du bitume par le biais de deux usines de préparation mécanique et d'usines d'extraction;
- dépôt des résidus dans l'aire de résidus externe;
- construction d'une cellule de la digue de l'aire de résidus externe;
- recyclage de l'eau vers les usines de préparation mécanique 1 et 2 en provenance de l'aire de résidus externe pour utilisation dans le traitement du bitume;
- gestion et l'évacuation de l'eau des morts-terrains et des couches intermédiaires dans l'aire de la fosse Nord;
- assèchement des morts-terrains dans les aires d'avancement de la mine du puits Nord et du puits Est;
- dépressurisation de l'aquifère de fond dans la fosse Nord;
- dépressurisation du complexe aquifère évaporitique du Dévonien de Keg-Prairie dans la fosse Nord;
- exploitation du système d'évacuation des eaux en circuit fermé et du système d'évacuation des eaux de rejet;
- activités de déboisement pour soutenir l'avancement de la mine dans le puits Nord et le puits Est;
- travaux préliminaires associés à la construction en fosse de l'aire de résidus interne 1;
- récupération et mise en stock de ressources pédologiques (matériaux de remise en état) provenant des zones déboisées des puits Nord et Est dans des piles de stockage de matériaux de récupération;
- construction de travaux d'infrastructure (routes, lignes électriques, pipelines);
- exploitation de concasseurs supplémentaires;
- exploitation en production de camions de roulage autonomes.

3 Activités liées aux eaux souterraines en 2022

La surveillance des eaux souterraines du site s'est poursuivie en 2022, comme indiqué dans le Plan de surveillance des eaux souterraines de Kearl (Advisian 2018a), afin de se conformer aux exigences de l'autorisation. Diverses activités liées aux eaux souterraines ont eu lieu sur le site en 2022, dans le cadre de la conception, de la construction et de l'exploitation de la mine. Ces activités comprenaient l'installation de nouveaux puits, l'échantillonnage des eaux souterraines, la mesure du niveau des eaux souterraines, l'abandon de puits, et l'assèchement et la dépressurisation. Plus précisément, les activités et les programmes de surveillance des eaux souterraines à Kearl en 2022 comprenaient les éléments suivants :

- le Programme du champ d'Athabasca et programme des puits de l'ouest du Canada (section 3.2);
- le Programme réglementaire de surveillance des eaux souterraines (section 5);
- le Programme de surveillance de l'aire de résidus interne 1 (section 6);
- le Programme de surveillance du système d'interception des suintements (SIS) de l'aire de résidus externe (section 7);
- étude sur les précipités de fer (section 8);
- le Programme de dépressurisation de fond (section 9);
- le Programme de dépressurisation du Dévonien (section 10);
- l'exploitation du système de pompage du SIS de l'aire de résidus externe, y compris l'activation de huit puits de pompage du SIS pour capter les suintements de l'eau utilisée pour l'extraction et les retourner dans l'aire de résidus externe (section 7.6);
- l'activation des puits d'assèchement du Quaternaire dans les zones minières de l'avancement Sud de la fosse Nord et de la fosse Est;
- d'autres activités liées aux eaux souterraines ont été menées par des hydrogéologues sur place en fonction des besoins, notamment l'inspection, l'abandon et l'entretien des puits de surveillance des eaux souterraines de la mine de Kearl.

En 2022, aucune nouvelle recherche par intrusion n'a été menée en rapport avec l'entité géologique du canal de Kearl. Desika a continué à télécharger et à analyser les données des transducteurs des puits de surveillance existants dans cette entité. Ces données ont été conservées dans les dossiers de l'Impériale.

Le volume total d'eau détournée des sources souterraines en 2022 était de 3 468 343 m³, ce qui répond aux critères de détournement des eaux souterraines énoncés dans le permis de détournement des eaux de Kearl 00222199-01-00.

3.1 Participation aux initiatives régionales de surveillance

L'Impériale participe à la gestion régionale des eaux souterraines par le biais des initiatives suivantes, selon un échéancier établi. L'Impériale représente le secteur au sein du Comité consultatif technique sur les eaux souterraines du programme de surveillance des sables bitumineux (SSB) et de l'Alliance pour l'innovation dans les sables bitumineux (COSIA). Le programme SSB est géré par Alberta Environment and Protected

Areas (AEPA) au nom du gouvernement de l'Alberta et par Environnement et Changement climatique Canada (ECCC) au nom du gouvernement du Canada.

Les puits régionaux de surveillance des eaux souterraines situés à l'intérieur et à l'extérieur du périmètre du bail d'exploitation des minéraux de surface de Kearl sont contrôlés et échantillonnés dans le cadre de ce programme, les résultats étant présentés dans la section 5.1.3.

3.2 Programmes du champ d'Athabasca et des puits de l'Ouest du Canada

L'installation et l'abandon de puits ainsi que l'analyse et l'échantillonnage des eaux souterraines ont eu lieu dans le cadre Programme du champ d'Athabasca 2021/2022 et du programme des puits de l'ouest du Canada. Ces programmes (Impériale 2022) comprenaient les éléments suivants.

Dépôts du Quaternaire

- Forage et installation de 10 piézomètres à fil vibrant (PFV) dans les morts-terrains de l'avancement de la mine.
- Forage et installation de 31 puits de surveillance dans les morts-terrains de l'avancement de la mine, de 10 puits de surveillance dans le canal de Kearl et de huit puits de surveillance dans la zone d'interception des eaux de suintement de l'aire de résidus externe.
- Forage et installation de 14 puits de pompage dans les morts-terrains de l'avancement de la mine et de deux puits de pompage dans la zone d'interception des eaux de suintement de l'aire de résidus externe.

Aquifère de fond

- Forage et installation de sept PFV dans le dépôt de sable de fond.

Aquifère du Dévonien

- Abandon de deux puits de pompage dans la fosse Nord (KGD17_001 et KGD17_003).

4 Hydrogéologie physique

Les élévations des eaux souterraines, les détails de l'installation des puits et les conductivités hydrauliques sont présentés dans le tableau 3, et les hydrogrammes des élévations des eaux souterraines sont fournis à l'annexe 5. Des écarts entre les hauteurs de talus de puits de surveillance relevés et les hauteurs de talus mesurées lors des échantillonnages ont été constatés dans de nombreux puits hors site au nord du bail d'exploitation des minéraux de surface. Par conséquent, les gradients hydrauliques verticaux n'ont pas pu être calculés en de nombreux emplacements. La plupart des données d'élévation des eaux souterraines ont été jugées acceptables pour les besoins de la cartographie des débits et sont commentées dans le présent document.

En 2022, des transducteurs de pression ont recueilli des données sur la pression de l'eau dans certains puits de surveillance du site (tableau 2).

En outre, la conductivité électrique (CE) a été surveillée en continu à un sous-ensemble de ces emplacements (tableau 2). L'objectif des transducteurs est de surveiller les variations saisonnières ou les tendances à long terme des indicateurs physiques et chimiques le long des voies d'écoulement des eaux souterraines prévues entre les zones de sources potentielles et les limites du site. Les enregistreurs de données sont téléchargés lors de chaque événement de surveillance et les résultats sont stockés et référencés en fonction des besoins.

4.1 Dépôts du Quaternaire

4.1.1 Élévation et écoulement des eaux souterraines

Conformément aux rapports historiques, les sédiments du Quaternaire ont généralement été cartographiés comme une seule unité, tout en excluant les puits installés à la base des dépôts du Quaternaire et, dans certains cas, au niveau de la nappe phréatique lorsque les élévations des eaux souterraines n'étaient pas cohérentes avec la courbe de débit globale. Préalablement à la mise en valeur, la direction d'écoulement des eaux souterraines dans les sédiments du Quaternaire était généralement interprétée comme suivant la topographie de surface, et se dirigeait principalement vers l'ouest et le nord-ouest, en direction des rivières Muskeg et Firebag (Impériale 2005). Après la mise en valeur de la fosse Nord et de l'aire de résidus externe, les régimes d'écoulement ont été modifiés dans les parties septentrionales du bail d'exploitation des minéraux de surface.

Un écoulement radial s'éloignant de l'aire de résidus externe, et en particulier de l'aire de résidus externe Ouest, a été interprété en 2022 sur la base de preuves soutenant une connexion hydraulique entre l'aire de résidus externe et les sédiments du Quaternaire, y compris les coupes de sondage, les changements de la chimie des eaux souterraines et l'augmentation de l'élévation des eaux souterraines dans la région. En 2022, les élévations des eaux de surface des résidus des aires de résidus externe Ouest et Est étaient respectivement d'environ 400 et 387 mètres au-dessus du niveau de la mer (Impériale 2022a). En 2022, les élévations des eaux de surface de l'aire de résidus externe étaient supérieures d'environ 50 à 60 m à celles des eaux souterraines des dépôts du Quaternaire dans la zone préalablement à la mise en valeur (Impériale 2005). Ce changement a induit des gradients d'élévation des eaux souterraines plus élevés au niveau de l'aire de résidus externe et a probablement inversé le

gradient local préalable à la mise en valeur et la direction d'écoulement des eaux souterraines au sud-est de l'aire de résidus externe.

Le niveau des eaux souterraines dans la plupart des puits de surveillance situés au nord de l'aire de résidus externe a augmenté pendant plusieurs années après sa construction, tout comme les dépôts de résidus à l'intérieur de l'aire de résidus externe. Cependant, après l'activation de plusieurs puits de pompage du SIS de l'aire de résidus externe en 2021 et 2022, les élévations des eaux souterraines dans bon nombre de ces puits de surveillance ont commencé à diminuer. À l'extérieur du site, au nord de l'aire de résidus externe et en dehors de la zone de captage du SIS de l'aire de résidus externe, l'élévation de la surface potentiométrique a augmenté dans de nombreuses zones, avec des élévations des eaux souterraines augmentant dans de nombreux puits de surveillance et des conditions artésiennes émergeant à de nouveaux emplacements. Dans les puits de surveillance situés au nord du site, où l'élévation des eaux souterraines a augmenté par rapport aux niveaux historiques mesurés avant 2015, l'augmentation moyenne de l'élévation était d'au moins 2 m à des emplacements où les augmentations n'ont pas été attribuées à des variations naturelles.

L'écoulement des eaux souterraines au nord de l'aire de résidus externe se fait généralement vers le nord et le nord-ouest en direction de la rivière Firebag, et vers un grand complexe de zones humides au nord-ouest du site. À l'est de l'aire de résidus externe, les eaux souterraines s'écoulent d'abord vers le Plan d'eau 3, puis vers le nord, au-delà du Plan d'eau 3. Au sud-est de l'aire de résidus externe se trouve un sommet topographique, qui est probablement une ligne de partage des eaux nord-sud et qui représente une zone potentielle d'alimentation d'une nappe souterraine.

À l'ouest et au sud de l'aire de résidus externe, les eaux souterraines des dépôts du Quaternaire s'écoulent généralement vers la fosse Nord, où les rejets dans la fosse pénètrent dans le système d'eaux usées industrielles. Dans la partie nord-ouest de l'aire de résidus externe Ouest, les eaux souterraines s'écoulent vers l'ouest, sous l'aire de dépôt des morts-terrains Nord, puis vers le complexe de zones humides situé au nord-ouest du site. Les élévations des eaux souterraines au sud de l'aire de résidus externe étaient également en augmentation, comme cela a été observé au puits KH12-126 et KH12-160 dans la zone de l'usine depuis 2014 et 2015, respectivement. L'augmentation de l'élévation des eaux souterraines au puits KH12-126 semble s'être stabilisée juste en dessous de l'élévation de la surface du sol (figure A5-2, annexe 5). L'élévation des eaux souterraines au niveau du puits KH12-160 a continué à augmenter, avec une hausse d'environ 4 m entre l'installation du puits en 2012 et 2022; cependant, les niveaux se sont peut-être stabilisés depuis 2020 (figure A5-3, annexe 5).

Au sud de la fosse Nord, les élévations des eaux souterraines des dépôts du Quaternaire ont diminué en raison des efforts d'assèchement visant à soutenir l'avancement Sud de la fosse Nord. Une tendance à la baisse de l'élévation des eaux souterraines a commencé en 2020 dans le puits de surveillance KH10-082 voisin. La diminution de l'élévation des eaux souterraines aux puits P04099707Q1 et KH12-161, situés au sud-ouest de l'usine K2, a également été attribuée à l'assèchement dû à l'expansion de la mine en direction de l'emplacement de ces puits.

À l'ouest de la fosse Nord et dans la partie sud de l'aire de dépôt des morts-terrains Ouest, la direction d'écoulement des eaux souterraines du Quaternaire était généralement orientée vers le nord-ouest et le complexe de zones humides. Sur les bords périphériques de l'aire de dépôt des morts-terrains Ouest qui sont adjacents à la rivière Muskeg et à la fosse Nord, les eaux souterraines du Quaternaire semblent

s'écouler vers la rivière Muskeg à l'ouest et vers la fosse Nord à l'est. Dans la partie nord de l'aire de dépôt des morts-terrains Ouest, le gradient hydraulique diminue à mesure que les eaux souterraines s'écoulent vers la plaine d'inondation de la rivière Muskeg.

Au sud-est de l'usine et au nord-est de l'aire des morts-terrains centrale, l'assèchement de la fosse Est est en cours, ce qui a entraîné un abaissement localisé du niveau des eaux souterraines du Quaternaire. L'écoulement des eaux souterraines dans l'empreinte de la fosse Est et dans l'aire des dépôts morts-terrains centrale se fait généralement vers la rivière Muskeg au sud-est et vers l'aire d'assèchement de l'avancement de la mine au sud-ouest.

Dans la partie sud du site, l'écoulement des eaux souterraines se fait généralement à partir de la topographie plus élevée du mont Muskeg au sud-est vers la plaine inférieure de la rivière Muskeg au nord-ouest, reflétant généralement les courbes de débit préalables à la mise en valeur.

4.1.2 Vitesse moyenne d'écoulement latéral des eaux souterraines

La même méthodologie que celle décrite dans le rapport sommaire sur les eaux souterraines de 2016 (Advisian 2017) a été utilisée pour estimer la vitesse moyenne d'écoulement linéaire des eaux souterraines dans les dépôts du Quaternaire en 2022, avec une mise à jour de l'estimation de la porosité efficace.

Les estimations de la vitesse moyenne linéaire des eaux souterraines dans les dépôts du Quaternaire à texture variable ont été faites en supposant que la porosité efficace du matériau le plus conducteur (unité de sable) était de 0,2 (Woessner et Poeter 2020).

La vitesse moyenne d'écoulement linéaire des eaux souterraines dans les dépôts du Quaternaire en 2022 variait sur l'ensemble du site d'environ 5 à 300 m/an (tableau 4-1). Bien que les zones ouest, nord et sud, et le site de l'usine présentent des vitesses moyennes linéaires sur l'ensemble du site, des zones de vitesse plus élevée ont été estimées près de l'aire de résidus externe en raison des gradients hydrauliques plus élevés créés par les bassins de résidus et des zones locales présentant une conductivité hydraulique plus élevée.

Une vitesse moyenne d'écoulement linéaire des eaux souterraines d'environ 270 m/an a été estimée dans les dépôts du Quaternaire sous la digue du côté nord de l'aire de résidus externe Ouest et en amont du système d'interception des eaux de suintement, sur la base d'un gradient de 0,1 m/m, d'une conductivité hydraulique moyenne géométrique de $1,7 \times 10^{-5}$ m/s et d'une porosité efficace de 0,2 (Woessner et Poeter, 2020). La pente abrupte est maintenue par les drains construits dans la digue et par le pompage du SIS au pied de la digue.

Une vitesse moyenne d'écoulement linéaire d'environ 300 m/an a été estimée le long d'une voie d'écoulement préférentielle potentielle à la digue centrale au nord de l'aire de résidus externe Ouest, sur la base d'un gradient de 0,02 m/m, d'une conductivité hydraulique moyenne géométrique de $9,1 \times 10^{-5}$ m/s (moyenne géométrique des conductivités hydrauliques mesurées aux puits KH11-179, KH09-055, KH09-057, et KH10-022), et d'une porosité effective de 0,2. Une vitesse d'environ 300 m/an a été confirmée par les taux de transport de contaminants estimés entre les puits KH11-179 et KH09-055 et KH09-057 (section 5.4.3).

La porosité efficace supposée, plus conservatrice, a permis d'obtenir des estimations de vitesse des eaux souterraines supérieures aux estimations historiques, et qui correspondent mieux aux délais de transport des contaminants observés à proximité de l'aire de résidus externe.

En outre, la vitesse moyenne latérale estimée au nord du bail d'exploitation des minéraux de surface et dans la zone de l'usine était supérieure aux estimations historiques, en partie en raison d'une meilleure compréhension du régime d'écoulement au nord. La compréhension du régime d'écoulement au nord du site a été améliorée par une plus grande distribution des mesures d'élévation des eaux souterraines en 2022. Les vitesses latérales plus élevées des eaux souterraines sont également dues à l'augmentation du gradient provoquée par l'effet de bombement de la nappe causé par l'aire de résidus externe dans les dépôts du Quaternaire sous-jacents.

Un changement dans la zone où le gradient hydraulique horizontal utilisé pour le calcul de la vitesse a été mesuré dans la zone ouest a également contribué à une augmentation de la vitesse estimée des eaux souterraines. Auparavant, les gradients hydrauliques étaient estimés à travers l'aire d'assèchement de l'avancement Sud, immédiatement au sud de la fosse Nord, alors que le gradient hydraulique actuel a été estimé à travers l'aire des morts-terrains Ouest.

Les gradients hydrauliques dans la zone sud étaient caractérisés par une forte pente au pied du mont Muskeg, suivie d'un plateau à faible pente et d'une pente croissante vers la plaine d'inondation de la rivière Muskeg près de l'aire de dépôt des morts-terrains du lac Muskeg. La vitesse latérale estimée des eaux souterraines dans la zone sud a été calculée en utilisant le gradient hydraulique mesuré près de l'aire de dépôt des morts-terrains du lac Muskeg, plutôt qu'à travers le plateau comme les années précédentes.

Tableau 4-1 Conductivités hydrauliques, gradient hydraulique et vitesse moyenne d'écoulement linéaire des eaux souterraines par zone

Zone	Moyenne géométrique (m/s)	Maximum K (m/s)	Minimum K (m/s)	Gradient hydraulique, 2022 (m/m)	Vitesse moyenne d'écoulement linéaire (m/an)
Ouest	$2,3 \times 10^{-5}$	$8,0 \times 10^{-4}$	$5,4 \times 10^{-9}$	0,008	27
Site de l'usine	$3,2 \times 10^{-6}$	$6,6 \times 10^{-5}$	$4,8 \times 10^{-9}$	0,01	5
Nord	$1,7 \times 10^{-5}$	$9,0 \times 10^{-4}$	$1,0 \times 10^{-9}$	0,02	62
Sud	$1,5 \times 10^{-5}$	$2,3 \times 10^{-4}$	$1,8 \times 10^{-7}$	0,01	23
Sous la digue Nord de l'aire de résidus externe Ouest	$1,7 \times 10^{-5}$	$9,0 \times 10^{-4}$	$1,0 \times 10^{-9}$	0,1	270
Voie d'écoulement préférentielle potentielle au nord de la digue centrale	$9,1 \times 10^{-5}$	$9,0 \times 10^{-4}$	$9,1 \times 10^{-6}$	0,02	300

4.1.3 Gradients hydrauliques verticaux et potentiel d'écoulement

Les gradients hydrauliques verticaux dans les dépôts du Quaternaire ont été calculés à l'aide de puits de surveillance jumelés qui ont été creusés à différents intervalles de profondeur dans les dépôts du Quaternaire. Les résultats, ainsi que la direction potentielle interprétée de l'écoulement vertical, sont présentés dans le tableau 4.

Un potentiel d'écoulement vers le bas a été calculé au niveau des puits de surveillance régionaux P14049607Q et P14049607Q1 situés près de la base du mont Muskeg.

Un potentiel d'écoulement descendant dans le canal de Kearn a été calculé au niveau des puits jumelés P10239708Q et P10239708Q1, et un potentiel d'écoulement ascendant a été déduit au niveau des puits P13369608Q et P13369608Q1; il n'a cependant pas pu être calculé de manière fiable en raison du soulèvement par le gel du puits de surveillance le plus profond.

Le potentiel d'écoulement des puits jumelés installés sur la digue nord de l'aire de résidus externe Ouest était généralement descendant (KHY22_623/KHY22_624/KHY22_625 et KHY22_626/KHY22_627/KHY22_628). Le long du pied de la digue nord de l'aire de résidus externe, les gradients verticaux étaient très variables, avec un potentiel d'écoulement ascendant et descendant à proximité immédiate. Cette irrégularité était potentiellement due à un pompage lié au SIS de l'aire de résidus externe. Le long du pied de la digue est de l'aire résidus externe Est, le potentiel d'écoulement vertical était principalement vers le haut, là où la topographie décline au nord de P09149707Q vers le Plan d'eau 3.

Bien que les gradients verticaux n'aient généralement pas pu être calculés en dehors du site au nord de l'aire de résidus externe, 22 puits de surveillance au nord et au nord-est de l'aire de résidus externe ont été notés comme présentant des élévations de charge hydraulique au-dessus de la surface du sol (artésienne) en 2022. La plupart des conditions artésiennes observées en 2022 concernaient des puits de surveillance situés au niveau ou à proximité de dépressions topographiques, et un potentiel d'écoulement vers le haut a été supposé pour ces emplacements.

4.2 Aquifère de fond de la formation McMurray

Les sables bitumineux de la formation McMurray jouent généralement le rôle d'aquitard entre les dépôts du Quaternaire et l'aquifère de fond. La surface potentiométrique de l'aquifère de fond confiné se trouve généralement dans les dépôts du Quaternaire supérieur ou près de la surface du sol, d'où la nécessité de dépressuriser l'aquifère de fond pendant la mise en valeur et l'exploitation du site.

