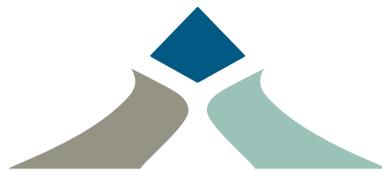


Guide d'adaptation aux  
**changements  
climatiques**  
pour le secteur minier

---



The Mining Association of Canada

Ce document d'orientation a été élaboré au nom de l'Association minière du Canada (AMC), avec le soutien financier de Ressources naturelles Canada

# Guide d'adaptation aux changements climatiques

## pour le secteur minier

---

Préparé par :



**GOLDER**

© Association minière du Canada, 2021. Les marques de commerce, y compris sans s'y limiter *Vers le développement minier durable<sup>MD</sup>*, *VDMD<sup>MD</sup>* et les conceptions en diamant formé d'arcs et de quadrilatères, sont des marques de commerce déposées ou des marques de commerce de l'Association minière du Canada au Canada et/ou dans d'autres pays.

**Version (date) : Janvier 2021**

## Remerciements

L'Association minière du Canada et Golder désirent souligner l'importante contribution de nombreuses organisations et personnes à l'élaboration de ce document d'orientation, particulièrement :

La Division des impacts et de l'adaptation liés aux changements climatiques de Ressources naturelles Canada qui a apporté une aide financière pour soutenir l'élaboration du document d'orientation et qui a contribué de façon significative tout au long du processus. Merci également à CanmetMINES pour ses commentaires sur l'ébauche du document d'orientation.

Lorax Environmental Services, qui a apporté une contribution substantielle tout au long du processus, en collaboration avec Golder. Lorax a contribué de manière importante à l'élaboration du guide en participant à des ateliers organisés à des étapes clés du processus de développement, en préparant une étude de cas et en fournissant, à Golder, du contenu majeur sur les versions préliminaires du document.

Le Centre canadien des services climatologiques d'Environnement et Changement climatique Canada, qui a fourni des commentaires techniques détaillés sur le projet d'orientation, fourni du soutien dans l'identification des ressources sur les conditions climatiques et la modélisation, puis soutenu la coordination de la revue externe du document d'orientation préliminaire.

La Société financière internationale, qui a contribué tôt dans le processus d'élaboration du document d'orientation, notamment en participant à l'atelier de lancement, et a fourni des commentaires sur la version préliminaire du guide.

Les membres du Groupe directeur sur l'adaptation aux changements climatiques de l'AMC, qui ont fourni une orientation générale de la part des membres de l'AMC, ont aussi participé à des ateliers et des appels tout au long du processus, et apporté de précieux renseignements dans le cadre des études de cas. En collaboration avec le Comité sur les changements climatiques, le Groupe de travail sur les résidus miniers ainsi que les comités respectifs sur l'environnement et les sciences de l'AMC, ils ont également fourni des données précieuses aux ébauches du document d'orientation.

Les réviseurs externes suivants qui ont commenté les ébauches du document d'orientation : Fraser Basin Council, le Conseil international des mines et des métaux (ICMM), Acclimatise, Ouranos et Pacific Climate Impacts Consortium.



Natural Resources  
Canada

Ressources naturelles  
Canada



CANADA'S CLIMATE CHANGE  
ADAPTATION PLATFORM  
*Equipping Canadians for a Changing Climate*



LORAX  
ENVIRONMENTAL



Environment and  
Climate Change Canada

Environnement et  
Changement climatique Canada



## Sommaire exécutif

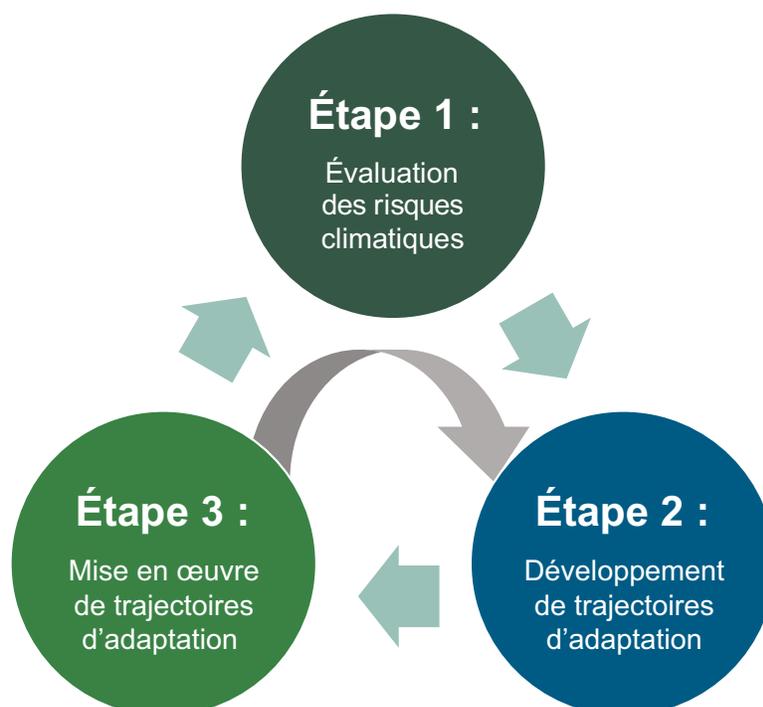
Dans le cadre de l'engagement de l'Association minière du Canada (AMC) en matière de développement durable, ce document fournit des lignes directrices sur l'adaptation aux changements climatiques pour le secteur minier. Les changements climatiques affectent déjà l'industrie minière et les modifications projetées à l'égard des principales variables climatiques, telles que la température et les précipitations, pourraient avoir une incidence sur l'ensemble des aspects du secteur minier dans le futur. Des processus de gestion des risques ont déjà été mis en place par les propriétaires de mines. Néanmoins, les changements climatiques agissent comme étant des modificateurs de risques, et pourraient avoir des impacts physiques, sociaux, économiques et réputationnels sur le secteur minier. Ce guide fournit des outils pouvant être utilisés par les propriétaires afin de tenir compte des risques et des opportunités associés au climat et d'intégrer l'adaptation aux changements climatiques au sein de leur processus décisionnel, en conformité avec les directives internationales existantes. Ce document d'orientation présente une approche par étapes pour :

- augmenter la résilience des mines, réduire le potentiel d'impacts ainsi que le besoin de mesures d'adaptation plus coûteuses à une phase ultérieure du cycle de vie;
- tirer avantage des opportunités offertes par les changements climatiques afin d'améliorer la gestion des mines, telles que des saisons de croissance plus longues, ce qui peut contribuer à l'amélioration des activités de végétalisation et de remise en état.

La prise en compte des considérations relatives aux changements climatiques et la gestion de la responsabilité liée aux changements climatiques constituent, de plus en plus, une forme d'exigences de la part des autorités réglementaires. Parallèlement, le niveau d'attente des investisseurs, prêteurs, assureurs et communautés d'intérêts est de plus en plus élevé quant à la démonstration d'une gestion des risques liés aux changements climatiques. Les investisseurs s'intéressent davantage à la divulgation des risques physiques et des opportunités liés aux changements climatiques, aux impacts potentiels sur les opérations, la réglementation, les finances et la réputation, ainsi qu'aux processus de gouvernance d'entreprise liés à l'adaptation aux changements climatiques. La mise en œuvre de ces directives peut aider dans le processus de divulgation d'informations reliées aux changements climatiques et au niveau du soutien de l'engagement des communautés d'intérêts. Les propriétaires devraient toutefois consulter des guides et lignes directrices spécifiques à la divulgation d'informations environnementales, sociales et de gouvernance par le biais de programmes de déclaration externe.

Le guide a été élaboré avec la contribution de membres de l'AMC et d'experts en la matière, et reflète les plus récentes recherches dans ce domaine. Les lignes directrices visent spécifiquement le secteur minier canadien, mais peuvent être appliquées à l'échelle mondiale.

Le guide décrit un processus en trois étapes que les propriétaires peuvent mettre en application afin de considérer et d'intégrer les mesures d'adaptation aux changements climatiques dans leur prise de décision, tel qu'illustré à la figure suivante.



### Étape 1 : Évaluation des risques des changements climatiques

- Établir les conditions climatiques de référence en fonction des conditions climatiques observées pour le site;
- Élaborer des projections des conditions climatiques futures pour le site à l'aide d'outils et d'approches de modélisation acceptés;
- Reconnaître les vulnérabilités en identifiant les éléments d'infrastructure, les opérations sur le site et hors site, les impacts sur les écosystèmes et les liens vers la remise en état, ainsi que les effets potentiels sur la santé humaine qui interagissent avec le climat;
- Évaluer les risques directs et indirects liés aux changements climatiques pour les infrastructures et les opérations vulnérables;
- Identifier les opportunités potentielles qui peuvent découler des conditions climatiques changeantes.

### Étape 2 : Développement de trajectoires d'adaptation

- Identifier les mesures potentielles d'adaptation pour faire face aux risques ou aux opportunités;
- Développer des trajectoires potentielles d'adaptation qui présentent diverses options pour traiter des risques ou des opportunités, y compris l'échéancier (court, moyen ou long terme) de mise en œuvre des mesures d'adaptation telles que la modernisation des infrastructures et la mise en œuvre d'autres mesures d'adaptation impliquant la modification des activités d'opération, d'entretien ou de surveillance;

- Mettre en application des outils d'analyse décisionnelle pour aider dans la sélection de la trajectoire d'adaptation privilégiée, en prenant compte des bénéfices potentiels et des coûts (financiers et non financiers) de chacune des stratégies d'adaptation évaluées;
- Effectuer une analyse de sensibilité pour vérifier la robustesse et la validité des résultats de l'analyse décisionnelle par rapport à divers biais et hypothèses;
- Sélectionner les trajectoires d'adaptation privilégiées ainsi qu'identifier les déclencheurs et les seuils pour d'autres mesures à prendre dans le futur.

### Étape 3 : Mise en œuvre de trajectoires d'adaptation

- Concevoir et mettre en œuvre les trajectoires d'adaptation sélectionnées;
- Effectuer la surveillance dans le but d'informer tout exercice de revue éventuelle et de mettre à jour les projections des conditions climatiques futures, l'évaluation des risques liés aux changements climatiques et l'analyse décisionnelle de la trajectoire d'adaptation sélectionnée;
- Mettre en œuvre un processus de gestion adaptative pour faire face à l'incertitude liée aux projections de changements climatiques, pour réagir de manière proactive aux changements inattendus des conditions climatiques, au-delà de celles prévues, et prendre des mesures supplémentaires en réponse aux valeurs seuils observées.

Ces étapes du processus sont conçues pour être applicables à l'intégration de l'adaptation aux changements climatiques dans la prise de décision à l'endroit des sites existants, des nouveaux sites ainsi qu'au niveau de l'entreprise. Comme pour tout processus d'évaluation et de gestion des risques, il est important de souligner que les résultats et la mise en œuvre ne sont pas statiques. Le processus se veut itératif, en reconsidérant les vulnérabilités et réévaluant les risques et les trajectoires d'adaptation en tenant compte d'une série d'informations telles que les résultats d'activités de surveillance, des modifications opérationnelles ou d'infrastructures sur le site minier, les changements dans la science du climat et les projections actualisées des conditions climatiques futures.

Le processus est également conçu pour être intégré dans les pratiques existantes d'évaluation et de gestion des risques, afin que les risques associés aux changements climatiques puissent être considérés comme faisant partie intégrante de la grille plus large des risques.

Par la mise en œuvre de ces lignes directrices, les propriétaires peuvent intégrer les considérations relatives aux changements climatiques dans leur planification à court, moyen et long terme, afin de démontrer les facteurs considérés aux autorités réglementaires, investisseurs, assureurs et communautés d'intérêts, ainsi que les mesures prises (par le(s) propriétaire(s)) pour gérer les risques liés aux changements climatiques. Un produit clé est une documentation claire et concise qui démontre l'intégration des changements climatiques dans le processus de prise de décision, ce qui comprend l'élaboration et la mise en œuvre des mesures d'adaptation, selon le cas.

## Table des matières

<b>Remerciements</b> .....	<b>i</b>
<b>Sommaire exécutif</b> .....	<b>ii</b>
Étape 1 : Évaluation des risques des changements climatiques .....	iii
Étape 2 : Développement de trajectoires d'adaptation .....	iii
Étape 3 : Mise en œuvre de trajectoires d'adaptation .....	iv
<b>Table des matières</b> .....	<b>v</b>
<b>1 Introduction</b> .....	<b>1</b>
1.1 Impacts potentiels des changements climatiques .....	1
1.2 Objectif.....	2
1.3 Public cible.....	3
<b>2 Aperçu</b> .....	<b>4</b>
2.1 Revue du processus d'intégration de l'adaptation aux changements climatiques dans la prise de décision .....	5
Étape 1 : Évaluation des risques des changements climatiques .....	5
Étape 2 : Développement de trajectoires d'adaptation .....	5
Étape 3 : Mise en œuvre de trajectoires d'adaptation.....	6
2.2 Approche itérative et évolutive .....	7
Approche itérative .....	8
Approche évolutive .....	9
2.3 Directives actuelles sur l'intégration des changements climatiques dans la prise de décision .....	12
2.4 Relation avec les initiatives de divulgation sur les changements climatiques .....	14
<b>3 L'exploitation minière dans un climat changeant</b> .....	<b>15</b>
3.1 Introduction aux changements climatiques .....	16
3.2 Les changements climatiques au Canada .....	19
<b>4 Étape 1: Évaluation des risques des changements climatiques</b> .....	<b>24</b>
4.1 Établir une référence climatique.....	26
4.1.1 Sélectionner les ensembles de données climatiques.....	27
4.1.2 Quantifier la référence climatique.....	28
4.2 Projection des conditions climatiques futures .....	28
4.2.1 Sélection des sources de projection du climat futur.....	29
4.2.2 Comprendre l'incertitude .....	30
4.2.3 Projection du climat futur.....	31

<b>4.3</b>	<b>Impacts et opportunités potentiels associés aux changements climatiques .....</b>	<b>33</b>
	Impacts potentiels .....	33
	Impacts potentiels sur le site et hors-site .....	34
	Impacts potentiels directs et indirects .....	35
	Opportunités potentielles.....	36
<b>4.4</b>	<b>Vulnérabilités et risques .....</b>	<b>37</b>
	Vulnérabilités .....	37
	Risques.....	39
<b>4.5</b>	<b>Cadre d'évaluation des risques .....</b>	<b>40</b>
	Éléments prioritaires du cadre d'évaluation des risques .....	42
	Engagement des communautés d'intérêt .....	42
	Surveillance et revue .....	42
	Documentation et rapports .....	43
	Composition de l'équipe .....	43
	STADE 1 : Portée de l'évaluation des risques.....	43
	STADE 2 : Collection de l'information .....	44
	STADE 3 : Identification des vulnérabilités et des opportunités.....	45
	STADE 4 : Développement d'un système de classement des risques .....	46
	STADE 5 : Évaluer le risque des vulnérabilités .....	48
<b>4.6</b>	<b>Étude de cas .....</b>	<b>50</b>
	Agnico Eagle – l'utilisation des ensembles de données pour réduire le risque et orienter la conception d'un recouvrement .....	50
<b>5</b>	<b>Étape 2 : Développement de trajectoires d'adaptation .....</b>	<b>52</b>
<b>5.1</b>	<b>Contraintes de temps dans les décisions concernant l'adaptation.....</b>	<b>53</b>
<b>5.2.</b>	<b>Cadre d'application des stratégies d'adaptation .....</b>	<b>56</b>
	5.2.1 Identifier les objectifs et la portée.....	57
	5.2.2 Identifier les mesures d'adaptation potentielles .....	58
	5.2.3 Classifier et présélectionner les mesures d'adaptation potentielles .....	59
	5.2.4 Identifier les trajectoires d'adaptation potentielles.....	60
	5.2.5 Seuils et déclencheurs climatiques .....	62
	5.2.6 Documenter les trajectoires d'adaptation potentielles .....	65
	5.2.7 Analyse décisionnelle des trajectoires potentielles d'adaptation .....	66
	5.2.8 Analyse de sensibilité .....	68
	5.2.9 Sélectionner la trajectoire d'adaptation privilégiée .....	69
<b>5.3</b>	<b>Études de cas .....</b>	<b>70</b>
	Glencore –Installations intégrées de nickel à Sudbury .....	70

<b>6</b>	<b>Étape 3 : mise en œuvre de trajectoires d'adaptation.....</b>	<b>72</b>
6.1	Conception et mise en œuvre de trajectoires d'adaptation .....	74
6.2	Surveillance .....	74
6.3	Développement et mise en œuvre d'un processus de gestion adaptative .....	75
	Planifier.....	77
	Réaliser.....	77
	Vérifier.....	77
	Agir .....	78
6.4	Études de cas .....	79
	Réhabilitation de la mine Giant – Seuils des changements climatiques.....	79
	La mine Millenium de Suncor – Gestion adaptative pour les résidus fins fluides.....	79
<b>7</b>	<b>Références.....</b>	<b>81</b>
	<b>Glossaire .....</b>	<b>86</b>
	<b>Annexe A : Tendances dans les variables et événements climatiques .....</b>	<b>90</b>
	<b>Annexe B : Méthodologie détaillée pour développer des références climatiques et des ensembles de données climatiques .....</b>	<b>96</b>
	<b>Annexe C : Sources de données sur les changements climatiques .....</b>	<b>109</b>
	<b>Annexe D : Études de cas.....</b>	<b>130</b>
	<b>Annexe E : Vulnérabilités liées aux changements climatiques – Cycle de vie d'une mine....</b>	<b>149</b>

## 1 Introduction

Les changements climatiques constituent une préoccupation mondiale, et ses répercussions présentent des risques de plus en plus généralisés pour toutes les industries et activités, y compris le secteur minier. Les changements au niveau du système climatique ont le potentiel d'affecter plusieurs aspects du secteur minier, tels que les impacts physiques sur les sites miniers et les communautés avoisinantes, les impacts sociaux ainsi que les impacts réputationnel et économiques à l'endroit des propriétaires.

Ce document constitue un guide et fournit des conseils au niveau de l'évaluation, de la sélection et de la mise en œuvre de mesures visant à gérer les risques et les opportunités associés aux changements climatiques, y compris les phénomènes météorologiques extrêmes et les changements à long terme des conditions climatiques. En suivant ces orientations, les propriétaires peuvent contribuer au renforcement de la résilience, réduire ou éliminer les impacts, minimiser les coûts de modifications futures et créer des avantages sociaux et économiques pour les intérêts publics et privés.

En 2016, le Groupe consultatif des communautés d'intérêts (GCCl) de l'Association minière du Canada (AMC) a publié, à l'intention de l'AMC, une déclaration sur les changements climatiques contenant des appels à l'action dans divers domaines, incluant la divulgation des risques et des opportunités liés aux changements climatiques. Le Groupe a suggéré des idées et des mesures spécifiques afin d'aider l'AMC et ses membres à tirer profit des progrès déjà réalisés dans la lutte contre les changements climatiques et de façonner les projets futurs en termes de planification, de gestion et d'exploitation des mines et des activités connexes dans ce contexte mondial changeant. Le présent document suit et reflète les conseils émis dans le cadre des appels à l'action du GCCl.

Outre l'engagement de l'AMC en matière d'adaptation aux changements climatiques, le secteur reconnaît la problématique à un niveau international. À cet effet, mentionnons la publication de la mise à jour du rapport *S'adapter au changement climatique : les implications pour l'industrie des mines et des métaux* (anglais seulement) en 2019 par l'International Council on Mining and Metals (ICMM). Ce rapport fait état d'une prise de conscience croissante des changements climatiques et de ses impacts potentiels sur l'industrie minière.

L'AMC tient à remercier le Comité directeur sur l'adaptation aux changements climatiques, mis sur pied afin d'aider au niveau de l'orientation et de la supervision de ce processus. L'AMC remercie également Ressources naturelles Canada pour son soutien et sa contribution financière au projet.

### 1.1 Impacts potentiels des changements climatiques

L'évolution des conditions climatiques pourrait entraîner un large éventail d'impacts potentiels sur le secteur minier. Les impacts directs seraient principalement de nature physique, tel que des événements extrêmes de précipitation causant des dommages à un passage à niveau routier, pouvant se produire sur le site ou hors site (p. ex., dommages à un passage à niveau sur un chemin public entretenu pour accéder au site minier).

Toutefois, ces impacts physiques directs pourraient, à leur tour, causer une série d'impacts indirects potentiels, tels que :

- la santé et la sécurité du personnel sur le site;
- la santé et la sécurité des résidents des communautés avoisinantes;
- impacts environnementaux;

- impacts économiques sur le propriétaire (p. ex., coûts de réhabilitation à court terme, coûts à plus long terme des primes d'assurance plus élevées);
- responsabilité légale et répercussions;
- atteinte à la réputation.

## 1.2 Objectif

L'objectif de ces directives est de favoriser une compréhension, en lien avec le secteur minier, des risques liés aux changements climatiques et de soutenir l'intégration des considérations spécifiques aux changements climatiques dans les prises de décision. Plus particulièrement, ces directives ont pour but d'aider les propriétaires de mines à intégrer l'adaptation aux changements climatiques dans le processus de prise de décision en leur fournissant des outils pour :

- comprendre le climat historique et le climat actuel;
- prévoir de quelle façon le climat pourrait changer dans l'avenir;
- identifier les aspects opérationnels de l'entreprise, au niveau des sites et au niveau corporatif (p. ex., gestion des eaux du site, chaîne d'approvisionnement de l'entreprise), qui sont potentiellement vulnérables aux conditions climatiques changeantes;
- évaluer les risques associés aux changements climatiques pour les infrastructures vulnérables et les activités, ainsi qu'identifier les opportunités potentielles;
- identifier les actions potentielles pour gérer les risques ou les opportunités associées aux changements climatiques pouvant être mises en place à l'endroit de sites spécifiques ou au niveau de l'entreprise (mesures d'adaptation);
- décider si, quand et de quelle(s) façon(s) mettre en place les mesures d'adaptation (trajectoires d'adaptation);
- mettre en œuvre le processus de surveillance, de gestion et d'amélioration continue nécessaire pour effectuer le suivi des changements climatiques et prendre les mesures appropriées à l'avenir.

Un produit clé est une documentation claire et précise qui démontre la prise en compte des conditions climatiques futures projetées dans l'approche de gestion des risques du propriétaire.

Ces directives ne se veulent pas normatives et décrivent un processus décisionnel qui est conforme et s'appuie sur les plus récentes directives et bonnes pratiques en matière d'adaptation aux changements climatiques. Il fournit des indications claires quant à l'approche, les sources d'information et les exigences en matière de documentation pour intégrer les facteurs climatiques dans la prise de décision, en décrivant les processus décisionnels à toutes les phases du cycle de vie des mines.

La mise en œuvre de ces directives peut contribuer à informer les entreprises sur les risques, les opportunités, les impacts financiers et les processus de gouvernance liés aux changements climatiques, y compris la divulgation par le biais d'initiatives telles que :

- Autorités canadiennes en valeurs mobilières (ACVM), Avis 51-358 du personnel des ACVM, *Information sur les risques liés au changement climatique*. (ACVM, 2019);
- Groupe de travail sur l'information financière relative aux changements climatiques (GIFCC), Rapport intitulé : *Recommendations of the Task Force on Climate-related Financial Disclosures (TCFD)*. En anglais. (GIFCC, 2017).

Il est important de noter que la mise en œuvre des mesures d'adaptation, pour accroître la résilience ou atténuer les impacts potentiels des changements climatiques sur un site minier ou en tant qu'entreprise, pourrait ne constituer qu'une partie de la stratégie globale du propriétaire en matière de changements climatiques. Cette stratégie pourrait aussi inclure des mesures de réduction des émissions de gaz à effet de serre et d'adaptation à d'autres aspects liés aux changements climatiques, tels que la tarification du carbone, le captage et le stockage du carbone, les technologies émergentes et l'évolution des cadres juridiques ou fiscaux. Ces directives sont axées sur l'adaptation aux effets potentiels des conditions climatiques changeantes sur le secteur minier. La portée de ces directives ne tient pas compte des autres aspects liés aux changements climatiques.

### 1.3 Public cible

Ces directives s'adressent principalement aux sociétés minières, afin de leur permettre d'intégrer la prise en compte de l'adaptation aux changements climatiques dans les mines actuelles et fermées ainsi que dans les opérations futures planifiées. Elles peuvent aussi être utilisées par les organismes gouvernementaux responsables de la gestion de sites miniers orphelins et abandonnés.

Les directives peuvent être utilisées par les autorités réglementaires pour améliorer leur compréhension des meilleures pratiques en lien avec l'adaptation aux changements climatiques.

Les organisations communautaires, les organisations non gouvernementales ainsi que tout autre organisme pouvant être affecté par le secteur minier peuvent également utiliser les directives pour mieux comprendre les meilleures pratiques en matière d'adaptation aux changements climatiques, et par conséquent être davantage informés dans leurs relations avec le secteur minier.

Bien que le guide soit rédigé pour le secteur minier, et illustré à l'aide d'exemples et d'études de cas pertinents pour le secteur minier, le processus décrit pourrait être appliqué par une grande variété d'activités des secteurs privé et public. Par exemple, une municipalité pourrait appliquer le processus afin de prendre des décisions éclairées concernant l'adaptation aux changements climatiques, telles que des décisions concernant la gestion des eaux pluviales. Ceci peut s'avérer pertinent même si les risques auxquels une municipalité est exposée, et les mesures d'adaptation par le fait même, peuvent varier grandement de ceux du secteur minier.

Il est important de souligner que même si certains aspects de ce document sont propres au Canada, notamment les projections nationales des conditions climatiques décrites à la [section 3](#), l'intention est de pouvoir appliquer ces directives à l'échelle mondiale.

Dans le contexte d'une application au Canada, ces directives s'alignent avec les exigences légales telles que la [Loi sur l'évaluation d'impact](#).

## 2 Aperçu

**Cette section constitue un sommaire des concepts présentés dans le guide et la façon dont ces concepts sont censés être appliqués tout au long du cycle de vie de l'exploitation minière afin d'intégrer l'adaptation aux changements climatiques dans la prise de décision. Une discussion sur la façon dont ces orientations sont liées à d'autres guides en vigueur est aussi fournie.**

Il est important d'avoir une compréhension commune du cycle de vie de l'extraction et/ou du raffinage, et de la façon dont chaque phase du cycle de vie est définie. Le cycle de vie comprend généralement six phases : la planification, la conception, la construction, l'exploitation, la fermeture et la post-fermeture. Ces phases sont rarement linéaires; la planification, la conception et la construction sont des activités récurrentes tout au long du cycle de vie.

Les définitions des phases du cycle de vie sont adaptées du *Guide de gestion des parcs à résidus miniers de l'AMC* (2019b) :

La **planification** est une activité récurrente du cycle de vie qui s'applique à la planification de nouveaux développements (« greenfield »), à la prolongation de la durée de vie des mines, aux modifications matérielles du plan de mine, à la réouverture de sites fermés et à la fermeture. La planification évalue une série d'options potentielles dans le but de choisir l'option privilégiée.

La **conception** est une activité récurrente du cycle de vie qui s'appuie sur la phase de planification. La conception détaillée peut être entreprise lorsque l'option privilégiée est choisie.

La **construction** est une activité récurrente du cycle de vie qui comprend :

- la construction d'infrastructures et d'installations minières, pour les nouvelles mines et les expansions d'envergure. Ceci comprend le transport, l'énergie, le traitement des minerais, ainsi que la gestion de l'eau et des résidus miniers;
- la construction en continu pendant la phase d'exploitation, particulièrement les parcs à résidus miniers (p. ex., rehaussement de barrage);
- la restauration progressive (p. ex., réhabilitation de zones perturbées);
- la construction reliée à la mise en œuvre du plan de fermeture (p. ex., installation de recouvrements, retrait d'infrastructures).

L'**exploitation** désigne la période du cycle de vie au cours de laquelle la mine est en production, le minerai est traité (si une installation est présente sur le site), les stériles et les résidus miniers sont générés.

La **fermeture** a lieu lorsque la mine a définitivement cessé ses activités commerciales et que le plan de fermeture est mis en œuvre, y compris le retrait des infrastructures clés.

La période **post-fermeture** a lieu lorsque le plan de fermeture a été mis en œuvre et que les infrastructures restantes, particulièrement les parcs à résidus miniers et les haldes de stériles, transitionnent vers une période d'entretien et de surveillance continue à long terme.

## 2.1 Revue du processus d'intégration de l'adaptation aux changements climatiques dans la prise de décision

Le guide décrit un processus en trois étapes que les propriétaires peuvent appliquer pour intégrer l'adaptation aux changements climatiques dans leur prise de décision (voir figure 1).

### Étape 1 : Évaluation des risques des changements climatiques

- Compiler et analyser les ensembles de données sur les conditions climatiques observées pour le site;
- développer des projections de conditions climatiques futures, sur la base des conditions climatiques de référence, et en utilisant des outils de modélisation acceptés et différentes hypothèses pour les émissions futures de GES;
- identifier les éléments d'infrastructure (p. ex., les traversées de cours d'eau) et les opérations sur place et hors site (p. ex., routes d'accès, installations portuaires utilisées pour l'expédition de produits) qui sont potentiellement vulnérables aux conditions climatiques changeantes en considérant :
  - de quelle façon les éléments d'infrastructure et les opérations du site interagissent avec le climat (p. ex., température moyenne annuelle, événements extrêmes tels que les précipitations);
  - les conditions climatiques futures projetées, et comment l'interaction entre le climat, les infrastructures et les opérations sur le site pourrait être modifiée dans des conditions climatiques changeantes.
- identifier les opportunités potentielles qui peuvent découler de l'évolution des conditions climatiques (p. ex., une saison de croissance plus longue pouvant améliorer les activités de restauration), et les changements pouvant survenir en raison des changements climatiques qui ne sont ni une vulnérabilité ni une opportunité (p. ex., variation des conditions de croissance changeant ainsi les plantes privilégiées pour la remise en état), mais qui devraient être gérés;
- évaluer les risques associés aux changements climatiques pour les infrastructures et les opérations vulnérables, en tenant compte des risques dans les conditions climatiques actuelles (référence) et de la manière dont ces risques devraient évoluer dans les conditions climatiques futures projetées.

### Étape 2 : Développement de trajectoires d'adaptation

- Identifier l'objectif et la portée, incluant les risques à gérer et les facteurs à considérer, ainsi que les objectifs mesurables de performance;
- identifier les mesures d'adaptation potentielles qui pourraient être mises en place pour faire face aux risques ou tirer avantage des opportunités, telles que :
  - modifications physiques des infrastructures existantes ou construction de nouvelles infrastructures;
  - révision des activités d'opération, d'entretien et de surveillance;
  - fournir un soutien aux tierces parties responsables des infrastructures vulnérables hors site;
  - collaborer avec les fournisseurs au sujet des risques ou opportunités reliés aux chaînes d'approvisionnement;
  - améliorer les structures de gouvernance reliées à l'adaptation aux changements climatiques.

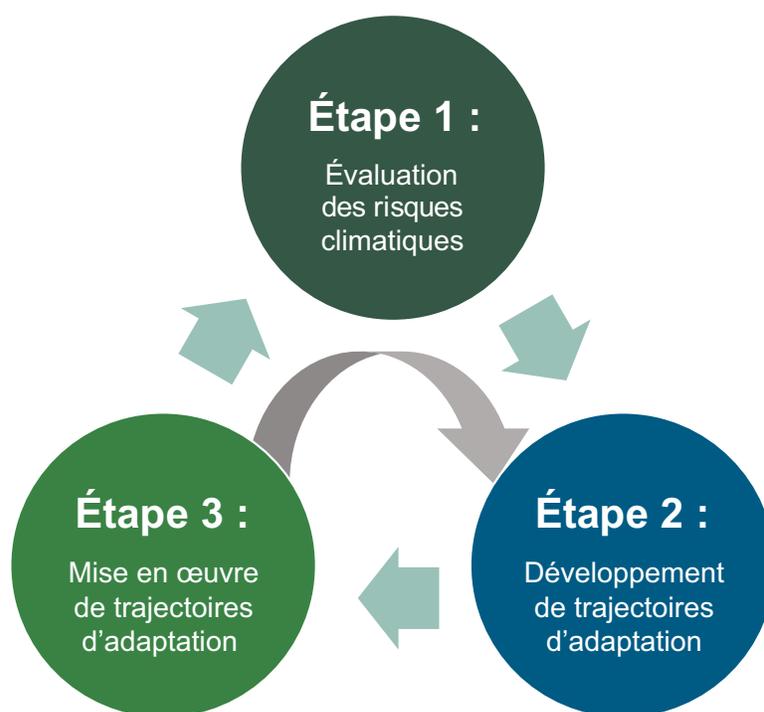
- classer et présélectionner les mesures d'adaptation potentielles afin d'éliminer sans autre examen celles dont les caractéristiques ne seraient pas viables :
  - dans certains cas, il serait possible de prendre une décision à cette étape au sujet des trajectoires d'adaptation et des mesures à mettre en place ainsi que le calendrier de mise en œuvre, et de passer à l'étape 3;
  - dans d'autres cas, le processus devrait se poursuivre via des étapes plus détaillées décrites ci-dessous.
- développer des trajectoires d'adaptation potentielles qui établissent la séquence de mise en œuvre possible des mesures d'adaptation pour faire face aux risques ou aux opportunités. Les options de trajectoires d'adaptation peuvent inclure :
  - maintien du statu quo dans lequel la trajectoire ne comprend aucune mesure d'adaptation et où le propriétaire réagirait si un événement climatique se produisait;
  - mise en œuvre d'une mesure d'adaptation à court terme;
  - reporter la mise en œuvre d'une mesure d'adaptation jusqu'à ce qu'un seuil prédéfini, pour les variables climatiques pertinentes, ait été atteint.
- évaluer les trajectoires d'adaptation potentielles à l'aide d'outils d'analyse décisionnelle (p. ex., l'analyse multicritères ou analyse coûts-avantages) pour analyser les trajectoires d'adaptation potentielles et motiver le choix de la trajectoire privilégiée pour chaque risque et/ou opportunité à gérer;
- effectuer une analyse de sensibilité pour tester la robustesse et la validité des résultats de l'analyse décisionnelle par rapport à divers biais et hypothèses;
- identifier les facteurs déclencheurs et les seuils qui peuvent nécessiter une réévaluation de la mesure d'adaptation ou exiger des mesures d'adaptation supplémentaires;
- sélectionner la trajectoire d'adaptation privilégiée.

### Étape 3 : Mise en œuvre de trajectoires d'adaptation

- Concevoir et mettre en œuvre les trajectoires d'adaptation sélectionnées;
- augmenter ou revoir les activités de surveillance afin d'informer tout exercice de revue éventuelle et de mise à jour des :
  - projection des conditions climatiques futures utilisées à l'étape 1;
  - priorités identifiées dans l'évaluation des risques liés aux changements climatiques;
  - changements dans les intrants ou les valeurs utilisées dans l'analyse décisionnelle de la trajectoire d'adaptation sélectionnée.
- mettre en œuvre un processus de gestion adaptative tout au long du cycle de vie d'une mine pour :
  - traiter de l'incertitude associée aux projections des changements climatique;
  - répondre de manière proactive aux changements observés dans les conditions climatiques et intégrer les mises à jour de la science climatique;
  - prendre les mesures supplémentaires en réponse aux valeurs seuils observées, tel qu'indiqué dans le processus de développement des trajectoires d'adaptation.

Il est important de reconnaître que de nombreux propriétaires ont déjà mis en place des processus multidisciplinaires pour identifier, évaluer et gérer les risques par le biais de cadres de gestion des risques. Les conditions climatiques constituent une source potentielle de risque prise en compte dans ces processus. Lorsque de tels processus existent déjà, les risques liés aux changements climatiques doivent être intégrés comme étant une autre source potentielle de risque à considérer, en tenant compte des impacts directs potentiels liés aux changements climatiques, mais également de la possibilité que les changements climatiques constituent un élément modificateur pour d'autres risques. Il n'est pas recommandé d'établir un processus spécifique aux risques liés aux changements climatiques. Ces directives devraient être utilisées pour faciliter la prise en compte des risques liés aux changements climatiques en utilisant des processus existants. Dans d'autres cas, les directives peuvent être appliquées sous la forme d'un outil autonome pour identifier et gérer les risques liés aux changements climatiques.

**Figure 1 : Aperçu du processus d'intégration de la considération des changements climatiques dans la prise de décision**



## 2.2 Approche itérative et évolutive

Le processus en trois étapes décrit ci-dessus peut être appliqué à la planification et à la conception de nouveaux sites miniers ou de nouvelles composantes d'infrastructure. Ceci contribue à rendre, dès le départ, les nouvelles constructions plus résistantes aux changements climatiques. Le processus peut également être appliqué aux sites existants dans la phase d'exploitation, ou encore lors des phases de fermeture et de post-fermeture, afin d'aider les propriétaires à prendre des décisions à court et à long terme sur la meilleure façon de répondre aux risques que représentent les changements climatiques.

## Approche itérative

Quelle que soit la phase du cycle de vie de la mine à laquelle ce processus est appliqué, il est important de souligner que, comme pour tous les processus d'évaluation et de gestion des risques, les résultats et la mise en œuvre ne sont pas statiques. Le processus se veut itératif; les vulnérabilités à reconsidérer, les risques et les trajectoires d'adaptation à réévaluer selon une série d'informations telles que les résultats d'activités de surveillance et les changements apportés aux infrastructures ou aux opérations sur le site minier.

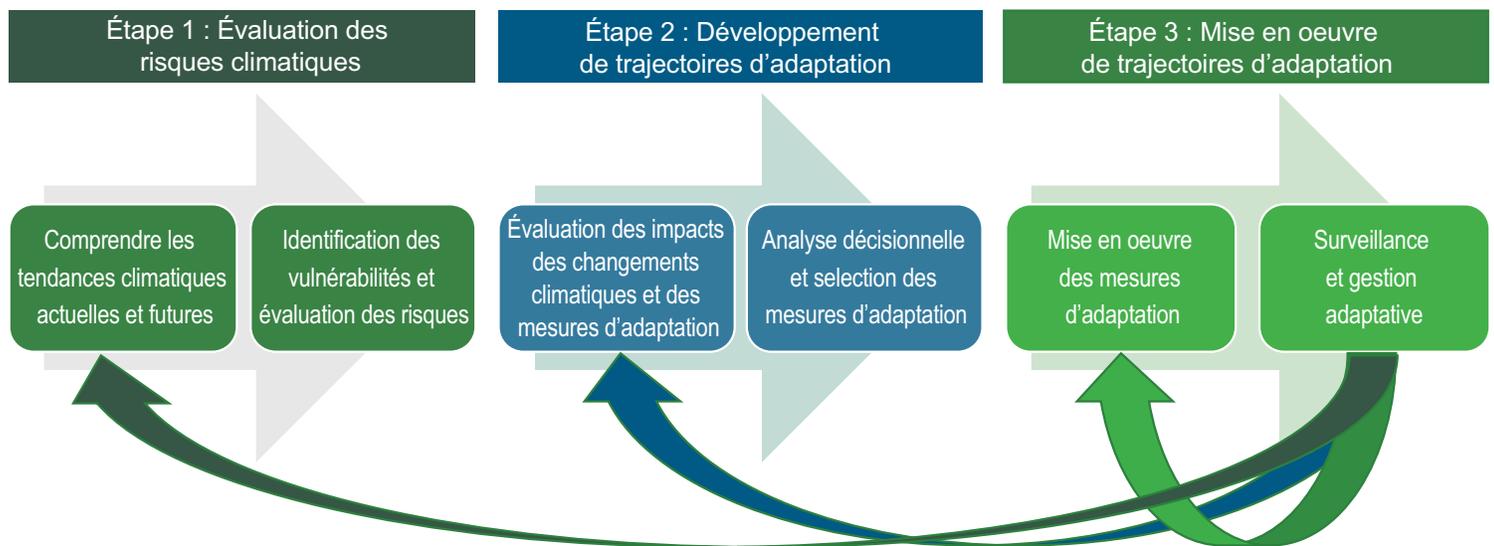
Toutefois, une approche itérative est d'autant plus impérative lorsqu'on considère la façon de gérer les risques liés aux changements climatiques, étant donné l'incertitude relative aux projections des conditions climatiques futures, l'amélioration éventuelle de ces projections à mesure que se bonifiera le niveau de connaissances, et l'émergence potentielle de changements à court terme indiquant un climat changeant. Il est donc recommandé aux propriétaires de mettre ces directives en application de manière continue et itérative, tout en s'informant et en tenant compte des éléments suivants :

- mises à jour de la science du climat, des codes et normes d'ingénierie ou des exigences légales pouvant modifier les vulnérabilités ou les risques;
- modification des opérations de la mine, incluant les infrastructures;
- changements au niveau des politiques, plans, stratégies commerciales et des actifs (p. ex., délais d'entretien et de remplacement) (ISO, 2019);
- changement dans la phase du cycle de vie de la mine (c.-à-d. une mine qui transitionne de l'exploitation à la fermeture);
- changements dans les plans futurs de la mine (p. ex., prolongation de la durée de vie de la mine);
- modifications de l'environnement externe;
- mesures d'adaptation au climat prises par des tiers (ISO, 2019).

Comme l'illustre la figure 2, des changements tels que ceux énumérés ci-dessus pourraient déclencher une revue de ce qui suit :

- ensemble de données climatiques et projections des conditions climatiques futures (étape 1);
- identification des vulnérabilités et des opportunités (étape 1);
- évaluation des risques liés aux changements climatiques (étape 1);
- trajectoires d'adaptation sélectionnées (étape 2);
- mise en œuvre de trajectoires d'adaptation (étape 3);
- conception et mise en œuvre du programme de surveillance (étape 3).

**Figure 2 : La nature itérative du processus d'intégration de la prise en compte des changements climatiques dans la prise de décision**



### Approche évolutive

Le processus est conçu pour être appliqué de manière évolutive, soit tout au long du cycle de vie et au fur et à mesure du processus, lorsque de l'information additionnelle est obtenue. Une approche évolutive ajuste le niveau de détail nécessaire en fonction de la décision à prendre ou de l'étape du processus et permet de démarrer le processus à la phase de la planification, lors de l'élaboration du plan minier initial.

Dans le contexte de l'adaptation aux changements climatiques, une approche évolutive implique principalement un degré d'incertitude et des efforts à déployer pour réduire cette incertitude. L'incertitude est inhérente aux résultats de toute évaluation des risques. De plus, l'incertitude associée à la projection des conditions climatiques futures ajoute un degré d'incertitude supplémentaire à ne pas négliger. La collecte d'ensembles de données plus complètes sur les conditions climatiques observées et la réalisation de modélisations plus détaillées des conditions climatiques futures projetées peuvent contribuer à réduire le niveau d'incertitude. Toutefois, une telle réduction de l'incertitude n'est pas toujours nécessaire ou possible.

Les exemples suivants illustrent les différentes façons dont une approche évolutive peut être utilisée.

- Évolutive selon l'objectif du processus décisionnel : une plus grande rigueur (moins d'incertitude) est nécessaire pour éclairer certaines décisions par rapport à d'autres, telles que les décisions relatives à la conception détaillée d'un nouveau site minier, par rapport à une décision concernant le remplacement possible d'une traversée de cours d'eau.
- Évolutive tout au long du cycle de vie : un niveau de détail plus faible et un taux d'incertitude plus élevé sont tolérables pendant la phase de planification d'un nouveau site minier ou d'un élément d'infrastructure (p. ex., une infrastructure de gestion de l'eau). Toutefois, un ensemble plus complet de données climatiques observées et une modélisation des conditions climatiques futures projetées peuvent être requises pour les besoins d'une conception détaillée en fonction des résultats de l'évaluation des risques.

- Évolutive au fil des étapes du processus : par exemple un ensemble de données climatiques et des projections climatiques moins détaillées peuvent être utilisés pour identifier les vulnérabilités, mais le développement et la sélection des trajectoires d'adaptation pourraient nécessiter des informations supplémentaires, tels que des renseignements sur les variables climatiques contraignantes (p. ex., potentiel de sécheresse). Lors de la mise en œuvre des trajectoires d'adaptation (étape 3), des informations supplémentaires peuvent aussi être nécessaires pour définir les éléments déclencheurs d'actions additionnelles d'adaptation.

Le tableau 1 fournit des exemples pour un aspect spécifique et évolutif, selon le niveau de détail de l'ensemble de données climatiques utilisé pour décrire les conditions climatiques actuelles et historiques. Cet ensemble de données sert de base à l'élaboration d'une projection des conditions climatiques futures spécifique à un site. Le tableau 1 divise les ensembles de données climatiques en trois catégories : de base, intermédiaires et détaillées (Charron, 2016). Ces catégories s'appliquent non seulement à l'application potentielle des informations, mais aussi aux formats dans lesquels les informations peuvent être présentées. Passer de la catégorie de base à la catégorie détaillée accroît la complexité du type de variables climatiques considérées.

Les phases de planification et de conception sont particulièrement importantes pour les nouvelles mines, de même que pour les prolongations de durée de vie des mines et de leur fermeture. Les risques associés aux changements climatiques doivent être identifiés, évalués et intégrés dans la prise de décision lors des phases de planification et de conception, permettant ainsi d'accroître la résilience des opérations et d'éviter les mesures de mitigation dans le futur. Toutefois, comme indiqué, plus de détails sont requis lors de la phase de conception. La planification et la conception doivent chacune tenir compte d'un calendrier à long terme, notamment la durée de vie projetée de la mine et les phases de fermeture et de post-fermeture. Au cours de ces phases, les événements climatiques extrêmes (p. ex., tempêtes, précipitations de forte intensité, incendies de forêt) et les variations climatiques à long terme (p. ex., augmentation des températures) doivent être pris en compte et intégrés dans la conception de l'ensemble de la mine ainsi que dans les éléments spécifiques de l'infrastructure minière. Le tableau 1 décrit comment les changements climatiques peuvent être précisés au fil du temps pour chaque phase du cycle de vie de l'exploitation minière.

La planification et la conception spécifiques à l'élaboration d'un plan de fermeture pourraient devoir adopter une vision à plus long terme. Conformément aux meilleures pratiques concernant l'élaboration d'un plan de fermeture, l'élaboration devrait débuter le plus tôt possible dans le cycle de vie. Ceci implique de revoir le plan et les éléments de conception de façon continue et de le finaliser lors des dernières étapes de la phase d'exploitation. Le développement en continu du plan de fermeture devrait tenir compte des projections du climat futur et refléter les mises à jour au fil du temps, en plus de considérer d'autres facteurs tels que l'état de la mine lors de construction, l'évolution des exigences légales, les améliorations technologiques, etc.

Tableau 1 : Trois catégories de projections d'information climatique (adapté de Charron, 2016)

Catégorie	Caractéristiques			
	But	Résolution spatiale	Statistiques climatiques	Phase du cycle de vie d'une mine
<b>Basic</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ sensibilisation initiale</li> <li>■ évaluation préliminaire des risques</li> <li>■ évaluation des alternatives</li> <li>■ divulgation des renseignements de l'entreprise (p. ex., GIFCC (TCFD))</li> <li>■ identification des risques / opportunités climatiques prioritaires</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ échelle grossière (p. ex., projections existantes des agences gouvernementales, établissements universitaires, etc.)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ changement moyen (delta) par rapport au climat actuel</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ planification</li> <li>■ planification conceptuelle de la fermeture</li> </ul>
<b>Intermédiaire</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ identification des vulnérabilités</li> <li>■ évaluations des impacts</li> <li>■ élaboration précoce (en cours de conception) des mesures d'adaptation</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ variable (p. ex., nationale, provincial, régions d'un pays, bassin versant)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ gamme de valeurs projetées pour des variables climatiques spécifiques (p. ex., température moyenne annuelle)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ design conceptuel</li> <li>■ élaboration d'un plan de fermeture dès les premières phases du cycle de vie</li> </ul>
<b>Détaillée</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ évaluation des risques climatiques</li> <li>■ outils d'analyse et d'aide à la décision</li> <li>■ éclairer les processus de surveillance et de mise en œuvre des trajectoires d'adaptation</li> <li>■ registres de risques par site</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ typiquement à petite échelle (p. ex., régionale ou dizaines de kilomètres)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ extrêmes, y compris la modification de la répartition des précipitations</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ conception détaillée</li> <li>■ construction</li> <li>■ exploitation</li> <li>■ conception détaillée de fermeture</li> <li>■ fermeture, post-fermeture</li> </ul>

### 2.3 Directives actuelles sur l'intégration des changements climatiques dans la prise de décision

Avant l'élaboration de ce guide, il existait peu de lignes directrices spécifiques à l'exploitation minière qui fournissaient des méthodes ou des procédures sur l'intégration des considérations relatives aux changements climatiques dans le processus décisionnel du propriétaire. Une analyse documentaire a été réalisée, rassemblant divers documents accessibles au public provenant d'organismes internationaux, établissements universitaires et des gouvernements fédéral, provinciaux et territoriaux, afin de fournir des conseils sur l'intégration des considérations relatives aux changements climatiques dans l'industrie minière.

***Adapting to a Changing Climate: Building Resilience in the Mining and Metals Industry (International Council on Mining and Metals (ICMM), 2019)*** : Il s'agit d'un compte rendu global sur les principaux défis et opportunités auxquels le secteur minier est confronté en ce qui concerne l'adaptation aux changements climatiques. Il donne un aperçu des raisons pour lesquelles il est important de renforcer la résilience aux changements climatiques pour les mines et fait des recommandations sur la façon dont les propriétaires peuvent intégrer les considérations climatiques dans les processus de gestion des risques existants et définit un processus par étapes pour renforcer la résilience aux changements climatiques. Le rapport ne fournit pas d'orientations spécifiques sur les options ou pratiques d'adaptation recommandées. Le présent guide s'aligne sur les lignes directrices fournies par l'ICMM.