Trois puits de surveillance (KH12-136, 3-22-96-8 [B], et 12-1-96-9 [B]) creusés dans l'aquifère de fond font partie du Réseau régional. Deux de ces puits de surveillance de l'aquifère de fond sont situés près de l'angle sud-ouest de la limite du bail d'exploitation des minéraux de surface de Kearl (3-22-96-8 [B] et 12-1-96-9 [B]), et un autre est situé à l'extérieur de l'angle nord-ouest du bail d'exploitation dans l'empreinte du canal de Kearl (KH12-136; figure 6A).

La tendance historique à la baisse des élévations des eaux souterraines au puits 12-1-96-9 (B) était principalement due à la dépressurisation de l'aquifère de fond sur les sites miniers adjacents, tandis que la situation au puits 3-22-96-8 (B) pourrait être due aux activités de dépressurisation à Kearl. L'élévation des eaux souterraines au puits 12-1-96-9 (B) a légèrement diminué en 2022 par rapport à l'année précédente. Les élévations des eaux souterraines aux puits 3-22-96-8 (B) et KH12-136 sont restées stables en 2022 (tableau 3 et annexe 5).

5 Résumé du programme réglementaire de surveillance des eaux souterraines

Le Programme réglementaire de surveillance des eaux souterraines est un programme de surveillance global conçu pour permettre la détection précoce des effets potentiels sur les eaux souterraines de l'ensemble du site.

Ses principaux objectifs sont les suivants :

- mettre en évidence les eaux souterraines dans les sédiments du Quaternaire, qui sont les plus susceptibles d'être affectées par les activités minières de la mine de Kearl;
- évaluer la qualité des eaux souterraines le long des voies d'écoulement entre les sources potentielles et les récepteurs potentiels.

Une description des méthodes utilisées sur le terrain pour surveiller et échantillonner les puits de surveillance des eaux souterraines est fournie dans le Plan de surveillance des eaux souterraines (Advisian 2018a). Les coupes de sondage pour le réseau actif de puits de surveillance des eaux souterraines, ainsi que d'autres coupes pertinentes, ont été incluses dans le rapport sommaire sur les eaux souterraines de 2016 (Advisian 2017), et des coupes supplémentaires pour les puits nouvellement installés ont été fournies dans les rapports sommaires sur les eaux souterraines de 2017, 2018, 2019, 2020 et 2021 (Advisian 2018b; MAE 2019, 2020, 2021 et 2022, respectivement). Les coupes de sondage pour les nouveaux puits ajoutés au Programme réglementaire de surveillance des eaux souterraines en 2022 sont fournies à l'annexe 4. Elles n'étaient pas disponibles pour les puits de surveillance forés en 2022 au moment de la rédaction du présent rapport et seront soumises sous forme d'addenda lorsqu'elles seront connues. Les autres coupes de sondage sont accessibles sur demande.

Tous les échantillons d'eau souterraine ont été soumis aux laboratoires Bureau Veritas (BV) à Calgary, Alberta, pour analyse, comme indiqué dans le Plan de surveillance des eaux souterraines (Advisian 2018a). Un résumé des paramètres de chaque série d'analyses s'y trouve également.

5.1 Aperçu du Réseau réglementaire de puits de surveillance 2022

En 2022, le Programme réglementaire de surveillance des eaux souterraines comprenait 75 puits répartis entre les Réseaux de surveillance, de conformité, de conformité à l'aire de résidus externe et les Réseaux régionaux (tableau 2 et figure 6).

5.1.1 Réseau de surveillance

Les puits du Réseau de surveillance sont généralement situés sur le site, dans les zones d'exploitation, en aval des zones de sources potentielles, le long des voies d'écoulement prévues, et creusés dans des dépôts perméables peu profonds (tableau 2 et figure 6). L'objectif du Réseau de surveillance est de permettre une détection précoce des changements de la qualité des eaux souterraines à proximité des sources potentielles. En 2022, le Réseau de surveillance comprenait 21 puits de surveillance.

Un sous-ensemble de puits de surveillance du Réseau de surveillance (KH13-004, KH13-005,

KER18_001, KER18_002, KER18_003 et KER18_005) est situé à proximité de bassins revêtus à haut risque, comme indiqué dans le Plan de surveillance et d'intervention pour les bassins revêtus (LPMRP; Impériale 2020). L'objectif de ces puits est de détecter et de surveiller les interactions potentielles des systèmes de bassins et de drains souterrains avec les eaux souterraines locales (Impériale 2020).

Les puits du Réseau de surveillance ont généralement été échantillonnés chaque année, à l'exception de ceux situés à proximité de bassins revêtus à haut risque, qui ont fait l'objet d'un échantillonnage semestriel au printemps et à l'automne 2022, avec les exceptions suivantes :

- deux puits de surveillance (KHY22_618 et KHY22_619), qui ont été installés en 2022 dans le cadre de l'étude sur les précipités de fer (sections 1.2 et 8), ont été échantillonnés mensuellement en septembre, octobre et novembre;
- un échantillon supplémentaire a été prélevé sur le puits KER18_002 dans le cadre de l'étude sur les précipités de fer.

5.1.2 Réseau de conformité

Les puits de surveillance du Réseau de conformité sont généralement situés près des limites du site, le long des voies d'écoulement des eaux souterraines prévues entre les zones de sources potentielles et les limites du site (tableau 2 et figure 6). Tous les puits de surveillance du Réseau de conformité sont situés sur le site, à l'exception des puits KH11-179 et KH10-013, qui se trouvent respectivement à environ 4 m et 200 m du site. L'objectif du Réseau de conformité est de surveiller et d'évaluer la qualité des eaux souterraines des dépôts du Quaternaire susceptibles de quitter le site.

Les puits de surveillance de conformité situés à proximité de l'aire de résidus externe ont été regroupés au sein d'un Réseau de conformité de l'aire de résidus externe. Les puits situés dans le Réseau de conformité de l'aire de résidus externe continuent d'être considérés comme des emplacements de conformité dans le cadre du Programme réglementaire de surveillance des eaux souterraines, et sont gérés et évalués comme tels.

En 2022, le Réseau de conformité comprenait 38 emplacements de surveillance, dont 20 à proximité de l'aire de résidus externe.

Les puits du Réseau de conformité disposant d'un ensemble de données de référence ont généralement été échantillonnés deux fois par an, au printemps et à l'automne, tandis que ceux dont les données de référence n'ont pas été établies ont généralement été échantillonnés tous les trimestres (tableau 2), avec les exceptions suivantes :

- les puits KER14-004 et KER22_689 étaient secs et n'ont pas fait l'objet d'un échantillonnage en 2022;
- les puits KH09-076 et KH09-077 ont été échantillonnés plus fréquemment afin d'étudier les tendances ou les dépassements de la limite supérieure de contrôle (LSC);
- des données ont été collectées à un rythme accéléré aux emplacements suivants dans le cadre du Plan d'intervention sur les eaux souterraines (GRP; Advisian 2018a);

- les puits KH11 à 179;
- le puits P13369608Q;
- le puits KH12-132A;
- le puits KER22_673;
- le puits KER22_674;
- le puits KER22_676;
- les puits nouvellement installés KER22_680, KER22_681 et KER22_682 devaient faire l'objet d'un échantillonnage trimestriel en 2022; toutefois, en raison des concentrations élevées de H₂S à certains de ces emplacements, les fréquences d'échantillonnage ont été réduites afin de tenir compte du temps nécessaire à la gestion des risques en matière de santé et de sécurité;
- un seul échantillon a été prélevé dans le puits KH12-117, celui-ci étant gelé lors de l'échantillonnage de printemps;
- le puits KH12-132A a été échantillonné trois fois au lieu de quatre en raison d'un problème de calendrier.

5.1.3 Réseau régional

Les puits de surveillance du Réseau régional sont situés à la périphérie de la limite du bail du site, à la fois en amont et en aval du site (tableau 2 et figure 6). L'objectif du Réseau régional est de collecter des données sur la qualité et le niveau des eaux souterraines qui sont représentatives des conditions hors site. En 2022, le Réseau régional comptait 17 puits, dont 14 sont creusés dans des dépôts du Quaternaire et trois dans l'aquifère de fond.

Les puits du Réseau régional ont fait l'objet d'un échantillonnage annuel, à l'exception des puits suivants :

- le puits KH09-057 a été échantillonné deux fois dans le cadre de la réponse au titre du Plan d'intervention sur les eaux souterraines;
- le puits P14259607Q n'a pas été échantillonné en 2022, car il était inaccessible en raison de l'impossibilité de traverser un affluent de la rivière Muskeg;
- en raison d'un taux élevé de H₂S, il n'a pas été possible de prélever un échantillon représentatif du puits 3-22-96-8 (B) en 2022.

Les puits de surveillance du Réseau régional sont généralement situés à l'extérieur de la concession du projet; sur les 17 puits de surveillance du Réseau régional, les cinq suivants étaient situés sur la concession :

- 97-20 (Q);
- KH09-105;
- P14049607Q;
- P14049607Q1;
- P14259607Q.

5.2 Changements du Programme réglementaire de surveillance des eaux souterraines en 2022

Une modification des exigences présentées dans le Plan de surveillance des eaux souterraines (Advisian 2018a) a été mise en œuvre en 2022 comme suit :

- les données des transducteurs obtenues à partir des puits de surveillance ne sont pas présentées ici, mais elles seront conservées dans les dossiers et disponibles sur demande. Des enregistreurs de données restent installés sur certains emplacements de surveillance des eaux souterraines sur le site; les données sont téléchargées régulièrement et utilisées pour faciliter l'interprétation, au besoin (tableau 2).

Les changements suivants ont été apportés aux réseaux de surveillance et aux fréquences d'échantillonnage systématique en 2022.

Réseau de surveillance

- Le puits P12359607Q1 a été déplacé du Réseau régional au Réseau de surveillance. En raison de la mise en valeur de la fosse Est, ce puits est mieux adapté à l'objectif du Réseau de surveillance (figure 6).
- Deux puits de surveillance, KHY22_618 et KHY22_619, ont été installés et ajoutés au Réseau de surveillance dans le cadre de l'étude de précipités de fer.
- Le puits de surveillance KER18_004 ne sert plus de raison d'être dans le cadre du Plan de surveillance et d'intervention pour les bassins revêtus (Impériale 2020) puisque le Bassin de ruissellement 2 de l'aire des morts-terrains centrale n'est plus considéré comme un bassin revêtu à haut risque. Le puits KER18_004 fait toujours partie du Réseau de surveillance, mais la fréquence d'échantillonnage est passée de semestrielle à annuelle.
- Le puits KER14-003 a été abandonné et retiré du programme réglementaire en raison de l'expansion de l'aire des morts-terrains centrale.

Réseau de conformité et Réseau de conformité de l'aire de résidus externe

- Deux emplacements de surveillance, P10239708Q et P10239708Q1, ont été réintégrés au Réseau de conformité afin d'améliorer la couverture de surveillance le long de la limite ouest du site. Les puits P10239708Q et P10239708Q1 ont été surveillés dans le cadre du réseau de conformité de 2005 à 2015, mais ont été retirés du programme en 2016, car ils se trouvaient à l'intérieur de l'empreinte prévue de la mine. Les puits ne se trouvant plus dans l'empreinte prévue de la mine, ils ont été réintroduits dans le programme en 2022.
- Le puits KH11-179 a été transféré au Réseau de conformité de l'aire de résidus externe, car il est mieux adapté à cet objectif.
- Trois puits de surveillance (KER22_680, KER22_681 et KER22_682) ont été installés et ajoutés au Réseau de conformité afin d'améliorer la couverture de surveillance le long de la limite ouest du site.
- L'emplacement de surveillance de conformité KER22_689 a été ajouté au programme pour

délimiter les impacts signalés au puits P13369608Q.

- Six puits de surveillance de conformité à l'aire de résidus externe ont été ajoutés au réseau (KER22_671 à KER22_676) afin d'améliorer la couverture le long des limites du site au nord de l'aire de résidus externe Ouest et de délimiter les impacts en amont.
- La fréquence d'échantillonnage a été augmentée à une fréquence mensuelle dans trois puits de surveillance de conformité de l'aire de résidus externe (KER22_673, KER22_674 et KER22_676) dans le cadre de l'intervention prévue par le Plan d'intervention sur les eaux souterraines.

Réseau régional

- Le puits KH09-057 a été ajouté au Réseau régional en tant qu'emplacement d'échantillonnage provisoire au nord du site afin de délimiter les impacts en amont de l'emplacement de surveillance de conformité KH11-179 à l'aire de résidus externe.
- Le puits KH09-055 a été ajouté au Réseau régional afin d'étudier les impacts signalés dans le puits KH09-057.
- Les emplacements de surveillance régionaux 3-5-96-8 (B) et 3-5-96-8 (Q) ont été retirés du programme, car ils ont été détruits.

5.3 Critères d'évaluation

Les Soil and Groundwater Remediation Guidelines [Lignes directrices relatives à l'assainissement des sols et des eaux souterraines] de l'Alberta Tier 1 (AEP 2022; « lignes directrices ABT1 ») ne peuvent pas être formellement appliquées au site en raison d'incohérences avec les hypothèses du modèle de niveau 1, y compris la présence de matériaux à gros grains avec des vitesses de Darcy supérieures à 3×10^{-7} m/s et une taille de source de contaminants supérieure à 10 m de long ou un volume de 300 m³. En outre, certains paramètres chimiques sont naturellement supérieurs aux lignes directrices ABT1. Bien qu'elles ne soient pas directement applicables au site, les lignes directrices ABT1 ont été utilisées comme outil de sélection des contaminants lorsque d'autres critères n'étaient pas disponibles, comme indiqué ci-dessous.

Les lignes directrices pour l'assainissement des eaux souterraines ABT1 pour certains paramètres, notamment les paramètres indicateurs clés sulfate et ammoniac total (sous forme de N), renvoient aux Environmental Quality Guidelines for Alberta Surface Waters [lignes directrices sur la qualité de l'environnement pour les eaux de surface de l'Alberta] respectives et dépendent des paramètres présents dans le plan d'eau récepteur (AEP 2018). Le sulfate dépend de la dureté du plan d'eau récepteur, tandis que l'ammoniac total (sous forme de N) dépend de la température et du pH du plan d'eau récepteur.

Afin d'établir une comparaison avec des lignes directrices conservatrices sur le plan environnemental, la température et le pH maximaux historiques de chaque plan d'eau ont été utilisés pour sélectionner la ligne directrice ABT1 associée pour l'ammoniac total. De même, la dureté minimale historique a été utilisée pour sélectionner la ligne directrice ABT1 associée pour les sulfates, avec une approche semblable pour certains paramètres relatifs aux métaux et aux nitrites (sous forme de N), qui dépendent également de certains paramètres dans le plan d'eau récepteur. Quatre plans d'eau ont été considérés comme des récepteurs potentiels des eaux souterraines sur le site : la rivière Firebag et ses affluents, le Plan d'eau 3, le

Plan d'eau 4 et la rivière Muskeg. En l'absence de données pour les affluents de la rivière Firebag, les données de cette dernière ont été utilisées en lieu et place.

Les données étaient disponibles à toutes les saisons pour la plupart des plans d'eau récepteurs potentiels, à l'exception du Plan d'eau 4, pour lequel elles se limitaient à trois points de données. Les lignes directrices présentées dans ce rapport, en tenant compte du Plan d'eau 4 en tant que récepteur potentiel, devraient être mises à jour en 2023, lorsque davantage de données seront disponibles. Par ailleurs, une étude plus approfondie des interactions entre les eaux souterraines et les eaux de surface est nécessaire pour relever les zones humides et les plans d'eau situés à proximité du site qui pourraient constituer des récepteurs des eaux souterraines du site.

Les données du Programme réglementaire de surveillance des eaux souterraines ont été principalement évaluées pour les impacts dus à l'exploitation du site sur la base des procédures détaillées dans le Plan de surveillance des eaux souterraines (Advisian 2018a), qui a été élaboré en tenant compte du Lower Athabasca Region Groundwater Management Framework [Cadre de gestion des eaux souterraines du cours inférieur de l'Athabasca] (ESRD 2012). Des diagrammes de Piper ont été utilisés pour faciliter l'interprétation des sources potentielles de répercussions sur les eaux souterraines. La qualité des eaux souterraines a été principalement évaluée par rapport aux limites de contrôle et à l'analyse des tendances pour une liste sélectionnée de paramètres indicateurs clés (Advisian 2018a).

Les paramètres indicateurs clés suivants ont été utilisés comme principaux indicateurs de l'évolution de la qualité des eaux souterraines (Advisian 2018a) :

- chlorure;
- sodium;
- sulfate;
- bore;
- ammoniac total (sous forme de N);
- matières dissoutes totales calculées (MDT);
- fraction d'hydrocarbures pétroliers (HCP) (F1 (C6-C10)-benzène, benzène, toluène, éthylbenzène, xylène (BTEX) totaux;
- HCP F2 (C10-C16);
- acides naphthéniques;
- pyrène.

Les limites de contrôle définissent la plage de variation naturelle attendue des concentrations des paramètres indicateurs clés. Des concentrations des paramètres indicateurs clés supérieures ou inférieures aux limites de contrôle peuvent indiquer des changements dans la qualité des eaux souterraines. Des limites de contrôle ont été élaborées et mises en œuvre pour les paramètres indicateurs clés dans les puits du Réseau réglementaire en utilisant les méthodes décrites dans le Plan de surveillance des eaux souterraines (Advisian 2018a).

Une analyse des tendances a également été réalisée sur les paramètres indicateurs clés en suivant la méthodologie du Plan de surveillance des eaux souterraines (Advisian 2018a). Des tendances à la hausse des concentrations des paramètres indicateurs clés peuvent indiquer des changements dans la qualité des eaux souterraines et peuvent déclencher le Plan d'intervention sur les eaux souterraines (Advisian 2018a). Les tendances à la baisse des concentrations de paramètres indicateurs clés, à l'exception du pH, sont actuellement considérées comme favorables à la protection de l'environnement et ne sont donc pas abordées dans le présent document.

Bien que les limites de contrôle soient calculées et que l'analyse des tendances soit effectuée aux puits des Réseaux régionaux et de surveillance, le dépassement de ces limites ou l'augmentation des tendances pourraient ne pas déclencher le Plan d'intervention sur les eaux souterraines (Advisian 2018a).

Certains puits réglementaires de surveillance des eaux souterraines ne disposent pas de données de référence suffisantes ou de données susceptibles d'être affectées par les activités du site; par conséquent, il est impossible d'établir des ensembles de données de base et de calculer des limites de contrôle. Dans ces cas, les données ont été comparées :

- aux données historiques recueillies dans le puits de surveillance avant que les activités du site n'aient un impact potentiel, lorsqu'elles sont disponibles; ou
- aux lignes directrices relatives à l'assainissement des eaux souterraines ABT1 pour l'utilisation naturelle des terres et des sédiments à grains fins et grossiers (AEP 2022); ou
- aux limites de contrôle ou aux données historiques établies pour des puits voisins installés dans un intervalle géologique comparable.

5.4 Résultats et discussion

Un sous-ensemble de 20 puits de surveillance au sein du Réseau de conformité est regroupé géographiquement le long des périmètres nord et est de l'aire de résidus externe et est ci-après dénommé le Réseau de conformité de l'aire de résidus externe. Bien que les puits du Réseau de conformité de l'aire de résidus externe soient considérés comme faisant partie du Programme réglementaire de surveillance des eaux souterraines, ces résultats sont présentés dans la section 7 afin de fournir un résumé complet de la qualité des eaux souterraines à proximité de l'aire de résidus externe.

Les paramètres mesurés sur le terrain (température, pH et CE) ont été mesurés au moment de l'échantillonnage des eaux souterraines et sont présentés dans le tableau 5. Les résultats des analyses en laboratoire sont présentés dans les tableaux 6A à 11A. Les rapports d'analyse des laboratoires et les listes de contrôle de la qualité des données ont été conservés et sont disponibles sur demande.

Le tableau A6A-1 (annexe 6) résume les résultats des analyses statistiques, y compris l'analyse statistique de base, les dépassements de la limite inférieure de contrôle (LIC) et de la LSC, et l'analyse des tendances pour les puits du Programme réglementaire de surveillance des eaux souterraines. Les cartes de contrôle hydrochimique des paramètres indicateurs clés, y compris les limites de contrôle lorsqu'elles sont disponibles, figurent à l'annexe 7A. Les dépassements des critères d'évaluation dans les puits de surveillance du Réseau réglementaire sont présentés à la figure 9A.

La variabilité naturelle de la qualité des eaux souterraines est due à une combinaison de variations géologiques, hydrologiques, spatiales et temporelles dans l'environnement. Plus précisément, les puits de surveillance des eaux souterraines du Quaternaire peuvent être creusés dans des sables naturellement teintés de bitume qui résultent de l'érosion glaciaire et de l'incorporation de dépôts datant du Crétacé dans les dépôts du Quaternaire (Andriashek 2002). La présence de sables teintés de bitume dans les coupes de sondage et les odeurs de bitume relevées lors de l'échantillonnage et de la mise en valeur des puits indiquent que les échantillons d'eau souterraine peuvent être affectés par les sédiments bitumineux environnants. Les échantillons d'eau souterraine prélevés à ces emplacements peuvent présenter des tendances à la hausse ou des dépassements de la LSC pour les paramètres indicateurs clés organiques, qui sont interprétés comme étant d'origine naturelle.

Les tendances et les dépassements des limites de contrôle peuvent également être liés à la variation de la teneur en sédiments des échantillons d'eau souterraine, car des fragments de bitume peuvent être inclus dans les sédiments.

5.4.1 Sommaire de la qualité des eaux souterraines du Réseau de surveillance

En 2022, toutes les tendances et tous les dépassements d'OC signalés dans les puits de surveillance des eaux souterraines ont été attribués à des processus hydrogéochimiques ou à des variations naturelles, comme indiqué ci-dessous, à l'exception des cas suivants :

- Une tendance à la hausse du sodium est observée dans le puits de surveillance KH12-161, situé à proximité d'une voie de mine au centre du site, depuis son installation en 2012 et n'a pas été attribuée à une cause précise. La concentration de sodium a augmenté de 7,6 mg/l en 2012 à environ 60 mg/l à l'automne 2016 et a depuis diminué (figure A7-A-14A, annexe 7). Il n'a pas été possible de calculer une LSC pour le sodium à cet emplacement en raison de la tendance à la hausse observée depuis l'installation. La concentration en sodium reste conforme à la ligne directrice ABT1 pour les eaux souterraines (tableau 6; AEP 2022). Compte tenu de l'emplacement du puits, immédiatement en amont de la mine, on s'attend à ce que toute eau souterraine potentiellement affectée dans cette zone soit finalement captée dans le système en boucle fermée.
- En 2022, des dépassements de la LSC pour le sodium et le sulfate ont été enregistrés dans les puits KH12-126 et KH12-160, respectivement. Les concentrations sont restées inférieures aux lignes directrices ABT1 dans les puits KH12-126 et KH12-160. Les puits KH12-126 et KH12-160 sont situés à proximité immédiate du site de l'usine et en aval de l'aire de résidus externe Ouest. (Figure 6). Les emplacements des puits de surveillance et les augmentations correspondantes des niveaux des eaux souterraines suggèrent que l'augmentation du sulfate et du sodium peut avoir été causée par des suintements de l'eau utilisée pour l'extraction de l'aire de résidus externe Ouest; cependant, des données supplémentaires sont nécessaires pour confirmer les dépassements et déterminer la source.

Variation naturelle

Dans le réseau de surveillance, un dépassement de la LSC pour les sulfates a été signalé au puits P12359607Q1, ce qui correspond aux dépassements antérieurs enregistrés entre 2013 et 2018. Le dépassement peut être attribué à une variation naturelle étant donné l'emplacement du puits de surveillance en amont de l'aire de dépôt des morts-terrains centrale et l'absence de sources potentielles

en amont du puits de surveillance. L'exploitation du site à proximité de l'emplacement de surveillance, en particulier la mise en valeur de la fosse Est, n'a pas commencé avant 2022, ce qui suggère que le dépassement répété n'a peut-être pas été causé par celle-ci. À l'exception du sulfate, tous les paramètres indicateurs clés sont restés généralement stables en dessous de leur LSC depuis le début de la surveillance en 2003. En outre, les concentrations de sulfate restent relativement faibles, inférieures à 15 mg/l. Le dépassement peut être attribué à une variation naturelle étant donné la faible concentration et le moment où la mise en valeur de la zone a eu lieu; toutefois, une surveillance plus poussée est requise.

On a observé une tendance à la hausse des concentrations de bore en 2022 dans un puits de surveillance (KER18_002) situé près du Bassin de drainage 4 de l'aire de résidus externe Est, tendance qui a été attribuée à la variation naturelle (tableau A6A-1, annexe 6). Les LSC n'ont pas pu être calculées pour ce paramètre à cet emplacement en raison de ce phénomène.

Procédés hydrogéochimiques

Au total, sept emplacements du Réseau de surveillance ont signalé des tendances à la hausse, des dépassements de la ligne directrice ABT1 ou des dépassements de la LSC (tableau 5-1) qui peuvent être attribués à des réactions hydrogéochimiques.

Les tendances à la baisse des concentrations de sodium, de sulfate et de MDT-c présentes au puits KER18_004 depuis la fin 2018 ont continué à être statistiquement significatives en 2022; cependant, les tendances visuelles semblent s'être stabilisées en 2021 et 2022. En raison de la présence d'impacts interprétés comme étant causés par l'oxydation de minéraux sulfurés au moment de l'installation, les LSC n'ont pas pu être calculées pour ces paramètres à cet emplacement. En 2022, toutes les concentrations de KIP étaient inférieures à la ligne directrice ABT1 (récepteur de la rivière Muskeg), à l'exception des MDT-c.

Une tendance à la hausse des sulfates statistiquement significative et un dépassement de la LSC au puits de surveillance des bassins revêtus KER18_001 situé près du Bassin de drainage 1A peuvent être le résultat de processus hydrogéochimiques, d'une variation naturelle ou d'une fuite du Bassin de drainage 1A. Les concentrations de sulfate demeurent faibles (moins de 10 mg/l) et une surveillance plus poussée est nécessaire pour déterminer la cause de l'augmentation des concentrations (tableau 5-1; figure A7A-3A, annexe 7).

Des dépassements de la LSC des paramètres indicateurs clés et des tendances ont été signalés dans deux puits de surveillance (KH13-004 et KH13-005) situés à proximité du Bassin de ruissellement de l'aire de résidus externe Nord en 2022 (figure 9A et tableau 5-1). Les dépassements de la LSC des paramètres indicateurs clés et les tendances à la hausse signalés dans les eaux souterraines de cette zone peuvent être dus à des processus hydrogéochimiques, en particulier l'oxydation de minéraux sulfurés, se produisant dans la zone ou à des fuites du Bassin de ruissellement de l'aire des dépôts morts-terrains Nord. Les concentrations de chlorure, de sodium, de sulfate et de MDT dans l'aire de dépôt des morts-terrains Nord et dans le drain souterrain associé étaient comparables et les volumes pompés dans le drain souterrain de l'aire de dépôt des morts-terrains Nord ont augmenté au cours des dernières années, ce qui suggère que cette zone pourrait en être la source (annexe 7D). Cependant, le drain souterrain pourrait recevoir des eaux souterraines altérées, reflétant la chimie des eaux de ruissellement de surface qui sont collectées dans le bassin de ruissellement de l'aire des morts-terrains Nord, ce qui rend difficile la détermination d'une source potentielle de dépassements et de tendances dans les eaux souterraines à

proximité dudit bassin de ruissellement (annexe 7D). Une investigation plus poussée dans le cadre du Plan de surveillance et d'intervention pour les bassins revêtus (Impériale 2020) et du Plan de surveillance des eaux souterraines (Advisian 2018a) est nécessaire pour comprendre la source des paramètres indicateurs clés élevés aux puits KH13-005 et KH13-004.

Des concentrations de sulfate et de MDT-c supérieures à sept et cinq fois les lignes directrices ABT1 référencées (tableau 5-1), respectivement, ont été signalées à l'emplacement de surveillance peu profond KHY22_618, située au nord de l'aire des morts-terrains Nord, en 2022 (figure 9A, tableau 6A). L'ammoniac total (sous forme de N) et plusieurs métaux dissous (aluminium, fer, manganèse et nickel) ont également dépassé les lignes directrices référencées (tableaux 11A et 8A). L'installation du puits KHY22_618 était destinée à l'étude des précipités de fer (sections 1.2 et 8) en vue de détecter la source des précipités de fer dans les eaux de surface de la région et de comprendre la distribution spatiale et la qualité de toute eau souterraine potentiellement affectée en amont de l'infiltration des eaux souterraines.

Des concentrations de sulfate et de MDT-c dépassant leurs lignes directrices ABT1 respectives ont été signalées dans le puits KER18_005, situé en aval de l'aire des morts-terrains Nord, près de la zone humide pilote, depuis l'installation du puits en 2018 (Tableau 5-1; figures 2 et 9A). Les concentrations élevées de MDT-c et de sulfate à cet emplacement ont été attribuées à l'oxydation de minéraux sulfurés. Un échantillonnage de délimitation a été réalisé au puits KH09-003, situé à l'ouest du puits KER18_005, avec des concentrations de sulfate et de MDT-c conformes aux lignes directrices ABT1.

Comme les années précédentes, la concentration de MDT-c a dépassé la LSC et le sulfate a continué d'augmenter au puits PCL3-Q, située sur le périmètre ouest du lac Muskeg (tableau 5-1; figure 9A; figures A7A-17A, annexe 7). En 2022, tous les paramètres indicateurs clés étaient inférieurs à la ligne directrice ABT1, à l'exception des MDT-c (tableaux 6A à 11A).

Tableau 5-1 Qualité des eaux souterraines potentiellement affectées par des réactions hydrogéochimiques (Réseau de surveillance)

Identification du puits	Paramètres dépassant les critères d'évaluation en 2022 et concentration maximale (mg/l)	Critères d'évaluation (LSC ou ABT1) (mg/l)	Paramètres avec tendance à la hausse	Tendances/dépassements précédemment relevés	Étape du Plan d'intervention sur les eaux souterraines 2022
KER18_001	Sulfates : 9,5 (sept.)	LSC : 5,00	Sulfates	S.O.	Évaluation
KER18_004	MDT-c : 600 (avril)	ABT1 : 500	S.O.	Tendances à la baisse : MDT-c	Évaluation
KH13-004	MDT-c : 580 (août)	LSC : 465	Sulfate* (stabilisation potentielle de la tendance)	Tendances à la hausse : Sulfates Dépassement de la LSC : MDT-c	Évaluation
KH13-005	Sodium : 12 (août)	LSC : 9,37	Sodium ^v Sulphate*	Tendances à la hausse : Sulfates Dépassement de la LSC : Sodium	Évaluation
KHY22_618**	MDT-c : 2700 (oct.)	ABT1 : 500	S.O.	S.O.	Évaluation/délimitation
	Sulfates : 1600 mg/l (oct.)	ABT1 : 218			
	Ammoniac total (sous forme de N) : 4,5 (oct.)	ABT1 : 0,045			
PCL3-Q1	MDT-c : 810 (sept.)	LSC : 611	Sulfates*	Tendances à la hausse : Sulfates Dépassement de la LSC : MDT-c	Évaluation

Identification du puits	Paramètres dépassant les critères d'évaluation en 2022 et concentration maximale (mg/l)	Critères d'évaluation (LSC ou ABT1) (mg/l)	Paramètres avec tendance à la hausse	Tendances/dépassements précédemment relevés	Étape du Plan d'intervention sur les eaux souterraines 2022
KER18_005**	MDT-c : 1100 (mai et sept.)	ABT1 : 500	Sodium	S.O.	Délimitation
	Sulfates : 420 (sept.)	ABT1 : 218			
	Ammoniac total (sous forme de N) : 0,62 (sept.)	ABT1 : 0,045			

Remarques :

S.O. – Sans objet

v Tendance visuelle

* La LSC n'a pas été calculée pour les sulfates en raison de la tendance observée dans l'ensemble des données de référence.

** Évalué sur la base des lignes directrices ABT1 en l'absence d'un ensemble de données de référence.

5.4.2 Sommaire de la qualité des eaux souterraines du Réseau de conformité

Cette sous-section présente un résumé de la qualité des eaux souterraines aux puits de surveillance de conformité en 2022, à l'exclusion de ceux situés autour de l'aire de résidus externe. Les résultats de la qualité des eaux souterraines pour le Réseau de conformité de l'aire de résidus externe sont présentés dans la section 7 afin de fournir un résumé complet de la qualité des eaux souterraines à proximité de l'aire de résidus externe.

En 2022, toutes les concentrations élevées des paramètres indicateurs clés, les tendances et les dépassements de la LSC signalés dans les puits de surveillance des eaux souterraines de conformité ont été attribués à la variation naturelle, aux connexions avec des aquifères plus profonds dans le canal de Kearn, à l'oxydation de minéraux sulfurés et à une source inconnue, ou à la variation naturelle, comme détaillé ci-dessous, à l'exception de ce qui suit :

- des dépassements de la LSC pour le sodium, le sulfate et les MDT-c ont été enregistrés en juillet 2022 dans le puits KH09-093, situé dans la pile de stockage de matériaux de récupération 8 (figure 9A; tableau A6A-1; figure A7A-27A, annexe 7). Les concentrations de sodium, de sulfate et de MDT-c sont restées dans les limites de leurs lignes directrices ABT1 respectives (tableau 6A). Les dépassements ont été confirmés en septembre 2022, mais la source contribuant aux dépassements de la LSC dans ce puits n'est pas bien comprise. Actuellement, deux sources potentielles contribuant aux dépassements de la LSC font l'objet d'une étude, à savoir les suintements de l'eau utilisée pour l'extraction provenant de l'aire de résidus externe ou les infiltrations d'eaux de surface provenant de la pile de stockage de matériaux de récupération 8. En raison du faible gradient hydraulique dans la zone et du fait que des concentrations plus faibles des paramètres indicateurs clés ont été enregistrées dans les puits KHY14-050 (puits de surveillance situé en amont), il est possible que les impacts sur les eaux souterraines ne proviennent pas exclusivement de l'aire de résidus externe. Étant donné que la construction de la pile de stockage de matériaux de récupération 8 a commencé en 2021 et que des dépassements de la LSC ont été signalés en 2022, l'infiltration d'eau de surface influencée par la pile de stockage de matériaux de récupération ne peut pas être exclue comme source potentielle au puits KH09-093. Des investigations complémentaires sont nécessaires pour déterminer la source des eaux souterraines potentiellement affectées au puits KH09-093;
- les concentrations de sodium et de sulfate ont dépassé les LSC au puits P10239708Q en 2022, mais sont restées dans les limites des lignes directrices ABT1. Les concentrations de sodium et de sulfate à cet emplacement sont restées faibles par rapport à la ligne directrice ABT1 et sont potentiellement en baisse, mais un échantillonnage supplémentaire est nécessaire pour le confirmer.

Variation naturelle

Une tendance à la hausse dans un des paramètres indicateurs clés a été attribuée à la variation naturelle aux puits de surveillance de conformité KH09-002 (sodium) et P10239708Q1 (acides naphthéniques; tableau A6B-1, annexe 6). Les emplacements suivants ont été interprétés comme présentant des variations naturelles de la qualité des eaux souterraines :

- les tendances à la hausse ont été relevées pour un seul paramètre indicateur clé;

- les concentrations des paramètres indicateurs clés présentant une tendance se situaient dans la LSC, lorsqu'elle était disponible, et étaient comparables à la plage de référence ou historique;
- les tendances à la hausse étaient indépendantes de l'emplacement spatial.

Des tendances à la hausse et une variabilité des concentrations d'HCP F2 et de pyrène ont été observées au puits P13369608Q1, près du dépôt des morts-terrains Ouest, à partir de 2015 (figure 9A; tableau A6A-1, annexe 6; figure A7A-33B). L'HCP F2 et le pyrène sont considérés comme naturellement présents à cet emplacement étant donné les détections dans l'ensemble des données de référence et les indications de sables bitumineux flottants et d'irisation d'hydrocarbures sur les coupes de sondages. Les concentrations élevées d'HCP F2 et de pyrène ont été interprétées comme étant dues à un changement de méthode d'échantillonnage, comme indiqué dans le rapport sommaire sur les eaux souterraines de 2021 (MAE 2022a).

Connexions potentielles avec des aquifères plus profonds dans le canal de Kearl

Deux nouveaux puits de surveillance de conformité (KER22_680 et KER22_681), installés le long de la limite ouest de la concession dans le canal de Kearl, ont signalé des concentrations élevées de sodium, de chlorure, de sulfate et de MDT-c dans les paramètres indicateurs clés par rapport aux puits de surveillance voisins et, dans certains cas, aux lignes directrices ABT1. Aucune tendance statistique ou LSC n'a été calculée pour ces puits de surveillance en raison du nombre limité d'échantillonnages.

Sur la base de l'examen des coupes de sondage préliminaires et de la chimie de l'eau, ces puits ont été interprétés comme reflétant un mélange avec des eaux souterraines provenant d'aquifères plus profonds et peuvent refléter la chimie naturelle pour ces emplacements de surveillance et ces profondeurs.

Les changements de certaines concentrations des paramètres indicateurs clés se sont poursuivis au puits de surveillance de conformité KH09-076 en 2022, installé dans le canal de Kearl (Figure 9A), comme il est précisé ci-dessous :

- des tendances à la hausse ou des dépassements de la LSC pour certains paramètres indicateurs clés (sulfate, bore dissous, HCP F2 et acides naphthéniques) ont été signalés en 2022 (tableau A6A-1);
- une augmentation de la variabilité du chlorure et du sodium à partir de 2017 a été observée, entraînant des fluctuations en dessous et au-dessus de leurs LSC respectives; toutefois, le chlorure et le sodium sont restés en dessous de leurs LSC respectives en 2022 (tableau A6A-1 et figure A7A-25A);
- Une augmentation du H₂S mesuré dans l'espace de tête du puits a été signalée ces dernières années, ce qui suggère un changement dans le type d'eau et entraîne le passage à une procédure d'échantillonnage à haut risque comprenant un échantillonnage sans purge à partir de l'automne 2021. Les augmentations récentes des concentrations de sulfate et d'acides naphthéniques au cours des automnes 2021 et 2022 peuvent résulter du changement de méthode d'échantillonnage ou d'un mélange accru avec des aquifères plus profonds.

Les changements dans la chimie et la concentration de H₂S sur le terrain au puits KH09-076 ont été interprétés comme étant causés par un mélange avec de l'eau provenant d'un aquifère plus profond (comme l'aquifère de fond ou du Dévonien); ceci pourrait être dû à un changement dans le régime des

eaux souterraines dans la région. Les changements du régime des eaux souterraines dans la zone peuvent être causés par :

- l'assèchement des morts-terrains, y compris la construction d'une large tranchée filtrante à 30 m à l'ouest du puits KH09-076;
- la dépressurisation des aquifères du Dévonien et de fond;
- l'expansion de la mine vers l'ouest et le nord.

Des changements comparables dans plusieurs paramètres indicateurs clés (chlorure, sodium, bore dissous, HCP F2 et pyrène) ont déjà été observés dans le puits de surveillance de conformité KH09-077 situé à proximité (MAE 2022a). En 2022, les concentrations des paramètres indicateurs clés sont généralement revenues à des valeurs comprises dans la plage de référence ou comparables à celle-ci au puits KH09-077 (figures A7A-26A et A7A-26B).

Oxydation des minéraux sulfurés

En 2022, des dépassements de la LSC pour le sodium, le sulfate et les MDT-c ont été signalés à l'emplacement de surveillance de conformité P13369608Q, situé en aval de l'aire des morts-terrains Ouest, à environ 100 m de la rivière Muskeg (tableau A6A-1; figure A7A-32A; figure 9A). En outre, une tendance à la hausse statistiquement importante des concentrations de sulfate et une tendance à la hausse visuellement identifiée des concentrations de MDT-c ont été signalées (tableau A6A-1 et figure A7A-32A).

Les concentrations de sodium au puits P13369608Q sont restées dans la ligne directrice ABT1 référencée en 2022, mais les concentrations de sulfate et de MDT-c ont été signalées à des valeurs plus de trois fois supérieures à leur ligne directrice référencée respective. En outre, les concentrations de fer dissous, de manganèse et de nickel étaient élevées en 2022 par rapport aux données historiques et dépassaient les lignes directrices ABT1. Les tendances à la hausse, les dépassements des lignes directrices de la LSC et ABT1 à cet emplacement peuvent être attribués à l'oxydation des minéraux sulfurés potentiellement associée à la construction ou à l'exploitation de l'aire des morts-terrains Ouest, mais une investigation plus poussée est nécessaire. La délimitation verticale des impacts a été réalisée au puits P13369608Q1, mais la délimitation latérale est incomplète. Les efforts visant à réaliser une délimitation latérale au niveau du puits de surveillance KER22_689 situé en aval ont échoué en 2022 en raison de l'assèchement du puits.

Alors que le puits de surveillance de conformité KER14-004, situé en aval de l'aire des morts-terrains Ouest, est à sec depuis 2021, une tendance à la hausse des concentrations de sulfate et un dépassement de la LSC en sodium ont été signalés en 2020.

5.4.3 Sommaire de la qualité des eaux souterraines dans le cadre de la surveillance régionale

La concentration d'acides naphthéniques dans le puits KH10-022, situé au nord du site, était élevée par rapport aux données de référence en 2020; le puits n'a pas été échantillonné en 2021 en raison de problèmes d'accès. En 2022, des concentrations d'acides naphthéniques inférieures à la limite de détection à signaler ont été relevées dans le puits KH10-022.

La chimie des paramètres indicateurs clés signalée dans les puits de surveillance du Quaternaire et de la région de fond a continué de refléter les données de référence, et les tendances à la hausse des concentrations de paramètres indicateurs clés ou les dépassements de la LSC ont été attribués à la variation naturelle, sauf dans les puits KH09-057 et KH09-055, situés à environ 540 m au nord de la limite du site.

Le puits KH09-057 a été échantillonné en 2022 pour délimiter les impacts signalés dans le puits KH11-179 (section 7.5.2). Les LSC n'étant pas disponibles pour cet emplacement, les concentrations des paramètres indicateurs clés dans les eaux souterraines ont été examinées pour déterminer les impacts en appliquant les lignes directrices ABT1 (récepteur potentiel de la rivière Firebag) et d'une comparaison avec les données historiques au puits KH09-055. Les concentrations de MDT-c et en sulfate dépassaient les lignes directrices ABT1 référencées (tableau 6A). En conséquence, le puits KH09-055, situé sur la même plateforme d'exploitation que le puits KH09-057, mais creusé à un intervalle qui n'est pas aussi profond que celui du puits KH09-057, a été échantillonné et comparé aux lignes directrices ABT1. À l'instar des résultats obtenus pour le puits KH09-057, les concentrations de MDT-c et de sulfate ont dépassé la ligne directrice ABT1 de référence (tableau 6A). Par rapport aux données historiques (2009) sur la qualité des eaux souterraines recueillies au puits KH09-055, plusieurs paramètres indicateurs clés ont augmenté en 2022. Notamment, des concentrations élevées de chlorure et de sodium ont été mesurées au puits KH09-057 en 2022 par rapport aux résultats historiques, tandis qu'au puits KH09-055, ces concentrations de paramètres indicateurs clés étaient semblables aux données historiques.