***Rapport sur le climat changeant du Canada (Bush et Lemmen, éd., 2019)*** : Le rapport présente une évaluation nationale de l'état des connaissances sur la façon dont le climat du Canada a changé et pourquoi, et sur les changements projetés pour l'avenir. Dirigé par Environnement et Changement climatique Canada, il s'agit du premier rapport publié dans le cadre d'une série intitulée *Le Canada dans un climat en changement : faire avancer nos connaissances pour agir*. Le rapport comprend un aperçu des modèles climatiques et de la manière dont ils sont utilisés pour simuler le climat historique et projeter le climat futur. Il comprend également une discussion sur les méthodes de réduction d'échelle qui permettent de transformer les résultats des modèles de circulation générale en informations locales plus détaillées et mieux adaptées aux études d'impact. Un résumé de ces informations, y compris les tendances observées et projetées pour un certain nombre de variables climatiques au Canada, est inclus à l'**annexe A**, alors que la **section 3** présente plus de détails à ce sujet.

De plus amples informations sur la manière d'accéder aux données climatiques observées et futures et de les utiliser peuvent être obtenues auprès du Centre canadien des services climatologiques (CCSC). Le CCSC a été créé par le gouvernement du Canada afin que les Canadiens disposent des informations et du soutien dont ils ont besoin pour comprendre et réduire les risques liés aux changements climatiques. Le site Web du CCSC comprend des informations de base sur les concepts liés aux changements climatiques, des liens vers les portails de données climatiques canadiens, une bibliothèque de ressources utiles à la prise en compte des informations climatiques dans la prise de décision, et un bureau d'aide.

Le bureau d'aide offre du soutien et répond aux questions afin de guider les Canadiens cherchant à comprendre et à utiliser les données climatiques. Il offre un accès direct aux experts en climatologie, et peut être joint par le biais du site Web du CCSC, par téléphone au 1-833-517-0376, ou par courriel à [info.cccs-ccsc@canada.ca](mailto:cccs-ccsc@canada.ca). Veuillez consulter régulièrement le site Web du CCCS à mesure que les nouveaux outils et ressources deviennent disponibles.

Les lignes directrices canadiennes sur la façon d'utiliser les informations climatiques pour aider dans la prise de décision et sur la façon de décider du niveau de détail qui soutient le mieux l'adaptation et la prise de décision sont les suivantes :

- **Guide sur les scénarios climatiques (Charron, 2016)** : aide les intervenants en matière d'adaptation aux changements climatiques lors de l'utilisation des informations climatiques à l'aide d'une introduction générale aux concepts de climatologie.
- **Recommandations de sécurité des barrages, 2007 (Révision 2013, ACB, 2013)** : l'Association canadienne des barrages ne fournit pas de conseils spécifiques sur les considérations relatives aux changements climatiques. Pour les infrastructures existantes, les lignes directrices recommandent de tenir compte des changements climatiques lorsqu'il est question d'évaluer les pratiques ou les plans existants afin de déterminer si une mise à jour est requise en regard des changements potentiels futurs, notamment en ce qui concerne les bilans et les extrêmes de précipitations.
- **Principes d'adaptation aux changements climatiques et d'atténuation de leurs effets (Ingénieurs Canada, 2018)** : Ingénieurs Canada a élaboré des principes directeurs pour l'exercice professionnel requis en ce qui concerne l'adaptation aux changements climatiques et l'atténuation de ses effets. Ces principes sont conçus pour améliorer la résilience en comprenant les impacts potentiels et en réduisant l'ampleur de ces impacts. Toutefois, la planification, la conception, l'exploitation et l'entretien des infrastructures ne peuvent plus seulement se fier aux tendances historiques projetées dans le futur. Pour l'entretien des infrastructures en particulier, les ingénieurs doivent tenir compte du climat historique, des tendances météorologiques à court terme (p. ex., climat actuel) et des projections climatiques à long terme (p. ex., climat futur). La viabilité à long terme et la résilience des infrastructures doivent être prises en compte pendant leur durée de vie probable, avec des marges pour prendre en compte des mesures d'adaptation au climat. Les ingénieurs doivent appliquer une norme raisonnable de jugement professionnel dans l'examen des conditions climatiques changeantes, de la résilience et des possibilités d'atténuation dans le cadre de leur pratique professionnelle.
- **Évaluation stratégique des changements climatiques du Gouvernement du Canada (2020)** : l'évaluation présente des lignes directrices quant à la façon dont les évaluations d'impact fédérales prendront en compte les éléments d'atténuation et d'adaptation d'un projet. L'évaluation stratégique précise comment l'Agence d'évaluation d'impact du Canada ou d'autres organismes de réglementation examineront les informations relatives aux émissions de GES d'un projet et à la résilience aux impacts des changements climatiques. La ligne directrice recommande de préparer une description de la portée et du calendrier de l'évaluation de la résilience en tenant compte de toutes les phases d'un projet. Les projets doivent également présenter une description du cadre de gestion des risques et du processus d'évaluation des risques utilisés pour identifier, évaluer et gérer les risques climatiques.
- **Optique des changements climatiques, version 1.2 (Infrastructure Canada, 2019)** : exigence applicable dans le cadre du programme d'infrastructure Investir dans le Canada (ICIP) afin de recevoir du financement du Fonds d'atténuation et d'adaptation en matière de catastrophes et du Défi des villes intelligentes. Conçue pour les infrastructures futures, l'évaluation exige de tenir compte de la résilience climatique lors de l'examen d'un projet proposé, soit sa capacité de répondre à un événement lié aux changements climatiques et sa capacité de reprise. L'annexe H de la version 1.2 comprend des références vers des fournisseurs de services climatiques nationaux et régionaux, des portails de données climatiques et à d'autres sources de données et d'informations climatiques dans tout le pays. Dans cette version, les informations climatiques sont développées pour répondre aux besoins de prise de décision. De plus, une liste actualisée des ressources disponibles pour les informations et les données climatiques est offerte.

## 2.4 Relation avec les initiatives de divulgation sur les changements climatiques

Il existe un intérêt croissant de la part des investisseurs qui recherchent de l'information améliorée au niveau des risques, opportunités, impacts financiers et les processus de gouvernance liés aux changements climatiques. Par exemple, deux instruments spécifiques à la divulgation ont été mis au point :

- Autorités canadiennes en valeurs mobilières (ACVM) Avis 51-358 du personnel des ACVM, *Information sur les risques liés au changement climatique*. Au Canada et dans le monde entier, les investisseurs s'intéressent davantage à la divulgation des risques, aux opportunités, des impacts financiers et aux processus de gouvernance liés aux changements climatiques. La législation canadienne sur les valeurs mobilières exige la divulgation des risques importants qui affectent les sociétés minières et de toute incidence financière associée.
- Rapport du Groupe de travail sur l'information financière relative aux changements climatiques (GIFCC) intitulé *Recommendations of the Task Force on Climate-related Financial Disclosures* (GIFCC, 2017). Le GIFCC (TCFD en anglais) définit un cadre pour la divulgation volontaire des risques et des opportunités liés au climat. Il suggère que les opportunités liées au climat pour les sociétés minières découleront d'actions qui amélioreront l'efficacité opérationnelle.

En outre, plusieurs assureurs et réassureurs multinationaux ont intégré l'adaptation aux changements climatiques dans l'évaluation des risques de leur portefeuille, ont réduit leur capacité de souscription pour certains risques et ont mis en place de nouvelles exclusions et conditions de couverture.

La mise en œuvre de ces lignes directrices peut faciliter la divulgation liée à ces initiatives. Toutefois, ce guide n'a pas pour but de fournir des conseils sur la divulgation par le biais de ces programmes. Les résultats d'une évaluation des risques climatiques spécifiques aux mines doivent être intégrés dans un programme de gestion des risques à l'échelle de l'entreprise ou incorporés dans la politique ou la stratégie de gouvernance de l'entreprise. Cela permettra de communiquer et d'intégrer les risques et opportunités liés au climat dans la stratégie ou le programme plus large de l'entreprise, et démontrera la nécessité de renforcer les capacités et l'apprentissage organisationnel. Cela permettra également de prendre en compte, de manière cohérente, tous les risques et opportunités liés aux projets et de suivre la performance des mesures d'adaptation.

### 3 L'exploitation minière dans un climat changeant

**Cette section présente des concepts aidant à la prise en compte de l'adaptation aux changements climatiques dans la prise de décision. Bien que certains renseignements dans cette section donnent un aperçu sur la façon dont le climat change et dont il est projeté de changer, l'application des concepts est possible à l'échelle mondiale.**

Une compréhension de la variabilité climatique a toujours été de mise dans le cadre de l'exploitation minière, soit des pratiques et des processus d'évaluation et de gestion des risques mis en place afin de tenir compte des risques et des opportunités liés au climat. À titre d'exemple, sans même tenir compte des changements climatiques potentiels, il est courant de concevoir des infrastructures de gestion de l'eau et des installations de traitement des résidus miniers pour faire face à des événements climatiques extrêmes, tels que la précipitation maximale probable, le régime de crue ou un événement à période de récurrence de 10 000 ans, plutôt que des périodes de récurrence plus courte.

Désormais, les changements climatiques constituent des modificateurs de ces risques. De plus, les changements climatiques projetés pourraient introduire des risques additionnels ainsi que des opportunités. Les changements climatiques au niveau mondial ont eu, et continueront d'avoir, un impact sur les mines, et ce peu importe le type d'environnement dans lesquelles elles se trouvent. La prise en compte des risques liés aux changements climatiques est une priorité reconnue pour le secteur minier (ICMM, 2019).

Cette section introduit la terminologie utilisée tout au long du document :

**Variable climatique :** paramètre météorologique qui peut être mesuré et projeté dans le futur (p. ex., température, précipitations, vent, etc.) et qui a la capacité d'interagir avec les infrastructures et les opérations minières.

**Indicateur climatique :** un indice qui peut être quantifié ou mesuré pour illustrer les changements d'une variable climatique (p. ex., la température quotidienne, le nombre de jours de gel, l'intensité et la durée des événements de précipitations, la vitesse et la direction du vent). La valeur d'un indicateur climatique peut changer dans le temps, en fonction des changements climatiques.

**Événement climatique :** un événement (p. ex., épisode de précipitation extrême) se produisant lorsqu'une variable climatique est supérieure à la valeur d'un indicateur climatique, entraînant des effets indésirables sur les infrastructures, les opérations minières ou le milieu environnant.

L'augmentation des émissions de GES a entraîné des changements de tendances pour diverses variables climatiques telles que la température et les précipitations annuelles moyennes. Ces changements peuvent être mesurés à l'aide d'indicateurs climatiques. L'évolution des variables climatiques, au fil du temps, peut mener à des événements climatiques liés aux changements climatiques tels que : l'élévation du niveau de la mer, la dégradation du pergélisol, les chaleurs extrêmes, les tempêtes extrêmes, les sécheresses, les inondations et les incendies. Les changements climatiques agissent comme des modificateurs de risque en altérant potentiellement la fréquence et l'intensité de ces événements.

Comprendre les changements des conditions observées et la manière dont les changements climatiques projetés auront des impacts directs et indirects sur une mine, les communautés voisines et l'environnement constitue la première étape du processus global décrit dans ce guide. Les impacts issus des changements dans les variables climatiques varieront en fonction de nombreux facteurs, particulièrement l'emplacement de la mine, la nature des infrastructures et la phase du cycle de vie de la mine.

### Questions clés abordées dans cette section

**Quels renseignements sont disponibles pour décrire le climat actuel et futur?** La [section 3.1](#) présente la principale source intergouvernementale de la science du climat, et fait référence à quelques termes permettant de comprendre l'état accepté de la recherche dans ce domaine.

**Comment évolue le climat et comment projette-t-on son évolution au Canada?** La [section 3.2](#) donne un aperçu des tendances observées et projetées des variables climatiques à travers le Canada. Ceci comprend une description des tendances passées et futures, pour une liste de variables climatiques, spécifique au Canada.

## 3.1 Introduction aux changements climatiques

Le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) est généralement considéré comme la source officielle d'informations relatives aux changements climatiques passés et futurs, ainsi qu'à la science du climat. Le GIEC est un organisme des Nations unies dont la mission est de fournir une évaluation objective et scientifique des informations sur les changements climatiques, des impacts potentiels (naturels, politiques, économiques et humains) des changements climatiques, et des options possibles de réponse. Le GIEC publie périodiquement des rapports d'évaluation, chacun d'entre eux présentant l'état actuel de la science des changements climatiques, lorsqu'un consensus existe au sein de la communauté scientifique. Chaque rapport fait l'objet d'une série de révisions afin de garantir l'objectivité et la transparence. Le GIEC ne mène pas ses propres recherches et l'organisme est considéré comme étant neutre et pertinent pour les politiques mais non prescriptif.

Grâce à ce travail, le GIEC fournit une source commune d'informations relatives aux scénarios d'émissions, révisé les modèles climatiques à titre de tierce partie et recommande des approches pour documenter les futures projections climatiques. Le GIEC a publié son cinquième rapport d'évaluation (RE5) en 2013, représentant la synthèse la plus récente des informations concernant les changements climatiques. Les rapports d'évaluation sont mis à jour tous les cinq ou six ans, et le sixième rapport d'évaluation (RE6) devrait être publié en 2021.

La modélisation du climat implique la représentation mathématique des interactions globales entre la terre, la mer et l'atmosphère sur une longue période. Les modèles de circulation générale (MCG), également reconnus à titre de modèles climatiques globaux ou modèles du système terrestre, ont été élaborés par divers centres de modélisation (incluant des agences gouvernementales) et partagent plusieurs éléments communs avec les modèles décrits par le GIEC (GIEC, 2013). Les simulations climatiques produites par les MCG sont variables étant donné que les différents modèles utilisent différentes façons de décrire les processus atmosphériques, océaniques et terrestres et peuvent aussi utiliser une variété de résolutions géographiques.

**Les Modèles de circulation générale (MCG)** sont des représentations numériques des processus physiques sur la Terre. Ce sont les outils les plus perfectionnés disponibles pour simuler la réponse du système climatique mondial à l'évolution des concentrations de GES (GIEC, 2019a). Les MCG ont des résolutions à maille grossière variant de 1 à 4 degrés de latitude, et de 1 à 5 degrés de longitude sur l'ensemble de la planète (Charron, 2016 European Network for Earth System Modelling, 2019).

Il est important de souligner que tous les modèles ont des niveaux de limitations et d'incertitude, et ce, selon l'approche adoptée pour surmonter l'incertitude (des modèles) lors de leur élaboration. Par conséquent, les projections basées sur un modèle donné ne doivent pas être considérées comme totalement exactes. La variation des projections climatiques est discutée de façon plus détaillée dans le *Guide sur les scénarios climatiques* (Charron, 2016).

Par conséquent, au moment de la projection des conditions climatiques futures pour documenter les évaluations des changements climatiques, un ensemble multi-modèle devrait être utilisé pour évaluer la gamme des projections. Des conseils sur l'élaboration d'un ensemble multi-modèle, à partir des données disponibles sur [donneesclimatiques.ca](http://donneesclimatiques.ca), et sur la façon d'utiliser ces données dans les phases ultérieures du processus décrit dans ce guide, sont fournis à l'**annexe B**.

Les projections de conditions climatiques futures doivent aussi tenir compte de divers scénarios climatiques potentiels basés sur différentes hypothèses d'émissions futures de GES et de concentrations atmosphériques. Ces scénarios climatiques futurs sont appelés des profils représentatifs d'évolution de concentration (RCP). Les RCP décrivent différents scénarios d'évolution des conditions climatiques d'ici 2100. De façon spécifique, les RCP décrivent les caractéristiques du forçage radiatif pour chaque scénario (Charron, 2016; GEIC, 2019b). Dans le document RE5, le GIEC a identifié quatre scénarios, soit RCP2,6 (faibles émissions), puis RCP4,5, 6,0 et 8,5 (émissions élevées), produisant différents résultats pour certaines variables climatiques. Ces résultats sont décrits au tableau 2 ci-après (van Vuuren *et al.*, 2011). De plus, la figure 3 ci-après compare chacun des scénarios RCP au climat de référence, sur la base des émissions mondiales de GES prévues à long terme, en gigatonnes d'équivalents CO<sub>2</sub> par année (GIEC, 2014). Les résultats (zones ombrées – figure 3) aident à démontrer la marge d'incertitude future.

Les RCP sont utilisés à titre d'intrants pour les MCG lors de la projection des conditions climatiques futures. Plutôt que de baser les projections sur un seul RCP (p. ex., en utilisant le pire des scénarios, soit RCP8,5), il est suggéré de générer des projections de conditions climatiques futures en fonction des quatre scénarios RCP, tout en utilisant plusieurs modèles.

Le **Forçage radiatif** réfère à la différence entre l'éclairement descendant et l'éclairement ascendant, exprimée en (W/m<sup>2</sup>) au sommet de l'atmosphère (PICC, 2019b; Charron, 2016).

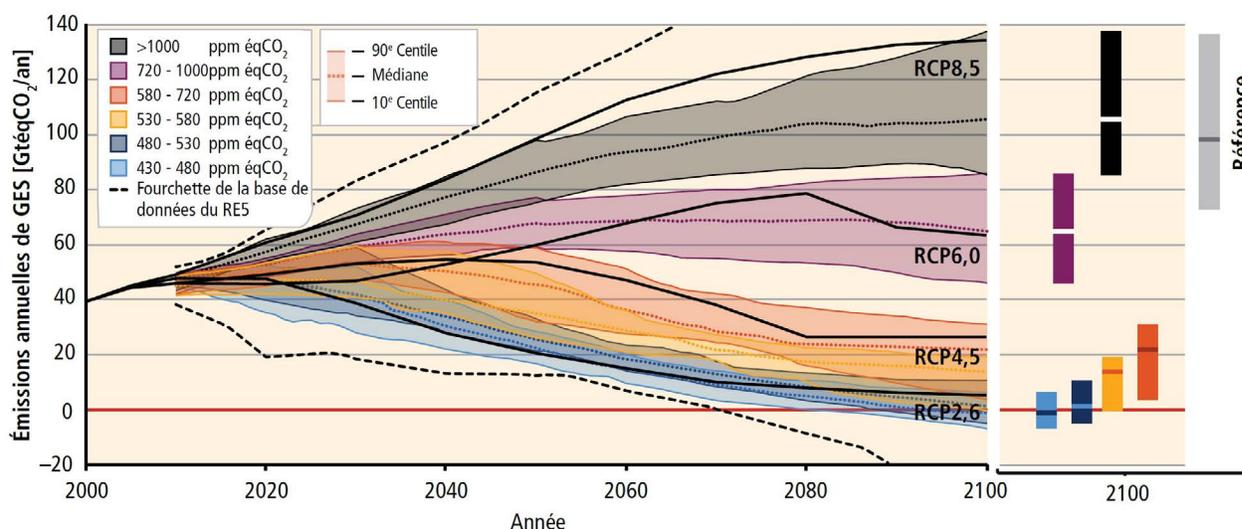
**Tableau 2 : Caractérisation des profils représentatifs d'évolution de concentration (van Vuuren *et al.*, 2011)**

Nom	Forçage radiatif en 2100	Caractérisation globale
RCP8,5 (scénario d'émissions élevées)	8,5 W/m <sup>2</sup>	Augmentation des émissions de GES au fil du temps, sans stabilisation, représentative des scénarios menant à des concentrations élevées de GES.
RCP6,0	6,0 W/m <sup>2</sup>	Le forçage radiatif total est stabilisé peu après 2100, résultant de l'application de technologies et de stratégies de réduction des émissions de GES.
RCP4,5	4,5 W/m <sup>2</sup>	Le forçage radiatif total est stabilisé peu après 2100, sans dépassement, en réduisant les émissions de GES au fil du temps par l'entremise de politiques climatiques.
RCP2,6 (scénario d'émissions faibles)	2,6 W/m <sup>2</sup>	Scénarios de « pic et déclin » où le forçage radiatif atteint tout d'abord 3,1 W/m <sup>2</sup> au milieu du siècle puis redescend à 2,6 W/m <sup>2</sup> d'ici 2100, résultant d'une réduction considérable des GES au fil du temps, liée à des politiques climatiques rigoureuses.

RCP = trajectoire de concentration représentative; W/m<sup>2</sup> = Watt par mètre carré.

**Figure 3 : Émissions mondiales de GES en gigatonnes d'équivalents-CO<sub>2</sub> par année, pour chaque scénario RCP, basées sur des niveaux de concentration à long terme (en comparaison avec les scénarios de référence et de mitigation pour divers niveaux de concentration à long terme).** (Référence : Figure RID.11 a) extraite de GIEC, 2014 : Résumé à l'intention des décideurs. Dans : Changements climatiques 2014 : Rapport de synthèse. Contribution des groupes de travail I, II et III au cinquième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat [Sous la direction de l'équipe de rédaction principale, R.K. Pachauri et L.A. Meyer]. GIEC, Genève, Suisse, 161 p). ([https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR\\_AR5\\_FINAL\\_full\\_fr.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR_AR5_FINAL_full_fr.pdf)).

#### Profils d'évolution des émissions de GES entre 2000 et 2100, pour tous les scénarios étudiés (RE5)



Un ensemble de données climatiques est une collection d'observations climatiques locales et de conditions futures projetées, pour des variables climatiques d'intérêt, à un endroit particulier ou dans une région donnée (p. ex., la température et les précipitations). De tels ensembles de données sont utilisés pour aider à définir les spécifications de conception des infrastructures (p. ex., nouveau passage de cours d'eau) et pour indiquer de quelle façon les projections du climat futur peuvent être prises en compte dans la conception (Charron, 2016).

D'autres lignes directrices sur l'élaboration d'ensembles de données climatiques, tenant compte à la fois des modèles qui font partie de l'ensemble et des RCP qui alimentent les résultats des modèles, comme le recommandent le GIEC, ECCC et d'autres organismes scientifiques, sont incluses à la [section 4.2](#) et détaillées à l'[annexe B](#). Les ensembles de données climatiques sont généralement spécifiques à un site et élaborés en tenant compte des caractéristiques du site, tels que la taille, l'emplacement et la géographie, et doivent documenter l'incertitude associée aux projections.

### 3.2 Les changements climatiques au Canada

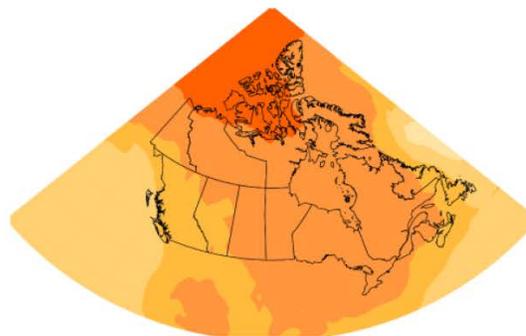
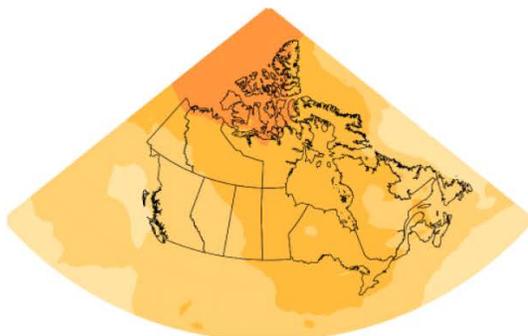
Le gouvernement du Canada, dirigé par Ressources naturelles Canada, prépare des évaluations périodiques sur les plus récentes connaissances au sujet des impacts des changements climatiques et de l'adaptation au Canada. Ces évaluations constituent un point de départ utile pour ceux qui travaillent sur l'adaptation aux changements climatiques. La dernière évaluation, intitulée *Le Canada dans un climat en changement*, est constituée d'une série de rapports et le premier de la série s'intitule *Rapport sur le climat changeant du Canada* (Bush et Lemmen, 2019). Ce rapport explique comment et pourquoi le climat du Canada a changé et quels sont les changements projetés dans l'avenir. Les rapports sur les questions nationales et régionales fournissent des informations sur les effets des changements climatiques sur la société, l'environnement naturel et l'économie, ainsi que sur les mesures d'adaptation prises pour faire face à ces effets. Le secteur minier est traité de façon spécifique dans le rapport sur les questions nationales.

Le *Rapport sur le climat changeant du Canada* démontre qu'au Canada, divers changements ont été observés à l'égard de plusieurs variables climatiques, notamment la température de l'air, les précipitations ainsi que la couverture de neige et de glace. Par rapport aux moyennes mondiales, le Canada a connu des changements plus importants au niveau des températures annuelles moyennes, particulièrement dans le Nord. À l'échelle nationale, les températures annuelles moyennes ont augmenté deux fois plus que la moyenne mondiale et il est projeté qu'elles continueront d'augmenter au cours du prochain siècle (figure 4).

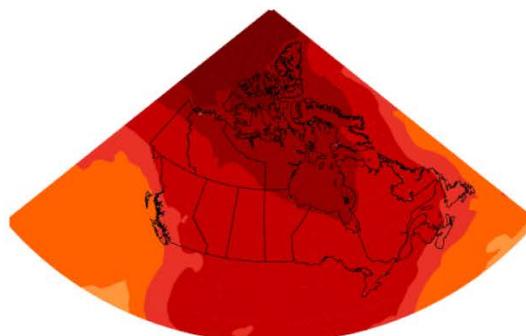
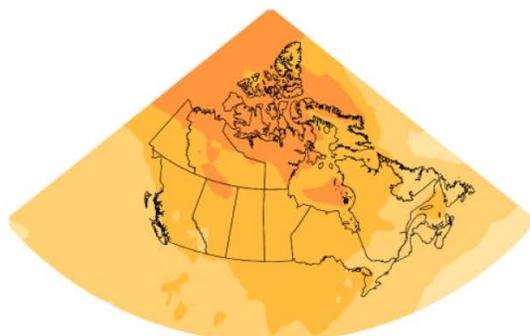
Les précipitations annuelles moyennes ont également augmenté pour l'ensemble des saisons, mais les tendances ne sont pas uniformes dans tout le pays (figure 5). Les projections démontrent que les événements de précipitation de forte intensité pourraient devenir deux fois plus fréquents pour la majeure partie du Canada d'ici le milieu du siècle (Warren et Lemmen, 2014). Les projections indiquent aussi qu'une augmentation de la fréquence et de l'intensité d'autres événements extrêmes, notamment les tempêtes (vent, glace, neige), les chaleurs extrêmes et les incendies de forêt.

**Figure 4 : Changement projeté des températures annuelles – scénarios de faibles émissions (RCP2,6) et d'émissions élevées (RCP8,5) pour le milieu du siècle (2031 à 2050) et la fin du siècle (2080 à 2100) (Référence : Figure 4.8 extraite de Bush, E. et Lemmen, D.S., éditeurs (2019) : Rapport sur le climat changeant du Canada, Gouvernement du Canada,, Ottawa, Ontario, 444 p.).**

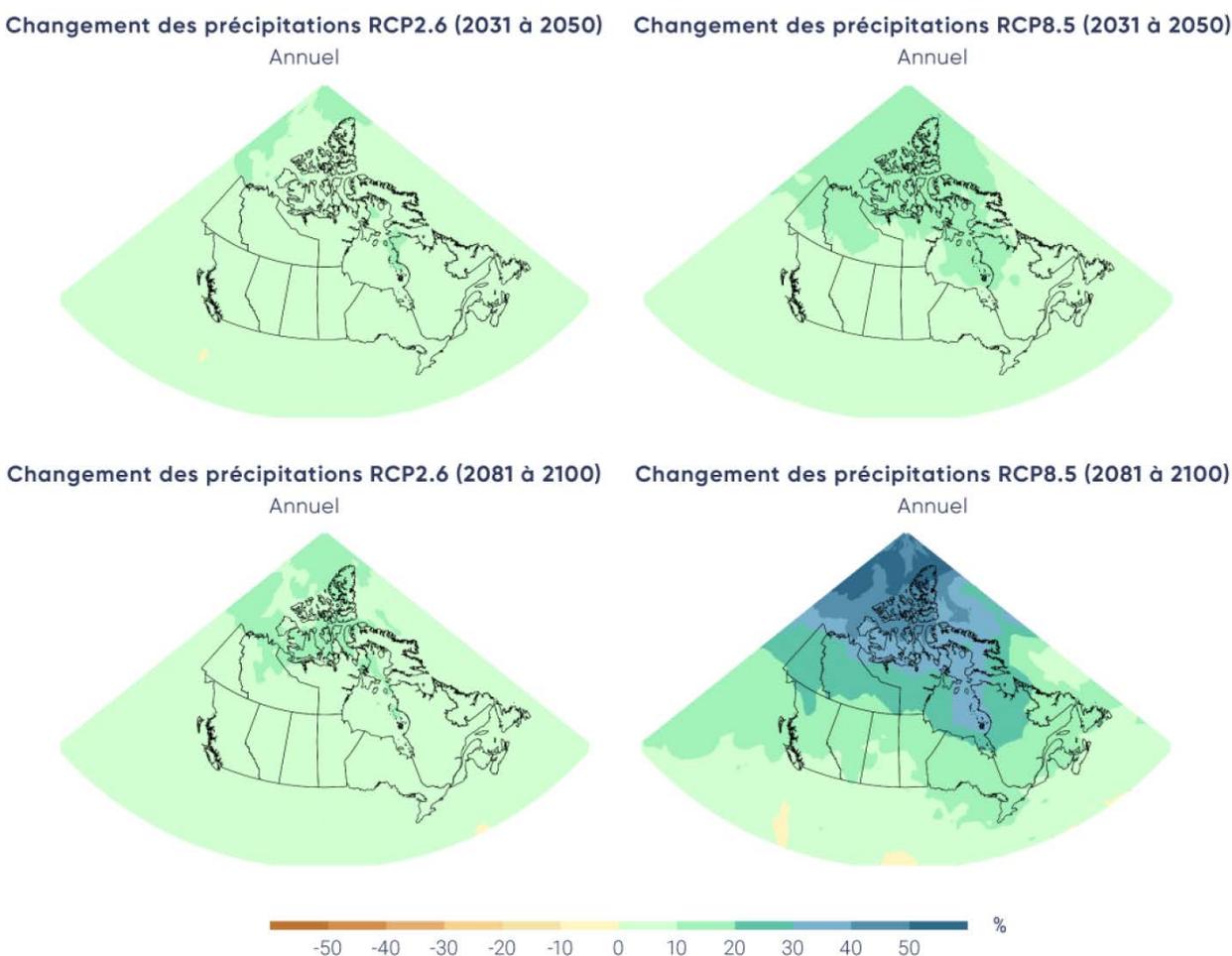
- a) **Changement de température RCP2.6 de 2031 à 2050** Annuel      b) **Changement de température RCP8.5 de 2031 à 2050** Annuel



- c) **Changement de température RCP2.6 de 2081 à 2100** Annuel      d) **Changement de température RCP8.5 de 2081 à 2100** Annuel



**Figure 5 : Changement projeté des précipitations annuelles – scénarios de faibles émissions (RCP2,6) et d'émissions élevées (RCP8,5) pour le milieu du siècle (2031 à 2050) et la fin du siècle (2080 à 2100) (Référence : Figure 4.19 extraite de Bush, E. et Lemmen, D.S., éditeurs (2019) : Rapport sur le climat changeant du Canada, Gouvernement du Canada, Ottawa, Ontario. 444 p.).**



Les descriptions détaillées des tendances historiques et projetées des variables climatiques au Canada, tirées du *Rapport sur le climat changeant du Canada* (Bush et Lemmen, 2019) fournissent des projections basées sur les plus récentes projections climatiques disponibles au moment de la publication de ce guide et donnent un aperçu général de la manière dont le climat pourrait changer au Canada. Il est à noter que le *Rapport sur le climat changeant du Canada* (Bush et Lemmen, 2019) a été revu par les pairs et produit par le gouvernement du Canada, et d'autres sources mentionnées. Le tableau 1 de l'**annexe A** présente des variables climatiques additionnelles ainsi que des événements connexes. Il est important de mentionner que ces descriptions fournissent des estimations pour de vastes régions géographiques du pays et pourraient ne pas tenir compte de variations locales du climat. L'**annexe C** présente des lignes directrices à propos de différentes sources de données et des méthodes dont les propriétaires peuvent utiliser pour développer des projections de conditions climatiques futures spécifiques aux sites, tant au Canada qu'à l'étranger.

**Température de l'air :** Au Canada, les températures moyennes annuelles et saisonnières ont augmenté de 1,7 °C entre 1948 et 2016. Au nord du pays, elles ont augmenté de 2,3 °C (régions définies comme étant situées au nord du 60<sup>e</sup> parallèle de latitude nord). D'ici 2100, les températures annuelles moyennes devraient augmenter d'environ 2 °C par rapport à la période de référence (1986 à 2005) pour un scénario de faibles émissions (RCP2,6), et de plus de 6 °C dans un scénario d'émissions élevées (RCP8,5).

**Précipitations annuelles moyennes :** Les précipitations annuelles moyennes ont augmenté d'environ 20 % dans l'ensemble du Canada entre 1948 et 2012, avec des hausses plus importantes dans le nord du Canada (Vincent *et al.*, 2015; Bush et Lemmen, 2019). D'ici 2100, il est projeté que les précipitations annuelles moyennes augmenteront de 7 % dans l'ensemble du Canada selon un scénario de faibles émissions (RCP2,6) et jusqu'à 24 % selon un scénario d'émissions élevées (RCP8,5) mais avec une saisonnalité croissante par rapport à la période de référence (1986 à 2005).

**Précipitations extrêmes :** Défini comme un événement de précipitation qui dépasse certains seuils et qui a un impact associé, ou est considéré comme extrême en raison de sa rareté (selon le percentile ou l'intervalle de récurrence) (OMM, 2018). Les preuves d'observation de changements en matière d'ampleur d'événements de précipitations extrêmes manquent pour le Canada, et aucun changement détectable n'a été trouvé sur la base des données disponibles des stations. Toutefois, la fréquence des précipitations extrêmes devrait augmenter, avec un intervalle de récurrence de 20 ans devenant un événement sur 10 ans d'ici le milieu du siècle et un événement sur 5 ans en 2100 selon un scénario d'émissions élevées (RCP8,5). Le nombre de précipitations extrêmes sur 24 heures se produisant lors d'un événement de récurrence de 20 ans devrait augmenter de 25 % d'ici 2100 selon un scénario d'émissions élevées.

**Vent :** Des changements dans la configuration des vents ont été observés; il est projeté que la gravité et la fréquence des futures rafales de vent changeront à la fin du siècle (Warren et Lemmen, 2014). Le pourcentage d'augmentation des futures rafales de vent, de plus de 70 km/h, pourrait être supérieur de 10 à 20 % par rapport aux conditions actuelles dans la plupart des régions du Canada. L'augmentation correspondante des futures rafales de vent horaires devrait être de 20 à 30 % (Cheng *et al.*, 2014).

**Sécheresse :** Il y a un niveau de confiance faible en ce qui concerne les tendances historiques à l'échelle mondiale. Toutefois, des tendances vers une augmentation de la sécheresse ont été observées à l'échelle régionale au Canada. Selon les projections, des températures plus élevées et une modification de la fréquence des précipitations, particulièrement en été, devraient contribuer à l'augmentation des cas de sécheresse.

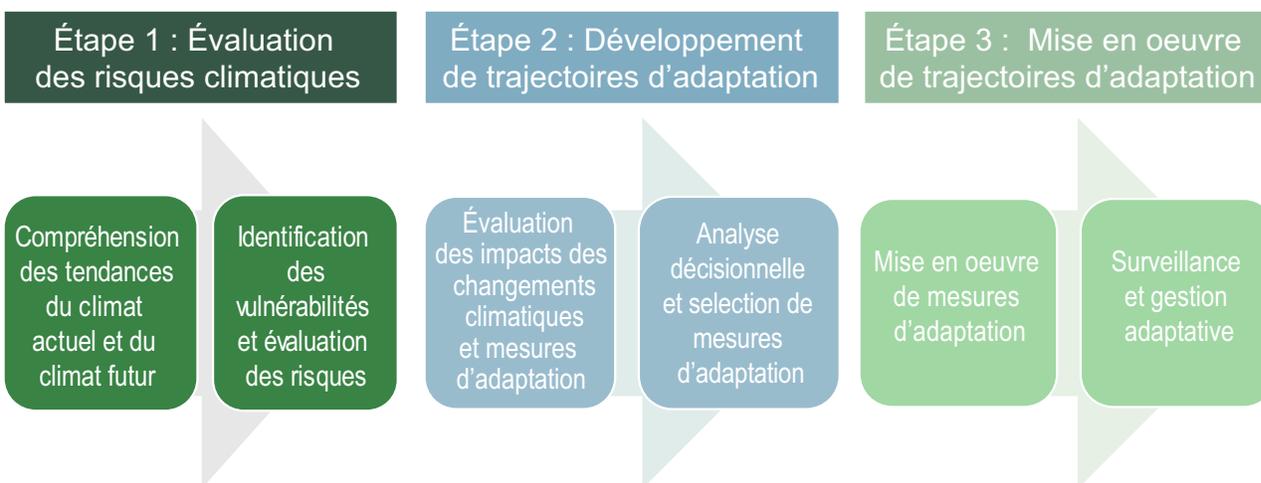
**Humidité :** Une augmentation de la quantité de vapeur d'eau dans l'atmosphère est observée depuis les années 1970, en raison des températures de l'air plus chaudes capables de retenir plus d'humidité. Il est très probable que l'humidité spécifique, près de la surface, augmentera à l'avenir en raison de l'augmentation de l'évaporation et des températures de l'air (GIEC, 2013).

Le climat du Canada varie d'une région à l'autre, et bien qu'un réchauffement soit observé dans tout le pays, des tendances plus marquées sont notées dans le nord et dans l'ouest du pays. Ces tendances régionales peuvent être attribuées à des changements dans les modèles de circulation générale du système couplé atmosphère-océan (Warren et Lemmen, 2014). Les effets de ces changements sont amplifiés dans les régions nordiques du Canada, particulièrement les configurations de précipitations et de températures. Le réchauffement des températures de l'air et de la mer s'est produit plus rapidement dans ces régions, entraînant des impacts significatifs sur le pergélisol, la glace de mer et les glaciers. Des diminutions observées de l'étendue de la glace de mer et des chutes de neige, ainsi que la dégradation du pergélisol se sont produites et se poursuivront, selon les projections.

En plus de l'augmentation de la température des océans et de la réduction de la glace de mer, les régions côtières connaissent des niveaux de mer changeants ainsi que des inondations côtières et fluviales (Lemmen *et al.*, 2016). Les impacts associés aux tempêtes sont complexes pour les régions côtières, notamment des ondes de tempête représentant un danger majeur à certains endroits, notamment sur la côte maritime de la mer de Beaufort, dans le golfe Saint-Laurent et sur la côte Atlantique. Des ondes de tempête dépassant des hauteurs maximales de 1 m se produisent déjà dans toutes les régions côtières du Canada. La fréquence et l'ampleur des inondations liées aux ondes de tempête augmenteront au fil du temps, à mesure que le niveau de la mer continuera à s'élever.

Le niveau moyen mondial de la mer s'est élevé en raison de l'expansion thermique de l'eau des océans due au réchauffement et à l'ajout de la fonte de la glace terrestre provenant des glaciers et des nappes glaciaires. Il est projeté que le niveau de la mer augmentera de 28 à 98 cm au cours du siècle actuel, selon le scénario d'émission. À noter toutefois que les changements du niveau de la mer varient considérablement d'un endroit à l'autre du pays en raison du mouvement terrestre vertical. Les mouvements terrestres verticaux entraînent soit le « soulèvement » des terres vers le haut, soit leur « affaissement » vers le bas, en réaction au retrait de la dernière nappe glaciaire. Dans les régions où les terres s'affaissent ou s'enfoncent (p. ex., certaines parties du Canada atlantique), l'élévation du niveau de la mer se produit à un rythme beaucoup plus élevé. D'autres régions connaissent plutôt un soulèvement des terres (p. ex., la baie d'Hudson) où le niveau de la mer s'abaisse en raison du mouvement ascendant de la terre continentale. Ce mouvement des terres se produit en raison des effets retardés de la dernière calotte continentale (ère glaciaire), connue sous le nom « d'ajustement isostatique glaciaire ». Ce mouvement (ajustement) se produit à l'endroit où la croûte continentale nord-américaine se soulève près du centre des anciennes nappes glaciaires et s'affaisse près des extrémités des anciennes nappes glaciaires. Selon les projections, le niveau de la mer devrait s'élever non seulement sur la majeure partie de la côte Atlantique, mais aussi sur certaines parties de la côte Pacifique et de la côte de Beaufort dans l'Arctique (Bush et Lemmen, 2019).

## 4 Étape 1: Évaluation des risques des changements climatiques



**Cette section présente des lignes directrices pour décrire et documenter le climat changeant, d'une façon qui sera utile lors de l'évaluation des risques et donnera un aperçu du processus pouvant être utilisé pour identifier les vulnérabilités aux changements climatiques, évaluer leurs risques et identifier les opportunités potentielles pouvant découler d'un climat changeant.**

Historiquement, les impacts climatiques potentiels sur les sites miniers ont été traités en s'appuyant sur des critères fixes de conception basés sur des informations historiques projetées dans le futur. Toutefois, selon les critères fixes de conception utilisés et l'ampleur des changements projetés pour les variables climatiques pertinentes, cette approche peut ne pas être efficace dans le contexte d'un climat changeant. L'approche décrite ici est une approche prospective de caractérisation des changements climatiques et ne repose pas seulement sur des prévisions qui sont basées sur des renseignements historiques.

Des ensembles de données climatiques, spécifiques au domaine minier, doivent être développés en tenant compte des caractéristiques du site minier, notamment la taille, l'emplacement, la géographie, les infrastructures connexes et le cycle de vie (y compris le cycle de vie de la mine et la gestion des résidus miniers et des stériles qui y sont associés). Les évaluations devraient tenir compte de ce qui suit, en respect des meilleures pratiques :

1. Une description des conditions climatiques de référence, y compris les événements moyens et extrêmes, ainsi qu'un enregistrement d'observations d'une durée suffisamment longue pour saisir les moyennes climatiques à long terme et une variété d'événements extrêmes.
2. Projections des changements futurs dans les conditions climatiques, y compris les événements moyens et extrêmes, ainsi qu'une évaluation des incertitudes inhérentes à ces projections.

Les données climatiques doivent être discutées en termes de normales climatiques (p. ex., un ensemble de données climatiques) et du climat futur projeté. Les normales climatiques sont définies comme étant des moyennes à long terme utilisées pour décrire les conditions climatiques moyennes d'un lieu. Au Canada, les normales sont définies par Environnement et Changement climatique Canada (ECCC) sur la base des recommandations de l'Organisation météorologique mondiale (OMM), qui utilisent les moyennes

les plus récentes sur 30 ans, et qui sont mises à jour à la fin de chaque décennie (ECCC, 2017). La base de référence climatique se réfère à la fois aux observations climatiques historiques et aux observations climatiques actuelles. La référence climatique s'appuie sur la période de normales du climat mais peut être étendue pour inclure plus d'informations historiques, si nécessaire, en fonction de l'application des informations climatiques. L'annexe B fournit des lignes directrices sur la façon d'établir une base de référence climatique.

Le climat futur projeté se définit comme étant la différence entre les projections données par les résultats des modèles climatiques et le climat de référence. Le climat futur doit être présenté comme un changement par rapport au climat de référence, en lien avec la période de normales du climat.

Sur la base des données climatiques, cette section propose une approche par stades pour identifier les changements potentiels qui se produiraient à la suite de changements climatiques, les vulnérabilités, ainsi que les risques et opportunités associés. Le processus peut être mis en œuvre lors de la planification et de la conception de nouveaux sites (« greenfields ») et s'applique également aux sites en exploitation. Tel qu'indiqué dans l'introduction, le processus global décrit dans ce guide est un processus soutenu d'amélioration continue. Dans le cadre de ce processus, les évaluations des vulnérabilités et des risques doivent faire l'objet de mises à jour périodiques tout au long du cycle de vie, en réponse aux changements tels que les mises à jour des projections climatiques, les conditions climatiques observées ou le plan minier.

### Questions clés traitées dans cette section

**Comment décrire le climat historique et le climat actuel de façon adéquate? Comment sélectionner et quantifier les données appropriées? Quelles sources de données climatiques sont disponibles pour le climat historique et actuel?** La [section 4.1](#) présente et suggère des lignes directrices pour décrire et documenter le climat actuel, y compris les considérations minimales pour intégrer les changements climatiques, les variables climatiques à tenir compte, la définition de la complétude des données, les sources de données climatiques historiques et courantes et la manière de combler les données manquantes.

**Comment sélectionner et caractériser correctement le climat futur? Comment traiter le facteur d'incertitude des projections climatiques? Quelles sont les sources de données climatiques disponibles pour le climat futur?** La [section 4.2](#) présente et recommande des lignes directrices pour décrire et documenter le climat futur. Parmi les sujets traités, il est question des scénarios à considérer (p. ex., les horizons de temps, les scénarios d'émissions), de la façon de traiter le facteur d'incertitude associée aux projections du climat futur, des sources de données climatiques futures, et des précisions supplémentaires pour mieux caractériser l'incertitude.

**De quelle façon est-il prévu qu'un climat changeant affecte chacune des phases du cycle de vie de l'exploitation minière? Quels sont les impacts hors site d'un climat changeant? Comment ces impacts affecteraient-ils la mine? Quelles sont les opportunités susceptibles de se présenter en lien avec le climat changeant?** La [section 4.3](#) traite de la façon dont les changements climatiques peuvent avoir un impact l'ensemble des phases du cycle de vie de l'exploitation minière et quelles sont les considérations climatiques attendues pour chaque phase en termes d'information. Elle traite aussi de la manière dont un climat changeant aura un impact sur les communautés et l'environnement avoisinants d'une mine, ainsi que des opportunités possibles (résultant d'un climat en évolution).

### Questions clés traitées dans cette section

**Quels sont les vulnérabilités et les risques pour l'industrie minière relativement aux changements climatiques? Quelle est la procédure à suivre pour compléter une évaluation des risques liés aux changements climatiques?** Les sections 4.4 et 4.5 décrivent une série de stades consécutifs utilisés pour entreprendre une évaluation des risques climatiques qui peut être mise à l'échelle en fonction des diverses phases de vie d'une mine et des niveaux de détails requis.

**Quels sont des exemples d'évaluation de risques des changements climatiques?** Une étude de cas d'évaluation de risque est présentée à la section 4.6 et peut être utilisée comme référence additionnelle.

## 4.1 Établir une référence climatique

Une bonne compréhension des conditions climatiques historiques et actuelles est essentielle pour l'ensemble de tous les autres aspects inhérents à l'adaptation aux changements climatiques, y compris l'apport des résultats aux projections des conditions climatiques futures. Les conditions historiques et actuelles sont décrites en établissant un ensemble de données climatiques spécifiques à chaque site qui présente :

- les normales climatiques courantes; et
- les tendances observées au cours de la période de référence.

En établissant la référence climatique, le propriétaire doit déterminer la période à utiliser pour la référence. Idéalement, les observations de la plus récente période devraient être utilisées pour créer une moyenne à long terme qui dépendra des éléments suivants :

- la nature des décisions qui doivent être tenues compte par la référence climatique (p. ex., une période de référence plus courte pourrait être utilisée pour les décisions de dépistage ou de contrôle, mais une période de référence plus longue serait préférable en ce qui concerne la conception des infrastructures essentielles);
- la disponibilité des données appropriées.

La période de référence choisie doit être suffisamment longue pour éliminer l'influence des cycles naturels (p. ex., les cycles El Niño et La Niña) sur les observations afin que la tendance du climat constitue le facteur unique. La variabilité interannuelle du climat non reliée aux changements climatiques peut perturber la véritable tendance de l'évolution du climat. La météorologie locale est influencée par de nombreux cycles qui se produisent à différentes échelles de temps (p. ex., saisonnier, diurne, interannuel). Le fait d'augmenter la durée de cette période peut aider à minimiser, voire retirer, l'influence de ces cycles si des données adéquates sont disponibles pour établir la référence climatique. La période utilisée pour établir la référence climatique doit être aussi récente que possible afin de saisir les conditions climatiques actuelles et de les comparer au climat futur projeté.

Cette section décrit une méthode permettant d'établir une référence climatique spécifique à un site en utilisant les ensembles de données climatiques disponibles. Des informations plus détaillées sont disponibles à l'annexe B. Les deux étapes clés pour établir une référence climatique sont les suivantes :

- sélectionner les ensembles de données climatiques à des fins d'utilisation dans la description du climat observé;
- quantifier le climat observé.

### 4.1.1 Sélectionner les ensembles de données climatiques

La référence climatique est établie à l'aide des ensembles de données climatiques existants. Lorsque disponible, la référence climatique devrait faire référence aux observations des stations météorologiques locales. Les observations météorologiques représentent des collections à court terme (p. ex., un an) de données météo telles que le vent et la pluie, tandis que les observations climatiques représentent une collection d'observations météorologiques montrant des tendances à plus long terme au niveau des données météorologiques.

Il est à noter cependant que la disponibilité et la pertinence des ensembles de données climatiques peuvent varier considérablement. La qualité et la pertinence des ensembles de données peuvent être classées comme suit :

1. Des ensembles de données climatiques composés de données provenant d'observations météorologiques à long terme issues de stations météorologiques situées sur le site minier ou à proximité de la mine.
2. Des ensembles de données climatiques composés de données provenant de stations météorologiques plus éloignées, dans la même région, qui peuvent être considérées comme représentatives du site et pour lequel la référence climatique est en cours d'établissement (p. ex., des fournisseurs nationaux de services météorologiques ou d'autres sources de l'industrie telles que d'autres mines).
3. Des ensembles de données climatiques provenant d'autres sources, telles que les données des centres de données climatiques (p. ex., organismes provinciaux/territoriaux et agences locales), les sources universitaires, les rapports scientifiques, les évaluations pertinentes des changements climatiques, les publications gouvernementales et intergouvernementales et les bases de données.

Les données de réanalyse peuvent être utilisées pour combler des données manquantes et compléter les références climatiques en combinant les observations locales et les modèles numériques de prévisions météorologiques, tel que présenté à l'[annexe B](#).

Une description des sources potentielles de données climatiques est présentée à l'[annexe C](#), en mettant l'accent sur les ressources canadiennes fédérales, provinciales et territoriales.