Les premiers résultats de la chimie des eaux souterraines suggèrent que les impacts aux puits KH09-057 et KH09-055 pourraient être principalement causés par des produits d'oxydation des minéraux sulfurés qui ont migré hors du site dans les eaux souterraines au puits KH09-055 et par un mélange d'oxydation des minéraux sulfurés et de suintement de l'eau utilisée pour l'extraction au puits KH09-057, qui est criblé à travers un intervalle plus profond. En supposant que les impacts des suintements de l'eau utilisée pour l'extraction soient arrivés au puits KH11-179 au printemps 2020 et au puits KH09-057 à l'automne 2022, un taux de transport des contaminants d'au moins 270 m/an a été déduit, ce qui confirme les estimations de la vitesse des eaux souterraines de 300 m/an dans cette zone (section 4.1.2).

5.5 Conclusions sur le Réseau réglementaire de puits de surveillance

En 2022, les changements de la qualité des eaux souterraines au sein du Réseau réglementaire, à l'exclusion des puits de surveillance de conformité de l'aire de résidus externe, ont été attribués aux variations naturelles des eaux souterraines, aux suintements de l'eau utilisée pour l'extraction ou aux processus hydrogéochimiques.

Une tendance à la hausse du sodium est observée dans le puits de surveillance KH12-161, situé à proximité d'une voie de mine au centre du site, depuis son installation en 2012 et ne peut être attribuée à une cause précise. Compte tenu de l'emplacement de ce puits, immédiatement en amont de la mine, des tendances à la baisse et des paramètres indicateurs clés conformes aux lignes directrices ABT1, on s'attend à ce que toute eau souterraine potentiellement affectée dans cette zone soit finalement captée dans le système en boucle fermée et aucune investigation supplémentaire n'a été effectuée.

Des dépassements de la LSC pour le sodium et le sulfate ont été enregistrés sur deux emplacements de surveillance (puits KH12-126 et KH12-160) situés immédiatement à côté du site de l'usine et en aval de l'aire de résidus externe Ouest. Les emplacements des puits et les augmentations correspondantes des niveaux des eaux souterraines suggèrent que l'augmentation du sulfate et du sodium peut avoir été causée par des suintements de l'eau utilisée pour l'extraction de l'aire de résidus externe Ouest; cependant, des données supplémentaires sont nécessaires pour confirmer les dépassements et déterminer la source.

En 2022, les tendances à la hausse ou les dépassements de la LSC pour certains paramètres indicateurs clés se sont poursuivis au puits de surveillance de conformité KH09-076, installé dans le chenal de Kearl. Les changements dans la chimie au puits KH09-076 ont été interprétés comme étant causés par un mélange avec de l'eau provenant d'un aquifère plus profond (comme l'aquifère de fond ou du Dévonien) qui pourrait être dû à des changements dans le régime des eaux souterraines de la région associés à l'assèchement des morts-terrains, à la dépressurisation des aquifères du Dévonien et de fond, ou à l'expansion de la mine.

Les dépassements de la LSC pour le sodium, le sulfate et les MDT-c enregistrés au puits KH09-093, situé à la pile de stockage de matériaux de récupération 8, peuvent être le résultat de suintements de l'eau utilisée pour l'aire de résidus externe ou d'une infiltration d'eau de surface provenant de la pile de stockage de matériaux de récupération 8. Les dépassements de la LSC pour le sodium et le sulfate au puits P10239708Q sont le résultat d'une source inconnue.

On a signalé, dans un puits de conformité (P13369608Q) et sept puits de surveillance (KER18_001, KER18_004, KER18_005, KH13-004, KH13-005, KHY22_618 et PCL3-Q1) situés sur l'ensemble du site, une augmentation des paramètres indicateurs clés ou des dépassements de la LSC, ou des dépassements des lignes directrices ABT1, qui pourraient être le résultat de réactions hydrogéochimiques, y compris les résultats notables suivants :

- les concentrations de sulfate et de MDT-c dans le puits de surveillance de conformité P13369609Q, situé en aval du dépôt des morts-terrains Ouest à environ 100 m de la rivière Muskeg, ont été signalées à des concentrations supérieures à trois fois leurs lignes directrices ABT1 respectives référencées. En outre, certaines concentrations de métaux dissous étaient élevées en 2022 par rapport aux données historiques et dépassaient les lignes directrices ABT1;

- des concentrations de sulfate supérieures à sept fois la ligne directrice ABT1 référencée et des concentrations de MDT-c supérieures à cinq fois cette ligne directrice ont été signalées à l'emplacement de surveillance peu profond KHY22_618, situé au nord de l'aire des morts-terrains Nord, en 2022. L'ammoniac total (sous forme de N) et plusieurs métaux dissous ont également dépassé la ligne directrice ABT1.

Les dépassements de la ligne directrice ABT1 signalés dans deux puits de surveillance du Réseau régional (KH09-055 et KH09-057) situés à environ 540 m au nord des limites du site ont été interprétés comme étant causés par l'oxydation des minéraux sulfurés ou des suintements de l'eau utilisée pour l'extraction.

Tous les autres dépassements de la ligne directrice ABT1, les dépassements de la LSC ou les tendances à la hausse ont été interprétés comme étant associés à des variations naturelles.

6 Sommaire du Programme de l'aire de résidus interne 1

L'aire de résidus interne 1 est une aire de séquestration des résidus prévue pour la zone de la fosse Nord après l'épuisement des réserves. L'aire de résidus interne 1 est destinée à recevoir les flux de résidus de l'unité de récupération des solvants de résidus et des résidus de sable grossier.

Le réseau de surveillance de l'aire de résidus interne 1 est un nouveau réseau, actuellement constitué de six puits de surveillance situés le long du côté ouest de la partie nord de la fosse Nord de Kearl (tableau 2; figure 6). Les puits de surveillance de l'aire de résidus interne 1 ont été installés au cours de l'hiver 2021-2022 afin de permettre la collecte de données de référence avant le dépôt des résidus.

Les puits de surveillance des sources actuels de l'aire de résidus interne 1 sont situés en aval et à proximité de la barrière ou de la paroi moulée proposée, à l'ouest de la future aire de résidus interne 1. L'objectif des puits de surveillance des sources de l'aire de résidus interne 1 est de surveiller l'efficacité des mesures d'atténuation proposées pour l'aire de résidus interne 1 (comme la barrière ou la paroi moulée), de relever les changements dans la qualité de l'eau directement en aval du futur système de gestion des suintements et de documenter la gestion des suintements potentiels d'eau utilisée pour l'extraction, tel que détaillé dans le Plan de surveillance et d'intervention proposé pour l'aire de résidus interne 1 (Impériale 2022c, en attente de l'approbation de l'organisme de réglementation de l'énergie de l'Alberta).

En 2022, les puits de surveillance des sources de l'aire de résidus interne 1 se trouvaient dans la phase de collecte des données de référence et devaient faire l'objet d'un échantillonnage trimestriel en 2022. Toutefois, en raison des concentrations élevées de H₂S dans certains nouveaux emplacements de conformité installés dans la même zone, la fréquence d'échantillonnage a été plus faible dans la plupart d'entre eux, en raison du temps nécessaire pour gérer les risques pour la santé et la sécurité (tableau 2).

Une description des méthodes utilisées sur le terrain pour surveiller et échantillonner les puits de surveillance des eaux souterraines est fournie dans le Plan de surveillance des eaux souterraines (Advisian 2018a). Les paramètres mesurés sur le terrain (température, pH et CE) ont été mesurés au moment de l'échantillonnage des eaux souterraines et sont présentés dans le tableau 5. Les résultats des analyses de laboratoire sont présentés dans les tableaux 6A à 11A. Les rapports d'analyse des laboratoires et les listes de contrôle de la qualité des données ont été conservés et sont disponibles sur demande.

Étant donné que tous les puits de surveillance des sources de l'aire de résidus interne 1 sont actuellement dans la phase de collecte des données de référence, les limites de contrôle n'ont pas pu être calculées et l'analyse des tendances n'a pas été réalisée. Les limites de contrôle seront calculées et une analyse des tendances sera effectuée et présentée dans les prochains rapports une fois que les données de référence auront été établies. La période de collecte des données de référence devrait s'achever au quatrième trimestre 2024.

7 Sommaire des eaux souterraines de l'aire de résidus externe

La surveillance, l'évaluation et l'intervention associées au programme de surveillance et d'intervention sur le SIS de l'aire de résidus externe (aires de résidus externes Est et Ouest) ont été menées comme présenté en détail dans le Plan de surveillance et d'intervention sur le SIS de l'aire de résidus externe (Impériale 2015) et les modifications ou ajouts associés (Advisian 2018a). L'étendue des travaux de surveillance et d'intervention sur le SIS de l'aire de résidus externe en 2022 comprenait les éléments suivants :

- collecte manuelle de données sur le niveau et la qualité des eaux souterraines à des fins de surveillance opérationnelle (responsabilité de Desika);
- enregistrement télémétrique des paramètres de terrain des eaux souterraines (p. ex., niveaux des eaux souterraines, température et CE) pour aider à détecter d'éventuels suintements de l'eau utilisée pour l'extraction (responsabilité de l'Impériale);
- identification des écarts par rapport à la variabilité naturelle de la qualité des eaux souterraines qui déclenchent le Plan d'intervention sur le SIS de l'aire de résidus externe et le Plan d'intervention sur les eaux souterraines, le cas échéant (responsabilité de Desika; Impériale 2015; MAE 2018);
- activation, entretien, évaluation des performances et ajustements connexes des puits de pompage existants, et forage et installation de nouveaux puits de pompage selon les besoins (responsabilité Impériale).

Les puits de surveillance du Réseau de surveillance du SIS de l'aire de résidus externe sont regroupés en zones géographiques (zones du SIS de l'aire de résidus externe) afin d'améliorer l'efficacité et de gérer d'importants volumes de données analytiques. À ce jour, sept zones de qualité de l'eau ont été établies le long des périmètres nord et est de l'aire de résidus externe, chacune ayant des objectifs de contrôle (OC) zonal et des LCL assignés pour les paramètres indicateurs clés du SIS de l'aire de résidus externe (figure 7; Impériale 2015).

Une description des méthodes utilisées sur le terrain pour surveiller et échantillonner les puits de surveillance des eaux souterraines est fournie dans le Plan de surveillance des eaux souterraines (Advisian 2018a). Les résultats sont présentés dans les sections suivantes, à l'exception des données télémétriques, qui sont stockées et conservées dans une base de données par l'Impériale. Les coupes de sondage des nouveaux puits ajoutés au Programme de surveillance du SIS de l'aire de résidus externe en 2022 sont fournies à l'annexe 4. Les coupes de sondage pour les puits de surveillance forés en 2022 n'étaient pas disponibles au moment de la rédaction de ce rapport; elles seront présentées sous forme d'addenda dès qu'elles seront connues.

Au total, huit puits du SIS de l'aire de résidus externe ont été activés en 2022. L'installation et l'activation de ces puits sont abordées plus en détail dans la section 7.6. Douze puits de pompage au total étaient actifs en 2022 (figure 7).

7.1 Aperçu du Réseau de surveillance du SIS de l'aire de résidus externe 2022

En 2022, le Réseau de surveillance du SIS de l'aire de résidus externe comprenait 65 puits de surveillance (figure 7 et tableau 2). Les fréquences de surveillance et d'échantillonnage étaient semestrielles, trimestrielles ou mensuelles en fonction de l'état et de l'objectif du puits de surveillance (tableau 2).

Les écarts par rapport au calendrier d'échantillonnage initial sont les suivants :

- un ou plusieurs échantillons n'ont pas été prélevés sur les puits KHO10-015, KHO10-017, KHY22_603 et KHY22_620 pour des raisons de calendrier, de conditions météorologiques ou de sécurité (tableau 2);
- le puits KHY22_616 était sec et n'a pas été échantillonné;
- des échantillons supplémentaires ont été prélevés sur le puits KHO10-007 en juillet et en septembre afin d'étudier les résultats anormaux;
- un échantillon supplémentaire a été prélevé sur le puits KHY14_047 en novembre pour confirmer un dépassement du taux de l'OC.

7.2 Changements apportés au Programme de surveillance du SIS de l'aire de résidus externe en 2022

En 2022, les objectifs de contrôle (OC) zonal ont été mis à jour sur la base des lignes directrices relatives à l'assainissement des eaux souterraines ABT1 en tenant compte du plan d'eau récepteur potentiel le plus proche pour chaque zone du SIS de l'aire de résidus externe (annexe 8). Des précisions sur les lignes directrices sélectionnées sont fournies à la section 5.3.

Les plans d'eau récepteurs potentiels ont été affectés aux zones de surveillance de l'aire de résidus externe comme suit :

- zones de surveillance de l'aire de résidus externe 1, 3 et 4 : la rivière Firebag et ses affluents;
- zone de surveillance de l'aire de résidus externe 2 : le plan d'eau 4 et la rivière Firebag et ses affluents ont été considérés comme des plans d'eau récepteurs potentiels et la ligne directrice la plus prudente a été utilisée;
- zone de surveillance de l'aire de résidus externe 5 : le plan d'eau 3 et la rivière Firebag et ses affluents ont été considérés comme des plans d'eau récepteurs potentiels et la ligne directrice la plus prudente a été utilisée;
- zones de surveillance de l'aire de résidus externe 6 et 7 : Plan d'eau 3.

Les changements suivants ont été apportés au Réseau de surveillance du SIS de l'aire de résidus externe et aux fréquences d'échantillonnage en 2022 :

- le puits de surveillance KHS13-017 de l'aire de résidus externe est passé d'un emplacement de surveillance à un puits de pompage actif de l'aire de résidus externe en octobre;
- 30 puits de surveillance ont été ajoutés au programme d'aire de résidus externe comme suit :

- 14 puits de surveillance, KHY22_604 à KHY22_617, ont été installés et ajoutés au programme de surveillance de l'aire de résidus externe dans le cadre de l'étude sur les précipités de fer (sections 1.2 et 8);
 - huit puits de surveillance (KHY22_620, KHY22_621, KHY22_623, KHY22_624, KHY22_625, KHY22_626, KHY22_627 et KHY22_628) ont été installés et ajoutés au Programme de surveillance de l'aire de résidus externe dans le but de délimiter verticalement les suintements de l'eau utilisée pour l'extraction et les effets de l'oxydation des minéraux sulfurés à la source;
 - le puits KHY22_603 a été installé dans le coin nord-ouest de l'aire de résidus externe Ouest en remplacement du puits de surveillance P14209707Q1 endommagé, et la fréquence d'échantillonnage a été augmentée à une fréquence mensuelle en réponse à des dépassements de l'OC;
 - sept puits de surveillance (KHO10-015, KHY16_002, KHY16_003, KHY16_005, KHY16_006, KHY16_008 et KHY16_013) ont été ajoutés au programme de surveillance de l'aire de résidus externe afin d'améliorer la couverture latérale du réseau.
- La fréquence d'échantillonnage a été portée à une fréquence mensuelle dans quatre puits de surveillance des résidus externes (KH13-008, KHY14_018, KHY14_025 et P15219707Q1) dans le cadre du Plan d'intervention sur les eaux souterraines.

7.3 Mise à jour du modèle numérique hydrogéologique de la zone de résidus externe

Un modèle numérique a été réalisé par Golder Associates Inc. pour la moitié nord de l'aire de résidus externe en 2022. L'objectif du modèle numérique était de simuler les trajets des eaux souterraines à partir de l'aire de résidus externe afin d'estimer le volume d'eau pompé depuis le SIS de l'aire de résidus externe et le nombre de puits de pompage nécessaires.

Une fois le modèle numérique achevé, une étude géologique a été réalisée par l'Impériale pour la moitié sud de l'aire de résidus externe et comprenait un examen des données provenant de 206 forages (Impériale 2023a). L'objectif de l'étude géologique était de confirmer les faciès de l'aquitard et de l'aquifère et d'affiner l'unité Pfsa (sable fluvio-glaciaire du Quaternaire) en différents groupes sur la base du pourcentage de matériau à grain fin calculé à l'aide de données de laboratoire et de terrain (Impériale 2023a).

7.4 Critères d'évaluation

Les données de surveillance de conformité de l'aire de résidus externe présentées à la section 7.5 ont été évaluées comme indiqué à la section 5.3.

Les données sur la chimie des eaux souterraines du Réseau de surveillance du SIS de l'aire de résidus externe ont été évaluées comme détaillé dans le Plan de surveillance et d'intervention du SIS de l'aire de résidus externe (Impériale 2015). Les concentrations des paramètres indicateurs clés ont été comparées aux OC élaborés pour chaque zone du SIS de l'aire de résidus externe et une analyse des tendances a été réalisée lorsque des données suffisantes étaient disponibles, en utilisant la méthodologie présentée dans

le Plan de surveillance et d'intervention du SIS de l'aire de résidus externe (Impériale 2015), avec des détails supplémentaires inclus dans le Plan de surveillance des eaux souterraines (Advisian 2018a).

Les scénarios suivants ont déclenché une investigation dans le cadre du Plan d'intervention sur les eaux souterraines (Impériale 2015) et sont présentés dans les prochaines sections :

- les concentrations ou valeurs des paramètres indicateurs clés sont restées dans les limites de l'OC, mais ont eu tendance à augmenter (résultat statistiquement significatif) ou, dans le cas du pH, à augmenter ou à diminuer (résultat statistiquement significatif);
- les concentrations ou valeurs des paramètres indicateurs clés dépassaient l'OC ou, dans le cas du pH, dépassaient l'OC ou la LCL zonale.

Les tendances à la baisse des concentrations des paramètres indicateurs clés, à l'exception du pH, sont actuellement considérées comme naturelles et favorables à la protection de l'environnement, et ne sont donc pas abordées dans le présent document. Les dépassements ponctuels d'un seul paramètre peuvent représenter une variation naturelle et ne pas être abordés plus en détail dans le présent document, mais seront confirmés lors du prochain échantillonnage conformément au Plan de surveillance du SIS de l'aire de résidus externe (Impériale 2015).

Les lignes directrices relatives à l'assainissement des eaux souterraines ABT1 pour l'utilisation naturelle des terres et des sédiments à grains grossiers (AEP 2022) ont été utilisées à des fins de référence et pour définir les OC (section 7.2; annexe 8), comme décrit dans le Plan de surveillance et d'intervention de l'aire de résidus externe (Impériale 2015) et les modifications ou ajouts associés (Advisian 2018a).

Une liste des 16 paramètres indicateurs clés de surveillance de l'aire de résidus externe, utilisés comme indicateurs primaires de changement de la qualité des eaux souterraines, est fournie ici (Impériale 2015) :

- pH;
- CE;
- MDT calculées (MDT-c);
- chlorure;
- sodium;
- sulfate;
- ammoniac total (sous forme de N);
- bore dissous;
- pyrène;
- benzène;
- toluène;
- éthylbenzène;
- xylènes totaux;
- HCP F1 (C6-C10) – BTEX;

- HCP F2 (C11-C16);
- acides naphthéniques.

7.5 Résultats et discussion

Les paramètres mesurés sur le terrain et les résultats des analyses en laboratoire sont présentés dans le tableau 5 et les tableaux 6A à 11A, respectivement. Les analyses statistiques réalisées en 2022 pour le Réseau de conformité de l'aire de résidus externe, notamment les dépassements de la LSC, les valeurs inférieures à la LCL et les analyses de tendances, sont résumées dans le tableau A6A-1 (annexe 6). Les analyses statistiques réalisées en 2022 pour le Réseau de surveillance du SIS de l'aire de résidus externe, notamment les valeurs inférieures à la LCL zonale, les dépassements de l'OC et les analyses de tendances, sont résumées dans le tableau A6B-1 (annexe 6). Les cartes de contrôle des paramètres indicateurs clés figurent à l'annexe 7.

Au total, huit nouveaux puits de surveillance (KHY22_620, KHY22_621 et KHY22_623 à KHY22_628) ont été installés en amont des puits de pompage de l'aire résidus externe, sur la digue nord de l'aire de résidus Ouest, afin de faciliter la délimitation verticale des contaminants. Ces puits de surveillance étant situés en amont du réseau de pompage du SIS, le Plan d'intervention sur les eaux souterraines n'a pas été déclenché pour des dépassements d'OC ou des tendances à la hausse dans ces puits de surveillance, et les résultats ne sont pas abordés plus en détail dans les sous-sections suivantes. Les concentrations les plus élevées de CE, de MDT-c et de sulfate ont été signalées au puits KHY22_627. Les concentrations les plus élevées de sodium et de chlorure ont été relevées dans le puits KHY22_626, qui présentait également des concentrations élevées de CE, de MDT-c et de sulfate. La plus forte concentration d'acides naphthéniques dans ces puits de délimitation verticale a été signalée dans le puits KHY22_625.

Les dépassements d'OC dans les puits de surveillance du Réseau de surveillance du SIS de l'aire de résidus externe et les dépassements de LSC dans les puits de surveillance du Réseau de conformité de l'aire de résidus externe, ou les tendances à la hausse identifiées dans les deux réseaux ont généralement été attribués à l'un des facteurs suivants ou à une combinaison de ceux-ci : variation naturelle de la qualité des eaux souterraines, oxydation des minéraux sulfurés (se produisant dans les dépôts de résidus miniers grossiers), ou suintements de l'eau utilisée pour l'extraction.

Les puits de surveillance présentant des dépassements ou des tendances à la hausse attribués à des variations naturelles de la chimie des eaux souterraines comprennent les puits KHY14_022 et P16239707Q du Réseau de conformité de l'aire de résidus externe et les puits KH13-006 et KHY14_037 du Réseau de surveillance du SIS de l'aire de résidus externe. Ces emplacements ont été interprétés comme présentant des variations naturelles de la qualité des eaux souterraines du fait que des tendances à la hausse ont été observées pour un nombre limité de paramètres indicateurs clés et qu'elles étaient indépendantes de l'emplacement spatial. En outre, les concentrations des paramètres indicateurs clés présentant des tendances à la hausse étaient généralement inférieures à leurs LSC ou OC respectifs et, dans certains cas, pouvaient être liées à la présence naturelle de bitume dans le crible à puits (section 5.4). Les dépassements dus à des variations naturelles de la qualité des eaux souterraines n'ont pas déclenché l'application du Plan d'intervention sur les eaux souterraines et ne sont pas pris en compte dans les sous-sections suivantes.

Les indicateurs des processus hydrogéochimiques, tels que l'oxydation des minéraux sulfurés, étaient généralement des concentrations croissantes de sulfate, de MDT-c et de métaux dissous. Les paramètres qui révèlent généralement la présence d'eau utilisée pour l'extraction sont l'augmentation des acides naphthéniques, des chlorures, des sulfates, de la CE, des MDT-c, du sodium et du bore dissous. Les suintements de l'eau utilisée pour l'extraction et l'oxydation des minéraux sulfurés se sont souvent produits aux mêmes emplacements, et la chimie des eaux souterraines est susceptible de représenter les impacts de ces deux processus. Les diagrammes de Piper ont été utilisés pour faciliter l'interprétation de la source ou de la source potentielle des impacts sur les eaux souterraines. Les interprétations présentées dans les sous-sections suivantes peuvent faire apparaître une source dominante apparente; cependant, il est possible que les deux processus se produisent simultanément.

Les sous-sections suivantes résument les résultats de la chimie des eaux souterraines ou les actions associées aux emplacements de surveillance dans les Réseaux de surveillance du SIS et de conformité de l'aire de résidus externe actuellement étudiés dans le cadre du Plan d'intervention sur les eaux souterraines (Advisian 2018a; Imperial 2015), y compris le suivi des éléments déclencheurs identifiés en 2021.

7.5.1 Zone 1 du Réseau du SIS de l'aire de résidus externe

En 2021, une tendance à la hausse des concentrations de sulfate a été identifiée au puits KHY14_006; cependant, les concentrations ont diminué en 2022 pour atteindre des concentrations représentatives des données de référence et aucune tendance ou aucun dépassement n'a été observé en 2022.

Les échantillons prélevés sur le puits KHO10-007 en avril et en juin 2022 ont révélé des dépassements d'OC pour le pH et la CE. Les résultats ont ensuite été considérés comme des valeurs aberrantes en raison de problèmes de qualité des données (section 11). Les échantillons prélevés ultérieurement en 2022 étaient conformes aux concentrations de référence. Des bilans ioniques et des pH élevés associés à de fortes concentrations d'hydroxyde dans certains échantillons peuvent avoir été causés par un coulis de ciment pénétrant dans le puits à la suite d'une rupture de tubage. Des investigations plus poussées sur l'intégrité des puits sont nécessaires.

Les dépassements d'OC et les tendances à la hausse dans plusieurs puits de surveillance de la zone 1 du SIS de l'aire de résidus externe (figure 9B) ont été interprétés comme étant causés, ou potentiellement causés, par l'oxydation des minéraux sulfurés ou un suintement de l'eau utilisée pour l'extraction en 2022 (tableau 7-1). Un échantillonnage de confirmation est nécessaire à deux emplacements pour valider les concentrations élevées des paramètres indicateurs clés, qui ont donc été interprétés comme pouvant être causés par des suintements de l'eau utilisée pour l'extraction ou l'oxydation des minéraux sulfurés en 2022, comme suit :

- une tendance à la hausse de la concentration de sulfate a été signalée au puits KHS10-009 et peut être attribuée à l'oxydation des minéraux ou à un suintement de l'eau utilisée pour l'extraction, mais les données étaient limitées et la concentration élevée de sulfate au-dessus de la plage de référence signalée à l'automne 2022 n'a pas été confirmée (tableau 7-1 et A6B-1);
- les tendances à la hausse visibles du sodium et du sulfate, ainsi qu'une nouvelle détection d'acides naphthéniques au puits KHO10_019, peuvent suggérer un suintement de l'eau utilisée pour l'extraction à cet emplacement (figures A7B-7A et A7B-7B).

Aucun dépassement du paramètre indicateur clé LSC ni aucune tendance à la hausse statistiquement significative n'ont été signalés dans les puits de conformité de l'aire de résidus externe en aval du réseau de surveillance du SIS de cette dernière. Toutefois, une tendance visuelle à la hausse des concentrations d'acides naphténiques à l'aire de résidus externe du puits KER22_671, situé près de la limite nord du site, pourrait indiquer des suintements de l'eau utilisée pour l'extraction. La plupart des paramètres indicateurs clés sont restés conformes aux lignes directrices ABT1 au puits KER22_671 en 2022, à l'exception de l'ammoniac total (sous forme de N; tableau 11A; figures A7A-52A et A7A-52B). Comme la plupart des paramètres indicateurs clés étaient conformes aux lignes directrices ABT1 et que la tendance des acides naphténiques était visuelle, le Plan d'intervention sur les eaux souterraines n'a pas été déclenché au puits KER22_671 en 2022. De multiples tendances visuelles à la hausse des paramètres indicateurs clés et un dépassement de la ligne directrice ABT1 pour les MDT-c ont déclenché le Plan d'intervention sur les eaux souterraines à l'emplacement KER22_672 en 2022, qui est situé sur la même plateforme d'exploitation que le puits KER22_671, mais à une profondeur moindre (figures A7A-53A et A7A-53B).

Tableau 7-1 Emplacements de surveillance des eaux souterraines de la zone 1 du SIS de l'aire de résidus externe étudiés dans le cadre du Plan d'intervention sur les eaux souterraines en 2022.

Identification du puits	Paramètres dépassant les critères d'évaluation en 2022 et concentration maximale	Critères d'évaluation (OC ou ABT1)	Paramètres dont la tendance à la hausse est statistiquement importante en 2022	Paramètres avec tendances visuelles à la hausse	Source d'impacts interprétée	Tendances précédemment identifiées/dépassement d'OC	Étape du Plan d'intervention sur les eaux souterraines 2022
Réseau de surveillance du SIS de l'aire de résidus externe							
KH13-008	MDT-c : 860 mg/l (nov.)	OC : 845 mg/l	MDT-c, sulfate de sodium, bore	CE	Eau utilisée pour l'extraction/oxydation de minéraux sulfurés	Tendances statistiques à la hausse : CE, MDT-c, sodium et sulfate.	Mesures d'atténuation*
	Sulfates : 280 mg/l (oct.)	OC : 185 mg/l					
KHO10-017	Acides naphthéniques : 8,1 mg/l (sept.)	OC : 5,00 mg/l	MDT-c, chlorure, sodium, sulfate et bore	CE	Eau utilisée pour l'extraction	Dépassements d'OC : acides naphthéniques. Tendance statistique à la hausse : CE, MDT-c, sodium, sulfate et bore.	Mesures d'atténuation
KHS10-009	S.O.	S.O.	Sulfates	S.O.	Eau utilisée pour l'extraction potentielle	S.O.	Vérification;
KHY14_008	S.O.	S.O.	Sulfates	CE et MDT-c	Oxydation de minéraux sulfurés potentielle	Tendance statistique à la hausse : sulfate.	Évaluation
P14209707Q1	CE : 1800 µS/cm (sept.)	OC : 1352 µS/cm	CE, MDT-c, chlorure, sodium, sulfate, pyrène et HCP F2	Acides naphthéniques	Eau utilisée pour l'extraction/oxydation de minéraux sulfurés	Dépassements d'OC : CE, MDT-c, sulfate, pyrène, HCP F2 et acides naphthéniques. Tendances statistiques à la hausse : CE, MDT-c, chlorure, sodium, sulfate et pyrène.	Délimitation/évaluation
	MDT-c : 1400 mg/l (sept.)	OC : 845 mg/l					
	Sulfates : 760 mg/l (sept.)	OC : 185 mg/l					
KHY22_603	CE : 1700 mg/l (oct.)	OC : 1352 µS/cm	S.O.	CE, MDT-c, sulfate.	Oxydation des minéraux sulfurés, eau utilisée pour l'extraction potentielle	S.O.	Délimitation/évaluation
	MDT-c : 1300 mg/l (nov.)	OC : 845 mg/l					
	Sulfates : 670 mg/l (nov.)	OC : 185 mg/l					
	Pyrène : 0,0035 mg/l (août)	OC : 0,0014 mg/l					
	HCP F2 : 11 mg/l (Août)	OC : 3,78 mg/l					
	Acides naphthéniques : 7,2 mg/l (août)	OC : 5,00 mg/l					

Identification du puits	Paramètres dépassant les critères d'évaluation en 2022 et concentration maximale	Critères d'évaluation (OC ou ABT1)	Paramètres dont la tendance à la hausse est statistiquement importante en 2022	Paramètres avec tendances visuelles à la hausse	Source d'impacts interprétée		Tendances précédemment identifiées/dépassement d'OC	Étape du Plan d'intervention sur les eaux souterraines 2022
KHY22_614	CE : 1400 mg/l (nov.)	OC : 1352 µS/cm	S.O.	CE, MDT-c et sulfate	Oxydation de minéraux sulfurés	S.O.	Évaluation	
	MDT-c : 880 mg/l (nov.)	OC : 845 mg/l						
KHY22_615 mg/l	CE : 1900 µS/cm (nov.)	OC : 1352 µS/cm	S.O.	Sodium	Eau utilisée pour l'extraction, oxydation de minéraux sulfurés, source potentielle d'hydrocarbures inconnue	S.O.	Délimitation/évaluation	
	MDT-c : 1500 mg/l (nov.)	OC : 845 mg/l						
	Sulfates : 690 mg/l (sept.)	OC : 185 mg/l						
	Benzène : 0,16 mg/l (août)	OC : 0,0043 mg/l						
	Toluène : 0,092 mg/l (août)	OC : 0,018 mg/l						
	Éthylbenzène : 0,0056 mg/l (août)	OC : 0,0020 mg/l						
Xylènes totaux : 0,039 mg/l (août)	OC : 0,017 mg/l							
Conformité de l'aire de résidus externe								
KER22_672	MDT-c : 550 mg/l (oct.)	ABT1 : 500 mg/l	S.O.	Chlorure, sodium, bore, MDT-c	Eau utilisée pour l'extraction potentielle	S.O.	Mesures d'atténuation	
	Ammoniac total (sous forme de N) : 0,35 mg/l	ABT1 : 0,045 mg/l						

* Les mesures d'atténuation du SIS de l'aire de résidus externe sont conçues pour capter les suintements de l'eau utilisée pour l'extraction, et leur efficacité pour capter d'autres impacts (p. ex., l'oxydation des minéraux sulfurés) n'est pas connue à l'heure actuelle.

7.5.2 Zone 2 du Réseau du SIS de l'aire de résidus externe

Les dépassements d'OC et les tendances à la hausse qui ont déclenché le Plan d'intervention sur les eaux souterraines ont été constatés dans les concentrations ou valeurs des paramètres indicateurs clés sur un total de huit emplacements de la zone 2 du Réseau de surveillance du SIS de l'aire de résidus externe (tableau 7-2; figure 9B). Les dépassements et les tendances à la hausse ont été interprétés comme étant causés par des suintements de l'eau utilisée pour l'extraction ou par une combinaison de suintements de l'eau utilisée pour l'extraction et d'oxydation des minéraux sulfurés (tableau 7-2).

Les concentrations des paramètres indicateurs clés les plus élevées dans le Réseau de surveillance de l'aire de résidus externe ont été mesurées aux puits KHY14_025 et KHY14_026, qui sont proches des puits de pompage actifs KHS13-022, KHS13-023, et KHY15_008 de l'aire de résidus externe (figure 7). En raison de la proximité des puits de surveillance par rapport aux puits de pompage, les concentrations étaient très variables.

Les dépassements des lignes directrices ABT1 ou de la LSC, ou les tendances à la hausse dans cinq puits de conformité de l'aire de résidus externe localisés le long de la limite nord du site dans la zone 2 du SIS de l'aire de résidus externe, suggèrent des impacts dus au suintement de l'eau utilisée pour les extractions ou à une combinaison du suintement de l'eau utilisée pour les extractions et de l'oxydation des minéraux sulfurés (tableau 7-2; figure 9A).

Tableau 7-2 Emplacements de surveillance des eaux souterraines de la zone 2 du SIS de l'aire de résidus externe étudiés dans le cadre du Plan d'intervention sur les eaux souterraines en 2022.

Identification du puits	Paramètres dépassant les critères d'évaluation en 2022 et concentration maximale	Critères d'évaluation (CO/LSC/ABT1)	Paramètres dont la tendance à la hausse est statistiquement importante en 2022	Paramètres avec tendances visuelles à la hausse	Source d'impacts interprétée	Tendances/dépassements précédemment identifiés	Suivi du Plan d'intervention sur les eaux souterraines
Surveillance du SIS de l'aire de résidus externe							
KH13-014	S.O.	S.O.	Sulfates	Sulfate, acides naphthéniques	Eau utilisée pour l'extraction	Tendances visuelles à la hausse : CE, MDT (mesurées), chlorure, sodium et sulfate.	Évaluation
KHY14_018	CE : 1200 µS/cm (juill.)	OC : 972 µS/cm	MDT-c, sulfate de sodium, bore	CE	Eau utilisée pour l'extraction	Dépassement d'OC : CE, MDT-c et sulfate. Tendances statistiques à la hausse : MDT (mesurées), chlorure, sodium, sulfate et acides naphthéniques.	Mesures d'atténuation
	MDT-c : 730 mg/l (nov.)	OC : 608 mg/l					
	Sulfates : 240 mg/l (nov.)	OC : 109 mg/l					
KHY14_023	CE : 1400 µS/cm (mars)	OC : 972 µS/cm	S.O.	S.O.	Eau utilisée pour l'extraction/oxydation de minéraux sulfurés	Dépassement d'OC : CE, MDT-c, sodium, sulfate, acides naphthéniques. Tendance statistique à la hausse : MDT-c, sodium et sulfate.	Mesures d'atténuation*
	MDT-c : 960 mg/l (févr.)	OC : 608 mg/l					
	Sulfates : 430 mg/l (mars)	OC : 109 mg/l					
	Acides naphthéniques : 8,6 mg/l (févr.)	OC : 5,38 mg/l					
KHY14_025	CE : 1800 µS/cm (sept.)	OC : 972 µS/cm	MDT-c, sulfate et bore	CE	Eau utilisée pour l'extraction	Dépassements d'OC : CE, MDT-c, sodium, sulfate et acides naphthéniques.	Mesures d'atténuation
	MDT-c : 1300 mg/l (sept.)	OC : 608 mg/l					
	Sodium : 220 mg/l (août)	OC : 170 mg/l					
	Sulfates : 610 mg/l (sept.)	OC : 109 mg/l					
	Bore : 1,4 mg/l (sept.)	OC : 1,28 mg/l					
	Acides naphthéniques : 12 mg/l (déc.)	OC : 5,38 mg/l					
KHY14_026	CE : 1700 µS/cm (déc.)	OC : 972 µS/cm	CE, MDT-c, chlorure, sodium, sulfate, bore et acides naphthéniques	S.O.	Eau utilisée pour l'extraction/oxydation de minéraux sulfurés	Dépassements d'OC : CE, MDT-c, sodium, sulfate, bore et acides naphthéniques.	Mesures d'atténuation*
	MDT-c : 1200 mg/l (déc.)	OC : 608 mg/l					
	Sodium : 210 mg/l (déc.)	OC : 170 mg/l					
	Sulfates : 610 mg/l (déc.)	OC : 109 mg/l					
	Acides naphthéniques : 11 mg/l (déc.)	OC : 5,38 mg/l					
KHS13-017**	CE : 1100 µS/cm (sept.)	OC : 972 µS/cm	CE, MDT-c, chlorure, sodium, sulfate et acides naphthéniques	S.O.	Eau utilisée pour l'extraction	Dépassements d'OC : acides naphthéniques. Tendance statistique à la hausse : Sulfate.	Mesures d'atténuation
	MDT-c : 690 mg/l (août)	OC : 608 mg/l					
	Sulfates : 240 mg/l (sept.)	OC : 109 mg/l					

Identification du puits	Paramètres dépassant les critères d'évaluation en 2022 et concentration maximale	Critères d'évaluation (CO/LSC/ABT1)	Paramètres dont la tendance à la hausse est statistiquement importante en 2022	Paramètres avec tendances visuelles à la hausse	Source d'impacts interprétée	Tendances/dépassements précédemment identifiés	Suivi du Plan d'intervention sur les eaux souterraines
	Acides naphténiques : 11 mg/l (sept.)	OC : 5,38 mg/l					
KHY21_631	CE : 1200 µS/cm (sept.)	OC : 972 µS/cm	S.O.	S.O.	Eau utilisée pour l'extraction/oxydation de minéraux sulfurés	Dépassements d'OC : CE, MDT-c et sulfate.	Mesures d'atténuation*
	MDT-c : 820 mg/l (sept.)	OC : 608 mg/l					
	Sulfates : 280 mg/l (sept.)	OC : 109 mg/l					
P15219707Q1	Acides naphténiques : 9,9 mg/l (oct.)	OC : 5,38 mg/l	S.O.	S.O.	Eau utilisée pour l'extraction	S.O.	Mesures d'atténuation
	Sulfates : 120 mg/l (oct.)	OC : 109 mg/l	S.O.	S.O.	Eau utilisée pour l'extraction	S.O.	Mesures d'atténuation
Conformité de l'aire de résidus externe							
KHY14_021	MDT-c : 550 mg/l (août et juin)	ABT1 : 500 mg/l	S.O.	Chlorure, sodium, sulfate, bore, MDT-c, acides naphténiques	Eau utilisée pour l'extraction/oxydation de minéraux sulfurés potentielles	S.O.	Mesures d'atténuation*
KER22_673	MDT-c : 530 mg/l (nov.)	ABT1 : 500 mg/l	S.O.	Chlorure, sodium, sulfate, bore, MDT-c.	Eau utilisée pour l'extraction	S.O.	Mesures d'atténuation
	Ammoniac total (sous forme de N) : 0,12 mg/l (avr.)	ABT1 : 0,045 mg/l					
	Acides naphténiques : 9,6 mg/l (oct.)	OC : 5,38 mg/l					
KER22_674	MDT-c : 630 mg/l (déc.)	ABT1 : 500 mg/l	S.O.	S.O.	Eau utilisée pour l'extraction	S.O.	Mesures d'atténuation
KER22_676	Sodium : 240 mg/l (mai)	ABT1 : 200 mg/l	Chlorure, bore, ammoniac total (sous forme d'azote) et acides naphténiques	S.O.	Eau utilisée pour l'extraction/oxydation de minéraux sulfurés	S.O.	Mesures d'atténuation*
	Sulfates : 880 mg/l (sept.)	ABT1 : 128 mg/l					
	MDT-c : 1700 mg/l (sept.)	ABT1 : 500 mg/l					
	Acides naphténiques : 9,4 mg/l (déc.)	OC : 5,38 mg/l					
KH11-179	Chlorure : 15 mg/l (nov.)	LSC : 5,14 mg/l	Sodium, sulfate, bore et MDT-c	Chlorure	Eau utilisée pour l'extraction/oxydation de minéraux sulfurés	LSC : chlorure, sodium, sulfate, bore et MDT-c. Tendance statistique à la hausse : chlorure, sodium, sulfate, bore et MDT-c.	Mesures d'atténuation*
	Sodium : 140 mg/l (nov.)	LSC : 7,89 mg/l					
	Sulfates : 950 mg/l (janv.)	LSC : 29,1 mg/l					
	Bore : 0,76 mg/l (sept.)	LSC : 0,16 mg/l					
	MDT-c : 1800 mg/l (juin)	LSC : 608 mg/l					

* Les mesures d'atténuation du SIS de l'aire de résidus externe sont conçues pour capter les suintements de l'eau utilisée pour l'extraction, et leur efficacité pour capter d'autres impacts (p. ex., l'oxydation des minéraux sulfurés) n'est pas connue à l'heure actuelle.

**Le pompage au puits KHS13-017 a commencé en octobre 2022.

7.5.3 Zone 3 du Réseau du SIS de l'aire de résidus externe

Des dépassements d'OC ont été constatés dans un puits de surveillance dans la zone 3 du Réseau du SIS de l'aire de résidus externe en 2022 (figure 9B; tableau 7-3 et tableau A6B-1).

En 2022, des dépassements d'OC pour la CE, les MDT-c et le sulfate ont été enregistrés au puits KHY16_002. Des concentrations de paramètres indicateurs clés comparables ont été signalées après l'installation du puits en 2016. L'échantillon initial d'eau souterraine prélevé au puits KHY16_002 en 2016 pourrait avoir mis en évidence l'influence de l'oxydation des minéraux sulfurés. Des valeurs comparables de sulfate, de MDT-c et de CE ont été signalées au puits KHY14_029 voisin de 2014 à 2017 et ont été suivies d'une diminution en 2018. La source des concentrations de sulfate, de CE et de MDT-c supérieures à l'OC au puits KHY16_002 est inconnue, mais elle pourrait indiquer des impacts de l'oxydation des minéraux sulfurés.