Le degré de représentativité et de détail requis pour un ensemble de données climatiques dépend de la décision à prendre, et tel que décrit dans la [section 2.3](#), une approche évolutive peut être appliquée pour établir un ensemble de données climatiques. Un niveau de représentativité et de détail plus faible pourrait être utilisé pour élaborer une référence climatique ainsi qu'une projection de climat futur pour les besoins de la sélection initiale. En revanche, un niveau de représentativité et de détail plus élevé pourrait être utilisé pour affiner la référence climatique et la projection, pour les besoins de la conception détaillée. Afin d'élaborer un ensemble de données climatiques constitué d'un niveau de détail approprié, un exercice de sélection des risques climatiques peut être réalisé afin d'identifier les variables climatiques d'intérêt, les périodes spécifiques de temps, les intervalles de récurrence ou les durées, et ce sur la base des décisions prises en fonction des projections des conditions climatiques futures extraites de l'ensemble de données. Par exemple, un niveau de représentativité et de détail de l'ensemble de données qui pourrait être nécessaire pour guider la conception d'une nouvelle mine n'est pas le même lorsque comparé à une décision qui concerne la modernisation d'un petit ponceau.

Les itérations subséquentes de l'élaboration de l'ensemble de données climatiques, de la référence climatique et du climat futur projeté peuvent également être détaillées davantage par l'entremise des résultats de l'évaluation de la vulnérabilité du climat et des risques climatiques.

### 4.1.2 Quantifier la référence climatique

Sur la base des ensembles de données climatiques et de la période de référence sélectionnés, les moyennes à long terme (normales) et les tendances sont calculées pour les variables climatiques afin d'établir la référence climatique. L'annexe B fournit des lignes directrices détaillées concernant les analyses des tendances et les tests de signification statistique pour aider à évaluer les changements climatiques dans les observations à long terme, calculés comme étant le changement climatique moyen par période spécifiée (p. ex., changements par décennie ou par période de référence). Les principales variables climatiques à tenir compte sont la température annuelle moyenne et les précipitations totales, car elles font l'objet de nombreuses études climatiques et sont généralement observées pendant de longues périodes et pour de nombreux endroits, ce qui peut aider à calculer les moyennes climatiques à long terme (p. ex., GIEC, RE5). D'autres indices, tels que l'intégrité du pergélisol dans les régions nordiques, devraient également être pris en compte en fonction des vulnérabilités potentielles associées au climat.

L'intensité et l'intervalle de récurrence des extrêmes climatiques (p. ex., la sécheresse ou les précipitations extrêmes) devraient aussi être estimées car elles représentent des risques à toutes les phases du cycle de vie de la mine. Toute tendance concernant les événements extrêmes, telle qu'une diminution de l'intervalle de récurrence des précipitations extrêmes, doit également être documentée. Une discussion plus approfondie concernant le calcul des extrêmes climatiques est présentée à l'**annexe B**.

L'encadré ci-dessous fournit une liste de contrôle des questions à prendre en compte lors de la sélection des données à utiliser pour établir la référence climatique.

#### Liste de contrôle pour développer un ensemble de données climatiques

- En fonction des caractéristiques de la mine (c.-à-d. la phase du cycle de vie et les plans futurs, l'âge de l'infrastructure et la région où se trouve la mine), un raisonnement est-il donné pour le niveau de détail fournir dans l'évaluation du climat?
- Un ensemble détaillé de données sur les changements climatiques sera-t-il requis à l'avenir?
- Quelles observations météorologiques historiques ont été prises en compte et comment ont-elles été sélectionnées?
- Quelles observations météorologiques ont été tenues compte dans le cadre de la période climatique de référence et comment ont-elles été sélectionnées?
- De quelle façon ont été traitées les observations météorologiques manquantes dans les ensembles de données historiques?

## 4.2 Projection des conditions climatiques futures

Cette section offre une description de la méthode recommandée pour la projection des changements futurs du climat, à partir des conditions de référence, à un endroit spécifique ou dans une région spécifique, sur la base des orientations acceptées par le GIEC et d'autres organismes scientifiques. De plus amples détails sont fournis à l'**annexe B**. Dans le RE5 du GIEC, les données des projections climatiques futures sont disponibles à partir d'environ 30 MCG et celles-ci couvrent quatre scénarios d'émissions ou RCPs. Les projections climatiques utilisées dans le RE5 sont disponibles auprès de plusieurs sources, tel qu'indiqué ci-après et de façon détaillée à l'**annexe C**.

### 4.2.1 Sélection des sources de projection du climat futur

Projeter le climat futur, pour un lieu donné, est basé sur la référence climatique de ce lieu, et implique ensuite l'utilisation d'une combinaison de modèles et de projections existantes à plus grande échelle spatiale pour développer des projections de conditions climatiques futures spécifiques au site. Tel qu'indiqué à la [section 2.1](#), il existe une gamme de modèles, de projections existantes et d'ensembles de données climatiques pouvant être utilisés. Le choix des modèles, des projections existantes et des ensembles de données à utiliser se fait au cas par cas pour chaque site et selon une série de facteurs tels que :

- l'objectif de l'évaluation des risques et la nature des décisions à prendre sur la base de l'évaluation des risques;
- les variables climatiques pertinentes;
- l'échelle de temps à tenir compte;
- la résolution spatiale requise.

Tel que décrit à la [section 3.2](#), ces critères changeront au cours du cycle de vie de la mine, selon le type de décision à prendre et selon les conditions climatiques futures projetées.

Une fois ces critères établis, les projections et les ensembles de données existants appropriés peuvent être sélectionnés pour développer la projection des conditions climatiques futures spécifiques à un lieu. Lors de la sélection des modèles, des projections existantes, des ensembles de données et d'autres sources pour développer les projections des conditions climatiques futures spécifiques à un lieu, les facteurs suivants doivent être pris en compte :

- **Science du climat** : Les sources de données doivent être scientifiquement à jour.
- **Nombre de MCG** : L'utilisation du plus grand nombre possible de modèles (un ensemble multi-modèles).
- **Résolution spatiale** : Une résolution spatiale plus détaillée pourrait permettre une meilleure représentation du site pour des études détaillées en utilisant des méthodes de réduction d'échelles statistiques ou dynamiques avec des modèles climatiques régionaux (MCR).
- **Scénarios d'émission** : Les projections doivent être disponibles pour un certain nombre de scénarios d'émissions utilisés dans le RE5 (cinquième rapport d'évaluation) du GIEC, tels que les RCP2,6, 4,5, 6,0 et 8,5.
- **Période de temps** : Les données doivent couvrir les périodes appropriées utilisées pour les évaluations des risques. Par exemple, si l'évaluation couvre une période allant jusqu'en 2050, les projections climatiques devraient couvrir cette période et au-delà (p. ex., jusqu'en 2080) pour confirmer l'orientation des changements du climat et déterminer si l'ampleur des changements sur la période étendue (temps présent à 2080) est différente de la période d'intérêt (temps présent à 2050). Il serait prudent d'envisager une période plus longue pour saisir les changements qui pourraient causer des impacts au niveau de la phase de fermeture.
- **Format de données** : Tous les formats de données ne sont pas facilement accessibles pour un traitement direct et certains nécessitent une forme de post-traitement pour extraire l'information d'intérêt (p. ex., les fichiers NetCDF (format autodocumenté de données) requiert un ensemble de bibliothèques de logiciels logicielles pour accéder aux données).

Il est à noter que les sources de données ont des niveaux d'examen variables selon qu'elles sont fournies par des chercheurs indépendants ou des organisations réglementées. Le personnel doté des qualifications appropriées devrait assister au niveau de la sélection des sources de données.

Lors du choix des modèles, des projections existantes et des ensembles de données à utiliser, il est important de tenir compte du nombre de modèles utilisés, du nombre de scénarios d'émissions disponibles et de la couverture géographique. Les modèles climatiques font l'objet d'améliorations sur une base continue et chaque modèle a ses propres biais et limites inhérents. Ainsi, aucun modèle ni scénario climatique ne peut être considéré comme étant le résultat le plus probable ou entièrement exact. Par conséquent, le GIEC (2013) et Charron (2016) recommandent d'utiliser autant de modèles et de scénarios climatiques possibles, ou encore des ensembles multi-modèles, dans le cadre des évaluations sur les changements climatiques. De plus, la moyenne des résultats d'un ensemble de modèles est généralement plus proche des valeurs observées pour le climat passé que tout autre modèle ou scénario individuel donné (Charron, 2016). La série de portails canadiens de données climatiques, décrite à l'annexe C, rend les projections climatiques (variables de température et de précipitation, et indices dérivés) disponibles à une variété d'échelles spatiales, pour différents modèles et scénarios d'émissions, et qui peuvent être affichées graphiquement ou téléchargées sous forme de valeurs.

### 4.2.2 Comprendre l'incertitude

Les incertitudes relatives aux projections climatiques proviennent de trois sources principales (Charron, 2016) :

- la variabilité naturelle du climat – la plus importante pour les courtes échelles de temps (décennies);
- les inexactitudes structurelles des modèles climatiques – importantes pour toutes les échelles de temps;
- les trajectoires futures des émissions de GES – importantes sur des échelles de temps plus longues, plus éloignées dans le futur.

La représentation du système climatique de la Terre est difficile en raison de la sensibilité des phénomènes météorologiques aux petites perturbations causant une variabilité naturelle. Les projections des modèles climatiques peuvent varier en raison des différences dans la façon dont ils représentent les processus du système terrestre (Bush et Lemmen, 2019). Celles-ci peuvent créer des biais dans les modèles et produire des résultats légèrement différents (Charron, 2016). Pour cette raison, l'approche de l'ensemble multi-modèles est généralement utilisée pour délimiter la gamme probable de résultats. De plus, cette approche permettra de mieux saisir les résultats réels (inconnu inhérent). Des incertitudes apparaissent aussi lorsque différentes résolutions géographiques de projections sont utilisées. L'incertitude des projections climatiques augmente lorsque les projections globales (généralement fournies à une échelle de 100 km ou plus) sont réduites à une résolution régionale/locale plus fine.

De plus, pour tenir compte de l'incertitude en lien avec de longues périodes, les propriétaires devraient considérer tous les scénarios plausibles pour les émissions futures de GES (c.-à-d. RCP2,6, 4,5, 6,0 et 8,5) s'ils sont disponibles puisqu'un RCP n'est pas nécessairement meilleur ou plus adéquat qu'un autre. Chacun des scénarios d'émission donne lieu à une future gamme (ou cône) d'incertitude. Les conditions exactes de l'avenir sont incertaines, mais elles se situeront probablement dans cette gamme. Un scénario spécifique ou un résultat du modèle pourrait être utilisé dans le cadre de l'évaluation des risques. Toutefois, l'incertitude et le biais liés à l'utilisation d'un modèle doivent être pris en compte en réalisant chacune des étapes suivantes de ce guide.

### 4.2.3 Projection du climat futur

En utilisant un ensemble multi-modèle de projections existantes du climat futur et d'ensembles de données climatiques, les modèles peuvent servir à projeter les changements climatiques futurs à partir de la référence climatique et ce, pour différents horizons de temps. Les horizons de temps les plus couramment utilisés sont indiqués ci-après :

- Court terme ou années 2020 (p. ex., 2011 à 2040)
- Milieu du siècle ou années 2050 (p. ex., 2041 à 2070)
- Fin du siècle ou années 2080 (p. ex., 2071 à 2100)

L'horizon d'intérêt sera dépendant de la phase du cycle de vie de l'exploitation minière. Par exemple, si la période d'intérêt est de 2030 à 2050, une gamme d'années représentatives des années 2040 pourrait être sélectionnée pour la projection. Des horizons de temps plus longs devraient être utilisés pour la fermeture et la post-fermeture. Les projections du climat futur doivent couvrir la même durée que la référence climatique courante. Ainsi, si la référence climatique est basée sur une période de 30 ans, les projections du climat futur doivent être réalisées à des intervalles de 30 ans.

Les futurs extrêmes sont projetés à l'aide d'une méthode similaire aux indices décrits à la section 3.2.2 et à l'annexe B, mais la méthode devrait être appliquée à l'ensemble multi-modèle sélectionné. Les projections de températures et de précipitations quotidiennes, réalisées à partir des données réduites disponibles, devraient être utilisées pour une évaluation du climat et prises en compte lors des phases de planification et de conception d'une mine ainsi que lors de l'élaboration de trajectoires d'adaptation pour des mines existantes (section 6). Les extrêmes climatiques futurs peuvent être décrits en termes de changements par rapport à la référence climatique. Puisque chaque modèle est doté d'une référence climatique unique, les calculs devraient être effectués pour chaque modèle, puis évalués statistiquement pour obtenir une gamme de projections au travers l'ensemble multi-modèle.

Au moment de l'achèvement de ces lignes directrices (fin 2020), les projections des conditions climatiques futures liées à la dégradation du pergélisol, au pourcentage de perte de pergélisol ou aux changements directs concernant l'épaisseur de la couche active n'étaient pas directement disponibles auprès des sources fournies à l'annexe C, même si chacune de ces variables sera affectée par les températures annuelles moyennes, les températures extrêmes et les changements des conditions du sol et de la végétation. De plus, des articles de journaux décrivant les recherches sur la perte projetée en pourcentage du pergélisol ou sur les changements dans l'épaisseur de la couche active sont disponibles. Bush et Lemmen (2019) présentent les résultats d'études qui indiquent une augmentation des températures du pergélisol et une réduction de la superficie du pergélisol canadien. Cependant, il est mentionné que le niveau de confiance concernant la dégradation projetée du pergélisol (à partir des simulations de modèles climatiques) est affecté par des représentations inadéquates des propriétés du sol, des incertitudes dans la compréhension de la réponse des couches profondes du pergélisol et des interactions avec les changements d'autres variables climatiques telles que l'augmentation de l'intensité des précipitations. Avec les avancées de la science du climat, plus d'information pourrait devenir disponible au sujet des projections relatives au pergélisol.

Les variations hydrologiques telles que les régimes de crues peuvent être projetées en examinant de quelle façon les éléments, tels que les précipitations maximales probables (PMP), les courbes intensité-durée-fréquence, et les statistiques de précipitations, le manteau neigeux et la fonte des neiges, ainsi que l'évapotranspiration, sont projetés de changer dans les conditions climatiques futures. La méthode de

projection des PMP et de l'évapotranspiration potentielle future est identique à celle du climat actuel, mais dans ce cas-ci, elle est appliquée aux projections du climat quotidien futur. La méthode de projection des courbes intensité-durée-fréquence du climat futur et des statistiques de précipitations est décrite à l'**annexe B**.

Contrairement aux projections de température, les modèles climatiques ne sont pas encore en mesure d'entièrement résoudre les processus convectifs responsables de générer des quantités de précipitations extrêmes à des échelles spatiales réduites et de contribuer aux précipitations extrêmes dans les systèmes synoptiques à plus grande échelle (CSA, 2019). Pour cette raison, il est peu probable que les estimations des précipitations extrêmes de courte durée, pour un lieu déterminé, soient robustes. Les méthodes décrites à l'annexe B sont incluses afin d'aider à accroître l'étendue spatiale de l'analyse et saisir davantage de variabilité interne dans les projections de précipitations. Toute tentative de projection des précipitations extrêmes de courte durée doit tenir compte de l'intensité des recherches et des débats scientifiques en cours sur ce sujet.

Comme il s'agit d'un événement extrême qui est souvent utilisé comme base de conception pour les parcs à résidus miniers, la méthodologie d'estimation de la PMP est particulièrement importante et les méthodologies continuent d'être affinées. Cependant, Kappel (2019) a effectué une évaluation des ouragans Harvey et Florence, deux des tempêtes les plus intenses jamais enregistrées aux États-Unis en termes de durée et d'intensité de l'événement. Kappel a conclu que l'ouragan Harvey n'a pas dépassé le PMP calculé pour la région et que la tempête « a fourni un exemple bénéfique en temps réel à l'effet que le processus de développement de la PMP englobe de façon appropriée les processus générant des précipitations extrêmes. » Ainsi, la PMP, si elle est calculée correctement, fournit une base très solide pour la conception d'infrastructures critiques telles que les parcs à résidus miniers. Cependant, Kappel conclut aussi que « (l'ouragan) Harvey démontre également la nécessité de mettre continuellement à jour la base de données des tempêtes et les estimations des PMP, au fur et à mesure que de nouvelles tempêtes se produisent et que le niveau de compréhension des mécanismes des précipitations extrêmes augmente. » Cette incertitude doit être reconnue dans le développement des projections de PMP.

L'application de l'approche d'un ensemble multi-modèle aux variables décrites ci-dessus génère une gamme de résultats. Pour aider à traiter l'incertitude, il est nécessaire de calculer les statistiques décrivant la gamme de changements relatifs projetés pour l'ensemble des membres de l'ensemble (minimum, maximum, moyenne, médiane et percentiles).

L'encadré ci-dessous fournit une liste de questions pour aider à sélectionner et documenter les modèles, les projections existantes et les ensembles de données utilisés pour développer des projections du climat futur, spécifique à un lieu.

### Liste de contrôle pour le développement d'ensembles de données climatiques futures

Quels modèles climatiques ont été utilisés et comment ont-ils été sélectionnés?

- Comment les projections climatiques ont-elles été obtenues?
- Quelles périodes futures (p. ex., le milieu ou la fin du siècle) ont été envisagées?
- Quels scénarios ont été considérés (p. ex., RCPs)?

Comment l'incertitude des projections climatiques futures est-elle traitée?

Quelles variables climatiques futures ont été prises en compte?

- Quelles variables sont disponibles directement à partir des modèles climatiques (p. ex., précipitations totales)?
- Quelles variables sont basées sur l'analyse des projections du modèle (p. ex., statistiques sur les précipitations)?
- Quelles valeurs sont tirées de la littérature?

## 4.3 Impacts et opportunités potentiels associés aux changements climatiques

Les changements climatiques peuvent avoir un large éventail d'impacts potentiels sur le secteur minier et pourraient aussi représenter des opportunités. Cette section fait l'objet d'une brève discussion des différents types d'impacts potentiels et d'opportunités qui devraient être pris en compte dans l'identification de la vulnérabilité aux changements climatiques et dans les évaluations ultérieures de risques. Des exemples sont inclus dans cette discussion. Ces derniers ne sont en aucun cas exhaustifs, mais visent à susciter une discussion (spécifique au site) sur les impacts potentiels, particulièrement les impacts hors site qui pourraient ne pas être aussi évidents à titre d'impacts potentiels pour le site. Des détails concernant ces impacts potentiels sont présentés à l'[annexe E](#).

### Impacts potentiels

Les impacts potentiels des changements climatiques sur l'exploitation minière dépendent d'un large éventail de facteurs tels que :

- localisation de la mine;
- cadre géographique : comment la géographie locale interagit avec le climat;
- le climat actuel et le climat futur;
- la taille de la mine et la nature de l'infrastructure du site minier;
- les phases du cycle de vie;
- les risques actuels gérés et comment ces risques pourraient être modifiés par les changements climatiques.

Les impacts qui peuvent affecter les activités minières peuvent se produire sur le site ou à l'extérieur du site. Les impacts peuvent également être directs ou indirects. L'[annexe E](#) donne des exemples de variables climatiques, d'événements climatiques et de vulnérabilités potentielles classées selon les phases du cycle de vie de la mine (tableau E-1).

### Impacts potentiels sur le site et hors-site

Les impacts potentiels sur le site comprennent ce qui suit :

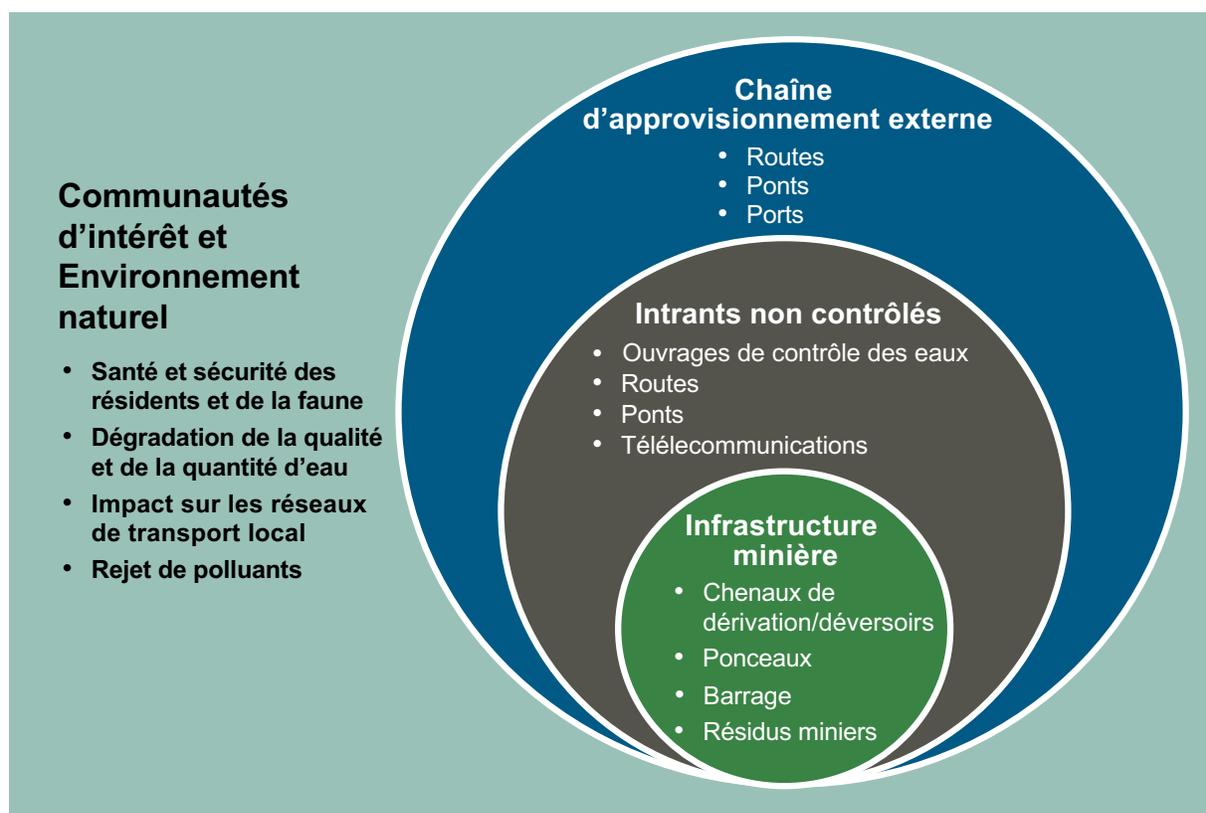
- la santé et la sécurité :
  - blessures ou décès résultant d'incendies, d'inondations ou d'autres événements;
  - blessures ou décès résultant d'un stress thermique.
- les infrastructures de transport telles que les routes et les pistes d'atterrissage :
  - dommages causés aux pistes d'atterrissage par la dégradation du pergélisol.
- infrastructures de gestion de l'eau :
  - débordement des structures de dérivation ou des déversoirs;
  - traitement inefficace de l'eau en raison du faible débit d'eau dans des conditions de sécheresse.
- parcs à résidus miniers :
  - perte de la couverture d'eau nécessaire pour maintenir l'état de saturation et empêcher l'oxydation des minéraux sulfurés;
  - des niveaux d'eau plus élevés que la limite acceptable.

Les impacts potentiels hors site peuvent être plus difficiles à identifier et à évaluer. Ces impacts pourraient rendre le site inaccessible, ou encore perturber les chaînes d'approvisionnement pouvant mener à l'impossibilité de déplacer les fournitures, le personnel ou les produits depuis ou vers le site. Ces impacts peuvent également affecter les communautés avoisinantes, menant à des répercussions environnementales, économiques et sociales. Les impacts hors site pourraient inclure :

- santé et sécurité;
- dommages ou interruption des infrastructures de transport hors site;
- fonte prématurée des routes d'hiver;
- impacts sur les installations portuaires en raison de l'élévation du niveau de la mer ou d'événements extrêmes;
- interruption du transport aérien en raison d'événements extrêmes tels que des tempêtes ou un brouillard prolongé;
- interruption de courant pour les sites reliés au réseau de distribution électrique;
- des conditions météorologiques exceptionnelles (p. ex., tempêtes de vent ou de glace) pourraient affecter les lignes de transport d'énergie;
- les températures élevées peuvent réduire la capacité de transport;
- une capacité réduite de production d'hydroélectricité en raison de la sécheresse;
- interruption des télécommunications en raison d'événements météorologiques extrêmes;
- impacts sur les écosystèmes locaux ou régionaux, tels que des changements dans les conditions d'habitat entraînant des variations au niveau de la biodiversité, de la structure et de la fonction des écosystèmes (p. ex., variations dans les types de végétation dominante);
- ces changements pourraient avoir des répercussions sur la planification de la fermeture, la remise en état et l'utilisation prévue des terres après la fermeture.

En faisant l'identification des impacts potentiels des changements climatiques sur le site et hors site, il s'avère pertinent de considérer la sphère d'influence d'une mine, qui décrit les impacts sur lesquels un propriétaire peut intervenir, sur le site ou à l'extérieur du site (figure 5). Les impacts situés en dehors de la sphère d'influence sont ceux dont le propriétaire ne peut contrôler. Par exemple, un propriétaire peut influencer certains aspects de sa chaîne d'approvisionnement externe en contrôlant la consommation de carburant, l'achat et la livraison de réactifs, l'entretien des véhicules et les entrepreneurs, mais il ne peut influencer ou contrôler l'état des routes hors site utilisées pour transporter les marchandises vers et depuis le site.

**Figure 6 : Sphères d'influence du propriétaire concernant les changements climatiques et l'adaptation.**



### Impacts potentiels directs et indirects

En plus du fait que les impacts peuvent se produire sur le site ou hors site, ces derniers peuvent également être de nature directe ou indirecte.

**Impact direct :** un impact (généralement un impact physique) sur une composante spécifique de l'infrastructure en réponse à un événement climatique.

**Impact indirect :** un impact se produisant à la suite d'un impact direct. Un impact indirect peut, à son tour, occasionner d'autres impacts indirects.

La figure 7 illustre bien la différence entre les impacts directs et indirects.



Voici quelques exemples de changements climatiques qui pourraient mener à des opportunités, ou bien de changements qui ne présentent ni risques ni opportunités :

- des hivers plus chauds et une fonte printanière prématurée peuvent entraîner une diminution des débits de pointe de la crue nivale, ce qui pourrait réduire les risques d'inondation si les risques de débit de pointe sont liés à la crue nivale;
- avec l'augmentation des températures et la fonte de la glace de mer, certains endroits dans le Nord, auparavant inaccessibles pour l'exploitation minière, pourraient devenir accessibles;
- la hausse des températures peut réduire la consommation globale d'énergie en diminuant la demande de chauffage en hiver, notamment dans les mines souterraines où l'air de ventilation est chauffé (en hiver);
- la hausse de la durée des saisons de croissance contribuerait à améliorer les activités de revégétalisation. De plus, les changements dans les conditions de culture pourraient affecter les mélanges de semences optimaux utilisés pour revégétaliser et augmenter l'absorption du carbone de la biomasse;
- des fontes de neige plus intenses peuvent représenter une occasion d'obtenir de l'eau de sources locales, puisque l'augmentation de la fonte des neiges alimentera ces systèmes.

#### 4.4 Vulnérabilités et risques

Avant de faire une description de l'approche d'évaluation des risques, il est important d'avoir une compréhension claire et cohérente des notions de vulnérabilité et de risque.

##### Vulnérabilités

Les vulnérabilités sont présentes lorsqu'une variable climatique interagit avec une entité telle que l'infrastructure minière d'une façon qui a le potentiel d'engendrer un risque. Les vulnérabilités ne sont pas exclusives à l'infrastructure minière directe; elles peuvent aussi inclure des infrastructures hors site et les chaînes d'approvisionnement. Les exemples suivants illustrent le concept de vulnérabilité :

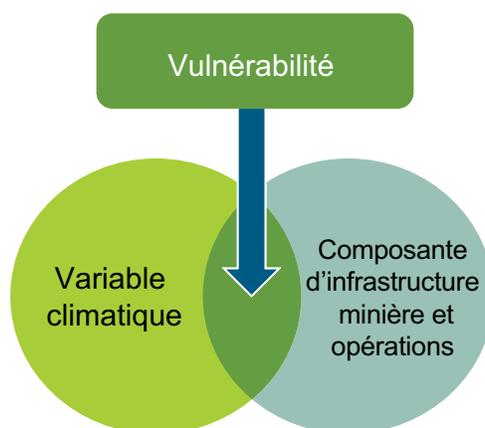
- Si une traverse de cours d'eau n'a pas la capacité de fonctionner advenant qu'un événement climatique se produit, pour lequel il n'a pas été conçu (p. ex., un débit élevé dépassant la capacité du passage d'eau), et qu'il n'y a pas d'autres mesures d'adaptation en place (p. ex., un bassin de dérivation ou de rétention des eaux pluviales), par conséquent cette traverse de cours d'eau est vulnérable à un impact direct lié aux changements climatiques.
- Si la traversée de l'eau échoue, il y aurait des impacts potentiels indirects sur :
  - les écosystèmes en aval;
  - les infrastructures ou les communautés en aval;
  - le transport, si la route est endommagée.
- Si un complexe d'hébergement minier est construit sur le pergélisol, ce complexe est vulnérable à un impact direct en cas de dégradation du pergélisol.
- Si le complexe d'hébergement s'effondre ou devient instable, il y aura des impacts indirects potentiels sur :
  - la santé et la sécurité si la défaillance est soudaine ou si le bâtiment est jugé dangereux;

- la continuité des activités (p. ex., si une partie d'un complexe d'hébergement n'est plus de service, la capacité du propriétaire à loger le personnel sur place est réduite, résultant en une baisse de la main-d'œuvre et du taux de production).

Tous les impacts potentiels directs et indirects devraient être identifiés, et par conséquent les vulnérabilités devraient l'être aussi. Dans le même ordre d'idée, l'identification des vulnérabilités doit tenir compte des impacts potentiels sur le site et hors site.

Les figures 8 et 9 illustrent la notion de vulnérabilité de façons différentes.

**Figure 8 : Les vulnérabilités existent lorsqu'une variable climatique interagit avec une composante de l'infrastructure et/ou de l'opération minière**

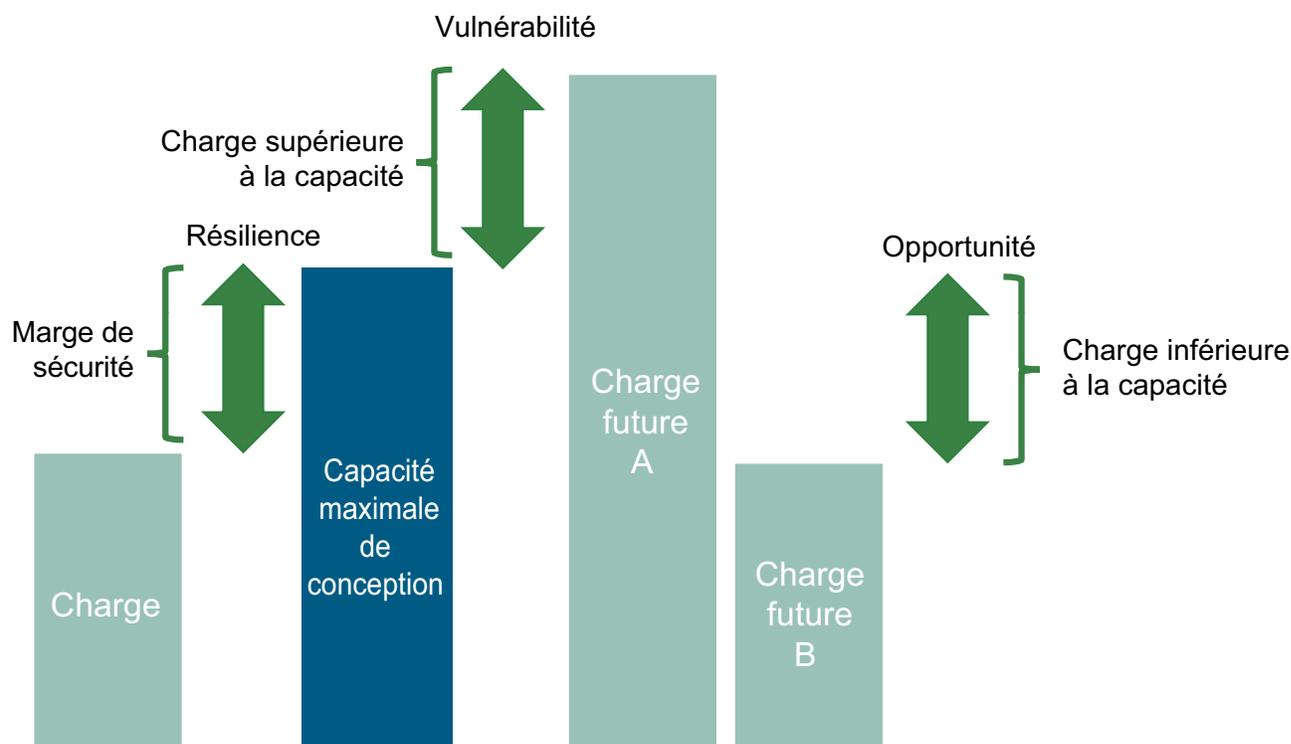


Les vulnérabilités et les risques associés feront l'objet de changements au cours du cycle de vie de la mine; et dépendent d'une série de facteurs tels que :

- localisation (p. ex., côtière ou continentale, aride ou tempérée);
- étendue géographique de la mine, de ses infrastructures et de ses opérations;
- conditions climatiques changeantes, particulièrement si les conditions dépassent les projections de conditions futures;
- communautés et écosystèmes avoisinants;
- changements locaux ou régionaux, tels que :
  - nouvelles infrastructures;
  - nouvelles activités commerciales ou récréatives;
  - expansion des communautés;
  - changement d'usage du territoire;
  - changements dans la gestion régionale de l'eau; mise en œuvre de mesures d'adaptation par une tierce partie.
- la durée de vie de la mine et la durée de vie nécessaire des infrastructures;
- les conditions de fermeture de la mine et les conditions post-fermeture;
- la mine elle-même, les composantes de l'infrastructure sur le site et les opérations en cours.

Des exemples de vulnérabilités aux changements climatiques et la façon dont elles peuvent évoluer tout au long du cycle de vie de la mine sont présentés à l'[annexe E](#).

**Figure 9 : Si la charge future est supérieure à la capacité maximale de conception, alors il existe une vulnérabilité (adapté d'Ingénieurs Canada). Si la charge future est inférieure, alors il existe une opportunité.**



## Risques

Le risque est défini comme un impact potentiellement négatif, nuisible aux opérations, à une installation, à l'environnement, à la santé publique ou à la sécurité, pouvant résulter d'un processus actuel ou d'un événement futur. En évaluant le risque, la gravité et les conséquences potentielles de l'impact sont considérées, ainsi que sa probabilité d'occurrence (AMC, 2019b).

La notion de risque est souvent mal comprise, et le terme est souvent mal utilisé. Lors de l'évaluation des risques et de la communication sur les risques et les activités liées aux risques, il est important d'être clair sur la signification du risque et particulièrement, sur le fait que le risque tient compte à la fois de la conséquence potentielle et de la gravité d'un événement, de même que la probabilité ou la vraisemblance que cet événement survienne. Par exemple, si l'on compare le risque personnel de conduire une voiture à celui d'un vol commercial, la conséquence potentielle est la même dans les deux cas : catastrophique. Toutefois, la probabilité que vous soyez tué dans un accident de voiture mortel est plus élevée que la probabilité que vous soyez tué dans un accident d'avion mortel. Par conséquent, le risque personnel associé à la conduite d'une voiture est plus élevé que le risque associé à un voyage en avion commercial, même si certaines personnes peuvent percevoir le voyage en avion commercial comme étant plus risqué.

Le risque peut être exprimé de façon qualitative, semiquantitative ou quantitative, en fonction de l'objectif de l'estimation du risque et du degré de certitude associé aux différents paramètres impliqués dans l'estimation. Cet élément est discuté de façon plus détaillée à la [section 4.5](#).

## 4.5 Cadre d'évaluation des risques

La réalisation d'une évaluation des risques liés aux changements climatiques aide les propriétaires à constituer une base factuelle et fournit une image plus complète de leurs vulnérabilités et de leurs risques liés au climat. Une évaluation des risques aidera les propriétaires dans leur prise de décision en ce qui concerne la mise en œuvre potentielle de mesures d'adaptation aux changements climatiques (ICMM, 2019).

Comme indiqué précédemment, les sociétés minières ont de l'expérience dans la gestion des risques et, dans de nombreux cas, des programmes de gestion des risques d'entreprise et des risques opérationnels ont été mis en place. Ces programmes peuvent être adaptés afin de soutenir ou d'inclure une évaluation des risques climatiques. Cette section décrit un cadre d'évaluation des risques qui vise à ajouter une perspective climatique à un programme de gestion des risques déjà en place, ou qui peut servir de base à un programme de gestion des risques pour les propriétaires qui n'en ont possiblement pas encore en place.

Une évaluation des risques est utilisée pour identifier les vulnérabilités et les risques liés aux changements climatiques, évaluer l'ampleur des risques identifiés et les classer. Les changements climatiques peuvent représenter plusieurs risques au niveau du site et de l'entreprise. Ces risques peuvent être liés à des impacts potentiels (conséquences) sur la santé et la sécurité du personnel sur le site et des résidents des communautés locales, l'infrastructure, les opérations minières, l'environnement local/régional, l'économie du propriétaire, la réputation du propriétaire, et le potentiel de troubles sociaux ou des conflits de travail. Au moment de la planification et de la réalisation d'une évaluation des risques, en lien avec les changements climatiques, ce large éventail de conséquences potentielles doit être pris en compte, ainsi que d'autres éléments pouvant potentiellement modifier le risque, tels que l'évolution des exigences légales et des attentes des investisseurs, des assureurs et des communautés. L'évaluation des risques se concentre sur le risque inhérent en l'absence de mesures d'adaptation et l'étape 2 se penche sur le risque résiduel après le développement des trajectoires d'adaptation.

Le cadre d'évaluation des risques liés aux changements climatiques, discuté ci-après, s'harmonise avec la norme ISO 31000 relative au management du risque (ISO, 2018) et intègre des questions spécifiques à l'exploitation minière selon les lignes directrices existantes ([section 2.3](#)). Le cadre tient compte des principes importants suivants en ce qui concerne l'évaluation des risques liés aux changements climatiques :

- il est anticipé que divers risques et vulnérabilités se présentent tout au long du cycle de vie de la mine, c'est pourquoi le cadre tient compte des vulnérabilités et des risques qui pourraient se produire dans l'ensemble des phases du cycle de vie;
- l'évaluation des risques se réfère aux informations disponibles à l'heure actuelle;
- l'évaluation des risques est adaptée au site minier à l'étude en tenant compte des objectifs de l'évaluation des risques;
- l'évaluation des risques fournit des informations complémentaires pour faciliter le processus décisionnel ([section 5.0](#)).

Les stades d'un cadre d'évaluation des risques liés aux changements climatiques sont présentés à la figure 10, et des descriptions détaillées de chaque étape sont fournies ci-dessous. Le cadre décrit une série d'actions ainsi que des composantes principales (p. ex., l'engagement des communautés d'intérêt, la surveillance et la révision, l'enregistrement et les rapports) qui peuvent être utilisées pour entreprendre une évaluation des risques climatiques spécifique à un site. Il peut également être utilisé pour entreprendre une évaluation régionale des risques climatiques si plusieurs opérations sont situées dans la même région,

ou si un propriétaire collabore avec les communautés locales ou autres industries dans la réalisation d'une évaluation des risques. Ce cadre peut être adapté à différents niveaux de détail, à différentes phases de la vie de la mine, en fonction des besoins des décideurs.

Une évaluation des risques climatiques particulière à un site comprendrait des définitions spécifiques en termes de vulnérabilité et de risque qui pourraient être différentes des définitions au niveau de l'entreprise (portefeuille), qui sont plus larges et peuvent hiérarchiser les risques sur plusieurs sites miniers. En transposant les risques climatiques spécifiques à un site à l'échelle de l'entreprise, il demeure possible que ces risques ne soient pas applicables. Par exemple, les risques climatiques identifiés au niveau du site pourraient être sous-estimés si les catégories de conséquences utilisées au niveau de l'entreprise, généralement plus grandes, sont utilisées au niveau du site. Cela se produirait probablement lors de l'utilisation de matrices pour de grandes entreprises tenant compte de multiples actifs, et il pourrait être nécessaire d'ajuster le classement (et/ou mise à l'échelle) des conséquences en passant de l'évaluation de l'entreprise aux évaluations spécifiques de sites.

**Figure 10 : Cadre d'évaluation des risques liés aux changements climatiques**



## Éléments prioritaires du cadre d'évaluation des risques

### Engagement des communautés d'intérêt

Tout au long des stades de l'évaluation des risques, il est important de tenir compte des aspects de communication et d'engagement continue avec les communautés d'intérêt, y compris les communautés et groupes autochtones. Les communautés d'intérêt sont de plus en plus préoccupées par les impacts potentiels des changements climatiques sur leur santé et leur sécurité, leur environnement, leurs communautés et leurs moyens de subsistance. La présence d'une mine à proximité de leurs communautés pourrait aggraver ces préoccupations. Les propriétaires devraient explorer cette question à l'aide des cadres d'engagement existants pour les communautés d'intérêt, y compris le *Protocole de relations avec les Autochtones et les collectivités de l'initiative VDMD* de l'AMC.

L'engagement des communautés d'intérêt peut venir en aide dans le soutien du processus de prise de décision par le biais de rétroactions de la part de gens détenant des expertises et expériences différentes dans plusieurs domaines. De façon particulière, l'engagement des communautés d'intérêt peut :

- fournir des renseignements sur le processus d'identification des vulnérabilités et d'évaluation des risques;
- faciliter le partage des connaissances, y compris les connaissances traditionnelles qui peuvent aider le propriétaire à mieux comprendre :
  - la manière dont le climat a changé;
  - l'applicabilité et l'exactitude du climat de référence développé par le propriétaire;
  - le potentiel d'efficacité des mesures d'adaptation aux changements climatiques proposées.
- aider à éviter l'adaptation inefficace où les actions d'adaptation d'un groupe pourraient entraîner des conséquences négatives sur les autres (ICMM, 2019);
- aider les communautés d'intérêt à mieux comprendre les risques liés aux changements climatiques identifiés et les mesures prises par le propriétaire pour gérer ces risques;
- aider les communautés d'intérêt à mieux comprendre les impacts potentiels des changements climatiques dans leurs propres communautés.

### Surveillance et revue

Conformément à l'approche itérative décrite à la [section 2.3](#), le processus d'évaluation des risques doit être itératif. C'est le cas pour tous les processus d'évaluation des risques, mais il est particulièrement important compte tenu des incertitudes associées aux changements climatiques.

Les propriétaires devraient revoir régulièrement leur évaluation des risques (p. ex., annuellement ou lorsqu'un changement significatif au niveau des opérations ou de l'entreprise) pour confirmer que l'évaluation est toujours valide et à jour. Le résultat de cette revue pourrait déclencher une mise à jour de l'évaluation des risques si nécessaire, en fonction des changements significatifs. Comme décrit à la [section 2.3](#), des modifications au niveau des vulnérabilités et des risques pourraient être déclenchées par des facteurs tels que :

- mises à jour de la science du climat, des projections de conditions climatiques futures, ou d'autres facteurs (p. ex., les exigences légales) pouvant modifier les vulnérabilités ou les risques;
- changements dans les opérations minières, y compris l'infrastructure;

- changements dans les politiques, les plans, les stratégies commerciales et les actifs de l'entreprise;
- changements dans les phases du cycle de vie de la mine;
- changements dans les plans futurs de la mine;
- changements au niveau de l'environnement externe;
- mesures d'adaptation climatiques prises par des tiers.

### Documentation et rapports

Le processus d'évaluation des risques et ses résultats devraient être documentés et déclarés. Les activités de gestion des risques et les résultats des prises de décision doivent être communiqués aux intervenants internes ainsi qu'aux communautés d'intérêt. Les rapports doivent être rédigés en termes courants et simples, qui peuvent être bien compris par la haute direction, les organismes de réglementation et les communautés d'intérêt.

### Composition de l'équipe

Avant d'initier le processus d'évaluation des risques, les propriétaires doivent mettre sur pied une équipe multidisciplinaire capable de fournir de l'expertise et des connaissances diversifiées qui permettront de mener à bien l'évaluation. L'équipe doit inclure des personnes qui ont des connaissances dans les domaines suivants :

- climat local historique et actuel;
- conception et/ou opération de diverses composantes de l'infrastructure de la mine;
- projection du climat futur et impacts du climat;
- registre des risques spécifiques au site et processus d'évaluation des risques.

La composition de l'équipe dépendra de la structure organisationnelle du propriétaire, mais devrait typiquement comprendre des représentants pour les fonctions suivantes : opérations minières, environnement, relations avec la communauté et le gouvernement, gestion de l'eau, gestion des résidus miniers, approvisionnement et gestion de la mine. Des compétences supplémentaires telles que l'évaluation des risques, la climatologie et des professionnels de la santé et de la sécurité pourraient aussi être requises.

### STADE 1 : Portée de l'évaluation des risques

Il est requis de définir la portée de l'évaluation des risques afin d'identifier le niveau d'effort nécessaire pour réaliser l'évaluation. Cette information proviendra des exigences internes du propriétaire.

Le niveau d'effort dépendra de la taille du projet, de son étendue géographique (c.-à-d. l'étendue couvre-t-elle l'ensemble de la mine ou seulement une composante?), des impacts potentiels au-delà de la propriété de la mine, de la criticité (c.-à-d. s'agit-il d'une pièce d'infrastructure critique?) et des vulnérabilités. L'évaluation des risques doit tenir compte des éléments suivants :

- les objectifs de l'évaluation des risques;
- les limites de l'évaluation sont désignées comme étant le domaine, en considération de l'étendue géographique, des composants de l'infrastructure, des opérations et du niveau de conception qui doivent être inclus;

- les registres de risques existants ou les programmes de gestion des risques qui ont déjà identifié des risques, à référencer ou intégrer dans l'évaluation des risques climatiques;
- limites temporelles de l'évaluation – quelle phase du cycle de vie de la mine l'évaluation considère-t-elle, quelle est la durée de vie de la mine ou de la composante de l'infrastructure?
- ressources humaines et financières nécessaires pour compléter l'évaluation des risques, et toute contrainte de temps;
- les communautés d'intérêt qui doivent être engagées, et à quel point dans le processus elles doivent s'engager;
- liens avec les pratiques et procédures d'évaluation de risques existantes (c.-à-d. registres de risques existants);
- la façon dont l'évaluation des risques liés aux changements climatiques sera intégrée dans le processus global de prise de décision, tant au niveau des opérations qu'au niveau de l'entreprise.

## STADE 2 : Collection de l'information

L'obtention d'informations de base permettra de dresser un inventaire des données, d'identifier les outils existants et d'autres ressources à jour et pertinentes nécessaires à la réalisation de l'évaluation. Le niveau d'information requis peut varier, mais il est généralement question des éléments suivants :

- informations provenant des pratiques et des revues d'évaluations de risques existantes. Cela peut inclure les critères de risque spécifiques à l'entreprise ou à la mine déjà utilisés par le propriétaire pour évaluer les risques;
- le savoir traditionnel et autochtone;
- les mesures d'adaptation climatique déjà utilisées par de tierces parties;
- une liste des équipements de la mine, des composantes de l'infrastructure, des opérations et des paramètres de conception qui seront utilisés pour identifier les vulnérabilités (stade 3) – cette liste peut varier dans le niveau de détail et dépendra de la phase du cycle de vie de la mine, et peut inclure :
  - construction :
    - gestion et traitement de l'eau;
    - gestion des poussières;
    - préparation du terrain.
  - opérations et construction en cours :
    - gestion des résidus miniers;
    - gestion des stériles;
    - gestion et traitement de l'eau;
    - gestion des poussières;
    - infrastructure de transport;
    - usine de traitement.

- fermeture et post-fermeture :
  - gestion et traitement de l'eau;
  - gestion des résidus miniers;
  - gestion des stériles;
  - gestion des poussières;
  - remise en état et revégétalisation.
- informations sur les conceptions actuelles d'infrastructures et sur les plans de fermeture, y compris les hypothèses climatiques prises en compte dans la conception (p. ex., périodes de récurrence des tempêtes utilisées, estimations d'intensité-durée-fréquence), ainsi que les codes, normes, exigences en matière de permis ou directives suivies dans le processus de conception;
- données opérationnelles pour les équipements et les infrastructures, y compris les résultats de la surveillance, l'expérience opérationnelle (p. ex., la façon dont une infrastructure spécifique a réagi lors d'événements climatiques antérieurs similaires), la résilience anticipée et les rapports d'incidents.

Un registre de documents doit être établi pour identifier et suivre les documents sources d'informations de base à utiliser pour l'évaluation des vulnérabilités et des risques.

### STADE 3 : Identification des vulnérabilités et des opportunités

Ce stade implique :

1. L'identification et la description des interactions potentielles entre une série d'indicateurs climatiques pertinents et les composantes de l'infrastructure, les opérations, les communautés et le milieu avoisinant.
2. L'identification des vulnérabilités aux changements climatiques, sur la base de ces interactions potentielles et des projections des conditions climatiques futures (élaborées à l'étape 1).

Les impacts potentiels directs et indirects, de même que les vulnérabilités associées, devraient être identifiés. De plus, les relations entre les vulnérabilités directes et indirectes devraient être décrites. L'identification des vulnérabilités doit se faire de manière détaillée, avec des contributions à l'interne et à l'externe. Il est essentiel de disposer d'une liste aussi complète que possible des vulnérabilités et d'une compréhension claire des relations entre les vulnérabilités directes et indirectes, car elles serviront de base (référence) à l'évaluation des risques. Tout élément manquant à ce point-ci ne sera pas tenu compte dans l'évaluation des risques.

Au cours de cette étape, il convient également d'identifier toute opportunité ou tout résultat des changements climatiques qui serait neutre (ni négatif, ni opportunité). Les opportunités n'ont pas besoin d'être examinées dans le cadre du processus d'évaluation des risques, mais doivent être prises en compte lors de l'élaboration ultérieure des trajectoires d'adaptation ([section 5](#)) et de la mise en œuvre ([section 6](#)).