Les dépassements et les tendances d'OC n'ont pas été relevés au niveau du puits de surveillance KHY14_029 de la zone 3 du SIS de l'aire externe, mais une augmentation des sulfates, des MDT-c et de l'ammoniac total (sous forme de N) a été observée dans le dernier échantillon (automne 2022).

Le puits de surveillance de conformité KH12-130 de l'aire de résidus externe est en aval du puits KHY16_002 et leurs intervalles filtrés se chevauchent, ce qui pourrait entraîner une délimitation latérale des impacts soupçonnés des minéraux sulfurés au puits KHY16_002. L'intervalle de criblage au puits KH12-130 est beaucoup plus long qu'au puits KHY16_002 et les résultats peuvent être dilués par rapport au puits KHY16_002. Des tendances à l'augmentation statistiquement significative du bore dans le puits de conformité KH12-130 de l'aire de résidus externe et une tendance à la hausse potentiellement monotone du sodium peuvent suggérer un suintement potentiel de l'eau utilisée pour l'extraction; toutefois, le type d'eau n'a pas révélé d'influence de l'eau utilisée pour l'extraction.

Tableau 7-3 Emplacements de surveillance des eaux souterraines de la zone 3 du SIS de l'aire de résidus externe étudiés dans le cadre du Plan d'intervention sur les eaux souterraines en 2022.

Identification du puits	Paramètres dépassant les critères d'évaluation en 2022 et concentration maximale	Critères d'évaluation (OC ou LSC)	Paramètres dont la tendance à la hausse est statistiquement importante en 2022	Paramètres avec tendances visuelles à la hausse	Source d'impacts interprétée	Tendances/dépassements précédemment identifiés	Suivi du Plan d'intervention sur les eaux souterraines
Réseau de surveillance du SIS de l'aire de résidus externe							
KHY16_002	CE : 1300 µS/cm (nov.)	OC : 927 µS/cm	S.O.	S.O.	Oxydation de minéraux sulfurés potentielle	S.O.	Évaluation
	MDT-c : 810 mg/l (nov.)	OC : 511 mg/l					
	Sulfates : 200 mg/l (nov.)	OC : 185 mg/l					
Conformité de l'aire de résidus externe							
KH12-130	Bore : 0,14 mg/l (sept.)	LSC : 0,10 mg/l	S.O.	Sodium et bore	À déterminer	LSC – Bore	Évaluation

7.5.4 Zone 4 du Réseau du SIS de l'aire de résidus externe

Des dépassements d'OC ont été relevés dans un seul puits de surveillance de la zone 4 du SIS de l'aire externe (KHY22_613) en 2022 (tableau 7-4; figure 9B).

Les dépassements d'OC observés au puits KHY22_613 pourraient être attribués à des suintements de l'eau utilisée pour l'extraction ou à une source potentielle inconnue d'hydrocarbures. En 2022, le pH a été enregistré en dessous de la LCL zonale et de l'OC et des dépassements de la CE, des MDT-c et de l'ammoniac total (sous forme de N) ont été enregistrés. Des concentrations élevées de sodium, de chlorure, de sulfate, d'HCP F2 et d'acides naphthéniques ont également été signalées par rapport au puits KER18_002 de surveillance du bassin revêtu de surveillance voisin et au puits de surveillance KHY22_612 plus profond de la zone 4 du SIS de l'aire résidus externe. En outre, une tendance à la hausse des concentrations de toluène et des détections d'éthylbenzène ont été signalées, qui n'ont pas été considérées comme naturellement présents sur le site ou comme une indication de suintement de l'eau utilisée pour l'extraction, ce qui suggère une autre source. La délimitation verticale a été réalisée au puits KHY22_612 et les impacts potentiels semblent limités verticalement au remblai dans la zone située au sud du bassin de drainage 4 de l'aire résidus externe Est.

Le puits de surveillance de conformité KH12-131 de l'aire de résidus externe, situé en aval du puits KHY22_613 sur le côté nord du bassin de drainage 4 de l'aire de résidus externe, a enregistré des dépassements de la LSC pour le bore et l'ammoniac (sous forme de N) et des tendances visuelles à la hausse pour le sodium et le bore. Ce puits continue d'être échantillonné, mais les résultats resteront incertains jusqu'à ce qu'un nouveau puits de surveillance puisse remplacer cet emplacement d'échantillonnage, en raison de l'impossibilité de purger complètement le puits. La source des dépassements et des tendances du bore et du sodium au puits KH12-131 est inconnue, mais pourrait être liée à l'état du puits, à une source d'hydrocarbures potentiellement inconnue dans la zone, ou à des suintements de l'eau utilisée pour l'extraction.

Tableau 7-4 Emplacements de surveillance des eaux souterraines de la zone 4 du SIS de l'aire de résidus externe étudiés dans le cadre du Plan d'intervention sur les eaux souterraines en 2022.

Identifica- tion du puits	Paramètres dépassant les critères d'évaluation en 2022 et concentration maximale	Critères d'évaluation (OC ou LSC)	Paramètres dont la tendance à la hausse est statistiquement importante en 2022	Paramètres avec tendances visuelles à la hausse	Source d'impacts interprétée	Tendances/ dépassements précédemment identifiés	Suivi du Plan d'intervention sur les eaux souterraines
Réseau de surveillance du SIS de l'aire de résidus externe							
KHY22_613	pH : 6,87 (sept.)	LIC par zone : 7,17	S.O.	Toluène	Source potentielle d'hydrocarbures inconnus/eau utilisée pour l'extraction potentielle	S.O.	Évaluation
	CE : 1400 (août, sept., oct.) µS/cm	OC : 1133 µS/cm					
	MDT-c : 960 mg/l (sept.)	OC : 670 mg/l					
	Ammoniac total (sous forme de N) : 5,2 mg/l (août)	OC : 1,45 mg/l					
Conformité de l'aire de résidus externe							
KH12-131	Bore : 0,72 mg/l (sept.)	LSC : 0,56 mg/l	S.O.	Sodium et bore	Source potentielle d'hydrocarbures inconnus/eau utilisée pour l'extraction potentielle	LSC – Bore	Évaluation
	Ammoniac total (sous forme de N) : 1,3 mg/l (sept.)	LSC : 1,22 mg/l					

7.5.5 Zone 5 du Réseau du SIS de l'aire de résidus externe

Des dépassements de l'OC ou des tendances à la hausse attribués à l'oxydation des minéraux sulfurés ou au suintement de l'eau utilisée pour l'extraction l'ont été dans quatre puits de surveillance de la zone 5 du SIS de l'aire de résidus externe (tableau 7-5) et dans sept piézomètres à pointe filtrante à l'ouest du Plan d'eau n° 3 (tableau 7-5; tableau A6B-1). Les dépassements et les tendances à la hausse de l'OC des paramètres indicateurs clés n'étaient présents que dans les puits de surveillance peu profonds (environ 3,5 à 7,0 mbgs) de chaque grappe de puits, la délimitation verticale étant assurée par un puits jumelé plus profond à chaque emplacement.

Des taux élevés d'acides naphthéniques (par rapport aux données de référence) ont été étudiés depuis 2020 dans le puits KHY14_036. En 2021, des échantillons de délimitation prélevés aux puits KHY14_035 et KHY14_037 ont révélé la présence naturelle d'acides naphthéniques dans la grappe de puits. Bien qu'une source de suintement d'eau utilisée pour l'extraction ne puisse actuellement pas être éliminée pour le puits KHY14_036, les concentrations des paramètres indicateurs clés dans cette grappe de puits (autres que les acides naphthéniques et le sulfate) restent généralement conformes aux données de référence, et les concentrations d'acides naphthéniques semblent stables depuis 2021. Cependant, une augmentation non confirmée de la concentration de sulfate a été signalée en novembre 2022. La poursuite de la surveillance dans le cadre de la phase d'évaluation du Plan d'intervention sur les eaux souterraines permettra de déterminer si les concentrations élevées d'acides naphthéniques, et éventuellement de sulfates au puits KHY14_036 peuvent être dues à des suintements de l'eau utilisée pour l'extraction.

Des augmentations notables ou des tendances visuelles à la hausse pour un ou plusieurs paramètres indicateurs clés ont été enregistrées aux puits KHY16_005 et KHY16_008 en 2022 par rapport aux résultats historiques. Par rapport aux échantillons prélevés après l'installation au puits KHY16_005, on a relevé des concentrations élevées de CE et de MDT-c en 2022, ainsi qu'une tendance visuelle à la hausse pour les acides naphthéniques (figures A7B-46A/46B). En outre, des acides naphthéniques ont été enregistrés sous le seuil de détection à déclarer au puits KHY16_008 en 2016; ils ont ensuite affiché des concentrations potentiellement croissantes en 2022 (figure A7B-48B). À l'exception des augmentations notables des paramètres indicateurs clés mentionnées précédemment, tous les autres semblent stables et comparables aux concentrations initiales enregistrées après l'installation aux puits KHY16_005 et KHY16_008.

Des dépassements du paramètre indicateur clé LSC et des tendances à la hausse ont été signalés dans deux puits de surveillance de conformité de l'aire de résidus externe (KH12-132A et KH12-116; tableau 7-5; figure 8A) en 2022, comme suit.

Les changements dans les concentrations de MDT-c et de sulfate au puits KH12-116, situé sur le côté sud du Plan d'eau 3, sont actuellement attribués à une cause inconnue.

En 2020, des changements notables dans la chimie ont été signalés au puits de surveillance de conformité KH12-132A de l'aire de résidus externe, situé au nord de l'aire de résidus externe Est. De faibles concentrations (par rapport aux données de référence) d'ammoniac total (sous forme de N), de bore dissous, d'HCP F2, de pyrène, de fluorure, de fer dissous et de manganèse dissous ont été signalées en août 2022. Par ailleurs, des concentrations relativement élevées (par rapport aux données de référence) de sulfate, de MDT-c, de calcium et de nitrate (sous forme de N) ont été relevées. La diminution des paramètres indicateurs clés de l'eau utilisée pour l'extraction suggère que la source des changements

n'est pas le suintement de l'aire de résidus externe, mais plutôt des processus hydrogéochimiques (incluant potentiellement l'oxydation des minéraux sulfurés). Les résultats de la surveillance de l'automne 2021 ont montré que les paramètres indicateurs clés et les autres paramètres susmentionnés sont généralement revenus aux concentrations de référence aux puits KH12-132A, à l'exception des MDT-c. Les résultats d'avril 2022 se situaient généralement dans les plages de référence, mais les deux échantillonnages suivants, en 2022, ont fait état de concentrations croissantes pour le chlorure, le sulfate et les MDT-c, et décroissantes pour le sodium, le bore et l'ammoniac total (sous forme de N).

Tableau 7-5 Emplacements de surveillance des eaux souterraines de la zone 5 du SIS de l'aire de résidus externe étudiés dans le cadre du Plan d'intervention sur les eaux souterraines en 2022.

Identification du puits	Paramètres dépassant les limites de CO en 2022	Critères d'évaluation (OC ou LSC)	Paramètres dont la tendance à la hausse est statistiquement importante en 2022	Paramètres avec tendances visuelles à la hausse	Source d'impacts interprétée	Tendances/dépassements précédemment identifiés	Suivi du Plan d'intervention sur les eaux souterraines
Réseau de surveillance du SIS de l'aire de résidus externe							
KHY14_036	S.O.	S.O.	S.O.	Acides naphténiques	À déterminer	Tendance statistique à la hausse : bore et ammoniac total (en N)	Évaluation
KHY22_604	CE : 1200 µS/cm (nov.)	OC : 817 µS/cm	S.O.	MDT-c et sulfate	Eau utilisée pour l'extraction	S.O.	Délimitation/évaluation
	MDT-c : 800 mg/l (nov.)	OC : 451 mg/l					
	Ammoniac total (sous forme de N) : 2,5 mg/l (nov.)	OC : 2,06 mg/l					
	Acides naphténiques : 12 mg/l (nov.)	OC : 7,80 mg/l					
KHY22_606	CE : 2600 µS/cm (nov.)	OC : 817 µS/cm	S.O.	CE, MDT-c, sulfate, ammoniac total (en tant que N) et bore	Eau utilisée pour l'extraction/oxydation de minéraux sulfurés	S.O.	Délimitation/évaluation
	MDT-c : 2100 mg/l (nov.)	OC : 451 mg/l					
	Sodium : 260 mg/l (nov.)	OC : 170 mg/l					
	Sulfates : 1200 mg/l (nov.)	OC : 185 mg/l					
	Bore : 2,0 mg/l (nov.)	OC : 128 mg/l					
	Acides naphténiques : 11 mg/l (oct.)	OC : 7,80 mg/l					
KHY22_608	CE : 1600 µS/cm (nov.)	OC : 817 µS/cm	S.O.	Bore et acides naphténiques	Eau utilisée pour l'extraction/oxydation de minéraux sulfurés	S.O.	Délimitation/évaluation
	MDT-c : 1200 mg/l (nov.)	OC : 451 mg/l					
	Sodium : 230 mg/l (nov.)	OC : 170 mg/l					

Identification du puits	Paramètres dépassant les limites de CO en 2022	Critères d'évaluation (OC ou LSC)	Paramètres dont la tendance à la hausse est statistiquement importante en 2022	Paramètres avec tendances visuelles à la hausse	Source d'impacts interprétée	Tendances/dépassements précédemment identifiés	Suivi du Plan d'intervention sur les eaux souterraines
	Sulfates : 480 mg/l (nov.)	OC : 185 mg/l					
	Ammoniac total (sous forme de N) : 3,7 mg/l (nov.)	OC : 2,06 mg/l					
	Bore : 1,3 mg/l (nov.)	OC : 128 mg/l					
	Acides naphthéniques : 14 mg/l (nov.)	OC : 7,80 mg/l					
KHY22_610	CE : 1800 µS/cm (nov.)	OC : 817 µS/cm	S.O.	S.O.	Eau utilisée pour l'extraction/oxydation de minéraux sulfurés	S.O.	Délimitation/évaluation
	MDT-c : 1300 mg/l (nov.)	OC : 451 mg/l					
	Sodium : 230 mg/l (oct.)	OC : 170 mg/l					
	Sulfates : 630 mg/l (nov.)	OC : 185 mg/l					
	Ammoniac total (sous forme de N) : 2,4 mg/l (sept.)	OC : 2,06 mg/l					
	Bore : 1,3 mg/l (nov.)	OC : 128 mg/l					
Acides naphthéniques : 19 mg/l (nov.)	OC : 7,80 mg/l						
WB3-GW-10	CE : 1000 µS/cm (sept./oct.)	OC : 817 µS/cm	S.O.	S.O.	Eau utilisée pour l'extraction	S.O.	Délimitation/évaluation
	MDT-c : 590 mg/l (oct.)	OC : 451 mg/l					
WB3-GW-11	CE : 1300 µS/cm (sept./oct.)	OC : 817 µS/cm	S.O.	S.O.	Eau utilisée pour l'extraction	S.O.	Délimitation/évaluation
	MDT-c : 770 mg/l (oct.)	OC : 451 mg/l					

Identification du puits	Paramètres dépassant les limites de CO en 2022	Critères d'évaluation (OC ou LSC)	Paramètres dont la tendance à la hausse est statistiquement importante en 2022	Paramètres avec tendances visuelles à la hausse	Source d'impacts interprétée	Tendances/dépassements précédemment identifiés	Suivi du Plan d'intervention sur les eaux souterraines
	Acides naphthéniques : 8,7 mg/l (oct.)	OC : 7,80 mg/l					
WB3-GW-12	CE : 1500 µS/cm (sept./oct.)	OC : 817 µS/cm	S.O.	S.O.	Eau utilisée pour l'extraction	S.O.	Délimitation/évaluation
	MDT-c : 960 mg/l (oct.)	OC : 451 mg/l					
	Sulfates : 250 mg/l (sept./oct.)	OC : 185 mg/l					
	Acides naphthéniques : 11 mg/l (oct.)	OC : 7,80 mg/l					
WB3-GW-16	CE : 960 µS/cm (sept.)	OC : 817 µS/cm	S.O.	S.O.	Eau utilisée pour l'extraction	S.O.	Délimitation/évaluation
	MDT-c : 550 mg/l (sept.)	OC : 451 mg/l					
WB3-GW-17	CE : 1700 µS/cm (sept./oct.)	OC : 817 µS/cm	S.O.	S.O.	Eau utilisée pour l'extraction/oxydation de minéraux sulfurés	S.O.	Délimitation/évaluation
	MDT-c : 1 200 mg/l (sept./oct.)	OC : 451 mg/l					
	Sulfates : 470 mg/l (oct.)	OC : 185 mg/l					
WB3-GW-19	CE : 960 µS/cm (oct.)	OC : 817 µS/cm	S.O.	S.O.	Eau utilisée pour l'extraction	S.O.	Délimitation/évaluation
	MDT-c : 560 mg/l (oct.)	OC : 451 mg/l					
	Ammoniac total (sous forme de N) : 3,0 mg/l (oct.)	OC : 2,06 mg/l					
WB3-GW-20	CE : 1200 µS/cm (oct.)	OC : 817 µS/cm	S.O.	S.O.	Eau utilisée pour l'extraction	S.O.	Délimitation/évaluation
	MDT-c : 690 mg/l (oct.)	OC : 451 mg/l					
Conformité de l'aire de résidus externe							

Identification du puits	Paramètres dépassant les limites de CO en 2022	Critères d'évaluation (OC ou LSC)	Paramètres dont la tendance à la hausse est statistiquement importante en 2022	Paramètres avec tendances visuelles à la hausse	Source d'impacts interprétée	Tendances/dépassements précédemment identifiés	Suivi du Plan d'intervention sur les eaux souterraines
KH12-116	MDT-c : 330 mg/l (sept.)	LSC : 293 mg/l	S.O.	MDT-c	À déterminer	S.O.	Confirmation
KH12-132A	Sulfates : 120 mg/l (août)	LSC : 28 mg/l	Sodium et sulfate	S.O.	Oxydation des minéraux sulfurés et processus hydrogéochimiques potentiels	S.O.	Évaluation
	MDT-c : 440 mg/l (août)	LSC : 372 mg/l					

7.5.6 Zone 6 du Réseau du SIS de l'aire de résidus externe

Aucun dépassement de l'OC ni aucune tendance à la hausse (statistique ou visuelle) n'ont été identifiés dans les concentrations ou valeurs des paramètres indicateurs clés pour les puits de surveillance de la zone 6 du Réseau du SIS de l'aire de résidus externe en 2022 (figure 9B; tableau A6B-1). Le puits de conformité KH10-013 de l'aire de résidus externe a continué à refléter les données de référence en 2022 (figure 9A; tableau A6A-1).

7.5.7 Zone 7 du Réseau du SIS de l'aire de résidus externe

En 2022, des dépassements de l'OC de CE et de MDT-c ont été signalés au puits KHY14_047, en plus d'une tendance à la hausse des sulfates statistiquement significative (tableau 7-6, tableau A6B-1; figure A7B-68A). Des MDT-c et CE supérieures aux OC et des concentrations élevées en sulfates ont ensuite été confirmées dans un échantillon prélevé en novembre 2022. Tous les autres paramètres indicateurs clés étaient généralement conformes aux données de référence. Les tendances à la hausse et les dépassements observés pour l'OC ont été interprétés comme étant dus à l'oxydation des minéraux sulfurés, mais peuvent également représenter un apport d'eau utilisée pour l'extraction. La délimitation latérale des impacts sur les eaux souterraines est actuellement réalisée vers le sud au puits PET2-Q, mais la délimitation latérale vers le nord et en aval vers l'est reste incomplète.

Un dépassement de l'OC pour l'ammoniac total (N) a été enregistré en octobre 2022 au puits KHY14_052. À l'exception de l'ammoniac total (sous forme de N), tous les autres paramètres indicateurs clés se situaient dans la plage de référence et sont restés stables. Les concentrations d'ammoniac total (sous forme de N) étaient également élevées (par rapport aux données de référence) dans le puits de surveillance KHY14_050, moins profond et situé à proximité, mais les concentrations sont restées inférieures à l'OC zonal. La confirmation des concentrations élevées d'ammoniac total (sous forme d'azote) signalées dans la zone 7 du SIS de l'aire de résidus externe est requise.

Tableau 7-6 Emplacements de surveillance des eaux souterraines de la zone 7 du SIS de l'aire de résidus externe étudiés dans le cadre du Plan d'intervention sur les eaux souterraines en 2022.