## STADE 4 : Développement d'un système de classement des risques

Comme décrit à la [section 4.3](#), le risque est le produit de la probabilité et de la conséquence d'un événement potentiel indésirable. Le classement de la probabilité et des conséquences de chaque vulnérabilité évaluée facilite la catégorisation du risque, tel que, par exemple, faible, moyen ou élevé. Pour évaluer le risque à l'aide de l'approche décrite dans ce guide, il est nécessaire de mettre au point un système ou une échelle de classement du risque et des critères de risque associés en ce qui concerne la probabilité et les conséquences.

Les critères de risque pour les conséquences peuvent être décrits de manière qualitative ou quantitative. Par exemple, une série de catégories représentant la gravité des conséquences financières peut décrire quantitativement le coût financier potentiel d'un risque. D'autres catégories de conséquences peuvent aussi être utilisées, notamment les risques liés à la santé et à la sécurité, à la conception structurelle, aux opérations, à la réputation (visibilité), à l'environnement et à la société. Le tableau 3 donne des exemples de critères de risque qualitatifs et quantitatifs pour les conséquences.

**Tableau 3 : Exemples qualitatifs et quantitatifs de catégories de conséquences**

Catégorie de conséquence/Cote de risque	Qualitatif	Perte en capital per événement
1	Négligeable	<250 000 \$
2	Mineur	250 000 à 500 000 \$
3	Modéré	500 000 à 1 million \$
4	Majeur	1 million à 2 millions \$
5	Catastrophique	>2 millions \$

Les critères de risque pour la probabilité peuvent également être décrits de manière qualitative ou quantitative. L'approche à utiliser dépend, en partie, du degré d'incertitude. L'attribution de probabilités quantitatives à un événement, sans informations adéquates pour justifier ces probabilités, peut être trompeuse. Le tableau 4 donne des exemples de critères de risque qualitatifs et quantitatifs pour la probabilité.

**Tableau 4 : Exemples qualitatifs et quantitatifs de catégories de probabilités**

Catégorie de conséquence/Cote de risque	Qualitatif	Probabilité annuelle
1	Rare	<1 %
2	Improbable	1-10 %
3	Possible	10-50 %
4	Probablement	50-100 %
5	Presque certain	100 %

Lors de l'évaluation qualitative des risques, une approche matricielle peut être utilisée pour catégoriser les risques pour chaque vulnérabilité évaluée. Dans cette approche, une grille (ou une matrice) est développée, avec les conséquences sur un axe et la probabilité sur l'autre. La catégorisation des risques est déterminée par la probabilité et la conséquence, et à l'endroit où elles se croisent sur la grille pour une vulnérabilité donnée.

Ceci est illustré à la figure 10, qui est un exemple de matrice, aussi appelée carte de chaleur, représentant un système de classement des risques. La conséquence (axe x) et la probabilité (axe y) ont toutes deux été divisées en cinq catégories pour une matrice de 5 X 5 et peuvent être utilisées pour tracer chaque vulnérabilité afin de catégoriser le risque.

**Figure 11 : Exemple de matrice ou carte de chaleur pour un système de classement des risques.**

Probabilité de l'occurrence	Extrêmement probable (>90 %)								<b>Risque élevé</b>
	Probable (60 – 90 %)							<b>Risque significatif</b>	
	Aussi probable qu'improbable (40 – 60 %)				<b>Risque modéré</b>				
	Peu probable (10 – 40 %)		<b>Risque faible</b>						
	Extrêmement improbable (<10 %)	<b>Risque très faible</b>							
		1	2	3	4	5	<b>Gravité de la conséquence</b>		

De nombreux propriétaires disposent de systèmes de classement des risques existants qui peuvent être appliqués aux risques liés aux changements climatiques, avec ou sans modification. Si un système de classement n'est pas encore appliqué, il convient de développer et d'appliquer un système qui inclut le risque climatique et considère ce qui suit :

- développer des critères appropriés permettant de différencier les risques climatiques (afin de ne pas retrouver l'ensemble des risques dans la même catégorie);
- développer des critères qui peuvent s'harmoniser avec la terminologie existante utilisée par le propriétaire (p. ex., le propriétaire se réfère-t-il à une « forte probabilité » ou à un événement « extrêmement probable », est-ce qu'il définit des termes tels que « vraisemblance » ou « conséquence »);

- les politiques ou les objectifs pertinents qui définissent les niveaux de risque acceptables (p. ex., ceux décrits dans les rapports de développement durable). Le niveau de risque acceptable doit être défini dans le contexte du site minier et pour la phase de cycle de vie spécifique, en tenant compte de la probabilité et des conséquences, ainsi que des perspectives du propriétaire, des organismes de réglementation et des communautés d'intérêt (AMC, 2019b).

### STADE 5 : Évaluer le risque des vulnérabilités

Le système de classement des risques élaboré au stade 4 est appliqué aux vulnérabilités identifiées au stade 3, et le risque associé à chaque vulnérabilité est évalué. Des cotes de conséquence et de probabilité sont attribués à chaque vulnérabilité à évaluer. Les cotes de conséquence et de probabilité peuvent être représentés sur la matrice/cartes de chaleur.

Une différence notable dans la méthodologie d'évaluation des risques liés aux changements climatiques, comparativement à l'évaluation d'autres types de risques, est le fait que pour chaque vulnérabilité, le risque est catégorisé à la fois dans les conditions climatiques actuelles et dans les conditions climatiques futures projetées. Ceci a pour but de pouvoir comprendre de quelle(s) façon(s) le risque peut changer (p. ex., une plus grande probabilité et/ou conséquence) en raison des changements climatiques. Si d'autres approches sont utilisées, le risque peut aussi être calculé en fonction des conséquences et de la probabilité, mais il doit similairement être calculé en fonction des conditions climatiques actuelles et des conditions futures projetées. Le risque résultant associé aux changements climatiques constitue le delta ou la variation du risque entre les climats actuel et futur.

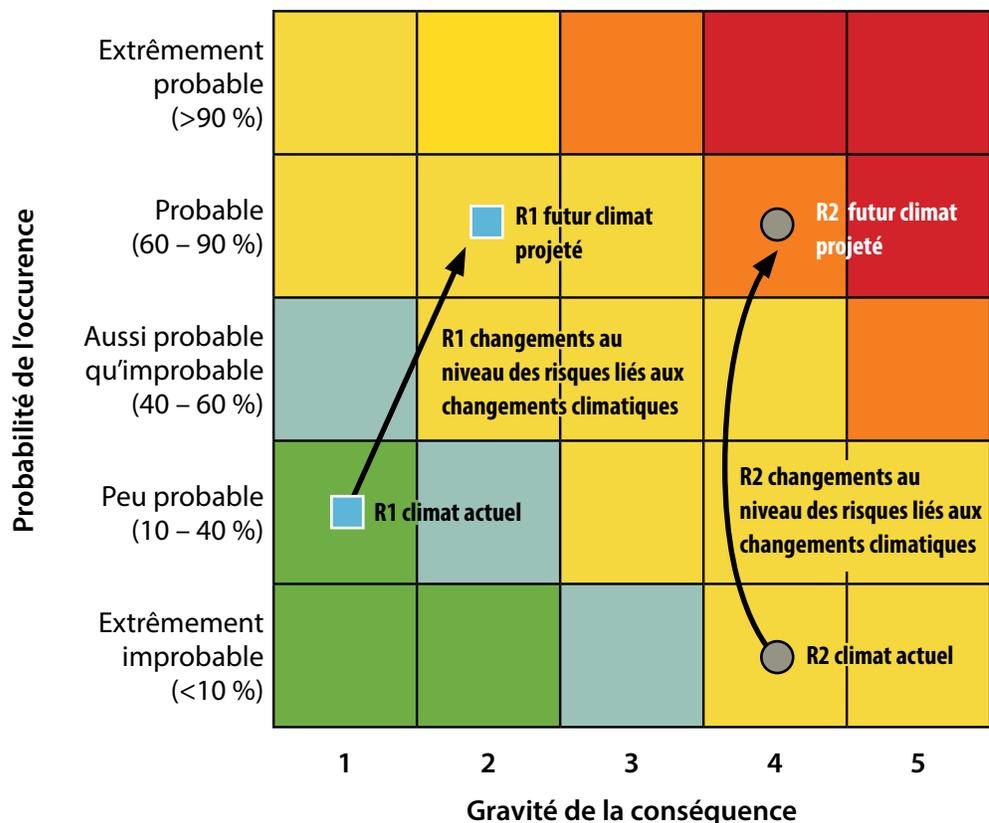
La figure 12 illustre ceci en utilisant deux risques :

- R1 : le risque de débordement d'un déversoir à la suite d'un épisode de précipitations de forte intensité.
  - dans les conditions climatiques actuelles, R1 est catégorisé comme étant un risque très faible;
  - dans les conditions climatiques futures projetées, en supposant qu'aucune mesure de gestion supplémentaire ne soit prise entre les conditions actuelles et futures, la probabilité d'un débordement du déversoir est plus élevée, et la conséquence (si le débordement se produit) est également plus grave;
  - par conséquent, dans les conditions climatiques futures projetées, R1 est catégorisé comme étant un risque modéré;
  - le risque associé aux changements climatiques pour R1 est modéré, puisqu'il changerait de deux niveaux de catégories de risque, soit de très faible à modéré.
- R2 : le risque de défaillance d'une structure de confinement en raison d'une augmentation de la température qui entraînerait la dégradation du pergélisol, ce qui résulterait en une réduction de la stabilité structurelle.
  - dans les conditions climatiques actuelles, R2 est catégorisé comme étant un risque modéré;
  - dans les conditions climatiques futures projetées, en supposant qu'aucune mesure de gestion supplémentaire ne soit prise entre les conditions actuelles et les conditions futures, la probabilité de défaillance de la structure de confinement est plus élevée, mais la conséquence demeure inchangée, si une défaillance se produit;
  - par conséquent, dans les conditions climatiques futures projetées, R2 est catégorisé comme étant un risque significatif;

- le risque associé aux changements climatiques pour R2 est faible, puisqu'il changerait d'un niveau de catégorie de risque, soit de modéré à significatif.

Ainsi, le risque associé aux changements climatiques pour R1 est plus élevé que pour R2. Cependant, dans les deux scénarios, le risque associé à R2 est plus élevé. Ces deux facteurs devront être pris en compte lors de la priorisation de ces risques pour la prise de décision.

**Figure 12 : Exemple de matrice ou carte de chaleur avec des cotes de conséquences et de probabilité pour chaque vulnérabilité, selon les conditions climatiques actuelles et futures.**



L'évaluation des risques peut être réalisée selon différents degrés de détail, selon des méthodes qualitatives, semi-quantitatives ou quantitatives, ou une combinaison de ces méthodes. L'évaluation des risques est un processus itératif et les propriétaires devraient tenir compte des éléments suivants :

- incertitudes associées aux vulnérabilités qui donnent lieu à des risques, y compris la qualité et l'intégralité des données sur lesquelles repose l'évaluation des risques;
- incertitudes associées à l'évaluation de la probabilité et des conséquences des risques, en particulier la probabilité;
- les résultats de surveillance ou la collecte de données additionnelles;
- les mesures d'adaptation déjà en place et leur efficacité à réduire le risque;
- l'analyse plus détaillée des projections climatiques peut être effectuée au fur et à mesure que la science du climat s'améliore afin de mieux comprendre les risques climatiques.

Les résultats de l'analyse des risques de toutes les vulnérabilités évaluées sont comparés, classés et priorisés pour prendre des décisions éclairées et déterminer si des mesures supplémentaires sont nécessaires. Le classement et la priorisation doivent tenir compte à la fois de la variation du risque associée aux changements climatiques et du risque absolu pour chaque vulnérabilité évaluée. Dans l'exemple ci-dessus, R2 serait probablement considéré comme une priorité plus élevée, même si la variation du risque associé aux changements climatiques est plus élevée pour R1.

De plus, il est important d'envisager de donner une priorité élevée aux événements à conséquences élevées ou extrêmes en raison de la gravité des impacts potentiels, même si la probabilité est très faible.

#### Liste de contrôle pour l'évaluation de la vulnérabilité et des risques face aux changements climatiques

- Quels sont les objectifs de l'évaluation des risques des changements climatiques?
- Quel niveau d'information est requis pour compléter l'évaluation? Le niveau d'information approprié a-t-il été obtenu?
- Est-ce que l'ensemble des vulnérabilités ont été identifiées et décrites pour toutes les phases du cycle de vie de la mine?
- Les critères de classement des risques ont-ils été clairement définis? Existe-t-il des systèmes de classement des risques existants pouvant être appliqués aux risques liés aux changements climatiques?
- De quelle façon les incertitudes ont été prises en compte dans l'évaluation?

## 4.6 Étude de cas

L'étude de cas suivante constitue un exemple d'une évaluation de la vulnérabilité et des risques qui a été réalisée par une société minière. L'annexe D présente des informations plus détaillées..

### Agnico Eagle – l'utilisation des ensembles de données pour réduire le risque et orienter la conception d'un recouvrement

Agnico Eagle est une société canadienne d'exploitation aurifère qui exploite trois mines sur le territoire du Nunavut, au Canada : Meadowbank, Meliadine et Whale Tail. Leurs projets de mines ont été soumis à la procédure d'évaluation des impacts sur l'environnement et le milieu social (EIEMS), une exigence de la Commission du Nunavut chargée de l'examen des répercussions (CNER). La CNER exige que les promoteurs de projets prennent en considération les effets potentiels des changements climatiques tout au long du cycle de vie du projet proposé. La CNER demande aux promoteurs d'examiner la question suivante, soit « comment les changements potentiels du climat affecteront-ils l'infrastructure associée au projet? ».

Dans le cas des projets d'Agnico Eagle au Nunavut, le niveau de détail des rapports soumis à la CNER, les demandes d'information subséquentes de la CNER et les projections climatiques futures (disponibles) utilisées pour soutenir l'évaluation ont évolué entre le moment où le projet initial de Meadowbank a été lancé en 2005 et l'approbation plus récente de Whale Tail en 2020.

L'évaluation des changements climatiques de chaque mine comprenait une caractérisation détaillée du climat historique dans la région, et plus localement sur le site du projet. Pour la projection du climat futur, l'approche utilisée était la suivante :

- utiliser les projections de changements climatiques existantes et accessibles au public;
- analyser ces projections en utilisant les outils et les protocoles applicables;
- fournir les projections dans un format qui était significatif à la fois pour un scientifique non spécialisé en climatologie et pour d'autres disciplines complétant des sections de qui remplissent les sections de l'ÉIEMS et s'appuient sur les données pour des applications techniques.

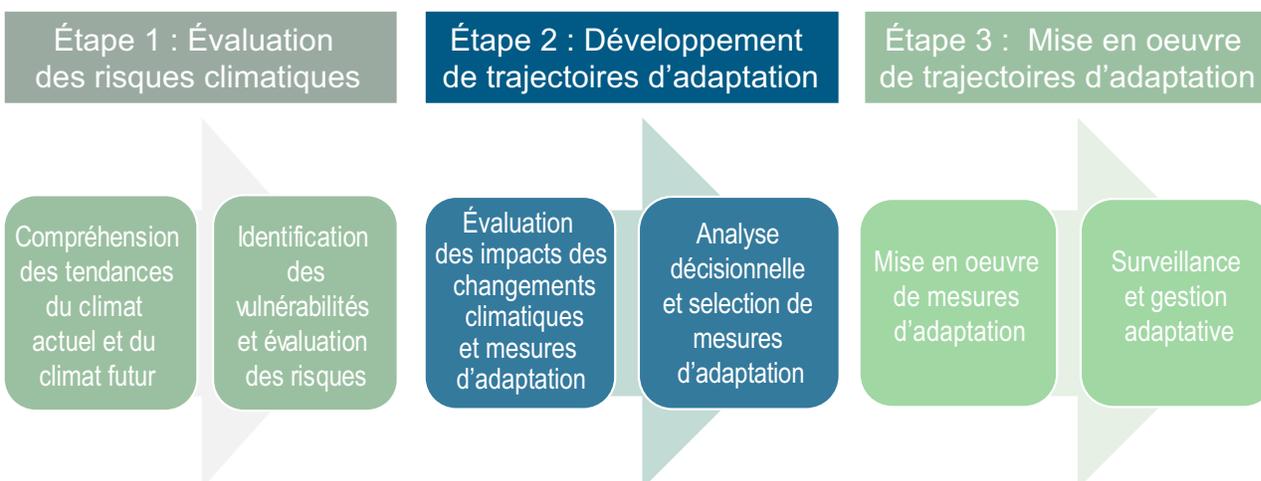
Ces informations ont ensuite été fournies dans un format permettant une analyse plus poussée et servant de référence à l'identification des interactions potentielles entre le climat et l'infrastructure et à la conception de mesures d'adaptation visant à réduire les risques liés au projet. Le niveau de détail requis pour documenter les options d'adaptation est devenu plus détaillé avec chaque évaluation subséquente. La CNER, ses réviseurs techniques et les parties prenantes se sont concentrés sur les options d'adaptation potentielles et leur relation avec la conception du projet.

L'une des principales vulnérabilités identifiées dans le cadre du projet Whale Tail est celle de l'installation de stockage des stériles (WRSF) à l'augmentation des températures. L'installation de stockage des stériles est conçue pour garantir que les stériles demeurent gelés pour prévenir l'oxydation des minéraux sulfurés présents dans les stériles, empêchant ainsi le drainage rocheux acide de se produire et d'affecter la qualité des eaux souterraines et de surface. Pour tenir compte du dégel saisonnier de la couche active du pergélisol, les stériles potentiellement acidogène seront recouverts d'une couche de roche non potentiellement acidogène. Si l'épaisseur de ce recouvrement n'est pas suffisante et que la couche active s'étend sous la couverture dans les stériles, un drainage acide pourrait se produire.

Ainsi, la démonstration que les changements climatiques, en particulier la dégradation du pergélisol, n'auraient pas d'impact sur le WRSF et ne compromettraient pas la protection des eaux souterraines et de surface a été identifiée comme une considération clé dans le processus d'examen de la CNER et a été prise en compte par Agnico Eagle dans la conception du WRSF.

Pour remédier à cette vulnérabilité, Agnico Eagle a évalué l'épaisseur minimale du recouvrement requis pour l'installation de stockage des stériles dans des conditions climatiques changeantes. La première étape de cette évaluation a été de développer un ensemble de données climatiques intégrant les informations du programme de surveillance de l'actuelle installation de stockage des stériles de Meadowbank (environ 50 km au sud-ouest de Whale Tail) et de fournir un résumé des températures moyennes mensuelles projetées pour l'emplacement de Whale Tail. Cet ensemble de données climatiques a ensuite été utilisé comme intrant dans une étude de modélisation thermique pour évaluer les conditions saisonnières de gel et de dégel et estimer les changements futurs de la profondeur de la couche active. Les résultats ont été utilisés pour évaluer l'épaisseur du recouvrement qui serait nécessaire pour garantir que les stériles potentiellement acidogène restent gelés sous la couche active dans les différentes projections des conditions climatiques futures. Les résultats de cette évaluation ont ensuite été utilisés pour élaborer la conception finale de l'installation de stockage des stériles, qui a été approuvée par la CNER.

## 5 Étape 2 : Développement de trajectoires d'adaptation



**Cette section fournit des conseils sur la façon de développer des trajectoires d'adaptation qui indiquent les actions à prendre afin de répondre aux risques et aux opportunités liés aux changements climatiques.**

En général, les sociétés minières ont déjà mis en place des mécanismes de gestion des risques, tels que des systèmes de gestion, des évaluations de risques, l'élaboration et la mise en œuvre de plans de gestion des risques et la mise en œuvre de programmes de surveillance. Ces mécanismes sont revus et mis à jour tout au long du cycle de vie.

Cependant, les changements climatiques et l'incertitude associée aux projections du climat futur apportent des défis supplémentaires. La décision qui est prise aujourd'hui, jugée optimale, ne le sera peut-être plus dans dix ans compte tenu de l'évolution des conditions climatiques observées, ou ne le sera peut-être plus lors de la publication du prochain rapport d'évaluation du GIEC qui tiendra compte d'une mise à jour des projections du climat futur. Ainsi, l'adaptation aux changements climatiques ajoute un niveau considérable d'incertitude et de flux aux mécanismes d'évaluation existants et de gestion des risques. En raison de cette incertitude, les décisions sur la meilleure façon de s'adapter aux conditions climatiques changeantes sont difficiles à prendre.

Cette section fournit des conseils sur la prise de décisions concernant l'adaptation aux changements climatiques face à une telle incertitude, et elle recommande le développement de trajectoires d'adaptation comme outil d'évaluation, de développement et de mise en œuvre des mesures d'adaptation. L'approche des trajectoires d'adaptation est une approche de planification qui tient compte de l'incertitude et des défis liés à la prise de décision en matière de changements climatiques. Elle permet d'envisager divers futurs possibles et d'analyser (explorer) la robustesse et la flexibilité de diverses options dans cette variété de futurs » (South West Climate Change Portal, 2020).

Les mesures d'adaptation sont des actions prises pour gérer les risques ou les opportunités associés aux changements climatiques. Les mesures d'adaptation peuvent inclure des actions visant soit à prévenir ou

à réduire la probabilité d'occurrence d'un impact négatif dû aux changements climatiques, soit de réduire ou d'atténuer les conséquences d'un impact négatif dû aux changements climatiques. Elles peuvent être mises en œuvre sur un site spécifique ou au niveau de l'entreprise et comprennent un large éventail d'actions potentielles telles que :

- les modifications des infrastructures existantes ou construction de nouvelles infrastructures.
- la révision des plans, pratiques et procédures tels que :
  - pratiques opérationnelles telles que la gestion de l'eau;
  - pratiques d'entretien telles que l'entretien des infrastructures dépendantes du pergélisol;
  - pratiques de surveillance reliées aux vulnérabilités au climat et aux changements climatiques;
  - plans de fermeture pour refléter les conditions climatiques futures projetées.
- le développement de projections améliorées des conditions climatiques futures;
- l'amélioration des structures de gouvernance reliées à l'adaptation aux changements climatiques.

### Questions clés traitées dans cette section

**Comment les propriétaires peuvent-ils répondre adéquatement aux risques liés aux changements climatiques, compte tenu de l'incertitude?** La [section 5.1](#) examine comment les risques peuvent évoluer dans le temps et comment cela influence la sélection des trajectoires d'adaptation.

**Quels sont les éléments-clés d'un cadre décisionnel?** La [section 5.2](#) décrit le cadre de développement des trajectoires d'adaptation qui peuvent être utilisées pour aider les propriétaires à décider comment et quand considérer les changements climatiques.

**Quels sont des exemples d'outils de prise de décision utilisés pour l'intégration des changements climatiques?** La [section 5.3](#) présente une étude de cas qui a utilisé des outils de prise de décision pour évaluer les mesures d'adaptation et peut être utilisée comme référence supplémentaire.

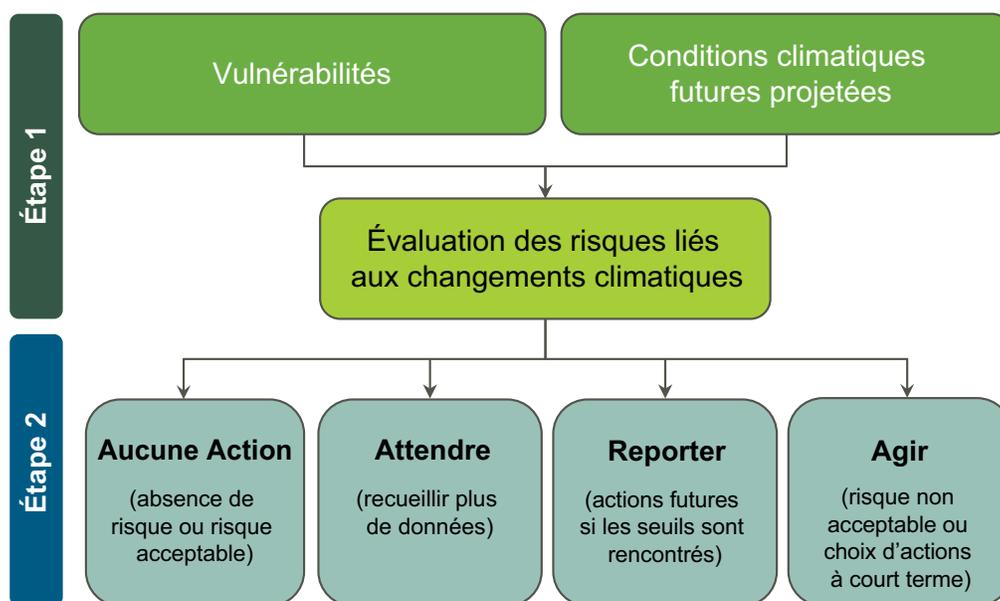
## 5.1 Contraintes de temps dans les décisions concernant l'adaptation

Tel qu'indiqué à la section 5.2, il existe de nombreuses mesures d'adaptation différentes qui peuvent être mises en œuvre pour gérer les risques ou les opportunités. Néanmoins, une partie importante du défi que représente le choix des mesures d'adaptation consiste à décider du moment où il convient de mettre en œuvre des mesures d'adaptation qui pourraient ne pas être testées par un événement climatique avant de nombreuses années, plutôt que d'accepter l'augmentation du risque résultant de l'évolution des conditions climatiques, et de potentiellement subir des impacts et des coûts associés si un événement climatique se produit avant que les mesures d'adaptation aient été mises en œuvre.

Pour aider à relever ce défi, des trajectoires d'adaptation qui présentent plusieurs voies ou approches potentielles pour répondre aux risques et aux opportunités posés par les changements climatiques peuvent être développées. Compte tenu des conditions climatiques futures projetées et des résultats de l'évaluation des risques liés aux changements climatiques, les options dont le propriétaire doit considérer sont les suivantes (figure 13) :

- **Aucune action requise** : le risque lié aux changements climatiques est acceptable à l'heure actuelle et dans les conditions climatiques futures projetées.
- **Attendre** : Il n'y a pas suffisamment d'information pour prendre une décision. Effectuer une évaluation additionnelle, mettre à jour de façon périodique les conditions climatiques futures projetées et réévaluer le risque. Si, dans le futur, le risque est inacceptable ou projeté qu'il le devienne, alors les mesures d'adaptation seront identifiées, évaluées et mises en place.
- **Reporter, avec des déclencheurs d'action prédéfinis** : le risque est actuellement acceptable et des actions à court terme ne sont pas nécessaires. Toutefois, le climat changeant pourrait nécessiter de mettre en place des actions dans le futur. Des indicateurs de performance (déclencheurs) sont définis, la surveillance est mise en œuvre, et si ces déclencheurs sont dépassés dans le futur, alors des mesures d'adaptation seront mises en œuvre.
- **Mettre en œuvre des actions à court terme** : procéder à la mise en place des mesures d'adaptation.

Figure 13 : Prise de décision : si et quand mettre en place les mesures d'adaptation.



Ce processus peut être utilisé pour aider avec les prises de décision concernant les trajectoires d'adaptation potentielles, telles que :

- les décisions à l'échelle du site concernant les trajectoires d'adaptation à mettre en œuvre de façon prioritaire;
- les décisions concernant les trajectoires d'adaptation reliées aux composantes spécifiques d'infrastructure telles que la fondation d'un bâtiment.

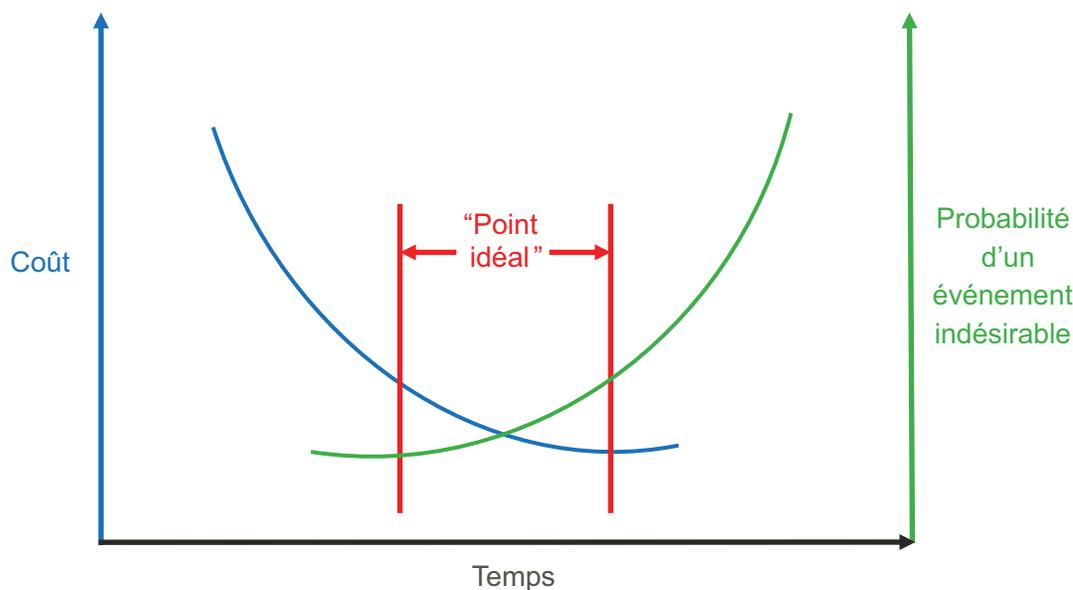
Pour un site minier ou un propriétaire donné, il peut être question d'un large éventail de risques et d'opportunités liés aux changements climatiques. Le processus décrit dans cette section doit être suivi afin de prendre des décisions sur la façon d'aborder chaque risque et opportunité. Les propriétaires doivent néanmoins considérer que, pour tout risque ou opportunités liées aux changements climatiques donnés, les mesures d'adaptation potentielles peuvent être :

- indépendant de la gestion des autres risques ou opportunités;
- complémentaire à la gestion des autres risques ou opportunités (p. ex., pour aider à hausser l'efficacité de la gestion des autres risques);
- applicable à de multiples risques ou opportunités (c.-à-d. qu'une mesure d'adaptation potentielle permettrait de traiter plusieurs risques différents);
- en contradiction avec la gestion d'autres risques ou opportunités (c.-à-d. que la gestion d'un risque peut entrer en conflit avec la gestion d'un autre risque ou en réduire l'efficacité).

Lors de la mise en œuvre du processus décrit dans cette section et de la prise de décision concernant les trajectoires et les mesures d'adaptation, il est important que les propriétaires adoptent une approche globale et tiennent compte des relations possibles entre les différentes mesures d'adaptation, afin de garantir des résultats optimaux et d'éviter les conséquences involontaires.

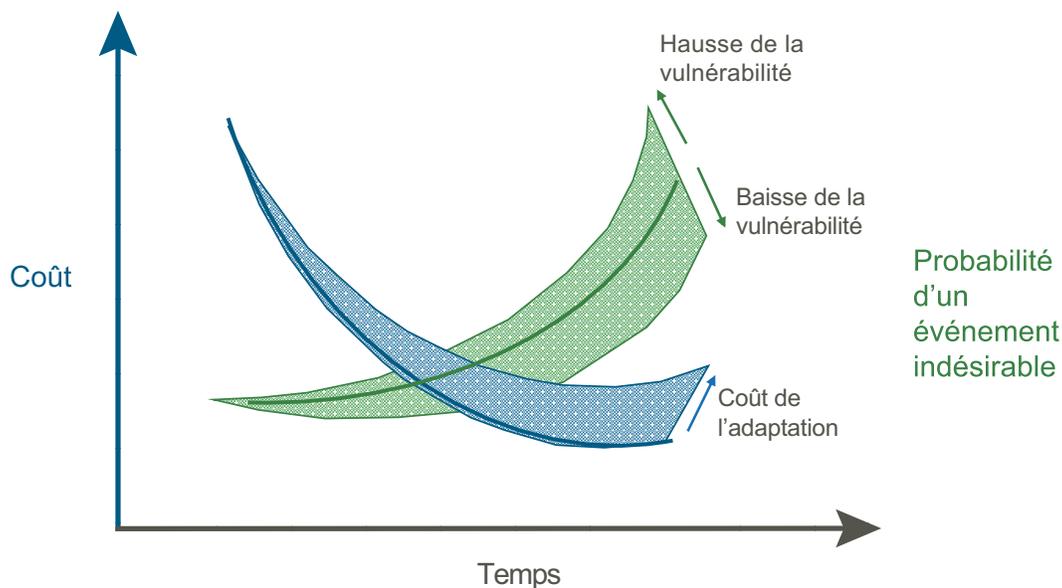
Lors du développement des trajectoires d'adaptation et de la prise de décision visant la mise en œuvre des mesures d'adaptation, les propriétaires doivent tenir compte, de façon attentive, du calendrier de mise en œuvre des mesures d'adaptation, de la nature de ces mesures et des coûts qui y sont associés. Le terme « coût » est utilisé ici de façon à inclure les coûts non financiers tels que les facteurs environnementaux ou sociaux, ainsi que les coûts financiers. Lorsque l'on considère les coûts financiers dans de telles décisions, la sagesse comptable traditionnelle suggérerait un report des « coûts » à une date ultérieure comme étant l'option la moins coûteuse en raison de l'actualisation des « coûts » futurs. Cependant, la sagesse traditionnelle en matière d'ingénierie suggère que plus la mesure d'adaptation est reportée dans le temps, plus la probabilité d'occurrence de l'événement indésirable (p. ex., dommages liés à la dégradation du pergélisol) que la mesure d'adaptation est censée corriger, est élevée. De plus, avec le temps, les options de mise en œuvre des mesures d'adaptation peuvent être réduites, ce qui diminue la flexibilité des propriétaires pour gérer les risques. Plus on attend, moins on a d'options pour faire face à un risque donné. Par conséquent, comme le montre la figure 14, il existe un délai optimal reconnu pour ces décisions, permettant d'équilibrer les coûts et la mise en œuvre des mesures d'adaptation.

**Figure 14 : Une analyse décisionnelle aidera les propriétaires à choisir le moment le plus propice pour mettre en œuvre les mesures d'adaptation.**



Compte tenu de l'incertitude des projections des conditions climatiques futures, les coûts et la probabilité d'un événement indésirable (les lignes bleue et verte de la figure 14) doivent être considérés comme des étendues (plages). Plus l'avenir est lointain, plus l'incertitude est grande, c'est pourquoi l'incertitude a été représentée sous la forme d'une crête, tel que représenté par les aires ombragées à la figure 15.

**Figure 15 : Variations du niveau optimal lors de la prise en compte de l'incertitude future**



## 5.2. Cadre d'application des stratégies d'adaptation

Cette section fournit des conseils sur la manière d'identifier les mesures d'adaptation potentielles et de développer (et sélectionner) les trajectoires d'adaptation à mettre en œuvre. Ce processus s'appuie sur les conditions climatiques futures projetées et sur l'évaluation des risques liés aux changements climatiques élaborée à l'étape 1 et comprend les éléments suivants<sup>1</sup> :

1. Identifier les objectifs et la portée, incluant les risques à gérer et les facteurs à considérer, ainsi que les objectifs de performance mesurables.
2. Identifier les mesures potentielles d'adaptation.
3. Classifier et présélectionner les mesures potentielles d'adaptation afin d'éliminer de toute considération future celles qui présenteraient des caractéristiques non viables.
4. Développer des trajectoires potentielles d'adaptation basées sur l'objectif et la portée et incorporer les mesures potentielles d'adaptation restantes.
5. Évaluer les trajectoires potentielles d'adaptation à l'aide d'outils d'analyse décisionnelle.
6. Réaliser une analyse de sensibilité pour vérifier la robustesse et la validité des résultats de l'analyse décisionnelle par rapport à divers biais et hypothèses.
7. Sélectionner la trajectoire d'adaptation privilégiée.

1. Le processus est adapté des lignes directrices concernant l'évaluation d'alternatives pour la gestion des résidus miniers présentées dans le *Guide sur les résidus miniers* (AMC, 2019b).

### 5.2.1 Identifier les objectifs et la portée

Préalablement au développement des trajectoires potentielles d'adaptation, il convient de déterminer l'objectif et la portée, incluant les risques à gérer et les facteurs à tenir compte. L'objectif et la portée permettent d'identifier le niveau d'effort nécessaire, tout en tenant compte du niveau de risque que le propriétaire est prêt à accepter. Ceci dépendra de l'étendue géographique (c.-à-d., les trajectoires d'adaptation sont-elles développées pour l'ensemble de la mine, ou seulement pour un élément tel que le parc à résidus miniers), des vulnérabilités et risques à traiter. Pour déterminer l'étendue, le propriétaire doit considérer des facteurs similaires à ceux pris en compte pour déterminer l'étendue de l'évaluation des risques (section 4.5).

L'objectif et la portée vont aussi déterminer la composition de l'équipe qui participera à l'élaboration et à la sélection des trajectoires d'adaptation. Tout comme l'équipe qui est formée pour mener l'évaluation des risques, cette équipe doit être multidisciplinaire et comprendre des membres dont les rôles, responsabilités et connaissances sont pertinents vis-à-vis l'objectif et la portée. L'équipe peut inclure des personnes qui ont également participé à l'évaluation des risques. L'équipe exacte dépendra de la structure organisationnelle du propriétaire, mais elle comprendra généralement l'équipe d'exploitation, des spécialistes en gestion de l'eau et la haute direction de la mine. Dans certains cas, une expertise externe pourrait être nécessaire.

En plus de décrire l'objectif global, il convient de définir des objectifs de performance mesurables. Les objectifs de performance sont liés au risque à gérer et à la portée et doivent être définis en conséquence. Les objectifs de performance doivent être applicables aux phases pertinentes du cycle de vie et, en fonction de l'objectif global et du champ d'application, ils doivent porter sur les points suivants :

- protection de la santé et de la sécurité des employés et du public;
- objectifs et critères de conception pour les mesures d'adaptation;
- atténuation des impacts négatifs directs et indirects dus aux changements climatiques.

Lors de l'élaboration des objectifs de performance, les propriétaires devraient aussi tenir compte des éléments suivants :

- politiques générales;
- systèmes de gestion existants;
- objectifs, normes et lignes directrices existantes;
- exigences légales;
- engagements envers les communautés d'intérêts;
- apports des révisions externes;
- pratiques saines d'ingénierie et environnementales.

### 5.2.2 Identifier les mesures d'adaptation potentielles

Une fois que les propriétaires ont identifié les vulnérabilités et les opportunités, et qu'ils ont évalué et priorisé les risques associés, l'étape suivante consiste à identifier les mesures potentielles d'adaptation.

Les objectifs des mesures potentielles d'adaptation sont d'identifier les moyens de :

- gérer les risques directs et indirects, sur site et hors site, liés aux changements climatiques :
  - éliminer les risques liés aux changements climatiques dans la mesure du possible;
  - réduire les risques résiduels à des niveaux acceptables;
  - élaborer des plans de contingence et des plans d'atténuation à mettre en œuvre pour atténuer les effets d'un futur événement lié aux changements climatiques.
- profiter des possibilités offertes par les changements climatiques;
- s'adapter aux changements projetés dans les conditions climatiques futures qui ne constituent ni un risque ni une opportunité mais qui doivent être pris en compte pour optimiser les performances futures.

À cette étape, l'objectif n'est pas de se prononcer sur les mesures potentielles d'adaptation, mais plutôt de dresser une liste de candidats. Cet exercice devrait être multidisciplinaire et solliciter le personnel impliqué dans la réalisation de l'évaluation des risques ainsi que le personnel impliqué dans les divers aspects des opérations minières et de l'entreprise qui ont des rôles et des responsabilités liés aux vulnérabilités et aux risques identifiés.

Les mesures d'adaptation peuvent prendre diverses formes et être intégrées dans tous les domaines d'activité d'un propriétaire (ICMM, 2019).

Voici quelques exemples de mesures d'adaptation liées à des risques ou opportunités spécifiques :

- modifications physiques des infrastructures existantes, telles que le remplacement ou la mise à niveau, afin de s'assurer que les infrastructures sont adaptées aux conditions climatiques futures projetées;
- construction de nouvelles infrastructures, telles que de nouvelles infrastructures de gestion de l'eau;
- révision du plan de fermeture pour s'assurer que les risques à plus long terme sont pris en compte pendant la période de fermeture et de post-fermeture (p. ex., adopter des systèmes de recouvrement plus résilients pour les déchets miniers);
- révision des pratiques d'opération, d'entretien et de surveillance pour améliorer la gestion des risques ou des opportunités liés aux changements climatiques, tel que :
  - révision des pratiques opérationnelles ou l'introduction de nouvelles pratiques, telles que l'amélioration de la gestion de l'eau et la réutilisation de l'eau, afin de réduire la vulnérabilité aux conditions de sécheresse ou aux précipitations extrêmes;
  - révision des pratiques d'entretien existantes ou l'introduction de nouvelles pratiques associées aux infrastructures vulnérables aux changements climatiques, tel que l'augmentation de la fréquence d'enlèvement des débris dans les ponceaux;
  - révision des activités de surveillance associées aux vulnérabilités des changements climatiques, afin d'améliorer la compréhension des risques, d'évaluer les performances dans des conditions climatiques changeantes et d'éclairer la prise de décision à court, moyen et long terme.

Voici quelques exemples de mesures d'adaptation à l'échelle d'un site ou d'une entreprise :

- améliorer la surveillance des conditions météorologiques ou élaborer des projections plus détaillées des conditions climatiques futures pour mieux comprendre les vulnérabilités et les risques et réduire l'incertitude;
- réduire la dépendance à l'égard des routes saisonnières ou hivernales en diminuant la consommation de carburant grâce à l'amélioration de l'efficacité énergétique des opérations ou à l'utilisation accrue de sources d'énergie alternatives (p. ex., les éoliennes);
- réviser les politiques, normes ou lignes directrices de l'entreprise pour tenir compte du besoin de procéder à une évaluation des risques liés aux changements climatiques et d'élaborer des mesures d'adaptation;
- renforcer les structures de gouvernance liées à l'adaptation aux changements climatiques, notamment en attribuant des responsabilités et en déléguant des compétences en matière d'adaptation aux changements climatiques, et en mettant en œuvre un système intégré de gestion;
- collaborer avec les fournisseurs en ce qui concerne les risques ou les opportunités associés aux perturbations possibles des chaînes d'approvisionnement;
- mise en place de mesures stratégiques telles que des modifications aux pratiques d'entreprise ou l'extension de couvertures d'assurance;
- impliquer des tierces parties (p. ex., organismes de réglementation, communautés d'intérêts, investisseurs, assureurs, et experts en la matière) sur l'adaptation aux changements climatiques pour améliorer les données d'évaluation des risques, affiner les options d'adaptation potentielles et la compréhension générale de l'acceptabilité des risques résiduels.

### 5.2.3 Classifier et présélectionner les mesures d'adaptation potentielles

Les mesures potentielles d'adaptation identifiées peuvent être classifiées selon les catégories ci-dessous. Cela peut faciliter la prise de décision, particulièrement dans les cas où plusieurs mesures potentielles d'adaptation sont identifiées pour un risque particulier. Le fait de catégoriser les mesures potentielles d'adaptation peut aussi faciliter le processus de communication interne, notamment auprès de la direction générale, ainsi qu'auprès des communautés d'intérêts, des régulateurs et d'autres parties externes.

- **Adaptation sans regret** : mesures d'adaptation qui sont justifiées dans les conditions climatiques actuelles et qui produiraient des bénéfices quelle que soit la façon dont le climat change (elles seront bénéfiques pour l'ensemble des scénarios futurs plausibles). Ces mesures sont moins vulnérables aux incertitudes liées aux risques (Mason *et al.*, 2013).
- **Adaptation à faibles regrets** : mesures d'adaptation dont les coûts sont relativement faibles et qui hausseront la capacité d'adaptation pour faire face aux risques climatiques futurs. Les mesures sont relativement faciles ou peu coûteuses à modifier si nécessaire (Mason *et al.*, 2013).
- **Adaptation profitable** : mesures d'adaptation qui permettent non seulement de réduire les risques climatiques, mais qui apportent d'autres avantages associés (Mason *et al.*, 2013).

- **Adaptation flexible :** mesures d'adaptation pouvant apporter une approche itérative pour gérer l'incertitude (p. ex., New York Climate Resiliency Design Guidelines). Par exemple, la construction d'une digue dont la base de fondation est plus large afin qu'une digue plus haute puisse être construite sur la base existante si nécessaire dans le futur.
- **Adaptation critique :** mesures d'adaptation qui doivent être mises en œuvre peu importe les coûts (p. ex., perte potentielle de vies humaines si elles ne sont pas mises en œuvre).
- **Autres :** options d'adaptation qui ne sont pas réalisables en raison de contraintes financières, de capacité technique, de temps, etc.

Une fois classifiées, les mesures potentielles d'adaptation doivent être présélectionnées afin d'éliminer toute(s) mesure(s) qui n'est pas viable. Le propriétaire doit établir un ensemble de spécifications minimales (p. ex., objectifs de performance) et éliminer les mesures d'adaptation potentielles qui ne répondent pas à ces critères. Cela réduira le nombre de mesures d'adaptation potentielles à tenir compte dans le développement et la sélection des trajectoires d'adaptation.

Conformément à l'approche évolutive (section 2.2), il pourrait être possible, dans certains cas, de prendre une décision à ce niveau-ci en ce qui concerne les mesures d'adaptation à mettre en œuvre et le calendrier de mise en œuvre, selon :

- risque ou opportunité à tenir compte concernant les changements climatiques;
- mesures d'adaptation potentielle à considérer;
- résultats de la classification et de la pré-sélection des mesures potentielles d'adaptation.

Dans ces cas, il est possible de passer à l'étape 3. Dans les autres cas, le processus doit se poursuivre selon les étapes plus détaillées décrites ci-dessous.

#### 5.2.4 Identifier les trajectoires d'adaptation potentielles

Une fois que les mesures d'adaptation potentielles ont été identifiées et présélectionnées, il convient d'identifier les trajectoires d'adaptation potentielles qui présentent différentes options pour les mesures d'adaptation possibles et le calendrier possible pour la mise en œuvre de chaque risque et opportunité à traiter.

L'approche des trajectoires d'adaptation a été développée pour la première fois aux Pays-Bas au début des années 2000, et il s'agit d'une « approche de planification répondant à l'incertitude et aux défis associés à la prise de décision en matière de changements climatiques. Elle permet de considérer de multiples futurs possibles et d'analyser/explorer la robustesse et la flexibilité des diverses options à travers ces multiples futurs » (South West Climate Change Portal, 2020).

L'approche des trajectoires d'adaptation soutient une prise de décision stratégique, flexible et structurée, et permet aux décideurs de planifier, de prioriser et d'échelonner les investissements dans les diverses mesures d'adaptation (CoastAdapt, 2017). Les trajectoires d'adaptation peuvent être développées pour :

- planifier la mise en œuvre des mesures d'adaptation et des décisions associées;
- identifier les décisions qui doivent être prises à court terme et celles qui peuvent être reportées à plus long terme.

Les trajectoires d'adaptation peuvent être développées à différentes échelles, à partir d'un élément spécifique d'infrastructure vulnérable, puis vers un site minier, et ultimement au niveau de l'entreprise. Ils doivent être élaborés avec la participation de plusieurs disciplines, de différentes unités opérationnelles et

de la haute direction, et peuvent aussi être élaborés avec la rétroaction d'intervenants extérieurs, tels que les organismes de réglementation et les communautés d'intérêts.

Le développement des trajectoires d'adaptation devrait considérer :

- les projections de conditions climatiques futures;
- les résultats de l'évaluation des risques liés aux changements climatiques;
- les opportunités identifiées;
- le statut de mise en œuvre des mesures d'adaptation existantes;
- les mesures d'adaptation potentielles qui sont identifiées et la classification de ces mesures.

Le fait d'élaborer plusieurs scénarios pour l'avenir est une force fondamentale de l'approche des trajectoires pour séquencer les points de décision et reconnaître le moment où les mesures existantes de gestion des risques ou d'adaptation pourraient ne plus être efficaces. En élaborant une série de scénarios, il est possible d'évaluer une série de mesures d'adaptation possibles afin d'en déterminer le potentiel :

- considération de l'efficacité, incluant la robustesse et la flexibilité des mesures d'adaptation pour l'ensemble des divers scénarios;
- implication de la mise en œuvre des mesures d'adaptation avec différentes périodes (temps).

Conformément à la figure 12, pour faire face à un risque de changement climatique donné, les trajectoires d'adaptation potentielles peuvent inclure :

- **Aucune action requise** : le propriétaire considère le risque comme étant acceptable actuellement ainsi que dans les conditions climatiques futures projetées. La trajectoire d'adaptation n'inclut pas de mesure d'adaptation additionnelle. Le propriétaire réagirait si un événement climatique se produisait (p. ex., en remplaçant un passage à cours d'eau endommagé par une inondation).

Même si le propriétaire ne considère pas cette approche comme étant une trajectoire d'adaptation potentielle, il convient de décrire un scénario de référence ou de statu quo afin de fournir un point de comparaison pour la sélection d'une trajectoire d'adaptation à mettre en œuvre. Ceci comprend :

- l'attribution d'un coût aux risques actuels;
  - la définition des coûts de réparation/remise en état associés aux futurs événements projetés;
  - la comparaison du scénario de base à chaque trajectoire d'adaptation potentielle à l'aide d'outils d'analyse (décrits ci-dessous).
- **Attendre** : il n'y a pas suffisamment d'information pour prendre une décision. Réaliser la surveillance, mettre à jour les conditions climatiques futures projetées de façon périodique et réévaluer le risque. Si, dans le futur, le risque est inacceptable ou qu'il est projeté de devenir inacceptable, alors des mesures d'adaptation seraient identifiées, évaluées et mises en œuvre. Les opérations et les activités d'entretien pourraient nécessiter une révision à titre de mesures d'adaptation « à faible regret » afin d'améliorer la gestion des risques dans l'intérim.
  - **Reporter avec des déclencheurs d'action prédéfinis** : le risque est actuellement acceptable et l'action à court terme n'est pas nécessaire. Toutefois, le climat changeant pourrait nécessiter des actions éventuelles. Une mesure d'adaptation est identifiée, des indicateurs de performance

(déclencheurs) sont définis pour la vulnérabilité et la surveillance est mise en œuvre pour s'assurer que le propriétaire comprend la performance par rapport aux indicateurs. Si les déclencheurs sont excédés dans le futur, alors la mesure d'adaptation serait mise en œuvre. Les opérations ou les activités d'entretien pourraient être révisées à titre de mesures d'adaptation « à faible regret » pour améliorer la gestion des risques dans l'intérim.

- **Agir :** Selon le risque et la nature de la mesure d'adaptation à mettre en œuvre, le propriétaire peut décider de mettre en œuvre une mesure d'adaptation à court terme, telle qu'un projet d'investissement pour remplacer une composante vulnérable d'une infrastructure.

Chaque trajectoire d'adaptation peut inclure une ou plusieurs mesures d'adaptation, comme la mise à niveau d'une infrastructure, et des changements aux opérations, à l'entretien ou aux activités de surveillance.

Cette dernière option, incluant le développement de seuils et de déclencheurs prédéfinis, est une caractéristique essentielle de l'approche des trajectoires d'adaptation qui facilite la prise de décision efficace en ce qui concerne la mise en œuvre de mesures d'adaptation. Elle est décrite plus en détail ci-dessous.

### 5.2.5 Seuils et déclencheurs climatiques

Les seuils ou points de basculement décrivent les conditions climatiques pour une variable climatique spécifique (p. ex., les précipitations annuelles moyennes) au-delà desquelles de nouveaux changements climatiques feraient en sorte que les mesures de gestion des risques ou d'adaptation existantes ne seraient plus en mesure d'atteindre les objectifs de performance et pourraient échouer (p. ex., la capacité maximale d'un déversoir) (Buurman et Babovic, 2016).

Un déclencheur décrit une déviation plus faible par rapport aux conditions courantes pour la variable climatique associée à un seuil. Les déclencheurs sont établis pour fournir au propriétaire une alerte rapide de l'approche d'un seuil, avec suffisamment de temps pour mettre en œuvre des mesures d'adaptation et gérer les risques avant que le seuil ne soit atteint. Cette approche permet une mise en œuvre proactive et stratégique, plutôt que réactive et ponctuelle (Buurman et Babovic, 2016).

La définition de seuils et de déclencheurs associés est un outil qui peut être utilisé pour développer des mesures d'adaptation dans lesquelles la mise en œuvre d'une mesure d'adaptation serait différée.

Un déclencheur peut être lié à un événement extrême aigu spécifique ou à un changement chronique d'une variable climatique. L'identification des déclencheurs peut impliquer l'examen de systèmes similaires qui fonctionnent dans des lieux analogues au climat (c.-à-d. un lieu où le climat actuel est similaire à ce que sera le climat futur sur le site) et poser les questions suivantes : Comment la vulnérabilité sera-t-elle affectée? Comment la vulnérabilité a-t-elle répondu aux tendances climatiques historiques et aux événements extrêmes dans le passé?

Pour des composantes d'infrastructure spécifiques, les déclencheurs et les seuils seraient définis sur la base des paramètres de conception de l'infrastructure en question. Par exemple, si une traversée de cours d'eau est conçue pour une inondation d'une magnitude spécifique avec une période de récurrence de 1/1000 ans, alors cet événement peut être défini comme étant le déclencheur, tandis que le seuil pourrait être défini comme une inondation de magnitude égale avec une période de récurrence plus fréquente.

Les figures 16 et 17 donnent des exemples sur la manière dont les changements climatiques à court et à long terme peuvent mener au dépassement d'un seuil ou d'un déclencheur.

À la figure 16, les changements à long terme de la température annuelle moyenne de l'air provoquent une augmentation de la température du sol, ce qui entraîne une dégradation du pergélisol. Un seuil peut être défini sur la base d'une température annuelle moyenne ou d'une température du sol au-delà de laquelle la dégradation du pergélisol entraînerait des dommages importants aux infrastructures (un risque inacceptable). Un déclencheur – une température du sol inférieure au seuil – peut être défini. Pour ce risque, la trajectoire d'adaptation tiendrait compte du seuil et du déclencheur. Si le seuil est atteint, le propriétaire peut décider de mettre en œuvre des mesures d'adaptation conformément à la trajectoire d'adaptation ou peut décider de différer davantage la mise en œuvre, en fonction de sa tolérance au risque.

À la figure 17, les événements climatiques aigus tels que les précipitations extrêmes auront toujours une probabilité d'occurrence, mais la probabilité croissante de ces événements est beaucoup plus difficile à mesurer et il est plus difficile d'attribuer un point de déclenchement pour une action dans une trajectoire d'adaptation. Compte tenu de cette incertitude, le propriétaire peut choisir de fixer un point de déclenchement plus bas (plus prudent), et la trajectoire d'adaptation peut inclure d'autres mesures d'adaptation telles qu'une surveillance accrue ou des activités d'entretien.

**Figure 16 : Comme la température continuera d'augmenter, ceci entraînera l'augmentation des températures du sol menant au dégel du pergélisol, atteignant un seuil au-delà duquel les dommages aux infrastructures sont prévus se produire selon deux trajectoires représentatives de concentration.**

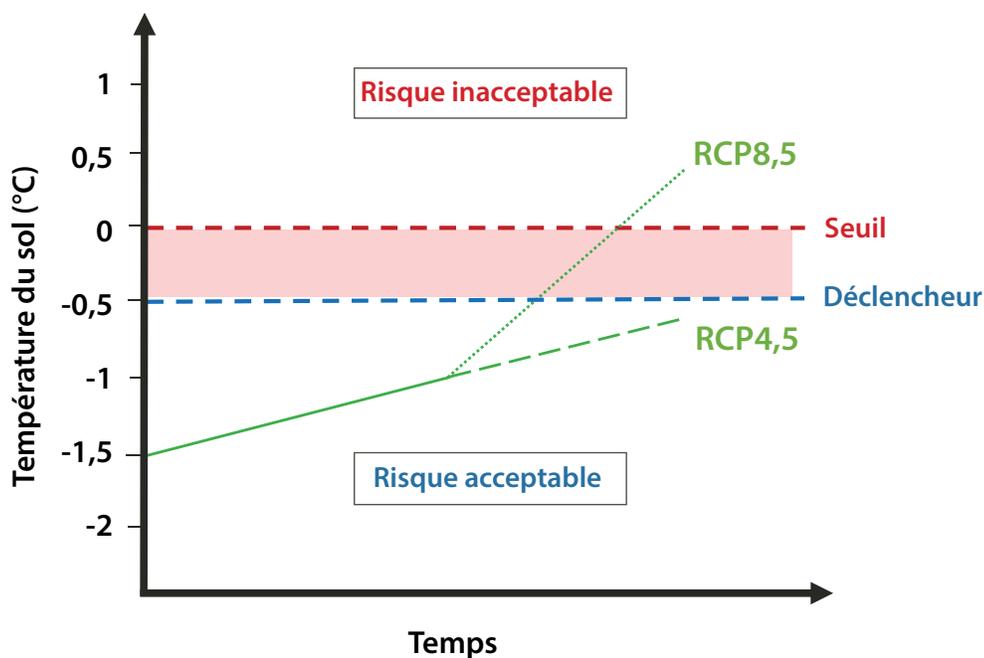
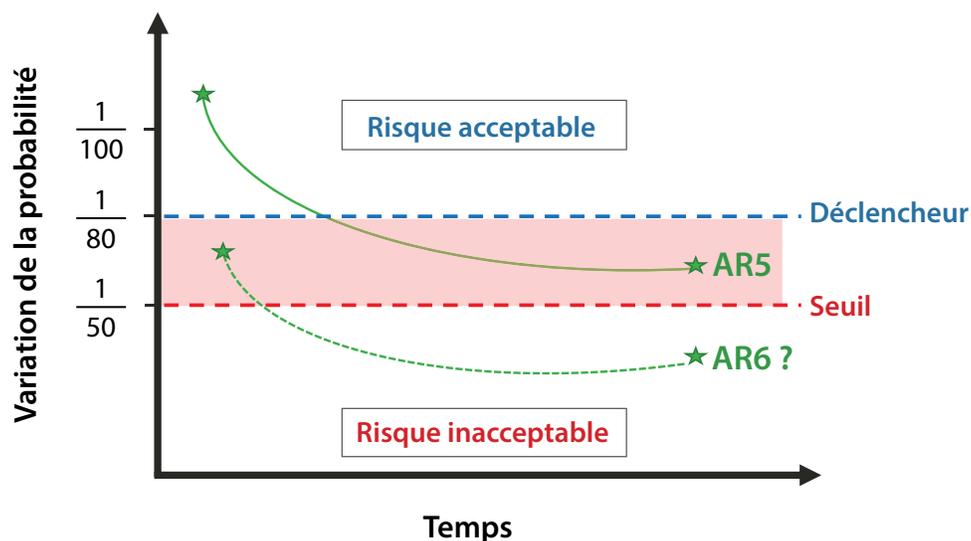
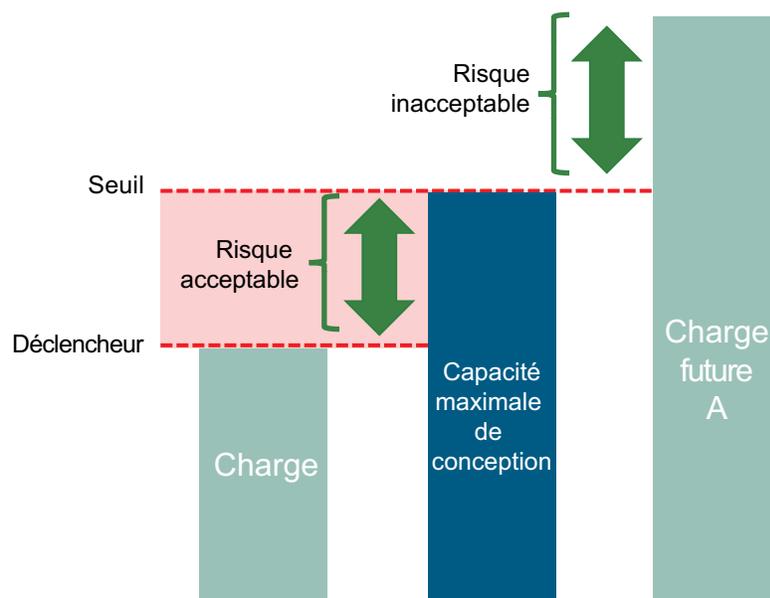


Figure 17 : Il est projeté que la probabilité d'événements de précipitations extrêmes augmentera (les intensités antérieures avec un intervalle de récurrence de 1 sur 100 ans deviennent plus fréquentes), selon deux trajectoires de concentration représentatives, ce qui pourrait déclencher la mise en œuvre de mesures d'adaptation en fonction de la trajectoire d'adaptation, afin d'atténuer les risques inacceptables.



La figure 18 reprend les concepts d'évaluation des risques liés aux changements climatiques présentés à la figure 9 et fournit une démonstration différente du concept de seuil et de déclencheur. Dans cette figure, le déclencheur est basé sur la charge nominale d'un élément d'infrastructure, tandis que le seuil est basé sur la capacité maximale nominale. Une charge supérieure au déclencheur mais inférieure au seuil serait considérée comme un risque acceptable et, selon la trajectoire d'adaptation, déclencherait la mise en œuvre de mesures d'adaptation pour atténuer le risque inacceptable.

Figure 18 : Un risque acceptable se produit lorsqu'un seuil est dépassé.

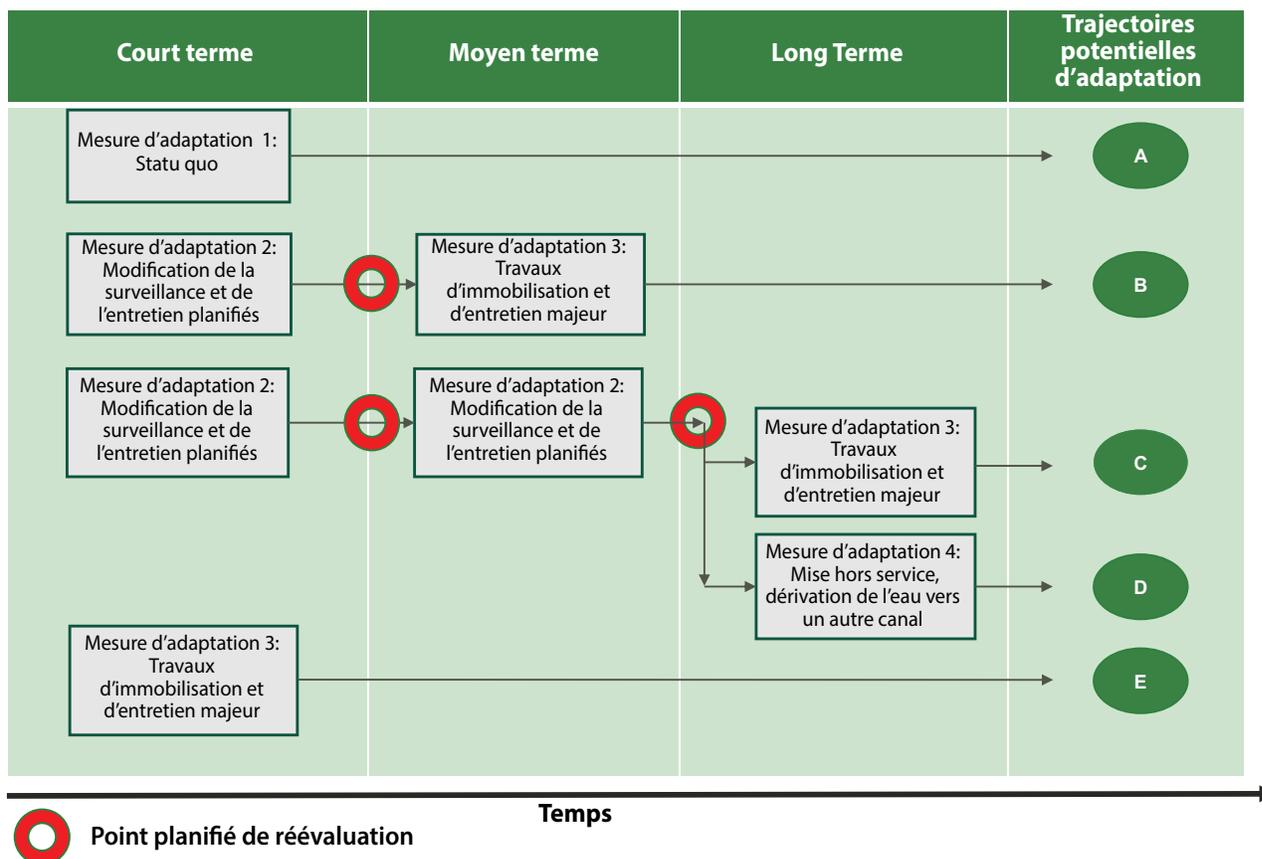


### 5.2.6 Documenter les trajectoires d'adaptation potentielles

Dans un objectif de communication, les trajectoires d'adaptation peuvent être représentées sous la forme d'une carte qui montre l'enchaînement de la mise en œuvre possible des mesures d'adaptation potentielles. La figure 19 montre les trajectoires d'adaptation possibles pour un ponceau d'eau de surface. Les trajectoires d'adaptation prennent en compte les options d'adaptation alternatives, ainsi que l'adaptation supplémentaire qui pourrait être nécessaire à un moment donné dans le futur si les niveaux de déclenchement sont atteints. La figure considère les options d'adaptation suivantes pour l'exemple d'un ponceau vulnérable :

- **Option 1 :** Statu quo. Ce cas suppose qu'aucune mesure d'adaptation supplémentaire n'est nécessaire. Cette approche d'adaptation pourrait déjà avoir été écartée comme option si l'évaluation des risques a identifié que cette vulnérabilité représentait un risque inacceptable;
- **Option 2 :** Modification de la surveillance et de l'entretien planifiés. Ceci pourrait signifier de l'entretien additionnel pour nettoyer le ponceau plus fréquemment;
- **Option 3 :** Travaux d'immobilisations et/ou d'entretien majeur pour améliorer le ponceau;
- **Option 4 :** Mise hors service et dérivation de l'eau vers d'autres infrastructures. En pratique, ceci pourrait être une option uniquement au cours de la phase de fermeture de la mine.

Figure 19 : Exemple d'une carte de trajectoires potentielles d'adaptation pour un ponceau d'eau de surface.



Lorsque les trajectoires potentielles d'adaptation ont été élaborées, des outils d'analyse de décision peuvent être utilisés pour évaluer les trajectoires potentielles et déterminer la trajectoire d'adaptation à mettre en œuvre.

### 5.2.7 Analyse décisionnelle des trajectoires potentielles d'adaptation

Une fois que les trajectoires potentielles d'adaptation ont été identifiées, le propriétaire doit choisir la trajectoire de préférence à mettre en œuvre. Cette sélection doit prendre en compte un large éventail de facteurs tels que :

- projection des conditions climatiques futures et incertitudes associées;
- évaluation des risques liés aux changements climatiques;
- mesures de gestion des risques ou mesures d'adaptation existantes;
- phase du cycle de vie de la mine;
- impacts potentiels directs et indirects et coûts si un événement climatique survient et dépasse la capacité des mesures de gestion des risques ou des mesures d'adaptation existantes;
- estimation des coûts (capital et fonctionnement) de la mise en œuvre de la trajectoire d'adaptation. Avantages directs et indirects attendus de la mise en œuvre de la trajectoire d'adaptation (p. ex, risques diminués, responsabilité réduite, baisse des primes d'assurance);
- interdépendance entre différents risques liés aux changements climatiques (p. ex., vulnérabilités multiples sur place liées à des événements de précipitations extrêmes);
- relations entre les différentes mesures et trajectoires d'adaptation.

Pour choisir la trajectoire privilégiée à mettre en œuvre, les trajectoires potentielles pour chaque risque ou opportunité à traiter devraient aussi être comparées à un scénario de base ou à un scénario de statu quo dans lequel aucune action n'est entreprise. Les facteurs ci-dessus devraient aussi être pris en compte pour le scénario de base, ainsi que les coûts estimés pour faire face à un événement climatique.

La réalisation d'une évaluation rigoureuse et significative des trajectoires potentielles d'adaptation, étant donné la diversité des facteurs à tenir compte, est un défi. Cependant, il existe une série d'outils d'analyse décisionnelle disponibles pour soutenir ce processus et aider les propriétaires à prendre des décisions afin d'atteindre un équilibre optimal entre les coûts (financiers ou non) et les risques.

Les outils d'analyse décisionnelle visent à comprendre les avantages, les impacts, les coûts et les risques liés à la mise en œuvre de trajectoires d'adaptation à court terme, par opposition à la mise en œuvre différée ou à la réponse aux événements de changement climatique s'ils se produisent à un moment donné dans le futur.

Il est important de noter que ces outils supposent que les mesures potentielles d'adaptation, associées à chaque trajectoire d'adaptation, seraient efficaces pour faire face aux événements liés aux changements climatiques, éliminant ainsi une variable importante de la réflexion. D'autres méthodes doivent être utilisées pour évaluer l'efficacité attendue des mesures potentielles d'adaptation.

L'approche décrite à l'aide de ces outils est principalement axée sur la prise de décision pour les infrastructures existantes. Cependant, ces outils pourraient aussi être appliqués au cours des phases de planification et de conception de nouvelles infrastructures (p. ex., une nouvelle mine ou l'agrandissement d'une mine existante) ou pour la conception de la fermeture.

Pour chaque trajectoire potentielle d'adaptation, les impacts des risques résiduels impliquent ce qui suit :

- quantifier les coûts (p. ex., financiers, sociaux, environnementaux) de la mise en œuvre de la trajectoire d'adaptation, dans la mesure du possible;

- décrire les avantages de la mise en œuvre de la trajectoire d'adaptation et quantifier ces avantages dans la mesure du possible;
- estimer les responsabilités financières et les autres coûts liés au fait de ne pas mettre en œuvre la trajectoire d'adaptation, et l'impact de la mise en œuvre de la trajectoire d'adaptation sur ces responsabilités engagements et coûts;
- réaliser une évaluation économique afin d'estimer les responsabilités financières liées à l'absence d'adaptation et d'identifier les voies d'adaptation les plus rentables pour gérer le risque.

Cependant, l'évaluation des impacts des changements climatiques et des trajectoires d'adaptation qui accompagnent les évaluations économiques apporte son lot de défis, tel qu'indiqué par Rodgers et Douglas (2015a) et GlZ (2013), comme :

- l'incertitude quant aux conditions climatiques futures prévues, notamment l'ampleur des changements dans les conditions normales et extrêmes, le moment, la durée et la fréquence. La prise en compte de différents scénarios climatiques futurs et l'analyse des scénarios peuvent contribuer à réduire cette incertitude;
- l'incertitude quant à la capacité d'adaptation d'une région ou d'une mine (c'est-à-dire les ressources à long terme);
- un biais peut survenir lors de l'attribution des coûts aux mesures d'adaptation puisqu'il y a une tendance à se concentrer sur les mesures d'adaptation draconiennes ou « dures » (p. ex., remplacer une traverse de cours d'eau) plutôt que sur les mesures d'adaptation « douces » (p. ex., améliorations au niveau de la gouvernance ou des infrastructures vertes tels que la conception d'une digue favorisant la création d'habitats par rapport à une digue à revêtement en béton), car elles sont plus faciles à quantifier. Cependant, les mesures d'adaptation « douces » peuvent être mieux adaptées et plus efficaces lorsqu'il s'agit de faire face à un impact spécifique des changements climatiques. Ces mesures d'adaptation « douces » ne doivent pas être négligées simplement parce qu'elles sont plus difficiles à quantifier, l'adaptation naturelle peut aboutir à des mesures plus résilientes et moins coûteuses;
- sous-estimation des coûts futurs.

Il existe plusieurs types d'outils d'analyse décisionnelle qui peuvent être utilisés pour classer et hiérarchiser les trajectoires d'adaptation potentielles.

Les trois outils les plus couramment utilisés sont les suivants (Rodgers et Douglas, 2015b) :

- l'analyse multicritères ou multi-acteurs ou l'analyse des comptes multiples;
- l'analyse coûts-avantages (ACA);
- l'analyse coût-efficacité.

Ces trois outils peuvent être utilisés pour analyser et hiérarchiser les trajectoires potentielles d'adaptation, mais varient selon quelles variables peuvent être monétisées.

Si les coûts et les avantages des trajectoires potentielles d'adaptation évaluées ne peuvent être exprimés en termes monétaires ou si des considérations non monétaires telles que des facteurs environnementaux ou sociaux sont prioritaires dans la décision, alors l'analyse multicritères est généralement la plus appropriée, et il est recommandé d'utiliser l'approche d'analyse des comptes multiples décrit dans le Guide sur les résidus miniers (AMC, 2019b).

Si les coûts et les avantages des trajectoires potentielles d'adaptation évaluées peuvent être monétisés, une ACA est avantageuse. Dans ce cas, une diminution de la capitalisation du marché boursier du propriétaire pourrait être utilisée comme une estimation approximative du « coût » d'un facteur environnemental ou social.

Si les avantages des trajectoires potentielles d'adaptation évaluées peuvent être quantifiés mais non exprimés en termes monétaires, alors que les coûts peuvent être quantifiés en termes monétaires, une analyse coût-efficacité est préférable, et l'approche d'analyse des comptes multiples décrite dans le Guide sur les résidus miniers peut également être utilisée. Dans tous les autres cas, une approche économique est très difficile à appliquer, et d'autres approches doivent être envisagées, telles qu'une analyse des comptes multiples.

Pour éclairer le processus de sélection des trajectoires d'adaptation, les propriétaires doivent sélectionner le ou les outils d'analyse décisionnelle à utiliser en fonction des objectifs, du champ d'application et de la disponibilité des informations nécessaires pour mettre en application ces différents outils.

### 5.2.8 Analyse de sensibilité

L'utilisation d'outils d'analyse décisionnelle implique de faire certaines hypothèses ou d'attribuer des valeurs ou des pondérations aux différents aspects considérés. Par exemple :

- dans une analyse coûts-avantages, un taux d'actualisation peut être appliqué aux futurs coûts d'investissement ou d'exploitation;
- dans une analyse multicritères (ou analyse des comptes multiples), des valeurs et des pondérations sont appliquées pour comparer des aspects très différents, tels que l'impact environnemental et le coût dû à l'interruption des activités.

C'est l'un des points forts de l'application de ces outils. Les hypothèses et les biais sont inhérents à toute décision, mais lorsqu'on utilise ces outils, ces hypothèses et ces biais sont documentés et transparents. Cela signifie également que les résultats de ces analyses de décision peuvent être mis à l'essai, afin de vérifier la robustesse de la décision finale (c'est-à-dire la sélection de la trajectoire d'adaptation), en fonction de différentes hypothèses et de différents biais. Par exemple :

- quels sont les résultats de l'analyse coûts-avantages si un taux d'actualisation différent est appliqué? Dans quelle mesure le résultat est-il sensible à cet aspect particulier de l'analyse?
- quels sont les résultats d'une analyse des comptes multiples si des pondérations différentes sont appliquées (p. ex., augmenter l'importance accordée aux impacts environnementaux par rapport à la perturbation des activités) ou si certains facteurs, comme les coûts d'investissement et d'exploitation, ne sont pas pris en compte? Le résultat serait-il différent? Dans quelle mesure le résultat est-il robuste ou sensible à de petits changements dans les pondérations appliquées?

Pour tester la sensibilité des résultats de l'analyse décisionnelle à différentes valeurs et biais, des analyses de sensibilité doivent être effectuées. Dans le cas d'outils tels qu'une analyse des comptes multiples, il serait question de refaire l'analyse en attribuant des pondérations différentes aux différents facteurs pris en compte.

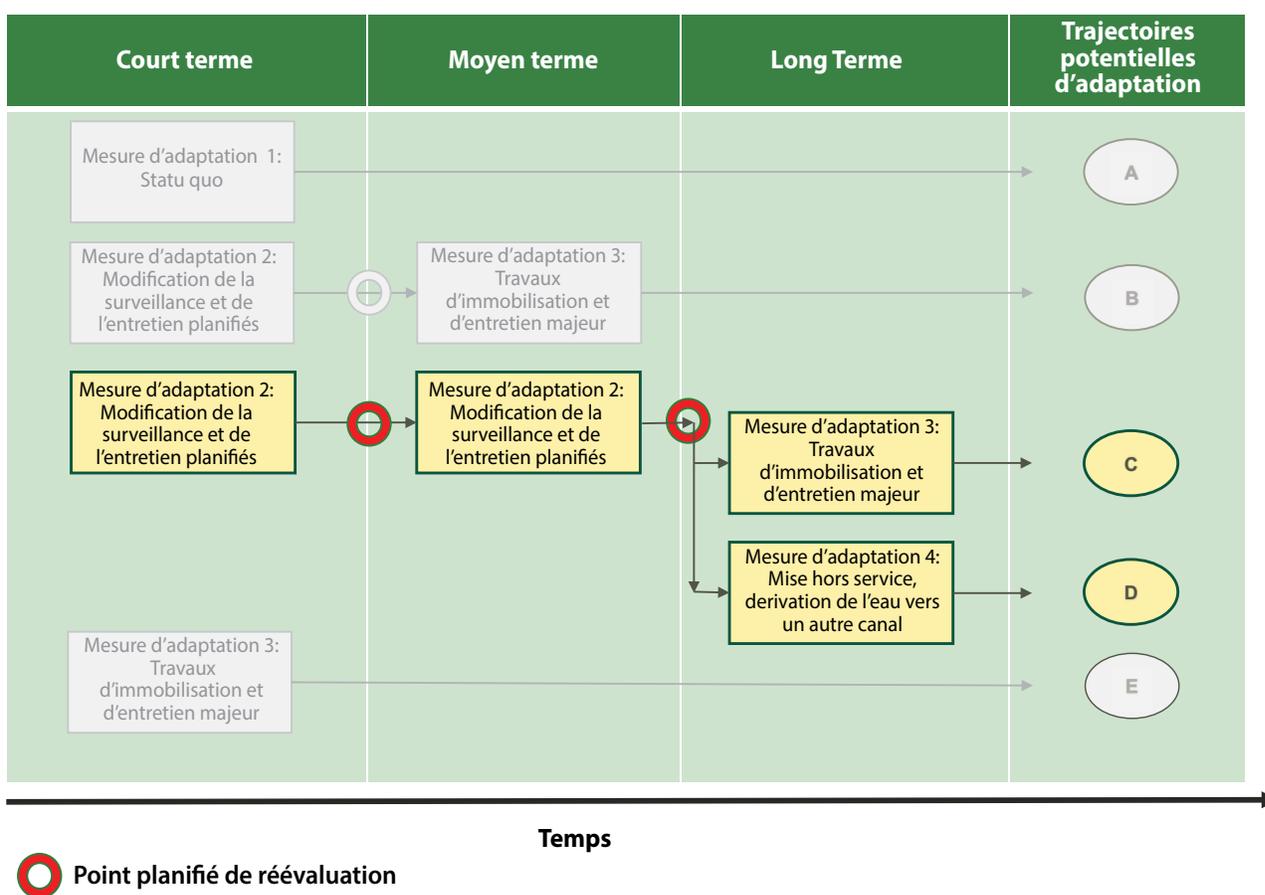
Le niveau et le type d'analyse de sensibilité réalisés doivent être déterminés en fonction du site, et les résultats doivent être soigneusement pris en compte par le propriétaire lors de la sélection finale des trajectoires d'adaptation.

### 5.2.9 Sélectionner la trajectoire d'adaptation privilégiée

Une fois toutes les analyses terminées, le propriétaire sélectionne la trajectoire d'adaptation préférable parmi les trajectoires potentielles identifiées, comme l'illustre la figure 20. Cette décision doit être basée sur les résultats de l'analyse décisionnelle et de l'analyse de sensibilité, mais peut également prendre en considération d'autres facteurs qu'il n'a peut-être pas été possible d'intégrer dans l'analyse décisionnelle, comme les relations entre les différentes mesures ou trajectoires d'adaptation.

Les résultats du processus, y compris la trajectoire d'adaptation choisie, doivent être documentés et communiqués. Les résultats doivent être communiqués aux parties prenantes internes et externes appropriées en utilisant des termes communs et simples qui peuvent être compris par l'ensemble des personnes concernées.

**Figure 20 : Exemple d'une carte des trajectoires d'adaptation choisies pour un ponton d'eau de surface.**



### Liste de contrôle pour le développement de trajectoires d'adaptation

- Quels sont les objectifs et le champ d'application des mesures d'adaptation qui sont en cours d'évaluation?
- De quelle façon ont été classifiées et examinées les mesures d'adaptation possibles?
- Quels sont les seuils et les déclencheurs pour chacune des trajectoires d'adaptation?
- Quel outil décisionnel a été utilisé pour hiérarchiser et classer les impacts et les avantages des trajectoires potentielles d'adaptation?
- Comment ont été calculées les impacts et les avantages associés aux trajectoires d'adaptation préférables (c.-à-d. les coûts directs, indirects et d'adaptation)?
- Quelles sont les principales sensibilités de la trajectoire d'adaptation préférée?

### 5.3 Études de cas

Cette étude de cas présente un exemple d'une analyse coûts-avantages, un type d'outil de prise de décision, réalisée par une société minière. L'**annexe D** intitulée « Études de cas » donne des informations plus détaillées.

#### Glencore – Installations intégrées de nickel à Sudbury

Glencore est une société minière et métallurgique mondiale qui exploite plus de 150 sites miniers et métallurgiques dans le monde. Ses Installations de nickel intégrées de Sudbury (Sudbury INO) ont entrepris le développement d'un plan sur les changements climatiques en réponse aux objectifs de développement durable de l'entreprise en 2009.

À l'aide du registre des risques du site, Glencore a tenu une première session interne de travail sur l'évaluation des risques avec des membres clés des opérations, de l'ingénierie, de l'immobilisation et d'autres départements. La session a permis de sensibiliser aux impacts des conditions météorologiques extrêmes et des changements climatiques sur les opérations, en particulier sur l'infrastructure, et de solliciter des mesures pour faire face à ces impacts. L'évaluation des risques a révélé plusieurs zones qui sont affectées par les conditions météorologiques extrêmes et les changements climatiques pour Sudbury INO. Elle a également permis à Glencore d'identifier et de classer par ordre de priorité les défis climatiques spécifiques au site, et les résultats ont été intégrés à leur registre des risques existant. Le processus d'évaluation des risques climatiques a également permis d'impliquer les équipes de gestion et les experts techniques dans le processus d'identification des risques climatiques et de proposition de mesures adaptatives pour réduire les risques.

L'une des principales recommandations des réunions du groupe de travail était de développer un processus décisionnel pour aider à prioriser les mesures d'adaptation potentielles, identifiées dans l'évaluation des risques, et décider du moment propice où mettre en œuvre les mesures. En réponse à cette recommandation, une approche d'analyse coûts-avantages (ACA) a été développée et utilisée pour analyser et prioriser les options d'adaptation en tenant compte des coûts de mise en œuvre de chaque option d'adaptation.

La première étape de l'ACA a permis d'élaborer un scénario de référence portant sur l'infrastructure et les informations opérationnelles à tenir compte dans l'évaluation, les vulnérabilités qui pourraient affecter le système de gestion de l'eau et être identifiés comme étant des risques prioritaires, l'analyse des conséquences de chaque vulnérabilité et les coûts estimés liés à chaque vulnérabilité. Les coûts directs de la remise en état à la suite d'une vulnérabilité et les coûts indirects tels que l'impact réputationnel ont été estimés.

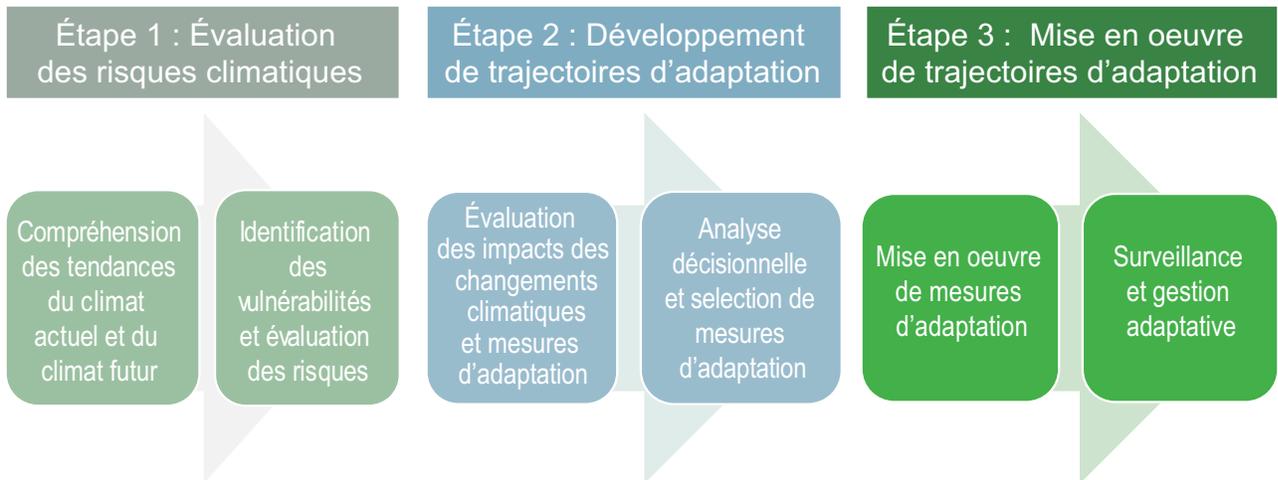
À l'aide de ces informations, l'équipe du projet a élaboré des estimations de risque pour chaque vulnérabilité dans les conditions climatiques actuelles et les conditions d'exploitation normales, puis a combiné ces estimations avec les informations sur les coûts pour établir une base économique. Les vulnérabilités comprenaient le traitement de :

- niveaux d'eau élevés au printemps;
- niveaux d'eau faibles à l'été/automne;
- un événement de précipitation significative;
- inondations élevées dans les zones à risque faible et à risque élevé.

Les tendances climatiques historiques et les modèles hydrologiques spécifiques au site ayant tenu compte de l'infrastructure et des seuils opérationnels ont été utilisés pour caractériser la probabilité qu'une vulnérabilité environnementale se produise dans les conditions climatiques actuelles. Pour évaluer de quelle façon le risque économique pourrait changer dans des conditions climatiques futures, les changements de la probabilité pour chaque vulnérabilité ont été estimés.

Des options d'adaptation qui permettraient de réduire les conséquences ou la probabilité d'occurrence de l'événement ont été identifiées pour chaque risque. Deux périodes ont été évaluées, soit une période de 10 ans et une période de 39 ans, et les coûts par rapport aux avantages ont été évalués en supposant que l'option d'adaptation serait mise en œuvre au début de chaque période comparativement à une approche de maintien (statu quo). Une évaluation stochastique de chaque période a été effectuée dans les conditions climatiques actuelles et futures. Les résultats de l'évaluation ont été présentés sous forme de tableaux pour visuellement représenter le moment où les coûts financiers estimés du scénario du statu quo, également appelés coûts d'adaptation, ont été compensés par la réduction des coûts résultant de la mise en œuvre des mesures d'adaptation. Ce résumé a été utilisé pour montrer comment l'investissement dans l'adaptation entraînerait une réduction des coûts à l'avenir.

## 6 Étape 3 : mise en œuvre de trajectoires d'adaptation



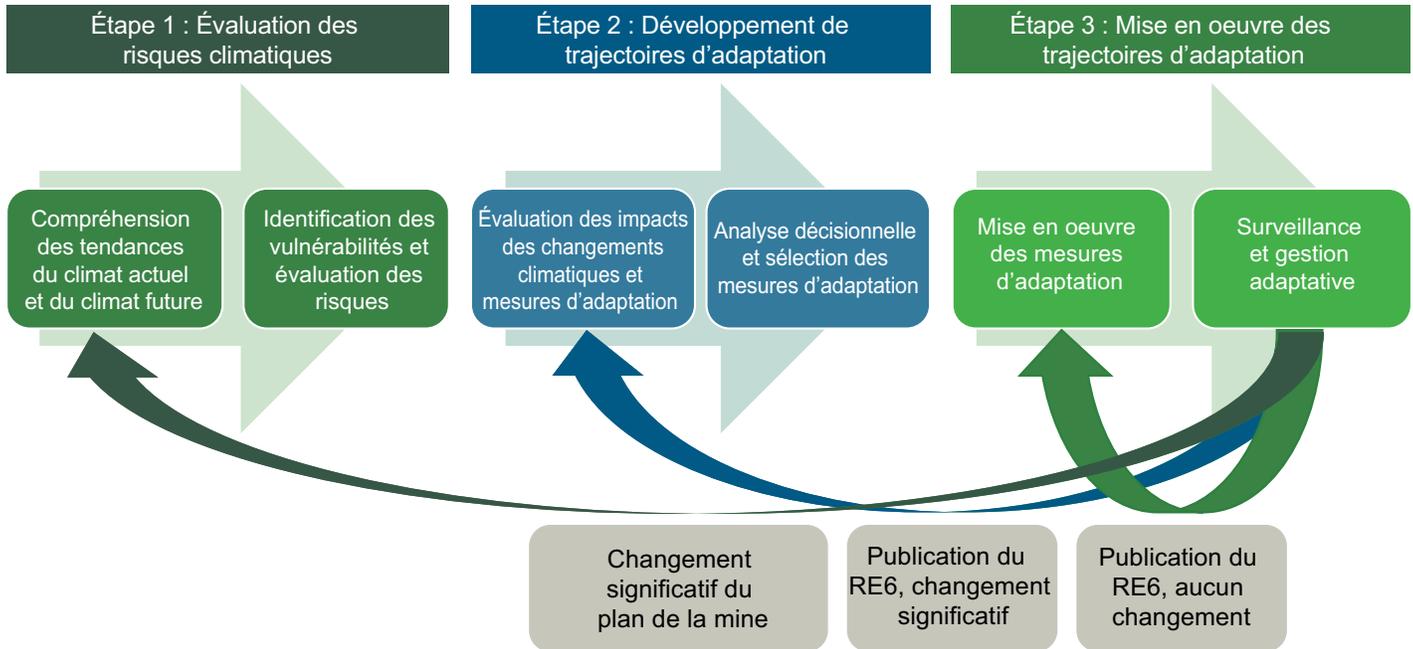
**Cette section fournit des conseils sur la mise en œuvre des trajectoires d'adaptation ainsi que sur la surveillance et la gestion en continu qui constitue un plan de gestion adaptative, une approche holistique de la gestion des risques et de l'incertitude associés aux changements climatiques au cours du cycle de vie de la mine.**

Les actions clés utilisées pour mettre en œuvre les trajectoires d'adaptation et gérer les risques de façon efficace comprennent :

- la conception et la mise en œuvre des trajectoires d'adaptation sélectionnées;
- la surveillance;
- la gestion adaptative pour identifier et traiter l'incertitude dans le processus et contribuer à l'amélioration continue.

L'étape 3 soutient l'approche itérative et d'amélioration continue de la prise en compte de l'adaptation aux changements climatiques dans le processus décisionnel, comme décrit à la [section 2.2](#) et illustré à la figure 20.

L'étape 3 soutient l'approche itérative et d'amélioration continue de la prise en compte de l'adaptation aux changements climatiques dans le processus décisionnel, comme décrit à la section 2.2 et illustré à la figure 20.



### Questions clés traitées dans cette section

**Quelles actions le propriétaire doit-il entreprendre pour mettre en œuvre la trajectoire d'adaptation sélectionnée?** Les sections 6.1 et 6.2 décrivent la façon dont la mise en œuvre doit être liée à un programme de surveillance afin que les signaux d'apparition (déclencheurs et seuils) puissent être suivis pour déterminer à quel moment les décisions et les actions doivent être revues.

**Comment la gouvernance peut-elle être améliorée par la mise en œuvre d'une gestion adaptative?** La section 6.3 énonce les principes clés décrivant les exigences minimales recommandées pour un processus d'amélioration continue et la documentation qui s'y rattache.

**Quels sont des exemples de mise en œuvre de trajectoires d'adaptation?** La section 6.4 présente des études de cas où un processus d'amélioration continue a été utilisé pour faire face à l'incertitude liée aux changements climatiques et qui peuvent constituer des références supplémentaires.

La **surveillance** comprend l'inspection, le suivi (c.-à-d. la collecte d'observations et de données qualitatives et quantitatives) relatives aux activités et aux infrastructures. La surveillance comprend également la documentation, l'analyse et la communication en temps opportun des résultats de la surveillance, afin d'éclairer la prise de décision et de vérifier si les objectifs de performance et de gestion des risques, y compris les contrôles critiques, sont rencontrés (adapté de AMC, 2019b).

## 6.1 Conception et mise en œuvre de trajectoires d'adaptation

Lorsque les trajectoires d'adaptation ont été sélectionnées à l'issue de l'étape 2, la trajectoire d'adaptation et les mesures d'adaptation qui y sont associées doivent être conçues et mises en œuvre.

La conception et la mise en œuvre dépendent des particularités de chaque trajectoire et peuvent inclure les éléments suivants :

- Préparer et documenter les concepts détaillés pour :
  - les modifications d'infrastructures existantes à être mises en œuvre à court terme;
  - la construction de nouvelles infrastructures à mettre en place à court terme.
- Mettre en œuvre les modifications apportées aux infrastructures existantes ou construire de nouvelles infrastructures conformément aux plans à court terme, et documenter :
  - tout écart par rapport à la conception;
  - les conditions finales « tel que construit ».
- Préparer et documenter les conceptions préliminaires pour :
  - les modifications de l'infrastructure existante à mettre en œuvre à moyen terme;
  - la construction de nouvelles infrastructures à être lancée à moyen terme.
- Définir, documenter et mettre en œuvre les modifications des pratiques opérationnelles, d'entretien et de surveillance existantes ou les nouvelles pratiques à mettre en œuvre.
- Réviser le plan de fermeture, le cas échéant.

## 6.2 Surveillance

Dans le cadre de la conception et de la mise en œuvre des trajectoires d'adaptation, des programmes de surveillance doivent être conçus et mis en œuvre, ou bien des programmes de surveillance existants doivent être révisés de manière appropriée, de sorte qu'il y ait une collecte continue de données climatiques spécifiques au site et pertinentes pour l'évaluation :

- les conditions climatiques actuelles, y compris la façon dont les conditions observées se comparent aux conditions climatiques futures projetées utilisées à l'étape 1. Ceci pourrait inclure les changements au niveau de la flore et de la faune, l'intégrité de l'écosystème, les changements dans la disponibilité des ressources (p. ex., l'eau), et les effets sur les facteurs de stress régionaux tels que la disponibilité de l'eau ou, à l'inverse, les inondations;
- l'efficacité des mesures de gestion des risques existantes et des mesures d'adaptation qui ont été mises en œuvre;
- la performance par rapport à des seuils et des déclencheurs définis afin d'évaluer la nécessité d'une mise en œuvre future des mesures d'adaptation;
- la performance des vulnérabilités pour lesquelles le risque est considéré comme acceptable.

Les résultats de la surveillance devraient être utilisés à titre de référence pour les revues du futur et les mises à jour potentielles :

- les conditions climatiques futures projetées utilisées dans l'évaluation des risques;
- les priorités résultant de l'évaluation des risques liés aux changements climatiques;
- l'analyse décisionnelle utilisée pour sélectionner la trajectoire d'adaptation privilégiée.

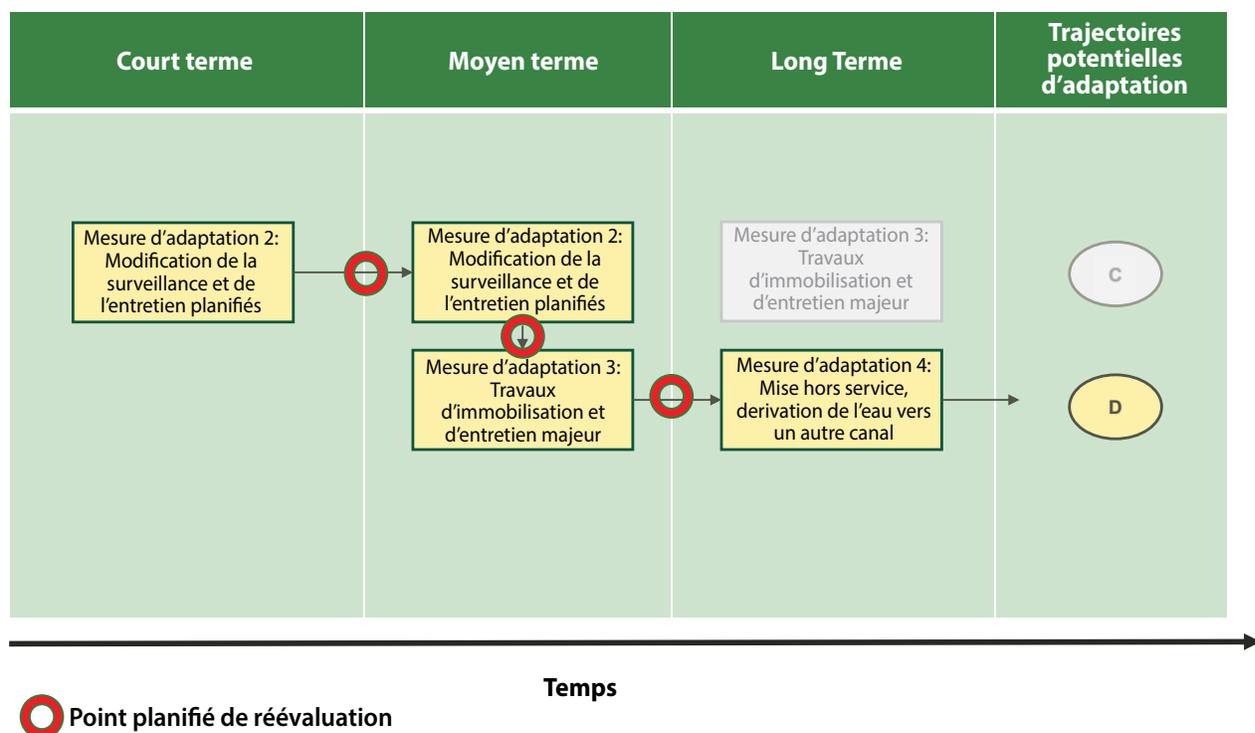
### 6.3 Développement et mise en œuvre d'un processus de gestion adaptative

La gestion adaptative est un processus de planification, de mise en œuvre et de modification itérative des stratégies pour faire face aux impacts d'un climat changeant. Cette forme de gestion implique l'ajustement des approches en réponse aux observations sur les effets et les changements du système découlant des effets de rétroaction qui en résultent et d'autres variables (adapté de la norme ISO 14090).

Les incertitudes sont inhérentes aux projections des conditions climatiques futures et sont accentuées par les échelles de temps de longue durée du cycle de vie des mines. De plus, les mises à jour de connaissances (c.-à-d. les mises à jour en science climatique ou des informations de surveillance) pourraient ne pas suivre le rythme de l'évolution des conditions. L'application de la gestion adaptative fournit aux propriétaires un outil supplémentaire pour gérer l'incertitude et les risques associés aux changements climatiques et intègre les nouvelles connaissances/informations au fur et à mesure qu'elles deviennent disponibles ou répondent de manière proactive aux conditions changeantes. À cet égard, la gestion adaptative facilite la mise en œuvre de l'approche itérative décrite à la [section 2.2](#) (qui est une caractéristique clé de ce guide).

En se basant sur l'exemple des trajectoires d'adaptation de la [section 5](#), la trajectoire sélectionnée (illustrée dans la figure 19) sera réévaluée plusieurs fois pendant la durée de vie de la mine. En fonction des conditions climatiques observées, des mises à jour en science climatique et des résultats du programme de surveillance, la trajectoire mise en œuvre pourrait être différente de la trajectoire prévue. Cet exemple est illustré à la figure 21 qui montre la façon dont les mesures d'adaptation auraient pu être mises en œuvre au cours de la durée de vie de la mine alors que la mesure d'adaptation 3 a été mise en œuvre plus tôt dans le cycle de vie de la mine par rapport à ce qui était initialement prévu.