Identification du puits	Paramètres dépassant les limites de CO en 2022	Objectif de contrôle	Paramètres dont la tendance à la hausse est statistiquement importante en 2022	Paramètres avec tendances visuelles à la hausse	Source d'impacts interprétée	Tendances/dépassements précédemment identifiés	Suivi actuel du Plan d'intervention sur les eaux souterraines
Réseau de surveillance du SIS de l'aire de résidus externe							
KHY14_047	CE : 820 µS/cm (nov.)	672 µS/cm	Sulfates	S.O.	Oxydation de minéraux sulfurés	S.O.	Confirmation
	MDT-c : 510 mg/l (nov.)	425 mg/l					
KHY14_052	Ammoniac total (sous forme de N) : 0,33 mg/l (oct.)	0,25 mg/l	S.O.	S.O.	À déterminer	S.O.	Confirmation

7.6 Puits de pompage du système d'interception des suintements de l'aire de résidus externe

Comme indiqué dans le plan de surveillance et d'intervention de l'aire de résidus externe (Impériale, 2015), les dépassements de l'OC dans les puits de surveillance du SIS de l'aire de résidus externe déclenchent l'installation et l'activation de puits de pompage pour capter et renvoyer l'eau utilisée pour l'extraction dans cette dernière. En 2022, huit puits de pompage ont été activés et un total de 2 350 000 m³ d'eau a été détourné (Impériale 2023a). Il se peut que certains paramètres n'aient pas été signalés comme dépassant les OC en 2021, mais que ce soit désormais le cas en raison du nouveau calcul des OC zonales en 2022. La chimie des eaux souterraines des puits de pompage actifs de l'aire de résidus externe est présentée dans les tableaux 6B à 8B, 10B et 11B. La liste suivante donne un aperçu des puits de pompage qui ont été activés en 2022 :

- en raison des suintements de l'eau utilisée pour l'extraction entraînant des dépassements d'OC au puits KH13-008, les puits de pompage KHS13-013, KHS13-014, KHS13-015, KHY14_002 et KHY14_003 ont été activés en juillet 2022 (à l'exception du puits KHY14_003, qui a été activé en août 2022);
- les puits de pompage KHS13-022 et KHS13-023 ont été activés en juillet 2022 en raison de suintements de l'eau utilisée pour l'extraction, ce qui a entraîné des concentrations élevées de MDT-c, de sodium, de sulfate, de bore et d'acides naphthéniques au puits KER22_676 (groupement de conformité de l'aire résidus externe) par rapport à l'OC de la zone 2 du SIS de l'aire externe;
- en raison d'un suintement de l'eau utilisée pour l'extraction entraînant un dépassement de l'OC pour les acides naphthéniques et des concentrations élevées d'autres paramètres indicateurs clés au puits P15219707Q1, le puits de pompage KHS13-017 a été activé en octobre 2022.

7.7 Conclusions sur les eaux souterraines de l'aire de résidus externe

Le Réseau de surveillance du SIS de l'aire de résidus externe a été enrichi de 30 puits de surveillance en 2022 afin d'augmenter la couverture du réseau de surveillance et d'étudier les infiltrations d'eaux souterraines décolorées vers la surface en aval de l'aire de résidus externe.

Les résultats de la chimie des eaux souterraines rapportés pour le Réseau de surveillance du SIS de l'aire de résidus externe ont révélé des incidences ou des incidences potentielles de l'exploitation du site sur un ou plusieurs puits de surveillance dans toutes les zones du SIS de l'aire de résidus externe, à l'exception de la zone 6, comme indiqué ici :

- les changements dans la chimie des eaux souterraines dans les zones 1, 2 et 5 du SIS de l'aire de résidus externe ont été attribués aux suintements de l'eau utilisée pour l'extraction et à l'oxydation des minéraux sulfurés, avec une source d'hydrocarbures inconnue dans la zone 1;
- les dépassements de l'OC des paramètres indicateurs clés déclarés dans l'aire des résidus externes de la zone 3 peuvent être causés par l'oxydation des minéraux sulfurés;

- les dépassements de l'OC des paramètres indicateurs clés et les tendances à la hausse dans la zone 4 du SIS de l'aire de résidus externe peuvent être dus à des suintements de l'eau utilisée pour l'extraction ou à une source d'hydrocarbures inconnue;
- les dépassements et les tendances à la hausse de l'OC des paramètres indicateurs clés dans l'aire de résidus externe de la zone 7 ont été attribués à l'oxydation des minéraux sulfurés, mais les suintements de l'eau utilisée pour l'extraction n'ont pas pu être éliminés.

La chimie des eaux souterraines prélevées dans les puits de conformité de l'aire de résidus externe a continué à refléter les données de référence, y compris les variations naturelles, à l'exception des éléments suivants :

- les dépassements des lignes directrices ABT1 ou de la LSC signalés sur les emplacements de conformité de l'aire de résidus externe ont été attribués aux suintements de l'eau utilisée pour l'extraction ou à l'oxydation des minéraux sulfurés dans les zones 1 et 2 du SIS de l'aire de résidus externe;
- les dépassements du paramètre indicateur LSC dans un puits de conformité de la zone SIS 4 de l'aire de résidus externe peuvent être dus à l'état du puits, à une source d'hydrocarbures inconnue ou à des suintements de l'eau utilisée pour l'extraction, et une investigation plus poussée est nécessaire;
- dans la zone 5 du SIS de l'aire de résidus externe, les dépassements de la LSC et les tendances observées dans les puits de surveillance de conformité de l'aire de résidus externe ont été attribués à des processus hydrogéochimiques (incluant potentiellement l'oxydation des minéraux sulfurés) à un emplacement et ont été potentiellement liés à une source inconnue à un autre emplacement, près du Plan d'eau 3.

En raison des dépassements d'OC attribués aux suintements de l'eau utilisée pour l'extraction, huit puits de pompage ont été activés en 2022 pour capter et renvoyer cette eau dans l'aire de résidus externe. Ces puits de pompage se trouvent dans les aires de résidus externes 1 ou 2 et ont été activés en juillet, août et octobre 2022.

8 Échantillonnage de l'étude sur les précipités de fer 2022

En réponse à la détection d'eaux de surface de couleur orange dans certaines zones entourant le Plan d'eau 3, au nord de l'aire des résidus externe Ouest, du Bassin de drainage 4 et de l'aire des morts-terrains Nord (section 1.2), une investigation des eaux souterraines a été réalisée; elle est détaillée ci-dessous et les résultats sont présentés dans les sections qui suivent. Le calendrier d'échantillonnage et de surveillance des puits de surveillance des eaux souterraines et des piézomètres à pointe filtrante inclus dans l'étude sur les précipités de fer est présenté au tableau 2.

La section 4.1 présente une analyse des élévations des eaux souterraines, des schémas d'écoulement, des gradients verticaux et de la vitesse d'écoulement estimée, y compris les puits surveillés dans le cadre de l'étude sur les précipités de fer.

Au total, 46 puits de surveillance existants, qui ne font pas l'objet d'un échantillonnage régulier dans le cadre des programmes de surveillance des eaux souterraines existants, ont été visités pour mesurer les niveaux d'eau, et des échantillons ont été prélevés à certains emplacements, généralement au cours de l'été 2022 (tableau 2; figure 10). Le but de cette étude était de comprendre les changements dans les niveaux et la qualité des eaux souterraines dans les zones entourant les suintements. Au total, 15 puits de surveillance ont été échantillonnés et 31 puits de surveillance ont été visités pour mesurer les niveaux d'eau souterraine seulement en 2022 (tableau 2).

Seize puits de surveillance supplémentaires et huit piézomètres à pointe filtrante ont été installés au cours de l'été 2022 dans le cadre de l'étude sur les précipités de fer (tableau 2; figure 10). Le but des puits de surveillance supplémentaires et des piézomètres à pointe filtrante était de rechercher la source des eaux de surface décolorées et de comprendre la distribution spatiale et la qualité de toute eau souterraine potentiellement affectée en amont des zones de suintement des eaux souterraines. Les puits de surveillance et les piézomètres à pointe filtrante nouvellement installés ont ensuite été ajoutés à un réseau existant de surveillance des eaux souterraines (Réseau de surveillance du SIS de l'aire de résidus externe ou Réseau de surveillance) et sont abordés dans les sections 5 et 7 du présent rapport :

- les puits KHY22_614 à KHY22_617 ont été inclus dans la zone 1 du SIS de l'aire de résidus externe et les résultats sont présentés dans la section 7.5.1;
- les puits KHY22_612 et KHY22_613 ont été inclus dans la zone 4 du SIS de l'aire de résidus externe et les résultats sont présentés dans la section 7.5.4;
- les puits KHY22_604 à KHY22_611 et tous les piézomètres à pointe filtrante sont inclus dans la zone 5 du SIS de l'aire de résidus externe et les résultats sont présentés dans la section 7.5.5;
- les puits KHY22_618 et KHY22_619 sont inclus dans le réseau de surveillance réglementaire et les résultats sont présentés à la section 5.4.1.

La section 8.2 fournit une évaluation des résultats recueillis aux emplacements d'échantillonnage de l'étude sur les précipités de fer qui ne sont pas inclus dans un réseau existant de surveillance des eaux souterraines.

8.1 Critères d'évaluation

La même liste de paramètres indicateurs clés utilisée pour évaluer les données collectées dans le cadre du Programme réglementaire de surveillance des eaux souterraines a été utilisée pour évaluer les données chimiques collectées lors de l'étude sur les précipités de fer (section 5.3).

Les emplacements inclus dans l'étude sur les précipités de fer ne disposent pas de suffisamment de données pour établir un ensemble de données de référence qui pourrait être utilisé pour calculer les LSC et effectuer une analyse des tendances.

Bien que les lignes directrices ABT1 ne puissent pas être formellement appliquées aux données sur les eaux souterraines recueillies sur le site (section 5.3) et que certains paramètres indicateurs clés dépassent naturellement ces lignes directrices, elles sont toujours considérées comme un outil de sélection utile pour les impacts potentiels liés à l'étude sur les précipités de fer. Ainsi, les lignes directrices ABT1 pour l'utilisation naturelle des terres et des sédiments à grains fins et grossiers ont été appliquées en tenant compte du récepteur potentiel approprié de la vie aquatique d'eau douce (VAED) pour lequel l'ABT1 se réfère par défaut aux lignes directrices sur la qualité de l'environnement pour les eaux de surface de l'Alberta (AEP 2018; Section 5.3).

La qualité des eaux souterraines a également été comparée aux données historiques de chaque puits de surveillance lorsqu'elles étaient disponibles, ou à celles de puits de surveillance comparables situés à proximité en l'absence de données historiques.

8.2 Résultats

Les paramètres mesurés sur le terrain (température, pH et CE) l'ont été au moment de l'échantillonnage des eaux souterraines et sont présentés dans le tableau 5. Les résultats des analyses en laboratoire figurent dans les tableaux 6C, 7C, 8C, 9B, 10C et 11C.

L'ammoniac total (sous forme de N) a dépassé la ligne directrice appliquée à plusieurs endroits, mais il peut s'agir de concentrations de fond naturelles, car des échantillons historiques ont également signalé des concentrations d'ammoniac total (sous forme de N) supérieures à la ligne directrice ABT1 appliquée. Lorsque l'ammoniac total (sous forme de N) dépassait la ligne directrice appliquée, mais que tous les autres paramètres indicateurs clés étaient conformes à la ligne directrice ABT1 et cohérents avec les résultats historiques, le dépassement a été considéré comme étant d'origine naturelle.

Les concentrations des paramètres indicateurs clés qui étaient comparables aux dépassements historiques ou à ceux de l'ABT1 ont été considérées comme étant d'origine naturelle à tous les emplacements, à l'exception de ceux énumérés dans le tableau 8-1.

Des preuves de sables bitumineux remaniés, de bitume (traces ou nodules) ou d'odeur de bitume pendant le forage ont été notées aux puits KH09-050, KH10-009, KH10-018 et P07289707Q1, ce qui suggère que les HCP F2, les acides naphthéniques et le pyrène peuvent être présents naturellement à ces endroits. En outre, les détections historiques (2005 à 2010) d'acides naphthéniques, d'HCP F2 ou de pyrène

aux puits KH10-018, P07289707Q1 et P05-025Q suggèrent que ces paramètres sont présents naturellement sur ces emplacements.

Au total, quatre emplacements (KH09-050, KH10-015, KH10-018 et KHO10-008a) ont présenté des concentrations potentiellement élevées pour au moins un paramètre indicateur clé, notamment pour les paramètres inorganiques, le sulfate ou les MDT, ce qui peut laisser supposer des impacts émergents. Les puits KH09-053 et KH09-063 ont enregistré une augmentation, bien que comparable, des concentrations de sulfate par rapport aux échantillons historiques, et des échantillons supplémentaires sont nécessaires pour déterminer si ces augmentations sont dues à des impacts potentiels ou à des variations naturelles. La concentration de chlorure signalée aux puits KH09-053 en 2022 pourrait également être élevée par rapport aux résultats historiques, mais d'autres données sont requises.

Tableau 8-1 Étude sur le précipité de fer : Résumé de l'évaluation de la qualité des eaux souterraines

Identification du puits	Puits utilisé pour la comparaison de données historiques	Tous les paramètres indicateurs clés sont conformes aux lignes directrices, mais certains sont élevés par rapport aux données historiques	Certaines concentrations de paramètres indicateurs clés dépassent les lignes directrices et sont élevées par rapport aux données historiques	Paramètres indicateurs clés dont les concentrations sont conformes aux lignes directrices, mais potentiellement élevées par rapport aux données historiques	Paramètres indicateurs clés dont les concentrations dépassent la ligne directrice et sont élevées par rapport aux données historiques
KH09-050	KH10-019 et KH09-049		X	Sulfate, acides naphthéniques	MDT-c, HCP F2, pyrène
KH09-053	KH09-052	X		Chlorure, sulfate	
KH09-054A	KH09-054A		X	Pyrène	Ammoniac total sous forme de N
KH10-009	KH10-009		X	Acides naphthéniques	Ammoniac total sous forme de N
KH10-015	KH10-025	X		Sulfates	
KH10-018	KH10-018		X	Sulfate, acides naphthéniques	HCP F2, pyrène
KHO10-008a	KH09-009		X	Sulfates	MDT-c, ammoniac total sous forme de N
P05-025Q	P05-025Q		X		HCP F2, pyrène
P07289707Q1	P07289707Q1	X		Acides naphthéniques	

9 Résumé de la dépressurisation de l'aquifère de fond

Le système de dépressurisation de l'aquifère de fond vise à abaisser la charge hydraulique dans la zone minière en dessous de la base d'alimentation afin d'améliorer la praticabilité et de réduire à un minimum l'afflux d'eau dans la fosse. L'exploitation du système de dépressurisation de l'aquifère de fond s'est poursuivie en 2022 avec cinq puits de dépressurisation de fond actifs (BDP-007, BDP-016, BDP-017, BDP-018, BDP-019; figure 11).

9.1 Surveillance

En 2022, l'Impériale a poursuivi le plan de contrôle et de surveillance de l'aquifère de fond (Advisian 2018a), initié en 2013. Un réseau de PFV et de puits de surveillance est entretenu autour du site et contrôlé à intervalles réguliers. Les données de surveillance sont analysées en continu par l'Impériale pour déterminer les tendances du rabattement de l'aquifère et les comparer à l'élévation de l'alimentation. La figure 11 présente un aperçu des élévations de la surface des eaux souterraines et des contours d'élévation des eaux souterraines présumées dans le réseau de dépressurisation et de surveillance de l'aquifère de fond à partir de décembre 2022.

La chimie de l'eau de l'aquifère de fond a été surveillée tout au long de l'année 2022. Des échantillons d'eau souterraine ont été prélevés deux fois par an dans les puits de pompage (sauf aux puits BDP-017 et BDP-018, où les échantillons ont généralement été prélevés une fois par mois), et expédiés à BV Laboratories pour y être analysés. Les résultats analytiques des programmes d'échantillonnage ont été examinés par l'Impériale dans le cadre du Programme de surveillance de l'aquifère de fond en 2022, afin de détecter toute modification de la qualité de l'eau susceptible d'affecter le fonctionnement du système de dépressurisation de l'aquifère de fond.

Le volume d'eau souterraine détourné de l'aquifère de fond a été communiqué mensuellement en 2022 à l'Alberta Energy Regulator (AER) et à l'AEPA en vertu du permis de déviation d'un cours d'eau Kearnl 00222199-01-00 (modifié).

9.2 Mise en valeur

Le puits BDP-019 a été mis en service en octobre 2022 et six PFV supplémentaires ont été installés dans l'aquifère de fond au cours de la période 2021-2022 du Programme du champ d'Athabasca, comme suit (figure 11) :

- KHY22_164;
- KHY22_409;
- KHY22_389;
- KHY22_538;
- KHY22_408;
- KHY22_551.

9.3 Planification

En 2023, l'Impériale prévoit de poursuivre l'exploitation du système de dépressurisation de l'aquifère de fond existant. L'installation de deux puits horizontaux de dépressurisation de l'aquifère de fond est prévue pour 2023.

Afin de surveiller l'empreinte croissante de la dépressurisation, des PFV et des puits de surveillance supplémentaires seront installés. Les performances du système seront contrôlées en permanence et ces informations permettront de déterminer s'il est nécessaire de modifier le système.

9.3.1 Modélisation numérique de la dépressurisation de l'aquifère de fond

Un modèle numérique actualisé d'écoulement des eaux souterraines a été élaboré en 2019 par l'Impériale à l'aide du logiciel FEFLOW afin d'inclure l'aquifère de fond et le système aquifère-aquitard du Dévonien, sachant que Kearnl procède activement à la dépressurisation de ces deux aquifères.

Le modèle a été délimité par des caractéristiques hydrologiques (c.-à-d. des plans d'eau) et a été découpé verticalement en 18 couches. Selon l'Impériale, il a été étalonné et vérifié par rapport à des charges hydrauliques et des données de rabattement mesurées sur le terrain, respectivement. Le modèle 2019 a été mis à jour avec les dernières données hydrogéologiques des systèmes aquifères de fond et du Dévonien en 2022.

9.4 Résultats

9.4.1 Quantité d'eau souterraine

Le volume cumulé détourné de l'aquifère de fond en 2022 était de 2 053 164 m³. La figure 11 montre les contours de l'élévation de la surface de l'eau souterraine dans l'aquifère de fond, d'après les données recueillies en décembre 2022.

9.4.2 Qualité des eaux souterraines

Les résultats des analyses de laboratoire sont présentés dans les tableaux 6D à 8D, 9C et 11D. Le tableau A6C-1 (annexe 6) résume les résultats des analyses statistiques entreprises en 2022, notamment les valeurs inférieures à la LSC, les dépassements de la LSC et les analyses de tendances. Les cartes de contrôle de Shewhart pour les paramètres indicateurs clés de la dépressurisation de fond sont fournies à l'annexe 7C.

Tendances observées en 2022

Bien que l'élaboration de limites de contrôle et les analyses de tendances ne soient pas requises pour les puits de dépressurisation de l'aquifère de fond conformément au Plan de surveillance des eaux souterraines, elles ont été réalisées à des fins de référence pour aider à détecter les changements potentiels de la chimie des eaux souterraines. Les éventuels dépassements des limites de contrôle ou les

tendances identifiées dans les puits de dépressurisation de fond ne déclenchaient pas le Plan d'intervention sur les eaux souterraines (Advisian 2018a).

Les concentrations des paramètres indicateurs clés au puits BDP-017 ont diminué par rapport au premier échantillon prélevé en 2021 pour le chlorure, le sulfate, le calcium, le magnésium, le sodium, la CE et les MDT-c. En 2022, les concentrations des paramètres indicateurs clés se sont stabilisées et aucune tendance statistiquement significative n'a été observée. Aucune tendance à la hausse statistiquement significative ni aucun dépassement de la LSC n'ont été observés aux puits actifs de dépressurisation de l'aquifère de fond en 2022.

10 Résumé de la dépressurisation de l'aquifère du Dévonien

L'objectif du système de dépressurisation du complexe aquifère évaporitique de Keg River-Prairie (également appelé aquifère du Dévonien) est de gérer le risque d'afflux d'eau dans le puits de mine, ce qui pourrait avoir une incidence sur la sécurité et la productivité. Des puits de pompage sont utilisés pour abaisser la charge hydraulique sous la base d'alimentation dans la zone de la fosse Nord, où le risque d'infiltration de l'aquifère du Dévonien est jugé élevé.

En 2022, l'Impériale a exploité un puits horizontal de dépressurisation dans le Dévonien (DEV-004; figure 12).

10.1 Surveillance

En 2022, l'Impériale a continué à surveiller régulièrement les données de pression de l'aquifère du Dévonien grâce à un réseau de PFV à plusieurs niveaux installés dans la zone de la fosse Nord. Les données de surveillance ont été analysées en continu par l'Impériale pour déterminer les tendances du rabattement de l'aquifère et les comparer à l'élévation actuelle de la mine. La figure 12 présente un aperçu des élévations de la surface des eaux souterraines et des contours d'élévation des eaux souterraines présumées dans le réseau de dépressurisation et de surveillance de l'aquifère du Dévonien à partir de décembre 2022.

Dans le cadre du programme de surveillance établi, l'Impériale a prélevé des échantillons de qualité de l'eau souterraine dans le puits de dépressurisation du Dévonien en exploitation. Les échantillons ont été prélevés dans le puits de pompage et envoyés à BV Laboratories pour analyse. Les résultats ont été examinés régulièrement par l'Impériale afin de détecter tout changement dans la qualité de l'eau qui pourrait affecter l'installation et le fonctionnement du système de dépressurisation de l'aquifère du Dévonien.

Le volume d'eau souterraine détourné de l'aquifère du Dévonien a été communiqué mensuellement en 2022 à l'AER et à l'AEP en vertu du permis de déviation d'un cours d'eau Kearn 00222199-01-00 (modifié).

10.2 Mise en valeur

En 2022, l'Impériale a installé trois PFV emboîtés (puits KGD22_011, KGD22_012 et KGD22_013) pour caractériser le système aquifère-aquitard du Dévonien dans la fosse Est de Kearn et pour la surveillance de la pression à long terme.

10.3 Planification

En 2023, l'Impériale prévoit de poursuivre l'exploitation du système de dépressurisation du Dévonien existant. Il est prévu de forer et d'achever d'autres puits de dépressurisation et de surveillance du Dévonien dans le cadre de futures avancées minières. Ces plans sont fondés sur la modélisation géologique et l'expérience opérationnelle du système actuel.

Un total de six PFV emboîtés, chacun avec cinq pointes, installés dans les strates du Dévonien sont prévus pour l'hiver 2022-2023 afin de continuer à surveiller les pressions de l'aquifère du Dévonien pendant l'expansion de la mine.