**Figure 22 : Exemple illustré de la façon dont la trajectoire d'adaptation planifiée pourrait changer, sur la base de l'amélioration continue, au cours du cycle de vie de la mine.**



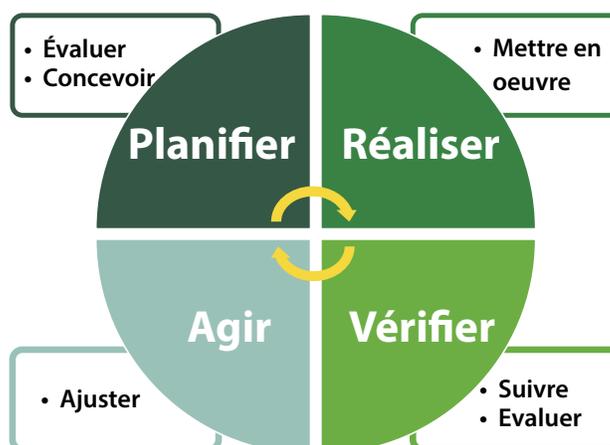
La gestion adaptative peut aussi contribuer à améliorer l'efficacité de l'approche des trajectoires d'adaptation en fournissant un cadre de gouvernance et de prise de décision pour leur mise en œuvre. L'intégration des résultats de surveillance, ainsi que des seuils et des déclencheurs définis pour les mesures d'adaptation (dans le processus de gestion adaptative) permet d'assurer la réalisation d'actions futures appropriées. La gestion adaptative contribue également à une prise de décision éclairée sur les trajectoires d'adaptation.

La gestion adaptative prend en compte les conditions actuelles du site minier ainsi que les plans futurs, les conditions climatiques actuelles et l'état des connaissances, les projections évolutives des conditions climatiques futures. Elle utilise les résultats de la surveillance pour confirmer si les objectifs ont été atteints et identifier les lacunes ou les possibilités d'amélioration continue. La gestion adaptative peut être utilisée à n'importe quelle phase du cycle de vie pour faire face à l'incertitude qui est associée aux projections de changements climatiques, ou pour répondre de manière proactive à des changements inattendus des conditions climatiques au-delà de celles projetées.

La gestion adaptative doit aussi tenir compte des questions à facettes multiples (systémiques) de l'opération (l'entreprise) en examinant les interdépendances et les liens internes et externes (ISO, 2019). Cette approche tient compte de tous les aspects des impacts, en amont et en aval des processus d'une installation. Par exemple, pour la gestion de l'eau, les propriétaires devraient tenir compte non seulement de la gestion de l'eau sur le site, mais aussi des changements au niveau de la disponibilité, de la qualité et du prélèvement de l'eau au niveau du bassin versant pour les besoins ou usages en concurrence (p. ex., activités agricoles dans la région). De telles interdépendances doivent être prises en compte à l'étape 1 lors de l'identification des vulnérabilités et de l'évaluation des risques. Cependant, ces interdépendances pourraient ne pas être statiques, et des interdépendances ou des liens supplémentaires peuvent apparaître au fil du temps. La gestion adaptative permet de s'assurer que de tels changements sont reconnus et pris en compte dans les futures mises à jour.

Cette section décrit les grands principes de la gestion adaptative et fournit des conseils pour élaborer et mettre en œuvre un tel processus. Les principes sont cohérents avec d'autres modèles de systèmes de gestion « Planifier-Réaliser-Vérifier-Agir » et sont alignés sur le cadre de gestion des résidus miniers décrit dans le *Guide de gestion des parcs à résidus miniers* (AMC, 2019b) et les systèmes de management environnemental ISO 14001 (ISO, 2015) (figure 22).

**Figure 23 : Principes de l'approche de gestion adaptative selon le *Guide de gestion des parcs à résidus miniers* et des *Systèmes de management environnemental ISO 14001* (AMC, 2019b; ISO, 2015).**



## Planifier

La planification consiste à établir des objectifs pour la gestion adaptative, à synthétiser les connaissances existantes et à élaborer les processus et les plans nécessaires pour atteindre et mettre en œuvre les trajectoires d'adaptation, y compris les seuils et les déclencheurs pour la mise en œuvre des mesures d'adaptation.

La planification repose sur les résultats de l'évaluation de la vulnérabilité et des risques (section 4), ainsi que sur les trajectoires d'adaptation élaborées et sélectionnées pour la mise en œuvre (section 5). La planification doit considérer les points suivants :

- la reddition de comptes, les responsabilités et les rôles pour la mise en œuvre des trajectoires d'adaptation et du processus de gestion adaptative, ainsi que la prise de décisions relatives à l'adaptation aux changements climatiques;
- intégration des trajectoires d'adaptation dans les politiques, plans, procédures et calendriers existants (p. ex., le plan de gestion de l'eau);
- identification et développement d'indicateurs de performance basés sur les objectifs de performance, pour mesurer et évaluer la performance des mesures d'adaptation spécifiques;
- identification des incertitudes et des contraintes;
- la conception des mesures d'adaptation tel que décrit à la section 6.1;
- le développement du programme de surveillance ou la révision du programme de surveillance existant tel que décrit à la section 6.2;
- le développement d'un plan de formation pour s'assurer que le personnel comprend les rôles et responsabilités associés à l'adaptation aux changements climatiques, et lorsque pertinent, que le personnel comprend les changements liés à la mise en œuvre des trajectoires d'adaptation;
- s'assurer que les ressources et les outils nécessaires pour la mise en œuvre sont en place.

## Réaliser

Cette étape implique la mise en œuvre des trajectoires d'adaptation et du programme de surveillance, ainsi que d'autres plans élaborés dans le cadre du processus de gestion adaptative (p. ex., la formation). Cette étape comprend aussi la mise en œuvre des mesures d'adaptation conformément aux trajectoires d'adaptation (p. ex., si les seuils définis ont été atteints).

## Vérifier

Cette étape consiste à examiner les résultats de la mise en œuvre, particulièrement la surveillance, pour évaluer et documenter les performances. Les principales activités consistent à évaluer la performance des mesures d'adaptation existantes, et à évaluer la performance par rapport aux seuils et déclencheurs définis pour la mise en œuvre des mesures d'adaptation. De plus, cette étape devrait aussi inclure l'identification :

- des révisions périodiques de la base de conception des mesures d'adaptation liées aux équipements et aux infrastructures et suivi des mises à jour de la science du climat pour confirmer que les hypothèses climatiques utilisées comme base de conception initiale sont toujours valides;
- des déficiences ou les non-conformités qui ont été rencontrées lors de la mise en œuvre des trajectoires et mesures d'adaptation;

- Opportunités d'amélioration continue;
- des changements (c.-à-d. les conditions observées vs. les projections climatiques, changements au niveau de la mine) qui pourraient être pertinents pour le développement et la mise en œuvre future des trajectoires d'adaptation.

## Agir

Cette étape implique une révision des résultats de l'étape de vérification et fait partie intégrante de l'approche itérative décrite à la [section 2.3](#). Les propriétaires devraient revoir et éventuellement mettre à jour les étapes 1 et 2 décrites dans ce guide, y compris :

- la revue de toute mise à jour de la science du climat, des codes et des normes d'ingénierie, des perspectives des communautés d'intérêt et des exigences légales;
- la revue et à mise à jour potentielle :
  - les structures de gouvernance pour le processus de gestion adaptative et la mise en œuvre des trajectoires d'adaptation;
  - des ensembles de données climatiques et des références climatiques, ainsi que les incertitudes et écarts qui y sont associés;
  - de la projection des conditions climatiques futures et les incertitudes qui y sont associés;
  - l'identification des vulnérabilités et des opportunités;
  - l'évaluation des risques liés aux changements climatiques et les incertitudes qui y sont associées;
  - les objectifs et les indicateurs de performance;
  - les seuils et les déclencheurs pour la mise en œuvre des mesures d'adaptation;
  - le programme de surveillance.
- la revue de l'adéquation et de l'efficacité des mesures d'adaptation qui ont été mises en œuvre;
- le développement des plans d'action pour traiter les déficiences et les opportunités d'amélioration continue.

En fin de compte, cette étape alimente les processus de revue et de mise à jour potentielle des trajectoires d'adaptation.

### Liste de contrôle pour le développement et la mise en œuvre de la gestion adaptative

- De quelle façon les seuils et les déclencheurs sont suivis?
- Quels indicateurs de performance sont utilisés pour mesurer la performance des mesures d'adaptation?
- De quelle façon le programme de surveillance effectue le suivi de la fréquence moyenne et de l'ampleur des événements extrêmes et la comparaison aux seuils et déclencheurs?
- Comment les incertitudes sont-elles prises en compte?
- Comment le plan de gestion de l'adaptation est-il intégré au sein des politiques de l'entreprise, aux systèmes et procédures de gestion et d'exploitation?
- Quel est le cycle de révision?

## 6.4 Études de cas

Les études de cas suivantes sont des exemples de gestion adaptative mise en œuvre par des sociétés minières. L'annexe D fournit des informations plus détaillées pour chacune des études de cas indiquées.

### Réhabilitation de la mine Giant – Seuils des changements climatiques

La mine Giant est une mine d'or historique en cours de réhabilitation et de fermeture, située à 5 km au nord du centre-ville de Yellowknife, dans les Territoires du Nord-Ouest. L'un des principaux objectifs du projet de réhabilitation est le confinement et la gestion à long terme des résidus historiques des opérations minières historiques sur le site. L'un des défis associés au projet de réhabilitation de la mine Giant est la prévalence de matériaux contenant du trioxyde d'arsenic (arsenic), produit lors du traitement du minerai d'or. Environ 237 000 tonnes de matières contenant de l'arsenic sont actuellement entreposées sur le site dans des chambres souterraines avec les anciens chantiers miniers. Un plan de gestion à long terme des matières contenant de l'arsenic a été élaboré afin de prévenir le rejet d'arsenic et les répercussions possibles pour les résidents de Yellowknife et la qualité de l'eau du Grand lac des Esclaves. Il a été décidé que la façon la plus efficace de gérer les matériaux contenant de l'arsenic serait de permettre aux chambres souterraines de geler par la « méthode du bloc congelé ».

Compte tenu de l'emplacement de la mine et des connaissances actuelles sur les changements climatiques dans le Nord, l'un des principaux défis de la gestion de l'installation de confinement sera de maintenir la température afin que les chambres souterraines restent gelées. Des projections des changements climatiques ont été élaborées pour les changements futurs de la température annuelle moyenne afin de guider les étapes de conception et de gestion de l'installation de confinement. Plus précisément, les connaissances seront utilisées pour guider la conception détaillée du bloc congelé afin que des équipements et des procédures de surveillance appropriés puissent être mis en œuvre, et que des ajustements puissent être effectués pour maintenir le bloc congelé au fil du temps. Essentiellement, les projections climatiques permettront de préciser les déclencheurs et les seuils, les étapes du plan de gestion adaptative et, plus précisément, les éléments de décision lorsque des mesures de gestion doivent être prises.

### La mine Millenium de Suncor – Gestion adaptative pour les résidus fins fluides

Suncor Energy Ltd. (Suncor) est une société énergétique canadienne spécialisée dans la production de pétrole brut synthétique à partir de sables bitumineux en Alberta. En 2016, Suncor a soumis, de façon conjointe, un plan de gestion des résidus fluides (PGR) pour la demande générale de l'usine et la demande de modification opérationnelle de la mine Millenium, y compris les détails concernant les plans de la mine et de la fermeture. Le plan de gestion des résidus proposé prévoit que plus de 70 % des résidus seront gérés au moyen d'une nouvelle technologie non éprouvée – le système d'entreposage aquatique passif (PASS) – qui implique l'ajout de produits chimiques pour déshydrater les résidus et réduire la mobilité des contaminants. De l'eau sera mise en place sur les résidus traités à la fin de la durée de vie de la mine, créant ainsi un résultat de fermeture aquatique dans la zone de dépôt 3 (DDA3), aussi connu sous le nom de recouvrement d'eau). Ce nouveau système d'entreposage vise également la gestion des incertitudes et des risques liés aux changements climatiques, particulièrement les incertitudes liées aux niveaux d'eau.

Pour gérer et diminuer la responsabilité et le risque environnemental résultant de l'accumulation de résidus fluides, le gouvernement de l'Alberta a publié en 2015 un cadre de gestion des résidus miniers

pour les sables bitumineux exploitables de l'Athabasca (TMF). Dans le cadre de la mise en œuvre du TMF, l'agence de réglementation de l'énergie de l'Alberta (Alberta Energy Regulator ou AER) a publié la directive 085 : Gestion des résidus fluides pour les projets d'exploitation minière des sables bitumineux, qui établit de nouvelles exigences pour les plans de gestion des résidus fluides. Compte tenu de la nouvelle approche de Suncor en matière de gestion des résidus, l'AER devait s'assurer que le PGR répondrait aux exigences du cadre et de la directive.

Suncor a fourni des informations concernant la justification, les données et les hypothèses liées aux risques et incertitudes pour le PASS et le DDA3. Cette information comprenait des mesures d'atténuation, des plans d'urgence et des étapes pour la remise en état, y compris l'information relative aux changements climatiques. Suncor a constaté que les changements climatiques pouvaient représenter un risque pour le lac Upper Pit (UPL) et que les prévisions actuelles indiquent un avenir plus chaud et plus humide. Dans le cas contraire, la viabilité de l'UPL pourrait être compromise s'il n'était pas géré de manière appropriée.

Suncor a fourni des informations à l'AER concernant son plan de gestion adaptative pour faire face aux risques, y compris :

- la possibilité de modifier l'élévation de l'exutoire du lac;
- changer l'élévation de la zone littorale;
- adapter l'approche au cours des 26 prochaines années, au fur et à mesure que Suncor parvient à une meilleure compréhension des conditions hydrologiques et climatiques à long terme;
- capter les résidus fluides traités sous une forme ou une autre une fois l'exploitation terminée, en veillant à ce que, même dans un scénario où le lac s'assèche périodiquement, il y ait une certaine barrière entre les résidus liquides traités et l'environnement;
- modifier le paysage de fermeture et le drainage pour fournir plus ou moins d'eau au UPL.

## 7 Références

- AMAP (Arctic Monitoring and Assessment Programme). 2017. Snow, water, ice and permafrost in the Arctic (SWIPA). Arctic Monitoring and Assessment Programme.  
<https://oaarchive.arctic-council.org/handle/11374/2105>
- American Society of Civil Engineers (ASCE). 2015. Adapting Infrastructure and Civil Engineering Practice to a Changing Climate. American Society of Civil Engineers, Committee on Adaptation to a Changing Climate. Disponible à l'adresse : <https://ascelibrary.org/doi/pdf/10.1061/9780784479193>
- Bush, E., et Lemmen, D.S., éditeurs. 2019. Rapport sur le climat changeant du Canada, Gouvernement du Canada, Ottawa, Ontario. Disponible à l'adresse : <https://changingclimate.ca/CCCR2019/fr/>
- Buurman, J. et Babovic, V. 2017. Adaptation Pathways and Real Options Analysis: An approach to deep uncertainty in climate change adaptation policies. *Policy and Society*, 35:2, 137-150. Disponible en anglais à l'adresse : <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1016/j.polsoc.2016.05.002>
- Autorités canadiennes en valeurs mobilières (ACVM). 2019. Avis 51-358 du personnel des ACVM, Information sur les risques liés au changement climatique. 1<sup>er</sup> août 2019. Disponible à l'adresse : <https://fcnb.ca/sites/default/files/2020-03/51-358-CSAN-2019-08-01-F.pdf>
- Association canadienne de normalisation. 2019. Guide technique : Élaboration interprétation et utilisation de l'information intensité-durée-fréquence (IDF) des précipitations : Ligne directrice à l'intention des spécialistes canadiens des ressources en eau.
- Charron, I. 2016. Guide sur les scénarios climatiques : Utilisation de l'information climatique pour guider la recherche et la prise de décision en matière d'adaptation Édition 2016. Ouranos, 94 p. Disponible à l'adresse [https://www.ouranos.ca/publication-scientifique/GuideScenarios2016\\_FR.pdf](https://www.ouranos.ca/publication-scientifique/GuideScenarios2016_FR.pdf)
- Cheng, C.S., Lopes, E., Fu, C., et Huang, Z. 2014. Possible Impacts of Climate Change on Wind Gusts under Downscaled Future Climate Conditions. Mis à jour pour le Canada (anglais). *Journal of Climate*, Volume 27. DOI: 10.1175/JCLI-D-13-00020.1.
- CoastAdapt. 2017. What is a pathways approach to adaptation? [Site Internet]  
<https://coastadapt.com.au/pathways-approach>
- Coulter, L. 2019. Climate Change Adaptation Pathways Framework: Supporting Sustainable Local Food in B.C. Prepared for the B.C. Ministry of Agriculture through the 2018-19 Mitacs Science Policy Fellowship. Victoria.
- Damigos, D. 2012. Monetizing the impacts of climate change on the Greek mining sector. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 17(8): 865-878. DOI: 10.1007/s11027-011-9349-z.
- Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ). 2013. Economic approaches for assessing climate change adaptation options under uncertainty – Excel tools for Cost-Benefit and Multi-Criteria Analysis. On behalf of Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety of the Federal Republic of Germany.
- Economics of Climate Adaptation (ECA). 2009. Shaping Climate-Resilient Development a framework for decision-making. Disponible en anglais à l'adresse : [http://ccsl.iccip.net/climate\\_resilient.pdf](http://ccsl.iccip.net/climate_resilient.pdf)
- Environnement et Changement Climatique Canada (ECCC), 2017. Normales climatiques canadiennes de 1981 à 2010. Disponible à l'adresse : [https://climat.meteo.gc.ca/climate\\_normals/index\\_f.html](https://climat.meteo.gc.ca/climate_normals/index_f.html)

- European Environment Agency (EEA). 2019. Climate-ADAPT. Disponible à l'adresse : <https://climate-adapt.eea.europa.eu/>
- Ingénieurs Canada. 2018. Principes d'adaptation aux changements climatiques et d'atténuation de leurs effets – Guide public. Disponible à l'adresse : <https://engineerscanada.ca/fr/principes-dadaptation-aux-changements-climatiques-et-dattenuation-de-leurs-effets-guide-public>
- Gouvernement du Canada. 2009. Franc Nord : Adaptation de l'infrastructure du Nord canadien au changement climatique. Ottawa, Ontario. Table ronde sur l'environnement et l'économie. Disponible à l'adresse <http://nrt-trn.ca/climat/franc-nord-adaptation-de-l%E2%80%99infrastructure-du-nord-canadien-au-changement-climatique?lang=fr>
- Gouvernement du Canada. 2019. Centre canadien des services climatiques. Disponible à l'adresse : <https://www.canada.ca/fr/environnement-changement-climatique/services/changements-climatiques/centre-canadien-services-climatiques.html>
- Haasnoot, M., Kwakkel, J.H., Walker, W.E., et Ter Maat, J. 2013. Dynamic adaptive policy pathways: a method for crafting robust decisions for a deeply uncertain world. *J. Glob. Environ. Change*, 23 (2), pp. 485-498.
- Hamilton, R. January 31, 2018. Climate Resilient Mining – with a focus on host communities. International Finance Corporation (IFC), World Bank Group. Présentation en anglais, Diapositives no 6-7.
- International Council on Mining & Metals (ICMM). 2013. Adapting to a changing climate: implications for the mining and metals industry.
- International Council on Mining & Metals (ICMM). 2019. Adapting to a changing climate: building resilience in the mining and metals industry. Disponible à l'adresse : <https://www.icmm.com/climate-adaptation>
- Infrastructure Canada. 2018. Optique des changements climatiques – lignes directrices générales, Volume 1.1. Gouvernement du Canada. Disponible à l'adresse : <https://www.infrastructure.gc.ca/pub/other-autre/cl-occ-fra.html>
- Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC). 2013. Changements climatiques 2013: Les éléments scientifiques, Contribution du Groupe de travail I au cinquième rapport d'évaluation du groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. Disponible à l'adresse : <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/>
- Groupe d'experts intergouvernementaux sur l'évolution du climat (GIEC). 2014. Changements climatiques 2014 : Rapport de synthèse. Contribution des groupes de travail I, II et III au cinquième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat [Sous la direction de l'équipe de rédaction principale, R.K. Pachauri et L.A. Meyer]. GIEC, Genève, Suisse, 161 p. [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR\\_AR5\\_FINAL\\_full\\_fr.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR_AR5_FINAL_full_fr.pdf)
- Groupe d'experts intergouvernementaux sur l'évolution du climat (GIEC). 2018. Réchauffement planétaire de 1,5 °C. Rapport spécial du GEIC sur les conséquences d'un réchauffement planétaire de 1,5 °C par rapport aux niveaux préindustriels et les trajectoires associées d'émissions mondiales de gaz à effet de serre, dans le contexte du renforcement de la parade mondiale au changement climatique, du développement durable et de la lutte contre la pauvreté [Publié sous la direction de V. Masson-Delmotte, P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, et T. Waterfield], sous presse.

- Groupe d'experts intergouvernementaux sur l'évolution du climat (GIEC). 2019a. What is a GCM? Data Distribution Centre, IPCC. Disponible (en anglais) à l'adresse : [https://www.ipcc-data.org/guidelines/pages/gcm\\_guide.html](https://www.ipcc-data.org/guidelines/pages/gcm_guide.html)
- Groupe d'experts intergouvernementaux sur l'évolution du climat (GIEC). 2019b. Definition of Terms Used Within the DDC Pages. Data Distribution Centre, IPCC. Disponible (en anglais) : [https://www.ipcc-data.org/guidelines/pages/glossary/glossary\\_r.html](https://www.ipcc-data.org/guidelines/pages/glossary/glossary_r.html)
- Groupe d'experts intergouvernementaux sur l'évolution du climat (GIEC). 2019c. Résumé à l'intention des décideurs, Rapport spécial du GIEC sur l'océan et la cryosphère dans le contexte du changement climatique [sous la direction de H.- O. Pörtner, D.C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, et N. Weyer], sous presse.
- Organisation internationale de normalisation (ISO). 2019. Adaptation au changement climatique – Principes, exigences et lignes directrices. ISO 14090 :2019.
- Organisation internationale de normalisation (ISO). 2018. Management du risque – lignes directrices. ISO 31000 : 2018.
- Organisation internationale de normalisation (ISO). 2015. Système de management environnemental – exigences et lignes directrices pour son utilisation. ISO 14001: 2015.
- Kappel, B. 2019. Hurricanes Harvey and Florence – Are Storms Changing, and How Does This Effect TSF and Dam Design? Proceedings of Tailings and Mine Waste 2019. November 17-20, 2019, Vancouver, Canada.
- Lemmen D.S, Warren F.J, James, T.S, et Mercer Clarke C.S.L. éditeurs. 2016. Le littoral maritime du Canada face à l'évolution du climat. Ottawa, Ontario : Gouvernement du Canada. <https://www.rncan.gc.ca/climate-change/impacts-adaptations/le-littoral-maritime-du-canada-face-evolution-du-climat/18391>
- Li, C., Zwiers, F., Zhang, X., et Li, G. 2019. How much information is required to well constrain local estimates of future precipitation extremes? *Earth's Future*, 7, 11–24. <https://doi.org/10.1029/2018EF001001>
- Mason, L, Unger, C, Lederwasch, A, Razian, H, Wynne, L et Giurco, D. 2013. Adapting to climate risks and extreme weather: A guide for mining and minerals industry professionals, National Climate Change Adaptation Research Facility, Gold Coast, 76 p.
- Metroeconomica Limited. 2014. Costing the Impacts of Climate Change in the UK: Implementations Guidelines. Rapport final (anglais). Préparé pour : The UK Climate Impacts Programme (UKCIP). 18 juin 2014.
- Association minière du Canada (AMC). 2019a. MAC Response to the Community of Interest Panel's Advisory Statement on Climate Change, "Rising to the Challenge". Disponible à l'adresse : <https://mining.ca/resources/reports/mac-response-to-the-coi-panels-advisory-statement-on-climate-change-rising-to-the-challenge/>
- Association minière du Canada (AMC). 2019b. Guide de gestion des parcs à résidus miniers, version 3.1. Disponible à l'adresse : <https://mining.ca/fr/notre-objectif/gestion-des-residus-miniers/guide-sur-les-residus-miniers/>
- Association minière du Canada (AMC). 2019c. Comment rédiger un manuel d'opération, d'entretien et de surveillance des parcs à résidus miniers et des installations de gestion des eaux, 2<sup>e</sup> édition. Disponible à l'adresse : <https://mining.ca/fr/notre-objectif/gestion-des-residus-miniers/guide-oes/>

- Nassopoulos, H., Dumas, P., et Hallegatte, S. 2012. Adaptation to an uncertain climate change: Cost benefit analysis and robust decision making for dam dimensioning. *Climate Change* 114(3-4). DOI:10.1007/s10584-012-0423-7.
- Table ronde nationale sur l'environnement et l'économie (TRNEE). 2011. Climate Prosperity: Le prix à payer : répercussions économiques du changement climatique pour le Canada. <http://nrt-trn.ca/climat/properite-climatique/le-cout-national-net-du-changement-climatique/prix-a-payer?lang=fr>
- National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). 2019. Reanalysis. National Centers for Environmental Information, NOAA. Disponible (en anglais) à l'adresse : <https://www.ncei.noaa.gov/products/weather-climate-models/reanalysis>
- Ontario Centre for Climate Impacts and Adaptation Resources (OCCAIR). 2017. Climate Change Impacts and Adaptation in Ontario's Mining Industry. Disponible (en anglais) à l'adresse : [http://www.climateontario.ca/doc/RACIII/Mining\\_Final.pdf](http://www.climateontario.ca/doc/RACIII/Mining_Final.pdf)
- Palko, K., et Lemmen, S.D (Éds). 2017. Risques climatiques et pratiques en matière d'adaptation pour le secteur canadien des transports 2016. Ottawa, Ontario, Gouvernement du Canada.
- Panel on Adaptive Management for Resource Stewardship. 2004. Adaptive Management for Water Resource Project Planning. National Research Council. Disponible (en anglais) à l'adresse : <https://www.nap.edu/catalog/10972/adaptive-management-for-water-resources-project-planning>
- Professional Engineers and Geoscientists of BC (EGBC). 2017. Developing Climate Change-Resilient Designs for Highway Infrastructure in British Columbia (Interim) – APEGBC Professional Practice Guidelines V1.0. Disponible à l'adresse [URL mis à jour pour la version finale 2020] <https://www.egbc.ca/getmedia/b60921fc-a820-41be-868f-02f0d3d92892/EGBC-BCMOTI-Climate-Resilient-Design-Highway-V2-0.pdf.aspx>
- Professional Engineers and Geoscientists of BC (EGBC). 2018. Legislated Flood Assessments in a Changing Climate in BC Version 2.1. Disponible (en anglais) à l'adresse : <https://www.egbc.ca/getmedia/f5c2d7e9-26ad-4cb3-b528-940b3aaa9069/Legislated-Flood-Assessments-in-BC.pdf.aspx>
- Rodgers, C. and A. Douglas. 2015a. Cost Benefit Analysis of Climate Change Impacts and Adaptation Measures for Canadian Mines: Final Report. Report submitted to the Climate Change Impacts and Adaptation Division, Natural Resources Canada, 36p. Disponible (en anglais) à l'adresse : [http://www.climateontario.ca/doc/p\\_ECCC/1-AP261-FinalReport-FINAL.PDF](http://www.climateontario.ca/doc/p_ECCC/1-AP261-FinalReport-FINAL.PDF)
- Rodgers, C. et Douglas, A. 2015b. Cost Benefit Analysis of Climate Change Impacts and Adaptation Measures for Canadian Mines: A Literature Review. Disponible (en anglais) à l'adresse : [http://www.climateontario.ca/doc/p\\_ECCC/3-AP261-LiteratureReview-FINAL.PDF](http://www.climateontario.ca/doc/p_ECCC/3-AP261-LiteratureReview-FINAL.PDF)
- Rosenzweig, C., et Solecki, W. 2014: Hurricane Sandy and adaptation pathways in New York: Lessons from a first-responder city. *Global Environmental Change* 28, p. 395-408, doi :10.1016/j.gloenvcha.2014.05.003.
- Roy, P., Fournier, E. et Huard, D. 2017. Guide de normalisation pour les données météorologiques, l'information climatique et les prévisions relatives aux changements climatiques. Montréal, Ouranos. 68 p. Disponible à l'adresse : <https://www.ouranos.ca/wp-content/uploads/RapportCCN2017-Fr.pdf>
- Serrao-Neumann S, Cox M, Schuch G, et Low Choy D. 2015. Adaptation Pathways [Internet]. Disponible (en anglais) à l'adresse : <https://www.terranova.org.au/repository/east-coast-nrm-collection/planning-packages>

- Groupe de travail sur l'information financière relative aux changements climatiques (GIFCC). 2017. Recommendations of the Task Force on Climate-related Financial Disclosures. Final Report. Disponible (en anglais) à l'adresse : <https://www.fsb-tcfd.org/wp-content/uploads/2017/06/FINAL-2017-TCFD-Report-11052018.pdf>
- University Corporation for Atmospheric Research (UCAR). 2019. Atmospheric Reanalysis: Overview & Comparison Tables. Climate Data Guide, UCAR. Disponible (en anglais) à l'adresse : <https://climatedataguide.ucar.edu/climate-data/atmospheric-reanalysis-overview-comparison-tables>
- United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). 2011. Assessing the Costs and Benefits of Adaptation Options: An Overview of Approaches. Disponible (en anglais) à l'adresse : [https://unfccc.int/resource/docs/publications/pub\\_nwp\\_costs\\_benefits\\_adaptation.pdf](https://unfccc.int/resource/docs/publications/pub_nwp_costs_benefits_adaptation.pdf)
- van Vuuren *et al.* 2011. The representative concentration pathways: an overview, *Climatic Change* (2011) 109: 5-31, DOI 10.1007/s10584 011 0148 z. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10584-011-0148-z>
- Vincent L, Zhang X, Brown R, Feng, Y, Mekis E, Milewska E, Wan H, et Wang X. 2015: Observed trends in Canada's climate and influence of low-frequency variability modes; *Journal of Climate*, v. 28, p. 4545–4560.
- Warren F.J., et Lemmen, D.S. 2014. Vivre avec les changements climatiques au Canada : perspectives des secteurs relatives aux impacts et à l'adaptation. Gouvernement du Canada, Ottawa, Ontario. Disponible à l'adresse suivante : [https://www.nrcan.gc.ca/sites/www.nrcan.gc.ca/files/earthsciences/pdf/assess/2014/pdf/Rapport-complet\\_Fra.pdf](https://www.nrcan.gc.ca/sites/www.nrcan.gc.ca/files/earthsciences/pdf/assess/2014/pdf/Rapport-complet_Fra.pdf)
- WCRP Sea Level Budget Group (WCRP). 2018. Global sea-level budget 1993-present. *Earth Syst. Sci. Data*, 10, 1551-1590, Disponible à l'adresse : <https://essd.copernicus.org/articles/10/1551/2018/>
- Organisation météorologique mondiale (OMM). 2018. Guidelines on the Definition and Monitoring of Extreme Weather and Climate Events.
- Organisation météorologique mondiale (OMM). 2009. Manual for Estimation of Probable Maximum Precipitation, No.1045, OMM, Genève, 259 pages.
- Zhang, X., Flato, G., Kirchmeier-Young, M., Vincent, L., Wan, H., Wang, X., Rong, R., Fyfe, J., Li, G., et Kharin, V.V. (2019). Changes in Temperature and Precipitation Across Canada; Chapitre 4 de Bush, E. et Lemmen, D.S. (Éds.). *Canada's Changing Climate Report*. Gouvernement du Canada, Ottawa, Ontario. p. 112-193.

## Glossaire

Terme	Définition
Adaptation aux changements climatiques	Démarche d'ajustement au climat actuel ou attendu, ainsi qu'à ses conséquences (ISO, 2019).
Analyse coût-efficacité	Procédure similaire à l'ACA qui peut être utilisée pour classer et prioriser les options d'adaptation si une valeur monétaire peut être attribuée aux coûts mais pas aux bénéfices des mesures d'adaptation.
Analyse coûts-avantages (ACA)	Procédure permettant de comparer les coûts et les avantages d'une mesure d'adaptation au fil du temps. Elle est recommandée si les coûts et les avantages des mesures d'adaptation peuvent être exprimés en termes monétaires.
Analyse multicritères	Une procédure similaire à une ACA utilisée pour classer et prioriser les multiples mesures d'adaptation. Toutefois, la priorisation est également basée sur des critères d'évaluation qualitative, notamment la faisabilité, le rapport coût-efficacité, les avantages connexes, la facilité de mise en œuvre et les ressources nécessaires. Elle peut aussi être utilisée lorsque les avantages ne peuvent être mesurés quantitativement, ou si les avantages multiples ne peuvent être agrégés (Rodgers & Douglas, 2015a).
Capacité d'adaptation	La capacité d'une mine à absorber les pressions exercées sur le système en lien avec l'évolution du climat. Une mine dotée d'une grande capacité d'adaptation peut faire face à un climat changeant, et même en tirer profit. Une mine se caractérise d'une grande résilience climatique lorsque ces vulnérabilités sont diminuées.
Changements climatiques	Désigne un changement au niveau de la moyenne et/ou de la variabilité du climat qui persiste pour une période prolongée, généralement pendant des décennies ou plus (GIEC, 2013).
Communautés d'intérêt	Toutes les personnes et tous les groupes ayant un intérêt dans les décisions liées à la gestion de l'opération ou qui pourraient subir les répercussions de celles-ci. Elles comprennent, sans en exclure d'autres : <ul style="list-style-type: none"> <li>■ les peuples autochtones;</li> <li>■ les membres des communautés;</li> <li>■ les groupes sous-représentés;</li> <li>■ les employés;</li> <li>■ entrepreneurs/fournisseurs;</li> <li>■ les voisins;</li> <li>■ les organismes environnementaux et autres organisations non gouvernementales;</li> <li>■ les gouvernements et institutions locaux;</li> </ul>

Terme	Définition
Communautés d'intérêt (suite)	<p>D'autres communautés d'intérêt pourraient inclure :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ les fournisseurs;</li> <li>■ les clients;</li> <li>■ les organisations environnementales régionales ou nationales et autres organisations non gouvernementales;</li> <li>■ les gouvernements;</li> <li>■ la communauté financière;</li> <li>■ les actionnaires</li> </ul> <p>Définition du protocole <i>VDMD de relations avec les Autochtones et les collectivités</i> de l'AMC.</p>
Conséquence	<p>Le résultat d'un événement, ou par l'entremise d'effets en cascade et cumulatifs, affectant les objectifs du propriétaire (ISO, 2018). Il peut avoir un effet positif ou négatif, direct ou indirect, sur les objectifs et s'exprime de façon qualitative ou quantitative. La conséquence est généralement décrite comme étant la gravité de l'événement et elle est utilisée pour calculer/définir le risque : <math>\text{Risque} = \text{Conséquence} \times \text{Probabilité}</math>.</p>
Critères de risque	<p>Les facteurs utilisés pour catégoriser les risques. Les critères de risque comprennent la conséquence et la probabilité, et peuvent inclure la confiance et d'autres modificateurs de risque.</p>
Déclencheurs (ou signaux d'émergence)	<p>Pour les impacts des changements climatiques sur les composantes (d'une mine) sensibles au climat, des déclencheurs apparaissent lorsqu'une composante de la mine atteint son seuil : elle peut soit faire défaut ou s'endommager. Dans le cadre d'une gestion adaptative, les déclencheurs (ou signaux d'émergence) contribueront à fournir des éléments de décision identifiant de quelle façon et à quel moment les mesures de gestion doivent être prises.</p>
Données climatiques	<p>Mesures consignées des variables météorologiques (p. ex., température maximale et minimale, précipitations) prélevées selon des durées variables (p. ex., base horaire, quotidienne, annuelle) et utilisées pour détecter les tendances climatiques (tiré de Roy <i>et al.</i>, 2017).</p>
Exigence légale	<p>Toute loi, statut, arrêté, décret, exigence, ordonnance, jugement, règle ou règlement d'une autorité gouvernementale, ou toute modalité de licence ou de permis délivré par une telle autorité.</p>
Forçage radiatif	<p>Réfère à la différence entre l'éclairement descendant et l'éclairement ascendant, exprimée en Watts par mètre carré (<math>\text{W}/\text{m}^2</math>) au sommet de l'atmosphère (PICC, 2019b; Charron, 2016).</p>
Gestion adaptative	<p>Processus itératif de planification, de mise en œuvre et de modification des stratégies liées à la gestion des ressources face à l'incertitude et au changement. La gestion adaptative implique des approches d'ajustement en fonction des observations, des conséquences et des modifications provoquées dans le système par les effets de rétroaction en résultant et d'autres variables (ISO, 2019).</p>

Terme	Définition
Impact	Également appelée "conséquence", ce terme réfère aux effets d'un climat changeant sur les systèmes naturels et humains, notamment les phénomènes météorologiques et climatiques extrêmes (ICMM, 2019).
Impact des changements climatiques	La conséquence d'un événement climatique qui affecte les objectifs d'une compagnie minière.
Indicateur climatique	Un indice qui peut être quantifié ou mesuré afin d'illustrer les changements d'une variable climatique (p. ex., la température quotidienne, le nombre de jours de gel, l'intensité et la durée des événements de précipitations, la vitesse et la direction du vent). Les indicateurs climatiques peuvent changer en fonction des changements climatiques.
Mesures adaptation	<p>Les mesures d'adaptation sont des actions prises pour gérer les risques ou les opportunités liés au changement climatique. Les mesures d'adaptation peuvent inclure des actions qui visent à prévenir ou réduire la probabilité d'apparition d'un impact négatif dû aux changements climatiques, ou encore à réduire ou atténuer les conséquences d'un impact négatif liés aux changements climatiques. Elles peuvent être mises en œuvre sur un site spécifique ou à l'échelle de l'entreprise, et comprendre un large éventail d'actions potentielles telles que :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ la modification des infrastructures existantes ou la construction de nouvelles infrastructures;</li> <li>■ la révision de plans, pratiques et des procédures, par exemple : <ul style="list-style-type: none"> <li>● les pratiques d'exploitation telles que la gestion de l'eau;</li> <li>● les pratiques d'entretien telles que l'entretien des infrastructures dépendantes du pergélisol;</li> <li>● les pratiques de surveillance en lien avec les vulnérabilités au climat et au changement climatique;</li> <li>● le plan de fermeture pour refléter les conditions climatiques futures projetées.</li> </ul> </li> <li>■ l'élaboration de projections améliorées des conditions climatiques futures.</li> <li>■ le renforcement des structures de gouvernance liées à l'adaptation aux changements climatiques.</li> </ul>
Modèles climatiques	Représentations mathématiques des processus du système climatique entre l'atmosphère, la lithosphère, l'hydrosphère, la cryosphère et la biosphère sous l'effet de forces externes (c'est-à-dire le rayonnement solaire, les gaz à effet de serre naturels et anthropiques) sur une longue période. (Roy <i>et al.</i> , 2017).
Modèles climatiques globaux (MCG) (le terme « modèle de circulation générale » est aussi utilisé)	Représentations numériques des processus physiques sur la Terre. Ce sont les outils les plus perfectionnés disponibles pour simuler la réponse du système climatique mondial à l'évolution des concentrations de GES (GIEC, 2019a). Les MCG ont des résolutions à maille grossière variant de 1 à 4 degrés de latitude, et de 1 à 5 degrés de longitude sur l'ensemble de la planète (Charron, 2016; European Network for Earth System Modelling, 2019).

Terme	Définition
Phénomène météorologique	Un événement (p. ex., épisode de précipitation extrême) se produisant lorsqu'une variable climatique est supérieure à la valeur d'un indicateur climatique, entraînant des effets indésirables sur les infrastructures, les opérations minières ou le milieu environnant.
Précipitation maximale probable (PMP)	En théorie, il s'agit de la hauteur maximale de précipitation pour une durée donnée, physiquement possible dans une zone de tempête donnée, à un emplacement géographique particulier, à un certain moment de l'année (OMM, 2019).
Probabilité	L'éventualité que quelque chose se produise, communément décrite comme étant la possibilité ou la fréquence d'occurrence.
Propriétaire	Réfère à la société, le partenariat ou la personne qui a la possession légale, ou est le titulaire légal d'une mine, en vertu de la loi dans la juridiction où se situe la mine. (adaptation de AMC, 2019).
Risque	Le risque représente l'incapacité potentielle des infrastructures, des installations, des communautés et de l'environnement à résister aux effets négatifs ou à bénéficier des effets positifs des changements climatiques. Le risque est fonction de l'ampleur des changements climatiques, de la sensibilité d'une entité à ces changements et de sa capacité d'adaptation. La gravité potentielle ou la conséquence de l'impact, et sa probabilité d'occurrence, sont toutes deux prises en compte lors de l'évaluation du risque. $\text{Risque} = \text{Conséquence} \times \text{Probabilité}$ .
Risque acceptable	Niveau de risque présumé acceptable par le propriétaire, compte tenu des exigences prévues par la loi, des politiques internes, des facteurs commerciaux et de l'acceptabilité sociale
Surveillance	Comprend l'inspection et le suivi (c-à-d. la collecte d'observations et de données qualitatives et quantitatives) des activités et des infrastructures. La surveillance comprend également la documentation, l'analyse et la communication, au moment opportun, des résultats de surveillance pour éclairer la prise de décisions et vérifier si les objectifs de rendement et de gestion du risque, y compris les contrôles critiques, sont atteints (tiré de AMC, 2019b).
Variable climatique	Paramètre météorologique qui peut être mesuré et projeté dans le futur (p. ex., température, précipitations, vent, etc.) et qui a la capacité d'interagir avec les infrastructures et les opérations minières.
Vulnérabilité	La vulnérabilité définit la limite à l'intérieur de laquelle une composante de l'infrastructure minière est susceptible de, ou incapable de, faire face aux changements climatiques.  Les vulnérabilités sont présentes lorsqu'une variable climatique peut interagir avec l'infrastructure minière, et que cette interaction est susceptible d'engendrer un risque.

## Annexe A : Tendances dans les variables et événements climatiques

Le tableau suivant présente les tendances historiques et projetées pour un certain nombre de variables climatiques au Canada, d'après le *Rapport sur le climat changeant du Canada* (Bush et Lemmen, 2019). Les tendances de haut niveau pour les variables climatiques peuvent aider à caractériser le climat historique, le climat actuel et le climat futur. Advenant qu'une analyse détaillée des observations ne soit pas requise (p. ex., aux premiers stades de planification de la vie de la mine), une analyse documentaire qui touche ces tendances d'informations climatiques, disponibles pour la région, pourrait être suffisante pour caractériser le climat historique et futur.

**Tableau 1 : Tendances historiques et projetées de variables climatiques pour le Canada et événements climatiques associés (Bush et Lemmen, 2019 sauf indication contraire).**

Variables climatiques et événements associés	Tendances historiques	Projections
Température de l'air	Les températures moyennes annuelles (saisonniers) pour le Canada ont augmenté de 1,7 °C (1,5 à 3,3 °C) entre 1948 et 2016, et de 2,3 °C (1,6 à 4,3 °C) pour le nord du Canada spécifiquement.	Les températures moyennes annuelles devraient augmenter d'environ 2 °C par rapport à la période de référence (1986-2005) dans le cas d'un scénario de faibles émissions, et de plus de 6 °C dans le cas d'un scénario d'émissions élevées d'ici la fin du siècle.
Températures extrêmes	Les températures extrêmement chaudes sont devenues plus chaudes et les températures extrêmement froides sont devenues moins froides, conformément aux tendances observées en matière de réchauffement des températures.	Il est projeté que les changements observés au niveau des températures extrêmes se poursuivront, avec une ampleur de changement proportionnelle à l'ampleur des changements de la température moyenne.
Précipitations annuelles moyennes	Partout au Canada, les précipitations moyennes annuelles ont augmenté d'environ 20 % entre 1948 et 2012, avec des augmentations plus importantes dans le nord du pays (Vincent <i>et al.</i> , 2015; Bush et Lemmen, 2019).	Les précipitations annuelles devraient augmenter d'environ 7 % selon un scénario de faibles émissions (RCP2,6) et jusqu'à 24 % selon un scénario d'émissions élevées (RCP8,5) d'ici la fin du siècle partout au Canada. Toutefois, selon un scénario d'émissions élevées, les précipitations estivales devraient diminuer dans le sud du Canada d'ici la fin du siècle.

Variables climatiques et événements associés	Tendances historiques	Projections
Précipitations extrêmes	<p>Aucun changement cohérent, dans les extrêmes de précipitations de courte durée, n'a été identifié au Canada (Bush et Lemmen, 2019). Un plus grand nombre de stations ont connu une augmentation (plutôt qu'une diminution) de la plus grande quantité de précipitations quotidiennes chaque année. Cependant, l'orientation des tendances spatiales semble plutôt être aléatoire.</p>	<p>La fréquence des précipitations extrêmes moyennes à travers le Canada devrait augmenter, avec une période de récurrence de 20 ans et devenant 1 événement aux 15 ans d'ici la fin du siècle avec un scénario de faibles émissions, puis 1 événement aux 10 ans d'ici le milieu du siècle et 1 événement aux 5 ans d'ici la fin du siècle avec un scénario d'émissions élevées. La quantité de précipitations extrêmes sur 24 heures se produisant une fois tous les 20 ans devrait augmenter de 25 % d'ici la fin du siècle selon un scénario d'émissions élevées.</p>
Niveau de la mer	<p>Le niveau moyen mondial de la mer a augmenté d'environ 0,19 m entre 1901 et 2010 (GIEC, 2013). Pendant la majeure partie du XX<sup>e</sup> siècle, le niveau de la mer a augmenté à un rythme de près de 1 mm/an, mais celui-ci a triplé depuis 1993, les taux récents montrant environ 3 mm/an à l'échelle mondiale (Bush et Lemmen, 2019).</p> <p>Au Canada, les taux variés d'élévation du niveau de la mer sont principalement attribués aux ajustements isostatiques glaciaires (soulèvement près du centre des anciennes nappes glaciaires et affaissement sur les bords), à la consolidation des sédiments (côte est) et à l'activité tectonique (côte ouest) (Bush et Lemmen, 2019).</p>	<p>On s'attend à ce que le niveau mondial de la mer continue de s'élever en raison du réchauffement des températures océaniques (expansion thermique) et de la fonte continue des glaciers et de la glace de mer (Gouvernement du Canada, 2009).</p> <p>Les estimations de la hausse moyenne mondiale du niveau de la mer ont été élaborées en combinant des études de la hausse mondiale du niveau de la mer basées sur les trajectoires de concentration représentative (RCP), qui ont examiné les effets modélisés sur l'expansion thermique des océans, la dynamique des calottes glaciaires du Groenland et de l'Antarctique, les changements dans le stockage des eaux terrestres et la fonte des glaciers et des calottes glaciaires du Groenland et de l'Antarctique (NOAA, 2017).</p> <p>Pour les scénarios de type intermédiaire/élevé à extrême, le potentiel d'effondrement rapide de la calotte glaciaire de l'Antarctique en fait partie. Dans l'ensemble, les scénarios prévoient une augmentation du niveau moyen de la mer de 0,16 à 0,63 m d'ici 2050 et de 0,3 à 2,5 m d'ici 2100 par rapport à l'année de référence 2000 à l'échelle mondiale (NOAA, 2017).</p>

Variables climatiques et événements associés	Tendances historiques	Projections
Niveau de la mer (suite)	Au Canada, une élévation relative du niveau de la mer a été observée (en millimètres par an) sur les côtes de l'Atlantique et de la mer de Beaufort, avec des quantités plus faibles le long de la côte du Pacifique. Toutefois, une baisse du niveau de la mer a été observée autour de la baie d'Hudson où les terres s'élèvent en raison du relèvement postglaciaire (Warren et Lemmen, 2014).	En raison de l'affaissement des terres, certaines parties du Canada atlantique devraient connaître une variation du niveau de la mer supérieure à la moyenne mondiale au cours du siècle à venir (Bush et Lemmen, 2019).  Les estimations de la hausse relative du niveau de la mer d'ici 2100 pour un scénario médian d'émissions élevées (RCP8,5) vont de 75 à 100 cm en Nouvelle-Écosse, de 25 à 50 cm à Vancouver, et de -50 à -90 cm autour de la baie d'Hudson et de l'archipel de l'Arctique canadien (Bush et Lemmen, 2019).
Vent	Des changements dans la configuration des vents ont été observés partout au Canada (Warren et Lemmen, 2014). Les enregistrements homogénéisés de la vitesse du vent, entre 1953 et 2006, pour 117 stations à travers le Canada, ont révélé des vitesses de vent généralement croissantes dans les régions du nord et de l'est et des vitesses de vent décroissantes dans les régions du sud et de l'ouest (Wan <i>et al.</i> , 2010).	La gravité et la fréquence des futures rafales de vent devraient changer vers la fin du siècle. L'augmentation en pourcentage des futures rafales de vent quotidiennes, de plus de 70 km/h, pourrait être de l'ordre de 10 à 20 % supérieure aux conditions actuelles dans la plupart des régions du Canada, et les augmentations correspondantes des futures rafales de vent horaires devraient être de 20 à 30 % (Cheng <i>et al.</i> , 2014).