Les performances du système seront surveillées en permanence et ces informations serviront à sa mise en valeur future.

10.3.1 Modélisation de l'aquifère du Dévonien

Un modèle numérique actualisé d'écoulement des eaux souterraines a été élaboré par l'Impériale à l'aide du logiciel FEFLOW et comprend à la fois l'aquifère de fond et les systèmes aquifère-aquitard du Dévonien (voir section 9.3.1).

10.4 Résultats

10.4.1 Quantité d'eau souterraine

Le volume cumulé détourné de l'aquifère du Dévonien en 2022 était de 777 467 m³. La figure 9B montre les contours de l'élévation de la surface de l'eau souterraine dans l'aquifère du Dévonien, d'après les données recueillies en décembre 2022.

10.4.2 Qualité des eaux souterraines

Les résultats des analyses de laboratoire sont présentés dans les tableaux 6D à 8D, 9C et 11D. Le tableau A6C-1 (annexe 6) synthétise les résultats des analyses statistiques réalisées en 2022. Les cartes de contrôle de Shewhart pour les paramètres indicateurs clés de la dépressurisation du Dévonien sont fournies à l'annexe 7C.

Des tendances à la hausse statistiquement significatives ont été signalées pour le sulfate, le calcium et le magnésium au puits DEV-004 en 2022.

11 Assurance de la qualité et contrôle de la qualité

Un programme d'assurance et de contrôle de la qualité (AQ-CQ) a été mis en place pour tous les échantillons d'eau souterraine prélevés en 2022, comme indiqué à l'annexe 9. Le problème d'AQ-CQ suivant a été recensé :

- Les échantillons d'eau souterraine prélevés sur le puits KHO10-007 en avril et en juillet ont été signalés comme aberrants en raison de problèmes de qualité des données identifiés par des différences élevées dans le bilan ionique et des résultats anormaux dans la chimie de l'eau souterraine. Les échantillons prélevés ultérieurement en 2022 étaient conformes aux concentrations de référence. Des bilans ioniques et des pH élevés associés à de fortes concentrations d'hydroxyde dans certains échantillons peuvent être causés par un coulis de ciment pénétrant dans le puits à la suite d'une rupture de tubage. Des investigations plus poussées sur l'intégrité des puits sont nécessaires.
- Les MDT-c et la CE rapportées au puits KHY14_052 le 23 juin 2022 ont été signalées comme des valeurs aberrantes en raison de problèmes présumés de qualité des données. La différence de pourcentage du bilan ionique était de 50 % et les MDT-c et la CE étaient élevées par rapport aux valeurs historiques et n'ont pas été confirmées lors de l'échantillonnage suivant.

La manipulation, la conservation, le stockage et le transport des échantillons n'ont pas eu d'effets matériels sur la qualité globale des échantillons et n'ont donc pas affecté les interprétations. Tous les détails du programme d'AQ-CQ 2022 figurent à l'annexe 9A et les résumés statistiques associés, les cartes de contrôle et les résumés des pourcentages de différence relative des doublons sur le terrain sont fournis aux annexes 9B à 9D.

12 Recommandations

Desika soumet les recommandations suivantes à l'attention de l'Impériale :

- le calendrier et les emplacements proposés pour la surveillance en 2023 sont indiqués dans le tableau 12 et la figure 10. Cependant, les regroupements de réseaux de puits de surveillance ont été achevés en 2022, avant l'ordonnance de protection de l'environnement émise pour Kearl par l'AER (AER 2023), et devraient changer au cours de la période de déclaration 2023. Les regroupements de réseaux finaux seront présentés dans le rapport de synthèse sur les eaux souterraines de 2023;
- mettre en œuvre le Plan de surveillance des eaux souterraines mis à jour en attendant l'approbation de l'AER (MAE 2022b);
- poursuivre l'étude de tous les sites de surveillance actuellement répertoriés dans le cadre du Plan d'intervention sur les eaux souterraines;
- abandonner le puits de surveillance régional 3-5-96-8 (B), car il n'est plus possible de prélever un échantillon représentatif en raison des dommages subis et des problèmes de sécurité. Évaluer la nécessité d'un remplacement en 2023;
- évaluer la nécessité de remplacer le puits 3-5-96-8 (Q) en 2023, étant donné qu'il a été abandonné en raison de dommages;
- classer les puits en zones de surveillance verticales sur la base des unités hydrostratigraphiques, afin d'améliorer la cartographie de l'écoulement des eaux souterraines et la cartographie des panaches;
- retirer le puits KH09-002 du Programme de conformité, car il est installé dans des sables bitumineux et n'est pas adapté à la fonction de puits de surveillance de conformité;
- remplacer les puits de surveillance avec de longs intervalles de dégrillage par un ensemble de puits de surveillance avec des intervalles de criblage distincts, selon les besoins;
- remplacement du puits de surveillance régional P14259607Q inaccessible;
- évaluer le réseau de surveillance réglementaire par rapport à la planification de la mine afin de s'assurer que de nouveaux puits sont installés et que des ensembles de données de référence sont collectés avant la mise en valeur;
- continuer la surveillance et l'étude de l'oxydation des minéraux sulfurés qui pourrait affecter l'hydrochimie à certains emplacements de surveillance sur l'ensemble du site;
- continuer à atténuer les suintements de l'eau utilisée pour l'extraction comme détaillé dans le cadre du Plan de surveillance et d'intervention du SIS de l'aire de résidus externe (Impériale 2015) et de ses mises à jour;
- étudier les changements de la qualité des eaux souterraines dans les bassins revêtus 1A de l'aire de résidus externe Ouest et du bassin de ruissellement de l'aire de résidus externe Nord, conformément au Plan de surveillance et d'intervention des bassins revêtus (Impérial 2020) et au Plan de surveillance des eaux souterraines (Advisian 2018a);

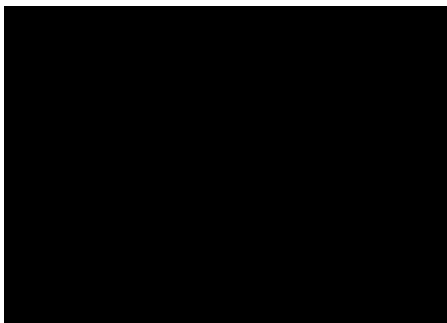
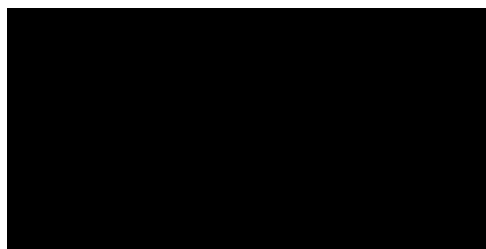
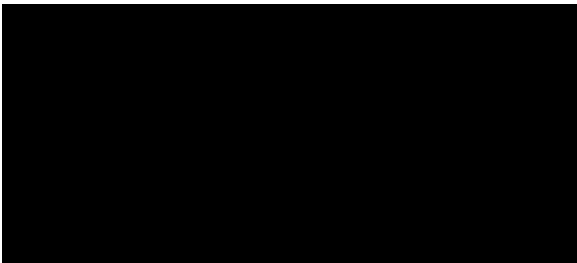
- abandonner les puits KER14-004 et KER22_689 du programme, car ils ne contiennent pas suffisamment d'eau pour permettre la collecte d'un échantillon représentatif, et les remplacer par des puits de surveillance peu profonds dans l'empreinte du chenal Kearnl, près du puits P13369608Q;
- procéder à l'entretien des puits selon les besoins, y compris les activités suivantes :
 - découper le tubage en PVC et refaire le relevé des puits de surveillance soumis au gel et prévoir de les remplacer par de nouveaux puits de surveillance, le cas échéant;
 - installer des boîtiers de protection sur tous les puits de surveillance existants et nouveaux, selon les besoins;
 - réaménager les puits de surveillance qui se sont peut-être remplis de sédiments;
 - effectuer un nouveau relevé des puits de surveillance qui n'ont pas fait l'objet de relevés récents (p. ex., datant de plus de cinq ans) ou des puits de surveillance pour lesquels on soupçonne des changements dans l'élévation du sol ou dans le haut du tubage;
- confirmer la mesure de la profondeur totale du puits P13369608Q1 en 2023 et résoudre, le cas échéant, le problème de l'entretien du puits;
- effectuer des essais de conductivité hydraulique de manière stratégique afin d'augmenter l'ensemble des données et de mieux comprendre la vitesse d'écoulement des eaux souterraines sur le site;
- installer des puits de surveillance de la conformité le long de la limite de la concession, à l'est de l'aire de résidus externe, en aval de l'aire de résidus externe Est;
- déclasser et remplacer le puits endommagé KH09-093 par une grappe de puits et installer des puits supplémentaires pour la délimitation verticale et latérale et pour améliorer la compréhension de l'écoulement des eaux souterraines dans cette zone;
- poursuivre la mise en place de nouveaux puits de surveillance de l'aire de résidus interne 1 afin d'établir un ensemble de données de référence en aval de la future aire de résidus interne 1 proposée;
- installer des puits de surveillance de la conformité à l'est de la fosse Est avant l'exploitation afin de recueillir des données de référence;
- actualiser le tracé du chenal de Kearnl, en particulier à l'ouest de l'aire des morts-terrains Ouest;
- poursuivre l'élaboration du modèle conceptuel du site pour le site et réaliser une évaluation des risques propre au site afin de comprendre les risques associés à l'oxydation des minéraux sulfurés et aux suintements de l'eau utilisée pour l'extraction observés sur le site;
- ajuster les méthodes d'échantillonnage utilisées aux puits P13369608Q1 et P16239707Q à une méthode à faible agitation afin de les aligner sur celles utilisées lors de la collecte des données de référence et de la reprise de la surveillance régulière;
- installer des puits de surveillance à l'ouest de l'aire des morts-terrains Ouest, des piézomètres à pointe filtrante situés stratégiquement dans la plaine d'inondation de la rivière Muskeg, et échantillonner l'eau existante à l'emplacement MRMW-4 pour délimiter les impacts d'une oxydation potentielle des minéraux Ouest au puits P13369608Q;

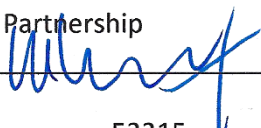
- prélever des échantillons de la rivière Muskeg à des emplacements stratégiques afin d'identifier les changements potentiels de la qualité de l'eau dus à l'écoulement des eaux souterraines près du puits P13369608Q;
- procéder à l'échantillonnage et au contrôle des paramètres indicateurs clés aux emplacements de surveillance KH12-126 et KH12-160, au sud de l'aire de résidus externe, au printemps, afin de vérifier les dépassements du paramètre indicateur clé;
- évaluer le réseau réglementaire actuel afin d'assurer une couverture adéquate sur le plan latéral et vertical, sur le site et hors site;
- examiner l'intégrité du puits KHO10-007 à l'aide d'une caméra de fond de puits et le remplacer s'il est endommagé;
- tous les puits susceptibles d'être affectés par les activités du site doivent être échantillonnés à un rythme accéléré (p. ex., tous les trimestres ou tous les mois) afin de garantir une intervention rapide;
- supprimer le puits endommagé P14209707Q1 du Programme de surveillance du SIS de l'aire de résidus externe;
- évaluer le réseau actuel de puits de surveillance et de pompage du SIS de l'aire de résidus externe afin de garantir une couverture adéquate latéralement et verticalement sur le périmètre de l'aire de résidus externe;
- faire le suivi des puits de surveillance échantillonnés dans le cadre de l'étude sur les précipités de fer et dont les paramètres indicateurs clés sont supérieurs au niveau de fond (KH09-050, KH10-015, KH10-018 et KHO10-008a);
- mettre en œuvre le Plan de surveillance et d'intervention du SIS de l'aire de résidus externe mis à jour, dans l'attente de l'approbation de l'AER (Impériale 2022b);
- étudier les interactions entre les eaux souterraines et les eaux de surface en aval du site, aux Plans d'eau 3 et 4, afin de déterminer les zones humides et les plans d'eau de surface susceptibles de recevoir des eaux souterraines provenant du site;
- évaluer les Lignes directrices relatives à l'assainissement des eaux souterraines de l'Alberta Tier 1, en considérant le Plan d'eau 4 comme un récepteur potentiel, une fois que des données supplémentaires seront disponibles pour celui-ci en 2023.

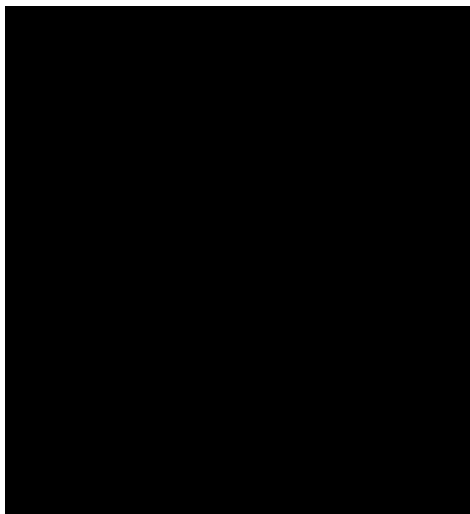
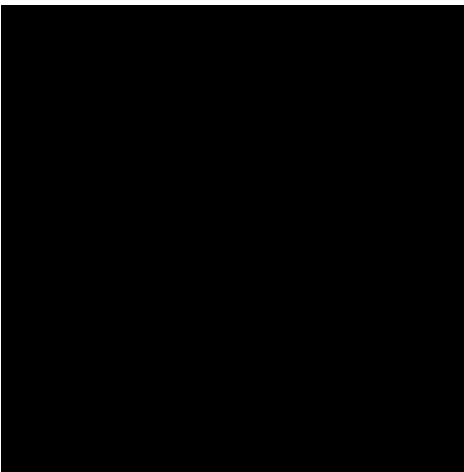
13 Conclusion

Nous espérons que ce rapport répond à vos exigences actuelles et qu'il constitue une documentation appropriée pour vos dossiers. Si vous avez des questions ou si vous souhaitez obtenir de plus amples informations, veuillez communiquer avec les soussignés à tout moment.

Rapport préparé par



PERMIT TO PRACTICE Desika Limited Partnership RM Signature <u></u>
RM APEGA ID# <u>53315</u>
PERMIT NUMBER: P14787
The Association of Professional Engineers and Geoscientists of Alberta (APEGA)



Société en commandite Desika

14 Références

- Advisian, 2016. Kearl Oil Sands Mine, 2015 Groundwater Summary Report. Numéro de projet : 407076-00369-500. Rapport remis à Imperial Oil Resources Ventures Limited, le 14 avril 2016.
- Advisian 2017. Mine de sables bitumineux de Kearl. Rapport sommaire 2016 sur les eaux souterraines. Numéro de projet : 407074-00629-500. Rapport remis à Imperial Oil Resources Ventures Limited, le 6 avril 2017.
- Advisian 2018a. Kearl Oil Sands Mine, Groundwater Monitoring Plan. Numéro de projet : 407074-00820-102. Rapport remis à Imperial Oil Resources Ventures Limited, le 6 avril 2018.
- Advisian 2018b. Mine de sables bitumineux de Kearl. Rapport sommaire 2017 sur les eaux souterraines. Numéro de projet : 407074-00820-500. Rapport remis à Imperial Oil Resources Ventures Limited, le 6 avril 2018.
- AEP (Alberta Environment and Parks) 2016. Alberta Tier 1 Soil and Groundwater Remediation Guidelines. Land Policy Branch, Policy and Planning Division. 197 p.
- AEP (Alberta Environment and Parks) 2018. Environmental Quality Guidelines for Alberta Surface Water. Water Policy Branch, policy and Planning Division. 53 p.
- AEP (Alberta Environment and Parks) 2022. Alberta Tier 1 Soil and Groundwater Remediation Guidelines. Land Policy Branch, Policy and Planning Division. 189 p.
- AER (Alberta Energy Regulator) 2023. Order under sections 113 and 241 of the Environmental Protection and Enhancement Act (EPEA). Délivré à la Pétrolière Impériale Ressources Limitée. 6 février 2023.
- AMEC 2008. Kearl Oil Sands Project Winter 2007/2008 Hydrogeology Program Data Report. Rapport préparé pour Imperial Oil Resources Ventures Limited, 9 octobre 2008, Rév. B, document AMEC n° 160-RP-0053.
- AMEC 2009. Kearl Oil Sands Project 2008-2009 Athabasca Field Program Kearl Hydrogeological Data Report, rapport préparé Imperial Oil Resources Ventures Limited, 22 juin 2009, Rév. A, document AMEC n° 160408-RP-019.
- AMEC 2010. Kearl Oil Sands Project Annual Groundwater Summary Report - 2009, rapport préparé pour Imperial Oil Resources Ventures Limited, 28 mai 2010, Rév. C, document AMEC n°: 164-RP-0101.
- AMEC 2011. Kearl Oil Sands Project Annual Groundwater Summary Report - 2010. Rapport remis à Imperial Oil Resources Ventures Limited, 12 avril 2011, Rév. B. Document AMEC numéro 164-RP-0116.
- AMEC 2012. Kearl Oil Sands Project 2011 Groundwater Summary Report. Rapport remis à Imperial Oil Resources Ventures Limited, 11 avril 2012.

- Andriashek, L.D. 2002. Observations of Naturally Occurring Hydrocarbons (Bitumen) in Quaternary Sediments, Athabasca Oil Sands Area and Areas West, Alberta. Alberta Geological Survey
- ESRD (Environment and Sustainable Resource Development) 2012. Lower Athabasca Region Groundwater Management Framework. 52 p.
- Impériale (Imperial Oil Resources Ventures Limited) 2005. Kearl Oil Sands Project – Mine Development. Regulatory Application submitted to Alberta Energy and Utilities Board and Alberta Environment. Dossier n° IPRCC.OM.2004.04. Juillet 2005
- Impériale (Imperial Oil Resources Ventures Limited) 2015. Kearl Oil Sands Mine Seepage Interception System Monitoring and Response Plan - External Tailings Area. Décembre 2015.
- Impériale (Imperial Oil Resources) 2020. Lined Ponds Monitoring and Response Plan. Janvier 2020.
- Impériale (Imperial Oil Resources) 2022a. Communication personnelle. Correspondance par courriel de [REDACTED]. Décembre 2022.
- Impériale (Imperial Oil Resources Ventures Limited) 2022b. Mine de sables bitumineux de Kearl. External Tailings Area Seepage Interception System Monitoring and Response Plan. Décembre 2022.
- Impériale (Imperial Oil Resources Ventures Limited) 2022c. Mine de sables bitumineux de Kearl. Internal Tailings Area 1 Monitoring and Response Plan. Décembre 2022.
- Impériale (Imperial Oil Resources) 2023a. Demande de données Kearl GW. Message à [REDACTED]. 1^{er} février 2023. Courriel.
- Impériale (Imperial Oil Resources) 2023b. Communication personnelle. Message à [REDACTED]. 12 avril 2023.
- MAE (Mikisew Advisian Environmental) 2019. Mine de sables bitumineux de Kearl. Rapport sommaire 2018 sur les eaux souterraines. Numéro de projet : 407011-00585-200. Rapport remis à Imperial Oil Resources Ventures Limited, 4 avril 2019.
- MAE (Mikisew Advisian Environmental) 2020. 2019 Groundwater Summary Report, Kearl Oil Sands Mine. Numéro de projet : 407011-00771-200. Rapport remis à Imperial Oil Resources Ventures Limited, 1^{er} avril 2020.
- MAE (Mikisew Advisian Environmental) 2021. 2020 Groundwater Summary Report, Kearl Oil Sands Mine. Numéro de projet : 407011-00063-20200. Rapport remis à Imperial Oil Resources Ventures Limited, 9 avril 2021.
- MAE (Mikisew Advisian Environmental) 2022a. Rapport sommaire 2021 sur les eaux souterraines – Mine de sables bitumineux de Kearl Numéro de projet : 417085-41451-22010. Rapport remis à Imperial Oil Resources Ventures Limited, 17 avril 2022.
- MAE (Mikisew Advisian Environmental) 2022b. Kearl Oil Sands Mine, Groundwater Monitoring Plan. Numéro

de projet : 417085-41451-22010. Rapport remis à Imperial Oil Resources Ventures Limited, 20 avril 2022.

Okane 2022. Kearl ETA Conceptual Geochemical Model. Numéro de référence : 1128-226-001. Notes de service remises à Imperial Oil Ltd, 22 décembre 2022.

Paragon (Paragon Soil and Environmental Consulting Inc.) Mars 2023. Kearl Vegetation Health Monitoring. Rapport remis à Imperial Oil Resources Ventures Limited.

Price, W.A. et Errington, J.C. 1998. Guidelines for Metal Leaching and Acid Rock Drainage at Minesites in British Columbia. British Columbia Ministry of Energy and Mines.

Woessner, W.W. et Poeter, E.P. 2020. Hydrogeologic Properties of Earth Materials and Principals of Groundwater Flow. The Groundwater Project.

WorleyParsons (WorleyParsons Canada Services Ltd.), 2013. Kearl Oil Sands Project. 2012 Annual Groundwater Monitoring Summary Report. Numéro de projet : 307074-01306. Rapport remis à Imperial Oil Resources Ventures Limited, 11 avril 2013.

WorleyParsons (WorleyParsons Canada Services Ltd.), 2014. Kearl Oil Sands Mine, 2014 Groundwater Summary Report. Numéro de projet : 307076-04690-650. Rapport remis à Imperial Oil Resources Ventures Limited, 14 avril 2014.

WorleyParsons (WorleyParsons Canada Services Ltd.), 2015. Kearl Oil Sands Mine, 2014 Groundwater Summary Report. Numéro de projet : 407076-06632-500. Rapport remis à Imperial Oil Resources Ventures Limited, 14 avril 2015.