Variables climatiques et événements associés	Tendances historiques	Projections
Glace de mer et glaciers	<p>La superficie de la glace de mer d'été a diminué dans l'Arctique canadien de 5 à 20 % par décennie depuis 1968 et la superficie de la glace de mer d'hiver a diminué de 8 % par décennie dans l'est du Canada. L'épaisseur de la glace de mer a également diminué de 65 % dans l'Arctique entre 1975 et 2012 (AMAP, 2017).</p> <p>Les glaciers canadiens se sont amincis au cours des cinq dernières décennies en raison de l'augmentation des températures.</p> <p>Le réchauffement récent a causé un raccourcissement de la saison des routes de glace de plusieurs semaines en raison de l'intensification des cycles de gel et de dégel (Boyle <i>et al.</i>, 2013). Dans les Territoires du Nord-Ouest, la date moyenne d'ouverture de la route de glace du fleuve Mackenzie a été retardée de plus de 3 semaines depuis 1996 (Hori <i>et al.</i>, 2018).</p>	<p>L'augmentation de la température entraînera une réduction continue de la superficie de la glace de mer dans l'Arctique canadien en été et en automne, et sur la côte est du Canada en hiver.</p> <p>Il est estimé, avec un degré de confiance moyen, que le volume mondial des glaciers devrait diminuer de 15 à 55 % dans le cadre d'un scénario à faibles émissions (RCP2,6) et de 35 à 85 % dans le cadre d'un scénario à fortes émissions (RCP8,5) d'ici la fin du siècle (GIEC, 2013). Les glaciers de la Cordillère occidentale devraient perdre entre 74 et 96 % de leur volume d'ici la fin du siècle, ce qui réduira l'approvisionnement des rivières et des ruisseaux en eau de fonte glaciaire d'ici le milieu du siècle.</p>
Couverture neigeuse	<p>La couverture et l'accumulation de neige ont diminué dans la majeure partie du Canada, soit de 5 à 10 % par décennie depuis 1981, en raison d'un retard dans l'apparition de la neige et des fontes printanières plus précoces.</p>	<p>La durée de la couverture neigeuse diminuera dans l'ensemble du Canada alors que les températures de l'air continueront d'augmenter dans tous les scénarios d'émissions.</p>

Variables climatiques et événements associés	Tendances historiques	Projections
Pergélisol	Les températures du pergélisol ont augmenté de 0,1 °C par décennie dans la partie centrale de la vallée du Mackenzie et de 0,3 à 0,5 °C par décennie dans le Haut-Arctique. L'épaisseur de la couche active a augmenté d'environ 10 % depuis 2000 dans la vallée du Mackenzie.	Il est projeté que l'augmentation poursuivie des températures moyennes à la surface entraînera la poursuite du dégel du pergélisol d'ici le milieu du siècle. Les scénarios d'émissions faibles et moyennes projettent que les zones de pergélisol plus profondes au Canada diminueront de 16 à 20 % d'ici 2090 par rapport à la référence de 1990.
Inondation	Le niveau de confiance est faible en ce qui concerne les tendances à l'échelle mondiale, mais des tendances à la hausse ont été observées à l'échelle régionale.	L'évolution de la fréquence et de l'intensité des précipitations extrêmes devrait contribuer à l'augmentation des inondations.
Sécheresse	Le niveau de confiance est faible en ce qui concerne les tendances à l'échelle mondiale, mais des tendances à la hausse à l'échelle régionale ont été observées.	La hausse des températures et l'évolution de la fréquence des précipitations devraient contribuer à l'augmentation des occurrences de sécheresse dans les régions intérieures du sud du Canada.
Humidité	Il est fort probable que la quantité de vapeur d'eau dans l'atmosphère ait augmenté depuis les années 1970, en raison du réchauffement de l'air capable de retenir davantage d'humidité.	Il est très probable que l'humidité près de la surface augmente à l'avenir, à mesure que l'évaporation et les températures de l'air augmentent (GIEC, 2013).
Incendie	Les changements de température et de précipitations ont fait augmenter la probabilité d'événements extrêmes, incluant les incendies de forêt.	Il est projeté que l'augmentation des températures et l'évolution de la fréquence des précipitations fera augmenter le risque d'incendie de forêt et allonger la durée de la saison des feux.

## Références

- AMAP (Arctic Monitoring and Assessment Programme), 2017. Snow, water, ice and permafrost in the Arctic (SWIPA). Arctic Monitoring and Assessment Programme.  
<https://www.amap.no/documents/doc/snow-water-ice-and-permafrost-in-the-arctic-swipa-2017/1610>
- Bush, E., et Lemmen, D.S., éditeurs, 2019. Rapport sur le climat changeant du Canada, Gouvernement du Canada, Ottawa, Ontario. Disponible à l'adresse : [https://www.nrcan.gc.ca/sites/www.nrcan.gc.ca/files/energy/Climate-change/pdf/RCCC\\_FULLREPORT-FR-FINAL.pdf](https://www.nrcan.gc.ca/sites/www.nrcan.gc.ca/files/energy/Climate-change/pdf/RCCC_FULLREPORT-FR-FINAL.pdf)
- Cheng, C.S., Lopes, E., Fu, C., et Huang, Z., 2014. Possible Impacts of Climate Change on Wind Gusts under Downscaled Future Climate Conditions. Mis à jour pour le Canada (anglais). Journal of Climate, Volume 27. DOI: 10.1175/JCLI-D-13-00020.1.
- Gouvernement du Canada, 2009. Franc Nord : Adaptation de l'infrastructure du Nord canadien au changement climatique. Ottawa, Ontario. Table ronde sur l'environnement et l'économie. Disponible à l'adresse <http://nrt-trn.ca/climat/franc-nord-adaptation-de-l%E2%80%99infrastructure-du-nord-canadien-au-changement-climatique?lang=fr>
- Boyle J, Cunningham M, Dekens J., 2013. Climate Change Adaptation and Canadian Infrastructure: A Review of the Literature. International Institute for Sustainable Development (IISD). 40 pages.
- Hori Y, Cheng VYS, Gough WA, Jien JY, Tsuji LJS., 2018. Implication of projected climate change on winter road systems in Ontario's Far North, Canada.
- Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), 2013. Changements climatiques 2013: Les éléments scientifiques, Contribution du Groupe de travail au cinquième rapport d'évaluation du groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. Disponible à l'adresse : [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/WG1AR5\\_SummaryVolume\\_FINAL\\_FRENCH.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/WG1AR5_SummaryVolume_FINAL_FRENCH.pdf)
- National Oceanic and Atmospheric Association (NOAA). 2017. Global and Regional Sea Level Rise Scenarios for the United States. NOAA Technical Report NOS CO-OPS 083.
- Palko, K., et Lemmen, S.D (Éds), 2017. Risques climatiques et pratiques en matière d'adaptation pour le secteur canadien des transports 2016. Ottawa, Ontario, Gouvernement du Canada.
- Wan H, Wang XL, Swail VR., 2010. Homogenization and Trend Analysis of Canadian Near-Surface Wind Speeds. Journal of Climate, 23(5):1209-1225. DOI: 10.1175/2009JCLI3200.1.
- Warren F.J., et Lemmen, D.S., 2014. Vivre avec les changements climatiques au Canada : perspectives des secteurs relatives aux impacts et à l'adaptation. Gouvernement du Canada, Ottawa, Ontario. Disponible à l'adresse suivante : [https://www.nrcan.gc.ca/sites/www.nrcan.gc.ca/files/earthsciences/pdf/assess/2014/pdf/Rapport-complet\\_Fra.pdf](https://www.nrcan.gc.ca/sites/www.nrcan.gc.ca/files/earthsciences/pdf/assess/2014/pdf/Rapport-complet_Fra.pdf)
- Vincent L, Zhang X, Brown R, Feng, Y, Mekis E, Milewska E, Wan H, Wang X., 2015: Observed trends in Canada's climate and influence of low-frequency variability modes; Journal of Climate, v. 28, p. 4545–4560.

## Annexe B : Méthodologie détaillée pour développer des références climatiques et des ensembles de données climatiques

Cette annexe méthodologique est le résumé d'un cadre général qui peut être utilisé lors du développement d'un ensemble de données climatiques. Cette approche de développement d'ensemble de données climatiques est élaborée sur la base des recommandations d'orientations acceptées par le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) et d'autres organismes scientifiques, comme indiqué dans les sections ci-dessous. Les analyses climatiques doivent être effectuées par des experts dans le domaine et les informations présentées ici sont destinées à renseigner les propriétaires sur ce qu'ils doivent demander et ce à quoi ils doivent attendre d'un consultant (expert) et pourrait être utilisé comme base pour un cahier des charges standard.

Les ensembles de données climatiques doivent être spécifiques au projet et développés en tenant compte des caractéristiques du site minier, notamment sa taille, son emplacement, sa géographie et sa durée de vie. Par exemple, la durée de vie d'une mine déterminera le(s) horizon(s) temporel(s) à inclure dans l'ensemble de données sur le climat futur (p. ex., vers le début, le milieu ou la fin du siècle). L'ensemble de données climatiques variera selon les mines et leurs différents stades de leur cycle de vie, comme nous l'avons vu dans le rapport principal. Toutes les mines n'auront pas besoin de la même couverture de données climatiques, et cela dépendra du type de risques présents. Les mines les plus vulnérables aux risques significatifs/sévères doivent s'assurer que toutes les données disponibles et requises pour traiter ces risques ont été obtenues.

Dans la méthodologie suivante, le climat actuel est défini comme étant la normale climatique actuelle (utilisée pour décrire les conditions climatiques moyennes d'un lieu) et peut s'étendre aux années d'observation les plus récentes. Le climat historique est défini comme étant les observations enregistrées avant la période normale. Les projections climatiques sont utilisées pour évaluer le changement des conditions climatiques actuelles dans le futur au site minier.

### Développement de la référence climatique actuelle

Il est important de comprendre le climat historique et actuel ainsi que les tendances pour évaluer les paramètres de conception. Lorsqu'elle est disponible, la référence climatique est fondée sur les observations de la météo locale ou des stations météorologiques. Les observations météorologiques font référence aux conditions atmosphériques à un moment et un endroit précis. Les collections de données météorologiques comprennent des variables atmosphériques telles que la vitesse et la direction du vent, la pluie, la température, etc. Le climat fait référence aux conditions météorologiques dominantes sur une période plus longue à un endroit donné. Cette méthodologie fournit des conseils pour établir les conditions climatiques de référence à partir des observations météorologiques à l'endroit de la mine. Si aucune observation à long terme n'est disponible sur le site, la référence peut être établie en utilisant les données des stations météorologiques locales et régionales accessibles au public. La [section 1.1](#) présente les critères de sélection des données à tenir compte lors de la sélection des stations météorologiques, ainsi que des conseils sur les exigences d'exhaustivité des données lors de l'établissement de référence climatique.

Si les observations ne sont pas suffisamment complètes, les données peuvent être complétées par des données de réanalyse ([section 1.2](#)) qui ont été comparées et corrélées aux stations météorologiques régionales disponibles.

### Critères de sélection des données

Idéalement, le climat historique et actuel devrait être caractérisé sur la base des observations météorologiques quotidiennes à long terme disponibles à partir d'une station située sur le site ou à proximité du site, avec des influences géographiques/climatiques similaires à celles de la mine. Par exemple, si une mine est située près d'un grand plan d'eau, la station la plus proche ou la plus représentative devrait également être adjacente à un grand plan d'eau (idéalement le même plan d'eau). En fonction des sources de données disponibles, il est toujours préférable d'utiliser des données continues à long terme provenant d'une station météorologique située sur le site afin de mieux saisir les influences locales. Toute modification de la station météorologique sur le site minier, susceptible d'affecter les enregistrements, doit être notée et prise en compte (p. ex., le déplacement de la station, même sur une courte distance, peut entraîner une modification des valeurs enregistrées qui ne résultent pas de la météo). Pour un endroit donné, il peut y avoir des changements notables dans le temps, d'une année à l'autre, en raison de la variabilité naturelle. Pour isoler les tendances climatiques de cette variabilité, les observations doivent être étalées sur de longues périodes, de préférence entre 20 et 30 ans (Charron, 2016).

Pour établir une référence climatique, les observations doivent couvrir la période climatique normale actuellement acceptée (p. ex., de 1981 à 2010 au moment de finaliser le présent guide (fin 2020)), qui sert à décrire les conditions climatiques moyennes d'un endroit et peut s'étendre aux années d'observation les plus récentes. Au Canada, la période normale est définie par Environnement et Changement climatique Canada sur la base des recommandations de l'Organisation météorologique mondiale (OMM). Les recommandations portent sur des moyennes de 30 ans mises à jour à la fin de chaque décennie (ECCC, 2017).

L'expert en météorologie/climat, responsable de l'installation et de l'entretien de la station, doit élaborer un programme d'assurance qualité et d'entretien pour toute station météorologique qui est localisée sur place et destinée à être utilisée pour le développement de jeux de données sur les changements climatiques. Cet expert doit tenir compte des recommandations de l'OMM (2008) concernant l'emplacement des stations et la gestion de la qualité. Comme toute station météorologique entretenue par ECCC, les stations sur place doivent faire l'objet d'un étalonnage, d'une assurance qualité et d'un contrôle qualité avant que les observations ne soient prises en compte pour un ensemble de données sur les changements climatiques.

Les critères de sélection suivant devraient être considérés pour identifier la station représentant le mieux le climat du site minier :

- la durée de l'enregistrement (minimum de 20 ans, idéalement 30 ans de données);
- disponibilité de l'enregistrement continu (p. ex., pas de jours, mois ou saisons manquants systématiquement);
- proximité de l'aire d'intérêt;
- l'âge des observations comparativement à la période normale actuellement acceptée;
- latitude;
- élévation de la station;
- cadre géographique;
- seuil de disponibilité des données mensuelles de 90 % (données valides pour toutes les années).

Le seuil de disponibilité des données est appliqué pour éviter d'inclure des mois avec des données incomplètes dans l'établissement des statistiques de base pour les précipitations et la température. L'OMM (1989) recommande d'utiliser la règle des "3/5", selon laquelle si un mois compte 3 jours consécutifs ou 5 jours aléatoires manquants, ce mois ne doit pas être utilisé pour établir la normale climatique. Le critère de disponibilité de 90 % des données mensuelles est une simplification de cette règle, en ce sens que si plus de 3 jours sur 30 sont manquants, le mois n'est pas utilisé, que les jours manquants soient consécutifs ou non.

Dans une région donnée, la ou les stations sélectionnées peuvent être situées à différentes altitudes et ne pas correspondre à l'altitude de la mine d'intérêt. Les données issues de multiples stations peuvent être utilisées pour aider au niveau de l'ajustement des données de la station la plus représentative et aider à documenter le climat actuel de la région. Comme la température et les précipitations varient en fonction de l'altitude, des facteurs d'ajustement peuvent être appliqués, créant ainsi des ensembles de données plus représentatifs de l'altitude de la mine.

Les données climatiques disponibles de chaque station doivent être comparées aux critères de sélection décrits ci-dessus pour la période de référence climatique historique et actuelle, et y répondre. Les données de nombreuses stations météorologiques sont limitées par un faible nombre d'observations ou une durée de vie limitée de la station (quantité de données), et une qualité de données variable. Par conséquent, la station qui correspond au plus grand nombre de critères de sélection, les trois premiers critères ayant le plus d'importance, devrait être sélectionnée.

### Remplissage de données manquantes – Données de réanalyse

Respecter la disponibilité mensuelle des données représente souvent un défi au cours de la longue période d'observation souhaitée. Lorsque les observations climatiques disponibles sont représentatives d'une mine sur la base de la majorité des critères de sélection mais qu'ils ne répondent pas à l'exhaustivité des données requise, l'expert devrait développer une méthode à utiliser pour compléter les données manquantes. La réanalyse constitue l'une de ces méthodes : ce processus combine à la fois des observations et des modèles de prévision numérique du temps (ou des systèmes d'assimilation de données) pour fournir une estimation dynamiquement cohérente de l'état du climat pendant la période historique d'intérêt (NOAA, 2019). La 2<sup>e</sup> version du *Modern-Era Retrospective analysis for Research and Applications* (MERRA-2) de la *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) est un exemple d'ensemble de données de réanalyse atmosphérique qui utilise le modèle Goddard Earth Observing System, ainsi que son système d'assimilation de données atmosphériques. Pour plus d'informations sur MERRA-2 et d'autres sources de données de réanalyse, consultez l'[annexe D](#).

Les données de réanalyse sont maillées, ce qui signifie qu'elles ont une plus grande résolution spatiale (c.-à-d. qu'elles couvrent une plus grande surface et pourraient ne pas saisir les influences locales) que les données d'observation des stations météorologiques qui représentent les conditions locales avec leurs influences. Lors de l'utilisation de données de réanalyse, la maille la plus proche doit être utilisée dans la plupart des cas, cependant, si une station est située près de la limite d'une maille, la maille adjacente doit également être prise en compte. La maille la plus représentative des observations locales devrait être utilisée.

En raison de la nature quadrillée des données de réanalyse, il existe un biais puisque ces données peuvent capturer des tendances qui ne sont pas nécessairement représentatives d'un endroit spécifique, mais qui représentent le carré de la grille plus large. La fiabilité des données de réanalyse peut également être affectée par les contraintes d'observation et l'évolution des réseaux d'observation (UCAR, 2019). Une

correction d'un biais peut être effectuée pour éliminer ce biais par une analyse de corrélation avec les observations des stations météorologiques disponibles. Il convient de noter que les données de réanalyse ne comprennent pas toutes des observations de stations météorologiques et peuvent être générées entièrement par des modèles. Une correction du biais doit être effectuée pour éliminer l'impact potentiel des contraintes d'observation ou du biais du modèle.

## Quantifier le climat actuel

### Quantifier les normales et les tendances du climat actuel

La normale climatique actuelle et les tendances doivent être calculées en utilisant les données des stations sélectionnées (ou les données des stations remplies) pour la période de référence choisie (envisager de couvrir la normale climatique actuelle et de l'étendre aux observations les plus récentes). Lors du calcul des normales climatiques actuelles annuelles et mensuelles et des tendances, la température moyenne et les précipitations totales doivent être prises en compte. Des définitions sont fournies au tableau 1 pour calculer ces normales et tendances.

**Tableau 1 : Définition des indices du climat actuel**

Indices climatiques	Définition	Unités
Moyenne des précipitations annuelles totales	Calculée comme étant la somme de toutes les précipitations totales observées pendant la période annuelle sélectionnée. La moyenne de chaque valeur annuelle est calculée sur la période de la normale climatique.	mm
Précipitations mensuelles	Calculée comme étant la somme de toutes les précipitations totales observées au cours du mois sélectionné dans une période annuelle. La moyenne de chaque valeur mensuelle est calculée sur la période de la normale climatique.	mm
Température moyenne annuelle	Calculée comme étant la moyenne de toutes les températures moyennes quotidiennes observées pendant la période annuelle sélectionnée. La moyenne de chaque valeur annuelle est calculée sur la période de la normale climatique.	°C
Température mensuelle	Calculée comme étant la moyenne de toutes les températures moyennes observées pendant le mois sélectionné au cours d'une période annuelle. La moyenne de chaque valeur mensuelle est calculée sur la période de la normale climatique.	°C

Les données compilées peuvent ensuite être utilisées pour calculer les normales et les tendances climatiques sélectionnées, en utilisant une méthodologie d'analyse des tendances (p. ex., une analyse de régression linéaire) pour évaluer les changements observés dans les observations climatiques à long terme. La normale climatique doit être calculée comme la moyenne d'un paramètre climatique donné au cours de la période de référence sélectionnée, et la tendance climatique doit être calculée comme étant le changement moyen du paramètre climatique pour la période désirée. Par exemple, la tendance climatique peut être calculée par décennie (c.-à-d. la tendance ou le changement décennal) ou par

année (c.-à-d. la tendance ou le changement annuel). La signification statistique des tendances observées peut être calculée au moyen de tests statistiques appropriés qui ne sont pas influencés par les cycles saisonniers ou autres, tels que le test de Mann Kendall. Il peut être utile de représenter graphiquement les résultats des normales et des tendances avec les observations pour mieux communiquer la variabilité entre les observations et les résultats (c.-à-d. les normales et les tendances).

### Quantifier les extrêmes climatiques actuels et les tendances

En plus des indices climatiques actuels annuels et mensuels discutés ci-dessus, les extrêmes climatiques doivent aussi être calculés. Les extrêmes climatiques présentent des risques pour une mine à toutes les phases de son cycle de vie, ce qui influence la planification, la conception, l'exploitation et la post-fermeture et la fermeture. Par exemple, les extrêmes climatiques tels que les fortes précipitations peuvent avoir un impact sur les infrastructures et interrompre les opérations en raison des inondations qui en résultent ou de l'incapacité à traiter l'excès d'eau dans le cadre du plan de gestion des eaux existant. Il est important de tenir compte des extrêmes climatiques lors de l'évaluation des paramètres de conception, en particulier les extrêmes climatiques qui ont été expérimentés précédemment. Les 27 indices développés par l'Expert Team on Climate Change Detection and Indices (ETCCDI) sont des exemples d'extrêmes climatiques qui peuvent être calculés. Ces indices utilisent les données quotidiennes de précipitations et de températures pour évaluer différents événements extrêmes, y compris (mais sans s'y limiter) les durées des périodes chaudes et froides, les jours et les nuits chauds et froids au-dessus des percentiles de seuil, les précipitations maximales sur 1 et 5 jours, et les durées des périodes humides et sèches (OMM, 2009). D'autres formes d'analyse des valeurs extrêmes peuvent être réalisées pour estimer les intervalles de récurrence des événements extrêmes en analysant les extrémités des distributions de probabilité des variables climatiques (Charron, 2016).

### Quantifier les précipitations et les chutes de pluie du climat actuel

L'évolution des régimes de précipitations est souvent une préoccupation pour l'industrie minière, car elle modifie le moment, le type et la quantité d'eau que la mine doit gérer. Les régimes de précipitations peuvent évoluer au cours de la référence climatique actuelle considérée et peuvent différer des données historiques utilisées pour élaborer les hypothèses climatiques appliquées dans la conception des infrastructures minières. Les mines peuvent tenir compte de l'évolution des régimes de précipitations en quantifiant des variables et des indices de précipitations tels que :

- précipitation maximale probable (PMP);
- courbes intensité-durée-fréquence (IDF) et statistiques pluviométriques (distributions maximales annuelles, mensuelles et journalières);
- accumulation annuelle de neige et fonte des neiges;
- évapotranspiration et/ou évaporation.

Les précipitations maximales probables (PMP) sont définies comme étant « la plus grande quantité de précipitations pour une durée donnée, météorologiquement possible pour un bassin versant de référence ou une zone de tempête donnée, à un endroit particulier et à une période particulière de l'année, sans tenir compte des tendances climatiques à long terme » (OMM, 2009). Le PMP est une valeur théorique qui représente la plus grande quantité de pluie possible dans une zone donnée, par opposition à une

tempête de référence qui représente la quantité de pluie associée à une probabilité d'occurrence spécifique. L'OMM reconnaît qu'il existe une incertitude importante concernant le calcul de la PMP et recommande de procéder à une comparaison des valeurs rapportées. Il existe deux approches largement acceptées (météorologique et statistique) pour estimer la PMP. L'approche météorologique compare les précipitations mesurées à la teneur en eau ou à l'eau précipitable mesurée et maximale, tandis que l'approche statistique utilise les statistiques des événements historiques de précipitations maximales annuelles pour estimer le PMP.

Les événements pluvieux extrêmes pour une gamme de durées et de périodes de récurrence peuvent être calculés à l'aide de statistiques pluviométriques. Les résultats sont publiés sous forme de courbes intensité-durée-fréquence (ou IDF). Il existe plusieurs méthodes pour estimer les courbes IDF. La méthode des moments est utilisée pour estimer les paramètres d'ajustement (selon la loi de Gumbel) aux événements pluvieux maximums annuels d'une durée d'un (1) jour. La distribution ajustée est ensuite utilisée pour extraire les quantités de pluie pour des périodes de récurrence sélectionnées afin d'estimer les courbes IDF journalières, de façon similaire à la méthodologie d'ÉCCC pour certaines stations de surveillance (EC, 1990). Lorsqu'on se réfère aux courbes IDF journalières et aux statistiques de précipitations, il faut préciser si la durée est de 24 heures (basée sur des observations horaires) ou d'un (1) jour (basée sur des observations horaires ou journalières). Les précipitations sur 24 heures sont calculées comme les précipitations maximales pendant un bloc mobile de 24 heures, tandis que les précipitations sur 1 jour sont calculées comme les précipitations maximales pendant une période fixe (généralement de minuit le premier jour à minuit le jour suivant). En raison des différences dans la méthode de calcul, il y a généralement des différences dans les valeurs, les précipitations sur 24 heures étant plus élevées (puisque le bloc mobile permet de mieux saisir les tempêtes).

Les courbes IDF et les statistiques de précipitations subjournalières peuvent être estimées en utilisant des observations horaires si elles sont disponibles. Les totaux cumulés subjournaliers des précipitations pour les durées souhaitées (1 heure à 24 heures) sont calculés, puis une méthodologie similaire aux courbes et statistiques IDF quotidiennes peut être appliquée. Les courbes IDF plurijournalières et les statistiques de précipitations peuvent être estimées à partir d'observations horaires ou journalières en dérivant des totaux cumulés plurijournaliers de précipitations pour les durées souhaitées (p. ex., de 2 à 120 jours), puis en appliquant la même méthodologie que celle de la durée journalière. En outre, ÉCCC fournit des courbes IDF subjournalières à certaines stations météorologiques pour des périodes de récurrence sélectionnées (EC, 1990).

Contrairement aux précipitations, les chutes de neige ne produisent pas nécessairement un effet immédiat. Une chute de neige individuelle peut être plus petite qu'une pluie (sur la base d'une hauteur d'eau équivalente), mais une accumulation de chutes de neige sur une longue période peut fondre relativement rapidement et produire un effet plus important qu'une seule pluie. Il est donc important de comprendre la probabilité d'apparition de grandes accumulations de neige et des événements de fonte associés. Lorsque l'accumulation de neige est mesurée, on peut procéder de la même manière que pour les courbes IDF (utilisation des valeurs annuelles maximales de l'accumulation de neige et de la fonte de neige ajustées à la loi de Gumbel). Lorsque l'accumulation de neige n'est pas mesurée, il faut utiliser les estimations d'accumulation de neige et de la fonte de neige basées sur les précipitations et la température (EC, 1983) pour obtenir les valeurs maximales annuelles du manteau neigeux et de la fonte des neiges.

L'évaporation et la transpiration peuvent se produire simultanément. L'évapotranspiration est utile pour définir le ruissellement et est utilisée dans les études d'hydrologie. C'est également un paramètre clé à comprendre car l'évaporation des lacs et des étangs peut représenter une perte d'eau importante. Les principaux paramètres météorologiques qui affectent l'évapotranspiration sont la température de l'air, le rayonnement solaire, l'humidité et la vitesse du vent, la température de l'air étant généralement la variable indépendante dominante. Dans de nombreux endroits, les observations du rayonnement solaire, de l'humidité et de la vitesse du vent peuvent ne pas être disponibles. L'évaporation du bassin peut être utilisée pour estimer l'évaporation des lacs, mais les observations de ce paramètre peuvent également être limitées. Il existe des méthodes permettant d'estimer l'évapotranspiration sur la base unique de la température de l'air, comme l'équation de Hargreaves (Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture [FAO], 2006) et l'équation de Thornthwaite (EC, 1983). Les experts doivent décrire comment l'évapotranspiration est observée ou calculée dans le cadre de la référence.

### Projection du climat futur

Les projections climatiques futures sont importantes pour comprendre la façon dont le climat devrait changer par rapport à la période de référence climatique choisie. Le climat futur est généralement projeté à l'aide de modèles climatiques qui impliquent la représentation mathématique des interactions entre la terre, la mer et l'atmosphère sur une longue période de temps.

Le cinquième rapport d'évaluation (AR5) est la synthèse complète la plus récente des informations concernant les changements climatiques au moment de la finalisation de ces orientations (fin 2020). Les projections climatiques doivent être réalisées à l'aide des rapports d'évaluation (AR) les plus récents du GIEC.

Les données des projections climatiques futures sont disponibles auprès d'une trentaine de modèles climatiques globaux (GCM), qui couvrent l'ensemble de la planète et quatre trajectoires de concentration représentatives (RCP2,6, RCP4,5, RCP6,0 et RCP8,5) dans le AR5. Le *Coupled Model Intercomparison Project 5* (CMIP5) fait la promotion d'un ensemble standard de simulations de modèles pour faciliter la comparaison des exécutions de modèles et fournit un portail de données où les sorties des GCM peuvent être obtenues. Des données sur les projections climatiques futures sont également disponibles à l'échelle mondiale pour les GCM et les scénarios d'émissions (scénarios SRES) utilisés dans le AR4. Ces données ne sont pas traitées ici, si ce n'est que pour établir un lien entre les scénarios d'émissions du AR4 et les RCP du AR5.

Les projections des modèles sont résumées en fonction de l'ampleur du changement par rapport au régime climatique de référence, pour différents horizons temporels mais plus souvent qu'autrement pour les conditions actuelles simulées, les horizons temporels du milieu du siècle ou des années 2050 (2041 à 2070) et de la fin du siècle ou des années 2080 (2071 à 2100).

Tous les modèles climatiques sont fondés sur les mêmes principes physiques et chacun simule une réponse plausible au changement imposé du forçage radiatif. Étant donné l'incertitude quant à l'évolution des émissions futures, il est nécessaire d'envisager un certain nombre d'options qui nous renseignent sur la gamme possible du climat futur. En raison de ces incertitudes, le GIEC recommande que les évaluations des changements climatiques utilisent autant de modèles que possible, ou un « ensemble multi-modèles ». Pour cette raison, l'approche de l'ensemble multi-modèles est généralement utilisée pour délimiter la gamme probable des résultats et mieux saisir le résultat réel (une inconnue inhérente), améliorant ainsi la confiance dans la gamme des projections potentielles climatiques futures. Une liste des sources de projections climatiques futures est incluse à l'annexe C incluant une description détaillée de chacune.

### Projections des changements climatiques régionaux

Bien que les changements climatiques constituent un phénomène mondial, ses effets se font ressentir différemment d'une région à l'autre. Pour une évaluation climatique détaillée, il convient d'utiliser des projections régionales des changements climatiques car la disponibilité d'une haute résolution spatiale (de l'ordre de 10 km au lieu de 100 km dans les GCM) peut permettre une meilleure représentation des sites pour des études détaillées. De plus, la disponibilité de données quotidiennes à échelle réduite permet une meilleure caractérisation des extrêmes climatiques, particulièrement au niveau des précipitations.

Les projections régionales des changements climatiques sont disponibles à partir de nombreuses sources de données énumérées à l'[annexe C](#).

### Incertitude des méthodes de réduction d'échelle des changements climatiques

L'inadéquation de la résolution spatiale et temporelle entre les résultats des GCM et les besoins en données de l'évaluation des risques liés aux changements climatiques est une considération essentielle lors de l'analyse du climat projeté pour un site minier à l'échelle locale. Il est donc nécessaire d'effectuer un traitement supplémentaire pour concilier ce décalage ou communiquer clairement sa présence dans les résultats de l'évaluation des risques climatiques. Par conséquent, la réduction d'échelle dynamique (modèles climatiques régionaux) et la réduction d'échelle statistique ont été développées pour répondre à ces exigences (Chen *et al.*, 2011). La réduction d'échelle dynamique nécessite des modèles climatiques régionaux à haute résolution qui sont pilotés par des simulations de GCM pour simuler de façon dynamique les processus climatiques à l'échelle régionale ou locale. Les modèles climatiques régionaux ont une résolution spatiale plus élevée leur permettant de mieux représenter la topographie sous-jacente et certains des processus physiques régionaux et locaux, les modèles à plus haute résolution pouvant inclure des schémas de convection. La réduction d'échelle dynamique peut toutefois être sensible aux biais à grande échelle et s'avérer coûteuse. La réduction d'échelle statistique utilise des techniques basées sur les statistiques pour déterminer la relation entre les variables climatiques locales observées et les prédicteurs/programmes climatiques à grande échelle issus des MCG (NCAR, 2019; Princeton University, 2019). Ces relations sont ensuite appliquées aux sorties des GCM pour estimer un climat régional ou local.

Chaque approche présente des avantages et des contraintes. Cependant, les deux méthodologies produisent des résultats comparables dans la simulation du climat actuel et doivent donc être considérées comme étant des approches complémentaires pour la réduction d'échelle du climat régional (Canadian Standards Association, 2010).

### Projection des extrêmes climatiques futurs

Les modèles climatiques représentent souvent à tort les extrêmes climatiques, notamment en ce qui concerne les précipitations, en raison des limites des résolutions spatiales et temporelles nécessaires pour les représenter. Pour cette raison, les extrêmes peuvent ne pas être entièrement saisis et sont souvent décrits en termes de changement par rapport à la référence afin de minimiser le biais potentiel des valeurs absolues des projections du modèle climatique. Les extrêmes climatiques futures sont projetés à l'aide de projections de températures et de précipitations quotidiennes provenant des données disponibles. Comme chaque modèle a une référence unique, les calculs doivent être effectués pour chaque modèle, puis des statistiques sont fournies pour décrire la gamme de projections sur l'ensemble multi-modèle.

### Prévision des précipitations et des chutes de pluie dans le climat futur

L'Association canadienne de normalisation (2010) a noté que « dans un effort visant à se détourner des estimations quantitatives des précipitations futures de courte durée, afin de mieux répondre aux besoins des praticiens de la conception, des ressources en eau et de la gestion des eaux pluviales, un certain nombre de techniques de réduction d'échelle et d'analyse statistique ont été développées. Cependant, il n'existe pas de méthodologie de recherche standard ou acceptée pour déterminer comment les futures précipitations extrêmes subjournalières pourraient changer en intensité et en fréquence à des endroits précis ou à l'intérieur d'une petite zone dans le climat futur ».

Néanmoins, conformément à la méthodologie du climat actuel, l'évolution des précipitations peut être prise en compte en examinant comment il est projeté que le PMP, les courbes IDF et les statistiques pluviométriques, le manteau neigeux et la fonte des neiges, et l'évapotranspiration changeront dans les conditions climatiques futures. La méthodologie du climat futur, pour projeter le PMP et l'évapotranspiration potentielle future, est la même que la méthodologie du climat actuel mais celle-ci est appliquée aux projections climatiques futures quotidiennes. La méthodologie pour projeter les courbes IDF du climat futur et les statistiques pluviométriques est légèrement plus contraignante.

Les modèles climatiques ne sont pas encore capables de résoudre entièrement les processus convectifs responsables de la génération de quantités de précipitations extrêmes à des échelles spatiales plus fines et de la contribution aux précipitations extrêmes dans les systèmes synoptiques à plus grande échelle (CSA, 2019). Pour cette raison, il est peu probable que les estimations des précipitations extrêmes de courte durée, pour un emplacement donné, soient robustes (Li *et al.*, 2019). Li *et al.* (2019) recommandent l'utilisation d'une méthode de mise en commun pour augmenter l'étendue spatiale de l'analyse et saisir davantage de variabilité interne dans les projections de précipitations. Les projections de statistiques de précipitations extrêmes devraient être effectuées en analysant les changements en pourcentage de quantités de précipitations, entre la période de référence modélisée (à échelle réduite) et la période future. Ces changements devraient ensuite être appliqués aux statistiques de précipitations observées afin de minimiser les biais et de préserver la distribution observée des précipitations (Luo *et al.*, 2018). Toute tentative de projection des précipitations extrêmes futures de courte durée doit tenir compte des recherches scientifiques en cours sur ce sujet.

Pour les projections climatiques quotidiennes futures à échelle réduite, la prise en compte des distributions de précipitations locales est essentielle pour capturer les événements pluvieux extrêmes qui sont essentiels à la construction des statistiques IDF. Une analyse additionnelle doit être complétée afin de traiter ces incertitudes dans les approches de réduction d'échelle en ce qui concerne les distributions locales de précipitations. Cette étape d'analyse supplémentaire a pour but de supprimer les biais dans les projections ou de normaliser les projections par rapport aux observations afin d'éliminer les incertitudes liées à la prise en compte des distributions locales des précipitations.

Les projections futures des courbes IDF de durée quotidienne (1 jour) et des statistiques de précipitations peuvent être estimées en utilisant les projections quotidiennes à échelle réduite pour les périodes de récurrence souhaitées. Aussi, la même approche sera utilisée pour les durées de plusieurs jours pour les périodes de récurrence souhaitées. La projection des courbes IDF et des statistiques de précipitations pour des durées subjournalières nécessite des projections horaires de précipitations, qui ne sont pas facilement disponibles, particulièrement les projections à échelle réduite. Comme point de départ, il est possible d'assumer les mêmes relations entre les courbes IDF journalières et subjournalières et que les statistiques de précipitations s'appliqueront dans les conditions climatiques futures. Cela ne permet toutefois pas de tenir compte d'un changement dans la distribution des précipitations dans le futur.

Une approche d'ensemble devrait être utilisée pour toutes les variables et tous les indices de précipitations décrits ci-dessus pour aider à traiter l'incertitude dans les projections, comme expliqué ci-dessus. Les statistiques des changements projetés devraient être calculées pour l'ensemble afin de décrire la gamme des anomalies projetées parmi les membres de l'ensemble (min, max, moyenne, médiane et percentiles). L'incertitude peut également être examinée en effectuant des analyses de sensibilité sur les projections futures. Par exemple, dans la région métropolitaine de Vancouver (2018), une analyse de sensibilité a été réalisée sur les projections de précipitations en regroupant les changements projetés par les scénarios RCP, les méthodes de réduction d'échelle, les distributions statistiques et les indices PDO (années « froides », « chaudes » ou « toutes »). Le résultat de l'analyse présente l'incertitude de chaque étape du processus utilisé pour projeter le climat futur.

### Utilisation des résultats

La nature de la quantification du climat actuel et de la projection du climat futur comprend une incertitude substantielle inhérente qui doit être prise en compte dans un climat changeant. L'éventail des valeurs projetées provient de trois sources principales : (1) les émissions humaines inconnues de GES, (2) la variabilité naturelle du climat, et (3) les projections imparfaites des modèles climatiques. La gamme des projections climatiques plausibles augmente pour les périodes de projection plus éloignées dans le futur et est sujette à des développements futurs. Par conséquent, les travaux doivent être mis à jour au fur et à mesure de l'évolution de la science climatique et à la suite de la publication du dernier rapport d'évaluation du GIEC.

Une façon de reconnaître cette incertitude est de fournir des projections futures en considérant l'éventail des projections plutôt qu'une seule. La sélection d'un seul modèle ou encore d'un sous-ensemble de modèles peut augmenter la probabilité du biais et réduire la gamme des projections. On peut plutôt supposer que les projections de la médiane de l'ensemble représentent les conditions climatiques avec une variabilité naturelle répartie (dans la mesure où la taille de l'ensemble est assez grande, et que ledit ensemble se situe au milieu de la plage d'incertitude des modèles climatiques). Les projections au 95<sup>e</sup> percentile parmi un grand ensemble peuvent être considérées comme étant représentatives d'une approche prudente en termes de variabilité naturelle et d'incertitude du modèle climatique (pour un niveau spécifié d'émissions présumées de GES). Lors de l'examen de l'impact des projections climatiques futures sur les paramètres de conception actuels, le niveau de tolérance acceptable au risque doit déterminer quelles parties de la gamme des conditions futures sont prises en compte. La sélection des projections futures, pour l'évaluation des risques liés aux changements climatiques, doit être basée sur l'équilibre entre l'investissement supplémentaire et les risques qui en découlent.

Par conséquent, il est recommandé d'utiliser les résultats comme suit :

- les projections moyennes ou médianes d'ensemble devraient être sélectionnées comme point de départ pour l'évaluation des risques et les applications de planification et de conception technique des futures infrastructures;
- tenir compte de la « durée de vie du projet et des exigences futures en matière de services » et sélectionner l'horizon de planification approprié pour chaque élément d'infrastructure (années 2050 et 2080);

- pour les infrastructures critiques, la sélection de projections futures à l'extrémité supérieure de la fourchette devrait être envisagée. Par exemple, pour les infrastructures critiques, dont la défaillance est considérée comme inacceptable, un 90<sup>e</sup> ou 95<sup>e</sup> percentile pourrait être envisagé par rapport au 50<sup>e</sup> percentile typique;
- si un risque est identifié pour une composante d'infrastructure de la zone, une analyse plus détaillée doit être effectuée afin de définir les risques tout en tenant compte de la gamme projetée de valeurs;
- lorsqu'on envisage de prendre des mesures pour faire face à un risque potentiel identifié, la sélection parmi la gamme de valeurs projetées au moyen d'une analyse décisionnelle doit être considérée. Il existe différentes méthodes d'analyse pouvant être utilisées à des fins de prise de décision. Si les coûts et les avantages des options d'adaptation peuvent être monétisés, une analyse coûts-avantages est préférable. Si les avantages des options d'adaptation peuvent être quantifiés mais non exprimés en termes monétaires, alors que les coûts peuvent être quantifiés en termes monétaires, l'analyse coût-efficacité est préférable. Si les coûts et les avantages ne peuvent être exprimés en termes monétaires ou si des critères non monétaires tels que des facteurs environnementaux ou sociaux sont prioritaires, une analyse multicritères (multifacteurs) est recommandée. Dans tous les autres cas, une approche économique est très difficile à appliquer, et d'autres approches doivent être envisagées;
- si un sous-ensemble de modèles ou si des RCP sont utilisés, alors la justification, le biais et l'impact sur l'évaluation doivent être documentés.

## Références

- Anderson C. et William G.A., 2018. Accounting for missing data in monthly temperature series: Testing rule-of-thumb omission of months with missing values. *International Journal of Climatology*, 38:4990-5002. <https://doi.org/10.1002/joc.5801>
- Canadian Standards Association (CSA), 2010. Draft Standard Plus 4013 Technical Guide Development, interpretation and use of rainfall intensity-duration-frequency (IDF) information: Guideline for Canadian water resources practitioners.
- Canadian Standards Association (CSA), 2019. Draft Standard Plus 4013:19. Technical Guide Development, interpretation and use of rainfall intensity-duration-frequency (IDF) information: Guideline for Canadian water resources practitioners.
- Charron, I. 2016. Guide sur les scénarios climatiques : Utilisation de l'information climatique pour guider la recherche et la prise de décision en matière d'adaptation. Édition 2016. Ouranos, 94 p. Disponible à l'adresse : [https://www.ouranos.ca/wp-content/uploads/GuideScenarios2017\\_FR.pdf](https://www.ouranos.ca/wp-content/uploads/GuideScenarios2017_FR.pdf)
- Chen, J., Brissette, F. P. et R. Leconte, 2011. Uncertainty of downscaling method in quantifying the impact of climate change on hydrology. *Journal of Hydrology*, 401: 190-202.
- Environnement et Changement Climatique Canada (ECCC), 2017. Normales climatiques canadiennes de 1981 à 2010. Disponible à l'adresse : [https://climat.meteo.gc.ca/climate\\_normals/index\\_f.html](https://climat.meteo.gc.ca/climate_normals/index_f.html)
- Environment Canada (EC), 1983. Water Balance Tabulations for Canadian Climate Stations. K. Johnstone and P.Y.T. Louie, Hydrometeorology Division, Canadian Climate Centre, Atmospheric Environment Services. DS#8-83.
- Environment Canada (EC), 1990. Rainfall Intensity-Duration-Frequency Values Quaqtaq, Quebec, 7116270. Expert Team on Climate Change Detection and Indices (ETCCDI). 2017. Climate Indices. Expert Team on Climate Change Detection and Indices (ETCCDI). Disponible à l'adresse : <http://etccdi.pacificclimate.org/software.shtml>. Consulté en avril 2017.
- Expert Team on Climate Change Detection and Indices (ETCCDI), 2017. Climate Indices. Expert Team on Climate Change Detection and Indices (ETCCDI). Disponible à l'adresse : <http://etccdi.pacificclimate.org/software.shtml>. Consulté en 2018.
- Gouvernement du Canada, 2019. Pergélisol. Disponible à l'adresse : <https://ouvert.canada.ca/data/fr/dataset/dc7107c0-8893-11e0-aa10-6cf049291510>. Consulté en janvier 2019.
- Groupe d'experts intergouvernementaux sur l'évolution du climat (GIEC), 2007. Changements climatiques 2007: rapport de synthèse. Contribution des groupes de travail I, II et III au quatrième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts sur l'évolution du climat [Équipe de rédaction principale, Pachauri, R.K et Reisinger, A.]. GIEC, Genève, Suisse, 103 p. Récupéré à l'adresse : [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ar4\\_syr\\_fr.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ar4_syr_fr.pdf)
- Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), 2013. Changements climatiques 2013: Les éléments scientifiques, Contribution du Groupe de travail I au cinquième rapport d'évaluation du groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. Récupéré en 2018 à l'adresse : [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/WG1AR5\\_SummaryVolume\\_FINAL\\_FRENCH.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/WG1AR5_SummaryVolume_FINAL_FRENCH.pdf)

- Li C., Zwiers F., Zhang X. et Li G., 2019. How much information is needed to constrain local estimates of future precipitation extremes? *Earth's Future*, 7, 11-24. <https://doi.org/10.1029/2018EF001001>.
- Luo M., Liu T., Meng F., Duan Y., Frankl A., Bao A., et De Maeyer P., 2018. Comparing Bias Correction Methods used in Downscaling Precipitation and Temperature from Regional Climate Models: A Case Study from the Kaidu River Basin in Western China. *Water*, 2018, 10(1046). <https://doi.org/10.3390/w10081046>
- Metro Vancouver, 2018. Study of the Impacts of Climate Change on Precipitation and Stormwater Management. Reference No. 11140666.
- National Center for Atmospheric Research (NCAR). 2019. What is downscaling? NCAR's GIS Program Climate Change Scenarios GIS data portal. Disponible (en anglais) à l'adresse : <https://ral.ucar.edu/nsap/climate-modeling-and-downscaling>. Accès en date de janvier 2019.
- National Centers for Environmental Information (NOAA), 2019. Reanalysis. Disponible (en anglais) à l'adresse : <https://www.ncdc.noaa.gov/data-access/model-data/model-datasets/reanalysis>. Accès en date de janvier 2019.
- Princeton University, 2019. Climate Model Downscaling. Geophysical Fluid Dynamics Laboratory. Disponible : <https://www.gfdl.noaa.gov/climate-model-downscaling/>. Accès en date de janvier 2019.
- Thibault, S. et Payette, S., 2009. Recent permafrost degradation in bogs of the James Bay area, northern Quebec, Canada. *Permafrost and Glacial Processes*, 20(4):383-389. DOI: 10.1002/ppp.660.
- University Corporation for Atmospheric Research (UCAR), 2019. Atmospheric Reanalysis: Overview & Comparison Tables. Disponible : <https://climatedataguide.ucar.edu/climate-data/atmospheric-reanalysis-overview-comparison-tables>. Accès en date de janvier 2019.
- World Meteorological Organization (WMO), (1989) Calculation of monthly and annual 30-year standard normals. Washington, DC: World Meteorological Organization. Technical report: WMO-TD No. 341, WCDP-10.
- World Meteorological Organization (WMO), 2008. Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observations (mise à jour en 2010). WMO-No. 8.
- World Meteorological Organization (WMO), 2009. Guidelines on Analysis of Extremes in a Changing Climate in Support of Informed Decisions for Adaptation. World Meteorological Organization (WMO). Climate Data and Monitoring WCDMP-No. 72.
- Zhang Y, Chen W, Riseborough DW., 2008. Transient projections of permafrost distribution in Canada during the 21<sup>st</sup> century under scenarios of climate change. *Global and Planetary Change*, 60:443-456. DOI: 0.1016/j.gloplacha.2007.05.003.

## Annexe C : Sources de données sur les changements climatiques

### Acronymes

Acronyme	Définition
ADAS	<i>Atmospheric Data Assimilation System</i> (Système d'assimilation de données atmosphériques)
AR (RE)	<i>Assessment Report</i> (Rapport d'évaluation) Publié par le GIEC, composé d'une évaluation scientifique et technique complète des changements climatiques
AR4 (RE4)	Quatrième rapport d'évaluation publié par le GIEC
AR5	Cinquième rapport (actuel) publié par le GIEC
BCSD	<i>Bias Correction Spatial Disaggregation</i> (Correction des biais de désagrégation spatiale)
BCCAQ	<i>Bias Correction/Constructed Analogues with Quantile mapping reordering</i> (Correction des biais/analogues construits avec réorganisation de la cartographie des quantiles)
CCSC	Centre canadien des services climatiques
CCDP	<i>Canada Climate Change Data Portal</i> (portail de données sur les changements climatiques au Canada)
CMIP3	<i>Coupled Model Intercomparison Project Phase 3</i> (Projet d'intercomparaison des modèles couplés – Phase 3)
CMIP5	<i>Coupled Model Intercomparison Project Phase 5</i> (Projet d'intercomparaison des modèles couplés – Phase 5)
CORDEX	<i>Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment</i> (Expérimentation régionale coordonnée de mise à l'échelle du climat)
CRIM	Centre de recherche informatique de Montréal
ECCC	Environnement et Changement climatique Canada
ETCCDI	Équipe d'experts sur la détection et les indices du changement climatique
MCM	Modèles climatiques mondiaux
GHCN	<i>Global Historical Climatology Network</i> (Réseau mondial historique de climatologie)
GEOS-5	<i>Goddard Earth Observing System Model Version 5</i> (Système d'observation de la Terre Goddard, 5 <sup>e</sup> version)
HadGEM2-ES	<i>Hadley Global Environment Model 2 Earth System</i>
Courbes IDF	Courbes d'intensité-durée-fréquence
GIECC	Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat
NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration</i>
NEX-GDDP	<i>NASA Earth Exchange Global Daily Downscaled Projections</i> (Projections quotidiennes mondiales à échelle réduite de NASA Earth Exchange)
RNCAN	Ressources naturelles Canada

Acronyme	Définition
OCDP	<i>Ontario Climate Data Portal</i> (portail de données sur les changements climatiques de l'Ontario)
PCC	<i>Prairie Climate Centre</i> (Centre climatique des prairies)
PCIC	<i>Pacific Climate Impacts Consortium</i> (consortium sur les impacts climatique du pacifique)
RCM	Modèle régional du climat (Regional Climate Model)
RCP	Trajectoire de concentrations représentatives
SNAP	<i>Scenarios Network for Alaska and Arctic Planning</i>
SSHRC	Conseil de recherche en sciences humaines (CRSH)
WCRP	<i>World Climate Research Program</i> (programme mondial de recherche sur le climat)

### Sources de données actuelles et historiques

Pour établir une référence climatique, il faut obtenir des observations météorologiques quotidiennes continues et à long terme de stations climatiques sur le site ou dans la même région que la mine. Les tableaux 1 et 2 présentent une liste des sources de données climatiques observées accessibles au public, en mettant l'accent sur les ressources fédérales, provinciales et territoriales propres au Canada. Les sources de données fournies sont les plus pertinentes et peuvent ne pas représenter toutes les sources disponibles. En plus des sources de données climatiques observées, deux sources de données régionales grillées de réanalyse ont également été incluses. Les données de réanalyse assimilent un grand nombre d'observations provenant de sources multiples pour produire une image à long terme du climat dans une zone donnée. Ces données peuvent être utilisées si une station météorologique choisie ne répond pas aux critères de complétion des données décrits plus en détail à l'[annexe B](#).

Comme indiqué à l'[annexe B](#), lors de la sélection d'une source de données pour les données climatiques observées, les facteurs suivants doivent être pris en compte pour s'assurer d'utiliser les observations les plus appropriées :

- disponibilité des observations (durée de l'enregistrement, un minimum de 20 ans est suggéré mais une période de 30 ans est préférable si possible);
- disponibilité d'un dossier continu;
- zone géographique disponibles;
- résolution temporelle (p. ex., quotidienne, mensuelle, annuelle);
- variables disponibles (p. ex., température, précipitations).

Il est important de noter que la disponibilité des observations peut varier considérablement entre les stations météorologiques au sein d'une source spécifique de données, et que d'autres critères de sélection doivent être pris en compte lors de la sélection des stations météorologiques et sont fournis à l'[annexe B](#).

De plus, le tableau 3 fournit une liste de sources de données observées pour les données sur le pergélisol en Amérique du Nord. Ces informations sont importantes à prendre en compte si une mine est située dans des régions à pergélisol, particulièrement si l'intégrité structurelle de l'infrastructure dépend du pergélisol.

Tableau 1 : Sources canadiennes et internationales de données climatiques observées

Détails	Archives nationales des données et informations climatiques (Gouvernement du Canada)	Ensemble de données climatiques canadiennes ajustées et homogénéisées (DCCAHA)	<a href="https://donneesclimatiques.ca/">https://donneesclimatiques.ca/</a>	National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)	Ensemble de données climatiques en génie (Gouvernement du Canada)
<b>Description</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Fournit des données climatiques historiques provenant de stations météorologiques actuelles et passées dans tout le Canada.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Les données climatiques canadiennes ajustées et homogénéisées (DCCAHA) sont des ensembles de données de stations climatiques qui intègrent des ajustements (dérivés de procédures statistiques) aux données historiques originales des stations pour tenir compte des discontinuités dues à des facteurs non climatiques, tels que des changements d'instruments ou la relocalisation de stations.</li> <li>Les DCCAHA ont été développées afin d'être utilisées en recherche climatique, incluant les études sur les changements climatiques.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Portail de données en ligne donnant accès aux données météorologiques quotidiennes et aux normales climatiques de ECCC.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Fournit des données climatiques historiques accessibles au public par le biais du réseau mondial de climatologie historique (<i>Global Historical Climatology Network (GHCN)</i>) – Base de données journalière des stations météorologiques.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Fournit des ensembles de données d'ingénierie historiques sur le climat provenant de stations météorologiques actuelles et passées à travers le Canada.</li> </ul>
<b>Variables</b>	<p>Horaire :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Température (°C)</li> <li>Température du point de rosée (°C)</li> <li>Humidité relative (%)</li> <li>Direction du vent (dizaine de degrés)</li> <li>Vitesse du vent (km/h)</li> <li>Visibilité (km)</li> <li>Pression à la station (kPa)</li> <li>Humidex</li> <li>Refroidissement éolien</li> </ul> <p>Quotidienne/Mensuelle :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Température max. (°C)</li> <li>Température min. (°C)</li> <li>Température moyenne (°C)</li> <li>Degrés-jours de chaleur</li> <li>Degrés-jours de refroidissement</li> <li>Pluie totale (mm)</li> <li>Neige totale (cm)</li> <li>Précipitations totales (mm)</li> <li>Neige au sol (cm)</li> <li>Direction des rafales maximales (dizaine de degrés)</li> <li>Vitesse des rafales maximales (km/h)</li> </ul>	<p>Journalière :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Température minimale, maximale et moyenne de l'air à la surface (°C)</li> <li>Chute de pluie, de neige et précipitation totale (mm)</li> </ul> <p>Tendances mensuelles/saisonniers/annuelles :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Température minimale, maximale et moyenne de l'air (°C)</li> <li>Chute de pluie, de neige, et précipitation totale (mm)</li> <li>Pression du niveau de la mer (hPa),</li> <li>Vitesse du vent de surface (m/s)</li> </ul>	<p>Horaire :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Température (°C)</li> <li>Température du point de rosée (°C)</li> <li>Humidité relative (%)</li> <li>Direction du vent (dizaine de degrés)</li> <li>Vitesse du vent (km/h)</li> <li>Visibilité (km)</li> <li>Pression à la station (kPa)</li> <li>Humidex</li> <li>Refroidissement éolien</li> </ul> <p>Quotidienne/Mensuelle :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Température max. (°C)</li> <li>Température min. (°C)</li> <li>Température moyenne (°C)</li> <li>Degrés-jours de chaleur</li> <li>Degrés-jours de refroidissement</li> <li>Pluie totale (mm)</li> <li>Neige totale (cm)</li> <li>Précipitations totales (mm)</li> <li>Neige au sol (cm)</li> <li>Direction des rafales maximales (dizaine de degrés)</li> <li>Vitesse des rafales maximales (km/h)</li> </ul>	<p>Plus de 40 éléments météorologiques disponibles, incluant :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Température minimale (°F ou °C)</li> <li>Température moyenne (°F ou °C)</li> <li>Température maximale (°F ou °C)</li> <li>Précipitation (mm ou pouces)</li> <li>Chute de neige (mm ou pouces)</li> <li>Évaporation (mm ou pouces)</li> <li>Vitesse du vent (m/s ou mille/heure)</li> <li>Courbes IDF</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Courbes IDF (mises à jour à tous les 2 ans selon la disponibilité des données)</li> <li>Fichiers météorologiques canadiens pour l'énergie et le génie (FMCEG)</li> <li>Fichiers météorologiques canadiens pour le calcul énergétique (FMCE)</li> </ul>

Détails	Archives nationales des données et informations climatiques (Gouvernement du Canada)	Ensemble de données climatiques canadiennes ajustées et homogénéisées (DCCA)	<a href="https://donneesclimatiques.ca/">https://donneesclimatiques.ca/</a>	National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)	Ensemble de données climatiques en génie (Gouvernement du Canada)
<b>Variables (suite)</b>	Les normales comprennent 19 variables disponibles dont : <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Température moyenne quotidienne (°C)</li> <li>■ Température maximale quotidienne (°C)</li> <li>■ Température minimale quotidienne (°C)</li> <li>■ Précipitations (mm)</li> </ul>		Les normales comprennent 19 variables disponibles dont : <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Température moyenne quotidienne (°C)</li> <li>■ Température maximale quotidienne (°C)</li> <li>■ Température minimale quotidienne (°C)</li> <li>■ Précipitations (mm)</li> </ul> Les courbes IDF sont également fournies par le Service météorologique du Canada (SMC) d'ECCC.		
<b>Zone géographique</b>	Canada	Canada	Canada	Global (priorité sur les É-U)	Canada
<b>Période de temps<sup>1</sup></b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Recherche possible de 1840 – temps présent</li> <li>■ Normales climatiques disponibles entre 1981 et 2010</li> </ul>	1840 – temps présent	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 1840 – temps présent</li> <li>■ Normales climatiques de 1980 à 2010 (SMC)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Sommaires quotidiens disponibles de 1900 à ce jour</li> <li>■ Normales climatiques disponibles de 1981 à 2010.</li> </ul>	Variations parmi les variables
<b>Résolution temporelle</b>	Normales horaires, quotidiennes et mensuelles (moyennes sur 30 ans)	Quotidiennes, mensuelles et saisonnières	Normales quotidiennes, horaires et mensuelles (moyennes sur 30 ans)	Normales horaire, quotidiennes, mensuelles, saisonnières, annuels	Non applicable
<b>Résolution spatiale</b>	Non applicable – station de surveillance des données	Non applicable – station de surveillance des données	Non, les stations de données sont des localisations précises	Non applicable – station de surveillance des données	Non applicable
<b>Format de données</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ CSV</li> <li>■ XML</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ CSV</li> <li>■ GeoJSON</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ CSV</li> <li>■ JSON</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Carte interactive</li> <li>■ CSV</li> <li>■ Note : données pourraient ne pas être dans un format standard</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ PDF</li> <li>■ Document texte</li> <li>■ PNG</li> </ul>
<b>Développé par</b>	Gouvernement du Canada	ECCC	Collaboration entre : <ul style="list-style-type: none"> <li>■ ECCC</li> <li>■ Centre de recherche informatique de Montréal (CRIM)</li> <li>■ Ouranos</li> <li>■ Pacific Climate Impacts Consortium (PCIC)</li> <li>■ Prairie Climate Centre (PCC)</li> <li>■ HabitatSeven</li> </ul>	<i>Department of Commerce</i> , Gouvernement des États-Unis d'Amérique	Gouvernement du Canada
<b>Lien</b>	<a href="https://climat.meteo.gc.ca/historical_data/search_historic_data_f.html">https://climat.meteo.gc.ca/historical_data/search_historic_data_f.html</a>	<a href="https://scenarios-climatiques.canada.ca/index.php?page=homogenized-data">https://scenarios-climatiques.canada.ca/index.php?page=homogenized-data</a>	<a href="https://donneesclimatiques.ca/">https://donneesclimatiques.ca/</a>	<a href="https://www.ncdc.noaa.gov/cdo-web/datasets">https://www.ncdc.noaa.gov/cdo-web/datasets</a>	<a href="https://climat.meteo.gc.ca/prods_servs/engineering_f.html">https://climat.meteo.gc.ca/prods_servs/engineering_f.html</a>

1 La disponibilité des observations peut varier considérablement selon les stations météorologiques.

Tableau 2 : Sources des données de réanalyse

Détails	North American Regional Reanalysis (NARR)	Modern-Era Retrospective Analysis for Research and Applications, Version 2 (MERRA-2)
<b>Description</b>	Fournit des données de réanalyse régionales, sous forme de grilles, pour l'Amérique du Nord.	Une base de données « maillées » de réanalyse atmosphérique de la NASA qui utilise le modèle <i>Goddard Earth Observing System Version 5</i> (GEOS-5) avec son système d'assimilation des données atmosphériques (ADAS), version 5.12.4.
<b>Variables</b>	La liste des variables disponibles comprend : <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Température (K)</li> <li>■ Humidité spécifique (kg/kg)</li> <li>■ Vent (m/s)</li> <li>■ Précipitations totales (kg/m<sup>2</sup>)</li> </ul>	La liste des variables disponibles comprend : <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Température (°C)</li> <li>■ Précipitation (mm)</li> <li>■ Vitesse du vent (m/s)</li> <li>■ Couvert de neige (à la fois l'entreposage de neige sur le terrain (kg/m<sup>2</sup>) et la surface fractionnaire du terrain)</li> <li>■ Profondeur de la neige (m)</li> </ul>
<b>Zone géographique</b>	Amérique du Nord	Mondiale
<b>Période de temps<sup>1</sup></b>	1979 à aujourd'hui	1980 à aujourd'hui
<b>Résolution temporelle</b>	Subjournalier, Quotidien	Subjournalier, Quotidien
<b>Résolution spatiale</b>	~32 km	50 km
<b>Format de données</b>	NetCDF	NetCDF
<b>Développé par</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ National Oceanic and Atmospheric Administration</li> <li>■ Department of Commerce, Gouvernement des États-Unis d'Amérique</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ National Aeronautics and Space Administration (NASA)</li> <li>■ Global Modeling and Assimilation Office</li> </ul>
<b>Lien</b>	<a href="https://www.ncdc.noaa.gov/data-access/model-data/model-datasets/north-american-regional-reanalysis-narr">https://www.ncdc.noaa.gov/data-access/model-data/model-datasets/north-american-regional-reanalysis-narr</a>	<a href="https://gmao.gsfc.nasa.gov/reanalysis/MERRA-2/">https://gmao.gsfc.nasa.gov/reanalysis/MERRA-2/</a>

<sup>1</sup> La disponibilité des observations peut varier considérablement selon les stations météorologiques.

Tableau 3 : Sources de données climatiques provinciales/territoriales

Détails	Portail de données de la station BC (Colombie-Britannique) (Pacific Climate Impacts Consortium)	Visualisation des données actuelles et historiques des stations météorologiques de l'Alberta	Recherche de courbes IDF (Ministère des transports de l'Ontario)
<b>Description</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Le portail fournit des données brutes depuis une variété de sources de données actuelles et historiques.</li> <li>■ Les sources comprennent : <ul style="list-style-type: none"> <li>● Ministères de l'environnement et des parcs, de l'agriculture et de la foresterie, des Transports et de l'Infrastructure de la Colombie-Britannique</li> <li>● BC Hydro</li> <li>● ECCC</li> </ul> </li> </ul>	Les données actuelles et historiques sont fournies par le ministère de l'agriculture et de la foresterie et le ministère de l'environnement et des parcs de l'Alberta.	L'outil de consultation des courbes IDF est une application web permettant de récupérer les courbes IDF.
<b>Variables</b>	<p>La liste des variables disponibles comprend :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Température minimale (°C)</li> <li>■ Température moyenne (°C)</li> <li>■ Température maximale (°C)</li> <li>■ Précipitations (mm)</li> <li>■ Vitesse moyenne du vent</li> </ul>	<p>La liste des variables disponibles comprend :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Précipitations (mm)</li> <li>■ Précipitations accumulées (mm)</li> <li>■ Température (°C)</li> <li>■ Température minimale (°C)</li> <li>■ Température maximale (°C)</li> <li>■ Humidité relative à 2m (%) (Horaire seulement)</li> <li>■ Vitesse du vent à 2 et 10m (km/h, degrés)</li> <li>■ Direction du vent à 2m (degrés)</li> <li>■ Vitesse du vent à 10m (km/h)</li> <li>■ Degrés-jours de croissance du maïs</li> <li>■ Degrés-jours de croissance des pommes de terre</li> <li>■ Degrés-jours de croissance (5 °C)</li> <li>■ Évapotranspiration de référence (mm)</li> <li>■ Probabilité de gel 0 °C (%)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Courbes IDF</li> <li>■ Intensité des précipitations (mm/heure)</li> <li>■ Hauteur de pluie (mm)</li> </ul>
<b>Zone géographique</b>	Colombie-Britannique	Alberta	Ontario
<b>Période de temps<sup>1</sup></b>	Sommaires journaliers disponibles de 1870 à aujourd'hui	Recherche permise de 2004 à aujourd'hui	Variations selon l'endroit

Détails	Portail de données de la station BC (Colombie-Britannique) (Pacific Climate Impacts Consortium)	Visualisation des données actuelles et historiques des stations météorologiques de l'Alberta	Recherche de courbes IDF (Ministère des transports de l'Ontario)
<b>Résolution temporelle</b>	Horaire, quotidienne, semi-quotidienne	Horaire (à partir de 2008), quotidienne, mensuelle, annuelle	Durées de 2, 5, 10, 25, 50 et 100 ans pour 5, 10, 15 et 30 min et 1, 2, 6, 12 et 24 h
<b>Résolution spatiale</b>	Non applicable	Non applicable	30 secondes d'arc
<b>Format de données</b>	Carte interactive NetCDF, CSV/ASCII, MS Excel 2010	CSV	Les données ne peuvent être téléchargées, seulement affichées sur la page web
<b>Développé par</b>	Pacific Climate Impacts Consortium (PCIC)	Alberta Climate Information Service (ACIS)	Ministère des transports de l'Ontario, 2016
<b>Lien</b>	<a href="https://data.pacificclimate.org/portal/pcds/map/">https://data.pacificclimate.org/portal/pcds/map/</a>	<a href="https://agriculture.alberta.ca/acis/alberta-weather-data-viewer.jsp">https://agriculture.alberta.ca/acis/alberta-weather-data-viewer.jsp</a>	<a href="http://www.mto.gov.on.ca/IDF_Curves/terms.shtml">http://www.mto.gov.on.ca/IDF_Curves/terms.shtml</a>

1 La disponibilité des observations peut varier considérablement entre les stations météorologiques.

Note : Les ensembles de données fournis par les autres provinces et territoires s'appuient sur ECCC.

Tableau 4 : Sources de données observées pour le pergélisol

Détails	Arctic Portal	Nunavut Permafrost Databank	National Snow and Ice Data Centre (NSIDC)	Scenarios Network for Alaska and Arctic Planning (SNAP) Data
<b>Description</b>	Couvre un large éventail de conditions environnementales, y compris la surveillance du pergélisol observé dans les régions arctiques et subarctiques.	Contient des informations sur le pergélisol pour le Nunavut, présentant les recherches qui ont été menées dans des zones spécifiques du territoire.	Le centre fournit des données pour de nombreuses régions, incluant des variables spécifiques à la cryosphère.	Le portail de données comprend des ensembles de données sur la profondeur du pergélisol et l'épaisseur de la couche active dans le cadre du projet Alaska LandCarbon.
<b>Variables</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Étendue du pergélisol</li> <li>■ Classification du pergélisol (continu, discontinu)</li> <li>■ Étendue de la glace de mer</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Température</li> <li>■ Profondeur du pergélisol</li> </ul>	Plusieurs variables disponibles selon la région, incluant : <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Épaisseur du pergélisol</li> <li>■ Couche active</li> <li>■ Température de l'air</li> <li>■ Profondeur de la neige</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Épaisseur du pergélisol</li> <li>■ Épaisseur de la couche active</li> </ul>
<b>Zone géographique</b>	Mondiale	Nunavut, Canada	Amérique du Nord	Alaska
<b>Période</b>	Variations selon les recherches	Variations selon les recherches	1 <sup>er</sup> janvier 1965 au 31 décembre 1997	Variations selon les recherches
<b>Résolution temporelle</b>	Variations selon les recherches	Variations selon les recherches	Non spécifié	Variations selon les recherches
<b>Format de données</b>	Cartes interactives, Shapefile, KML	Carte interactive	Texte ASCII	IMG
<b>Développé par</b>	International Permafrost Association	Nunavut Climate Change Centre	National Snow and Ice Data Centre	Scenarios Network for Alaska and Arctic Planning
<b>Lien</b>	<a href="https://gtnp.arcticportal.org/">https://gtnp.arcticportal.org/</a>	<a href="http://climatechange.nunavut.ca/en/climate-change/nunavut-permafrost-databank">http://climatechange.nunavut.ca/en/climate-change/nunavut-permafrost-databank</a>	<a href="https://nsidc.org/data/search/#keywords=permafrost/sortKeys=score,,desc/facetFilters=%257B%257D/pageNumber=1/itemsPerPage=25">https://nsidc.org/data/search/#keywords=permafrost/sortKeys=score,,desc/facetFilters=%257B%257D/pageNumber=1/itemsPerPage=25</a> <a href="https://nsidc.org/data/GGD503/versions/1">https://nsidc.org/data/GGD503/versions/1</a>	<a href="http://ckan.snap.uaf.edu/dataset/depth-to-permafrost-alaska-landcarbon-project">http://ckan.snap.uaf.edu/dataset/depth-to-permafrost-alaska-landcarbon-project</a> <a href="http://ckan.snap.uaf.edu/dataset/active-layer-thickness-alaska-landcarbon-project">http://ckan.snap.uaf.edu/dataset/active-layer-thickness-alaska-landcarbon-project</a>

## Sources de données du climat futur

Les projections du climat futur sont importantes pour comprendre de quelle façon le climat est censé changer par rapport au climat de référence. Les tableaux 6 à 10 énumèrent les sources de données sur les changements climatiques futurs pour le Canada aux niveaux national et provincial, ainsi que des exemples internationaux. Comme pour les sources de données actuelles et historiques, la sélection des sources de données sur le climat futur doit tenir compte des critères énumérés au tableau 5.

**Tableau 5 : Considérations pour la sélection des sources de données du climat futur**

Considerations	Description
<b>Science climatique</b>	Les sources de données doivent utiliser la science climatique la plus récente. Par exemple, le rapport d'évaluation 5 du GIEC est la synthèse la plus récente des informations et des projections sur les changements climatiques au moment d'aller sous presse.
<b>Nombre de modèles</b>	L'utilisation d'un ensemble multi-modèle pour éviter les biais dans les modèles individuels (IPCC, 2013; Charron, 2016).
<b>Résolution spatiale</b>	Une résolution plus fine peut permettre une meilleure capture du terrain, mais la réduction d'échelle pourrait ne pas apporter d'informations supplémentaires (Charron, 2016). L'inclusion de jeux de données de réduction d'échelle ajoute une autre couche d'incertitude associée à la méthode de réduction d'échelle utilisée.
<b>Scénarios d'émission</b>	Les données devraient être disponibles pour un certain nombre de scénarios d'émissions tels que RCP2,6, 4,5, 6,0, ou 8,5 selon le RE5 du GIEC.
<b>Période de temps</b>	Les données disponibles doivent couvrir les périodes appropriées, en fonction de la durée de vie d'une mine, de la durée d'exploitation de la mine jusqu'à sa post-fermeture. Les périodes futures doivent correspondre à la durée de la période de référence climatique (Charron, 2016).
<b>Format de données</b>	Tous les formats de données ne sont pas facilement accessibles pour un traitement direct et nécessitent un certain post-traitement pour extraire l'information d'intérêt (p. ex., les fichiers NetCDF nécessitent un ensemble de bibliothèques logicielles pour accéder aux données).

Tel qu'indiqué à l'[annexe B](#), le GIEC est généralement considéré à titre de référence définitive d'informations relatives aux changements climatiques passés et futurs ainsi qu'à la science du climat. Le GIEC fournit une source commune d'informations relatives aux scénarios d'émissions, à l'évaluation et à l'attribution des changements climatiques observés et projetés et recommande des approches pour documenter les projections climatiques futures. Le GIEC publie des rapports d'évaluation qui résument l'état le plus récent de la science du climat. Le cinquième rapport d'évaluation (AR5) a été publié en 2013 et constitue la synthèse complète la plus récente des informations relatives au changement climatique. Il est donc recommandé que les sources de données utilisent les projections de l'AR5.

Lors du choix d'une source de données sur le climat futur, il est important de tenir compte du nombre de modèles utilisés, du nombre de scénarios d'émissions disponibles et de la couverture géographique. Tous les modèles climatiques sont basés sur les mêmes principes physiques et chacun simule une réponse plausible au changement imposé du forçage radiatif. Étant donné l'incertitude quant à l'évolution des émissions futures, il est nécessaire d'envisager un certain nombre d'options qui nous renseignent sur la

gamme possible du climat futur. En raison de ces incertitudes, le GIEC recommande que les évaluations des changements climatiques utilisent autant de modèles que possible, ou un ensemble multi-modèles. Pour cette raison, l'approche de l'ensemble multi-modèles devrait être utilisée pour délimiter la gamme probable des résultats et mieux saisir le résultat réel (inconnu inhérent).

Par exemple, le Centre canadien des services climatologiques a utilisé des données préparées par le *Pacific Climate Impacts Consortium* (PCIC) afin de permettre aux décideurs d'accéder à des scénarios climatiques statistiquement réduits à l'échelle du Canada. Les résultats à échelle réduite, pour les projections climatiques futures, sont basées sur les projections des modèles climatiques globaux (MCG) de la phase 5 du *Coupled Model Intercomparison Project* (CMIP5) pour un ensemble multi-modèles de 24 MCG. Ils fournissent des variables climatiques (température minimale et maximale, et précipitations) pour une période simulée entre 1950 et 2100 pour les RCP2,6, 4,5 et 8,5.

Il est important de noter que les sources de données énumérées ci-dessous ont des niveaux de révision variables selon qu'elles sont fournies par des chercheurs indépendants ou des organismes réglementés. Le champion de l'environnement ou l'expert en météorologie/climat devrait être impliqué pour aider à compléter la sélection des sources de données.

**Tableau 6 : Sources de données canadiennes sur les changements climatiques futurs – nationales**

Détails	Données et scénarios climatiques canadiens (DSCC)	donneesclimatiques.ca	Pacific Climate Impacts Consortium (PCIC)
<b>Description<sup>1</sup></b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Une interface fournie par le gouvernement du Canada offrant une gamme de produits qui comprend des scénarios d'ensemble multi-modèles basés sur 29 modèles climatiques globaux CMIP5, des scénarios à échelle statistiquement réduite et basés sur 24 modèles, et des ensembles de données dérivés.</li> <li>■ La réduction d'échelle statistique est basée sur la correction de biais/analogues construits avec la version 2 de la cartographie quantile (BCCAQv2).</li> <li>■ Une gamme de percentiles est disponible pour les ensembles multi-modèles proposés sur le site, notamment les 25<sup>e</sup>, 50<sup>e</sup> et 75<sup>e</sup> percentiles.</li> <li>■ Possible d'y accéder par le biais du Centre canadien des services climatologiques (CCSC).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Portail de données en ligne qui fournit des outils interactifs de visualisation et d'extraction de données et des ensembles de données provenant d'ANUSPLIN et de BCCAQv2. ANUSPLIN est un jeu de données d'observation quadrillé produit par Ressources naturelles Canada.</li> <li>■ La méthode BCCAQv2 est développée par le PCIC pour la réduction d'échelle des projections quotidiennes de température et de précipitation des modèles climatiques.</li> <li>■ Les résultats proviennent d'un ensemble de 24 modèles climatiques et comprennent les indices extrêmes, les 10<sup>e</sup> et 90<sup>e</sup> percentiles et le 50<sup>e</sup> percentile des moyennes sur 30 ans pour chaque variable.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Fournit des scénarios climatiques à échelle réduite pour l'ensemble du Canada.</li> <li>■ Deux méthodes de réduction d'échelle sont utilisées : <ul style="list-style-type: none"> <li>● Désagrégation spatiale pour la correction des biais</li> <li>● Correction des biais/analogues construits avec réorganisation de la cartographie quantile</li> </ul> </li> <li>■ Les sorties à échelle réduite sont basées sur les projections des MCG de CMIP5 et les données climatiques historiques maillées pour un maximum de 27 MCG.</li> <li>■ Un sous-ensemble est fourni et celui-ci capture 90 % de la gamme des variables de température et de précipitation projetées, composé de 12 MCG.</li> </ul>

<sup>1</sup> Chacun des trois sources de données sur les changements climatiques futurs au Canada comprennent les résultats de la méthode de réduction d'échelle BCCAQv2.

Détails	Données et scénarios climatiques canadiens (DSCC)	donneesclimatiques.ca	Pacific Climate Impacts Consortium (PCIC)
<b>Variabes</b>	<p>Données MCG :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Température (°C)</li> <li>■ Précipitations totales (%)</li> <li>■ Profondeur de la neige (%)</li> <li>■ Épaisseur de la glace de mer (%)</li> <li>■ Concentration de la glace de mer (%)</li> <li>■ Vitesse du vent près de la surface (%)</li> </ul> <p>Données réduites :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Température moyenne (°C)</li> <li>■ Température quotidienne minimale (°C)</li> <li>■ Température quotidienne maximale (°C)</li> <li>■ Précipitations totales (%)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Journée la plus chaude (température maximale la plus haute) (°C)</li> <li>■ Journée la plus froide (température minimale la plus basse) (°C)</li> <li>■ Jours de gel</li> <li>■ Température moyenne (°C)</li> <li>■ Température minimale (°C)</li> <li>■ Température maximale (°C)</li> <li>■ Degrés-jours de refroidissement</li> <li>■ Jours avec température minimale &lt; -15 °C et &lt; -25 °C</li> <li>■ Jours avec température maximale &gt;25 °C, &gt;27 °C, &gt;29 °C, &gt;30 °C, &gt;32 °C</li> <li>■ Degrés-jours de croissance (10 °C, 5 °C, 0 °C)</li> <li>■ Degrés-jours de chauffage</li> <li>■ Jours sans dégel</li> <li>■ Précipitations maximales sur 1 jour</li> <li>■ Jours de pluie (&gt;1 mm, &gt;10 mm, &gt;20 mm)</li> <li>■ Précipitation totale (mm)</li> <li>■ Nuits tropicales (jours avec température minimale &gt;18 °C, &gt;20 °C, &gt;22 °C)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Température minimale (°C)</li> <li>■ Température maximale (°C)</li> <li>■ Précipitations (mm/jour)</li> <li>■ Vent (disponible pour PBCmet 2010 et PNWNAm 2015 seulement)</li> </ul>
<b>Zone géographique</b>	Global	Canada	Canada
<b>Période</b>	<p>Période de référence : 1986-2005</p> <p>Période(s) future(s) :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 2021-2040</li> <li>■ 2041-2060</li> <li>■ 2061-2080</li> <li>■ 2081-2100</li> </ul>	1950-2100	<p>Période de référence quotidienne avec maillage : 1950-2013</p> <p>MCG réduites statistiquement : 1950-2100</p>
<b>Résolution temporelle</b>	Quotidienne (réduite), saisonnière, annuelle	Quotidienne, annuelle	Quotidienne

Détails	Données et scénarios climatiques canadiens (DSCC)	donneesclimatiques.ca	Pacific Climate Impacts Consortium (PCIC)
Résolution spatiale	Résolution 10 km	Résolution 10 km (300 secondes d'arc)	Résolution 10 km (300 secondes d'arc)
Scénarios d'émission	RCP2,6, 4,5, 8,5	RCP2,6, 4,5, 8,5	RCP2,6, 4,5, 8,5
Format de données	Carte interactive GeoTIFF ou NetCDF	CSV ou JSON	Carte interactive NetCDF, ASCII, Arc/Info ASCII Grid
Développé par	Gouvernement du Canada, 2018	Collaboration entre : <ul style="list-style-type: none"> <li>■ ECCC</li> <li>■ Centre de recherche informatique de Montréal (CRIM)</li> <li>■ Ouranos</li> <li>■ Pacific Climate Impacts Consortium (PCIC)</li> <li>■ Prairie Climate Centre (PCC)</li> <li>■ HabitatSeven</li> </ul>	University of Victoria
Lien	<a href="https://scenarios-climatiques.canada.ca/index.php?page=main">https://scenarios-climatiques.canada.ca/index.php?page=main</a>	<a href="https://donneesclimatiques.ca/">https://donneesclimatiques.ca/</a>	<a href="https://www.pacificclimate.org/data">https://www.pacificclimate.org/data</a>

Tableau 7 : Sources de données canadiennes sur les changements climatiques futurs – nationales – continue

Détails	Atlas climatique du Canada	Canada Climate Change Data Portal (CCDP)	IDF_CC Tool 3.5
Description	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Fournit des cartes de variables climatiques statistiquement réduites à l'aide d'un ensemble de 24 MCG du PCIC, réduits à l'échelle avec la méthode BCCAQv2.</li> <li>■ La source de données historiques observées est : Ressources naturelles Canada.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Données dérivées de projections climatiques réduites de façon dynamique à l'aide des modèles climatiques régionaux RegCM et PRECIS.</li> <li>■ Le modèle RegCM a été développé par le National Center for Atmospheric Research (NCAR).</li> <li>■ Le modèle PRECIS a été développé au Met Office Hadley Centre.</li> <li>■ Les deux modèles ont été pilotés par le MCG Hadley Global Environment Model 2 Earth System (HadGEM2-ES).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Outil informatisé basé sur le web pour le développement de courbes IDF sous l'influence des changements climatiques (version 3.5) utilisant un système d'information géographique (SIG).</li> <li>■ Fournit les profondeurs d'accumulation des précipitations pour une variété de périodes de récurrence (2, 5, 10, 25, 50 et 100 ans) et de durées (5, 10, 15 et 30 minutes, et 1, 2, 6, 12 et 24 heures).</li> <li>■ L'outil permet aux utilisateurs de générer des informations sur les courbes IDF sur la base de données historiques ainsi que de conditions climatiques futures.</li> <li>■ L'outil utilise des pluviomètres exploités par Environnement et Changement climatique Canada (ECCC).</li> <li>■ Les courbes IDF nécessitent au moins 10 ans de données, comme le recommande ECCC.</li> <li>■ Les utilisateurs peuvent également créer et partager leurs propres informations sur les stations de pluie.</li> </ul>

Détails	Atlas climatique du Canada	Canada Climate Change Data Portal (CCDP)	IDF_CC Tool 3.5
<b>Description (suite)</b>			<ul style="list-style-type: none"> <li>■ L'outil permet aux utilisateurs de sélectionner plusieurs RCP et d'appliquer les résultats de 24 MCG et de 9 MCG à échelle réduite (développés par le PCIC à partir du CMIP5) qui simulent diverses conditions climatiques aux données pluviométriques locales.</li> <li>■ Des conseils supplémentaires pour la mise à jour des courbes IDF pour les changements climatiques, avec des considérations spéciales pour les durées subquotidiennes, peuvent être trouvés dans le document d'orientation de la CSA (2019).</li> </ul>
<b>Variables</b>	25 variables disponibles, incluant : <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Température maximale (°C)</li> <li>■ Température minimale (°C)</li> <li>■ Précipitation totale (mm/jour)</li> <li>■ Degrés-jours de refroidissement</li> <li>■ Unité thermique du maïs</li> <li>■ Cycles de gel-dégel</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Température moyenne (°C)</li> <li>■ Température maximale (°C)</li> <li>■ Température maximale (°C)</li> <li>■ Précipitation (mm/jour)</li> </ul>	Courbes IDF
<b>Zone géographique</b>	Canada	Canada	Canada
<b>Période</b>	Période de référence : 1976-2005 Période future : <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 2021-2050</li> <li>■ 2051-2080</li> </ul> Note : 2095 a été utilisé comme date limite étant donné que certains modèles ne disposaient pas de données au-delà de cette date.	Période de référence : 1986-2005 Période future : <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 2020-2039</li> <li>■ 2040-2069</li> <li>■ 2070-2099</li> </ul>	1950-2100
<b>Résolution temporelle</b>	Annuelle	Mensuelle, saisonnière, annuelle	N/A
<b>Résolution spatiale</b>	1:250 000 et 1:50 000	Résolution 50 km	10 km (300 secondes d'arc)

Détails	Atlas climatique du Canada	Canada Climate Change Data Portal (CCDP)	IDF_CC Tool 3.5
<b>Scénarios d'émission</b>	RCP4,5 et 8,5	RCP4,5 et 8,5	RCP2,6, 4,5, et 8,5
<b>Format de données</b>	Carte interactive Données disponibles pour le téléchargement (CSV)	Carte interactive Données disponibles pour le téléchargement (CSV)	Fichier texte
<b>Développé par :</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Prairie Climate Centre</li> <li>■ Conseil de recherche en sciences humaines (CRSH)</li> <li>■ Gouvernement du Manitoba</li> <li>■ ECCC, 2018</li> </ul>	University of Regina, 2019	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Western University</li> <li>■ Institute for Catastrophic Low Reduction</li> </ul>
<b>Link</b>	<a href="https://atlasclimatique.ca/">https://atlasclimatique.ca/</a>	<a href="http://canadaccdp.ca/">http://canadaccdp.ca/</a>	<a href="https://www.idf-cc-uwo.ca/">https://www.idf-cc-uwo.ca/</a>

Tableau 8 : Sources de données canadiennes sur les changements climatiques futurs – provinciales

Détails	Ontario Climate Data Portal (OCDP)	Ontario Climate Change Data Portal (Ontario CCDP)	The BC Climate Explorer
<b>Description</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Fournit un accès aux données climatiques sur l'ensemble de la province de l'Ontario.</li> <li>■ Basé sur un grand ensemble de projections climatiques provenant de MCG, ainsi que des résultats à échelle dynamique et à échelle réduite statistiquement (total de 209 membres d'ensemble).</li> <li>■ Réduction d'échelle par York University, PCIC, NA-CORDEX, University of Toronto, et University of Regina.</li> <li>■ La gamme des percentiles inclus pour chaque variable est de 5 à 95 %.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Données dérivées de projections climatiques réduites de façon dynamique pour l'Ontario à l'aide des modèles climatiques régionaux RegCM et PRECIS.</li> <li>■ Le modèle RegCM a été développé par le National Center for Atmospheric Research (NCAR).</li> <li>■ Le modèle PRECIS a été développé au Met Office Hadley Centre.</li> <li>■ Les deux MRC ont été pilotés par le MCG Hadley Global Environment Model 2 Earth System (HadGEM2-ES).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Les données climatiques utilisées ont été téléchargées à partir de ClimateBC qui utilise un ensemble de cartes PRISM;</li> <li>■ Ensemble de modèles climatiques mondiaux, ClimateBC fournit des séries temporelles à échelle réduite pour les séries de modèles de 6 MCG.</li> </ul>

Détails	Ontario Climate Data Portal (OCDP)	Ontario Climate Change Data Portal (Ontario CCDP)	The BC Climate Explorer
<b>Variabes</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Température moyenne (°C)</li> <li>■ Température maximale (°C)</li> <li>■ Température minimale (°C)</li> <li>■ Précipitation (mm/jour)</li> </ul> <p>27 indices d'extrêmes climatiques définis par le <i>Expert Team on Climate Change Detection and Indices (ETCCDI)</i> et 11 autres.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Température moyenne (°C)</li> <li>■ Température moyenne de l'air à 2 m (°C)</li> <li>■ Température maximale de l'air à 2 m (°C)</li> <li>■ Température minimale de l'air à 2 m (°C)</li> <li>■ Précipitations (mm/jour)</li> <li>■ Humidité spécifique à 2 m (10-3)</li> <li>■ Pression d'air de surface (hPa)</li> <li>■ Vitesse du vent à 10 m (m/s)</li> <li>■ Fraction totale des nuages (unité: 1)</li> <li>■ Flux descendant net d'ondes courtes à la surface (w/m<sup>2</sup>)</li> <li>■ Flux ascendant net d'ondes longues à la surface (w/m<sup>2</sup>)</li> <li>■ Courbes IDF</li> </ul>	Fournit une liste des variables disponibles, notamment : <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Température annuelle moyenne (°C)</li> <li>■ Précipitations annuelles (mm)</li> <li>■ Saison de croissance (mm)</li> </ul>
<b>Zone géographique</b>	Ontario	Ontario	Colombie-Britannique
<b>Période</b>	Période de référence : 1986-2005 Période future : <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 2050s (2040-2069)</li> <li>■ 2080s (2070-2099)</li> </ul>	Période de référence : 1986-2005 Période future : <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 2020-2039</li> <li>■ 2040-2069</li> <li>■ 2070-2099</li> </ul>	Normales climatiques disponibles pour la période 1971-2000 Séries chronologiques disponibles pour les années 1900 à 2100.
<b>Résolution temporelle</b>	Quotidienne, mensuelle, saisonnière, annuelle	Horaire, quotidienne, mensuelle, saisonnière et annuelle	Mensuelle, saisonnière, annuelle, normales climatiques
<b>Résolution spatiale</b>	Résolution 10 km	Résolution 25 km	Résolution 60 km
<b>Scénario d'émission</b>	RCP2,6, 6,0, 4,5, 8,5	AR4: A1B AR5: RCP4,5 et 8,5	RCP2,6, 4,5, 8,5
<b>Format de données</b>	CSV	Carte interactive Données disponibles pour le téléchargement (CSV)	Carte interactive
<b>Développé par :</b>	York University	Institute for Energy, Environment and Sustainable Communities, University of Regina, 2019	Colin Mahony et Joey Lee Données de ClimateBC Via le Biogeoclimatic Ecosystem Classification (BEC) et le programme de recherche écologique (Ecology Research program) du British Columbia Ministry of Forests, Lands and Natural Resource Operations
<b>Lien</b>	<a href="http://lamps.math.yorku.ca/OntarioClimate/index_v18.htm">http://lamps.math.yorku.ca/OntarioClimate/index_v18.htm</a>	<a href="https://climateriskinstitute.ca/2019/09/13/ccdp-ontario-climate-change-data-portal/">https://climateriskinstitute.ca/2019/09/13/ccdp-ontario-climate-change-data-portal/</a>	<a href="https://joeyklee.github.io/bc-climate-explorer/">https://joeyklee.github.io/bc-climate-explorer/</a>

Table 9 : Sources de données canadiennes sur les changements climatiques futurs – provinciales (suite)

Détails	Scenarios Network for Alaska and Arctic Planning (SNAP)	New Brunswick's Future Climate Projections	Newfoundland and Labrador Climate Data and Tools
<b>Description</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Fournit des données climatiques historiques et prévisionnelles à échelle réduite et sous forme de grille pour les régions subarctiques et arctiques de l'Alaska et du Canada.</li> <li>■ SNAP utilise des données projetées à échelle réduite provenant de l'un des cinq MCG les mieux classés ou calculées comme une moyenne de cinq modèles.</li> <li>■ Pour la réduction d'échelle statistique et dynamique, les sorties des modèles CMIP3 et CMIP5 sont utilisées.</li> <li>■ SNAP utilise les données de température et de précipitation du modèle PRISM (Parameter Elevation Regression on Independent Slopes Model).</li> <li>■ L'unité de recherche climatique (CRY) de l'université d'East Anglia fournit les données climatiques mensuelles, et la réanalyse du European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) pour les méthodes de sélection des modèles et du ERA-Interim pour les travaux de réduction d'échelle dynamique.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Fournit des ensembles de données climatiques pour la province du Nouveau-Brunswick sur la base des résultats du modèle CMIP5.</li> <li>■ Les percentiles inclus pour chaque variable sont la moyenne, le 10<sup>e</sup>, le 25<sup>e</sup>, le 75<sup>e</sup> et le 90<sup>e</sup> percentile pour chaque station climatique.</li> </ul>	Fournit des ensembles de données climatiques pour la province de Terre-Neuve-et-Labrador.
<b>Variables</b>	<p>Plus de 50 variables sont disponibles pour la réduction d'échelles dynamique :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Température;</li> <li>■ Chute de pluie</li> <li>■ Chute de neige</li> <li>■ Vitesse et direction du vent</li> <li>■ Flux de chaleur (radiatif et turbulent)</li> <li>■ Profondeur de la neige</li> </ul> <p>Réduction d'échelle :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Température moyenne annuelle</li> <li>■ Précipitation</li> </ul> <p>Les cartes interactives comprennent :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Température (°F ou °C)</li> <li>■ Précipitation (po. et mm)</li> <li>■ Conditions météorologiques extrêmes (température et vent)</li> <li>■ Couverture de la glace de mer</li> <li>■ Vent</li> <li>■ Incendie</li> </ul>	<p>Comprend 29 indices climatiques tels que :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Température moyenne (°C)</li> <li>■ Précipitation totale (mm)</li> <li>■ Degrés-jours de refroidissement annuel</li> <li>■ Jours de gel-dégel annuel</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Température moyenne quotidienne (°C)</li> <li>■ Précipitations moyennes quotidiennes (mm)</li> <li>■ Degrés-jours de refroidissement</li> <li>■ Nombre de jours sans gel</li> </ul>

Détails	Scenarios Network for Alaska and Arctic Planning (SNAP)	New Brunswick's Future Climate Projections	Newfoundland and Labrador Climate Data and Tools
<b>Zone géographique</b>	Régions subarctiques et arctiques de l'Alaska et du Canada	Nouveau-Brunswick	Terre-Neuve-et-Labrador
<b>Période</b>	Période de référence : <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 1961-1990</li> <li>■ 2019-2019</li> </ul> Période future : <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 2040-2049</li> <li>■ 2060-2069</li> <li>■ 2090-2099</li> </ul>	Période de référence : 1980-2010 Période future : <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 2020</li> <li>■ 2050</li> <li>■ 2080</li> </ul>	Période future : <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 2041-2070</li> <li>■ 2071-2100</li> </ul>
<b>Résolution temporelle</b>	Quotidienne, mensuelle, saisonnière, moyennes décennales	Saisonnière, annuelle	Saisonnière
<b>Résolution spatiale</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Résolution 2 km (réduction statistique d'échelle, PRISM)</li> <li>■ Résolution 80 km (réanalyses)</li> </ul>	Fournie pour 64 stations météorologiques au Nouveau-Brunswick	Fournie pour 29 emplacements dans la province
<b>Scénarios d'émission</b>	AR4: B1, A1B, A2 AR5: RCP4,5, 6,0, 8,5	AR4: A2 et B1 AR5: RCP4,5 et 8,5	Non spécifié
<b>Format de données</b>	Carte interactive disponible Données disponibles pour le téléchargement (format GeoTiff)	Carte interactive disponible (données du RE4) Données disponibles pour le téléchargement (CSV)	CSV
<b>Développé par :</b>	International Arctic Research Center at the University of Alaska Fairbanks	Gouvernement du Nouveau-Brunswick	Gouvernement de Terre-Neuve-et-Labrador
<b>Lien</b>	<a href="https://www.snap.uaf.edu/">https://www.snap.uaf.edu/</a>	<a href="https://www2.gnb.ca/content/gnb/en/departments/elg/environment/content/climate_change.html">https://www2.gnb.ca/content/gnb/en/departments/elg/environment/content/climate_change.html</a>	<a href="https://www.turnbackthetide.ca/tools-and-resources/climate-data-and-tools.shtml">https://www.turnbackthetide.ca/tools-and-resources/climate-data-and-tools.shtml</a>

Tableau 10 : Sources de données mondiales/internationales sur les changements climatiques

Détails	North America Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment (NA-CORDEX)	The Mining Climate Assessment (MiCA) Tool	Climate Change Knowledge Portal (CCKP)
<b>Description</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Fournit des projections climatiques régionales à échelle réduite dans le monde entier en utilisant des méthodes dynamiques pour l'Amérique du Nord.</li> <li>■ Considère 6 MCG depuis CMIP5.</li> <li>■ CORDEX est disponible pour d'autres régions avec des variables, des périodes, une résolution temporelle et une résolution spatiale variables.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Fournit des données de projection climatique provenant d'un ensemble de 15 MCG associés à CMIP5 et fournit des informations directement pertinentes pour l'industrie des métaux et des mines.</li> <li>■ Les projections climatiques futures sont calculées en tant que valeurs de changement par rapport à la référence équivalente (par opposition aux valeurs futures absolues).</li> <li>■ Pour chaque variable, une analyse statistique supplémentaire des résultats de la médiane, des quartiles et de l'écart-type pour chaque mois, pour tous les modèles climatiques, est calculée.</li> <li>■ Une adhésion est nécessaire pour accéder à cet outil.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Fournit des informations, des outils et des données sur le climat.</li> <li>■ Des données climatiques historiques et futures sont fournies, avec des projections climatiques futures issues de CMIP3.</li> <li>■ Composé de 16 modèles.</li> <li>■ Fournit des données statistiquement réduites à partir de 9 MCG de CMIP3, en utilisant BCSD. Les ensembles de modèles décrivent la médiane de l'ensemble, le 10<sup>e</sup> percentile le plus élevé et le 90<sup>e</sup> percentile le plus bas</li> </ul>
<b>Variables</b>	<p>30 variables répertoriées pour le NA-CORDEX, les suivantes étaient considérées comme essentielles :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Température de l'air près de la -surface (K)</li> <li>■ Température maximale quotidienne de l'air près de la surface (K)</li> <li>■ Température minimale quotidienne de l'air près de la surface (K)</li> <li>■ Précipitations (kg m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Température quotidienne maximale (°C)</li> <li>■ Température quotidienne minimale (°C)</li> <li>■ Chute de pluie (mm)</li> <li>■ Vitesse du vent (note : disponible seulement pour 8 GCM)</li> </ul>	<p>Historique :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Température</li> <li>■ Chute de pluie</li> </ul> <p>Futur :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Température moyenne quotidienne de l'air près de la surface</li> <li>■ Température minimale quotidienne moyenne près de la surface</li> <li>■ Température maximale quotidienne moyenne près de la surface</li> <li>■ Somme des précipitations mensuelles</li> </ul>
<b>Zone géographique</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ NA-CORDEX (programme Nord-Américain CORDEX)</li> <li>■ Autres banques de données régionales CORDEX incluant l'Asie du Sud, l'Asie de l'Est et la Méditerranée</li> </ul>	Global	Global

Détails	North America Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment (NA-CORDEX)	The Mining Climate Assessment (MiCA) Tool	Climate Change Knowledge Portal (CCKP)
<b>Période</b>	Période de référence : 1950-2005 Période future : 2006-2100	Période de référence : 1986-2005 Période future : période de 20 ans centrée sur 2035, s'étendant de 2025 à 2045	Période de référence : 1901-2015 Période future : <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 2020-2039</li> <li>■ 2040-2059</li> <li>■ 2060-2079</li> <li>■ 2080-2099</li> </ul> Période réduite : <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 1961-1999</li> <li>■ 2046-2065</li> <li>■ 2081-2100</li> </ul>
<b>Résolution temporelle</b>	Horaire, quotidienne, mensuelle, saisonnière	Mensuelle, annuelle , Annual	Mensuelle, annuelle
<b>Résolution spatiale</b>	Résolution 12.5-25 km 25 km ou 50 km pour l'Amérique du Nord	Résolution 100 km	Résolution 50 km
<b>Scénarios d'émission</b>	RCP4,5 et 8,5	RCP8,5	RCP2,6, 4,5, 6,0, et 8,5
<b>Format de données</b>	netCDF	CSV	CSV
<b>Développé par :</b>	World Climate Research Program (WCRP), 2019	The International Council on Mining and Metals, 2018	The World Bank Group
<b>Link</b>	CORDEX: <a href="http://www.cordex.org/">http://www.cordex.org/</a> NA-CORDEX: <a href="https://na-cordex.org/">https://na-cordex.org/</a>	<a href="https://icmm-mica-live.azurewebsites.net/Home/About">https://icmm-mica-live.azurewebsites.net/Home/About</a>	<a href="http://sdwebx.worldbank.org/climateportal/index.cfm?page=why_climate_change">http://sdwebx.worldbank.org/climateportal/index.cfm?page=why_climate_change</a>

## Références

- Alberta Climate Information Services (ACIS). Current and Historical Alberta Weather Station Data Viewer. Government of Alberta Department of Agriculture and Forestry. Disponible à l'adresse : <https://agriculture.alberta.ca/acs/weather-data-viewer.jsp>. Accessed February 2019.
- Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment (CORDEX), 2019. World Climate Research Program. Disponible à l'adresse : <http://www.cordex.org/>. Consulté en février 2019.
- Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment (CORDEX), 2019. The North American CORDEX Program. World Climate Research Program. Disponible à l'adresse : <https://na-cordex.org/>. Consulté en février 2019.
- Gouvernement du Canada, 2018. Données et scénarios climatiques canadiens (DSCC). Disponible à l'adresse : <https://scenarios-climatiques.canada.ca/index.php?page=main>
- Gouvernement du Canada, 2018. Données historiques. Archives nationales des données et informations climatiques. Disponible à l'adresse : [https://climat.meteo.gc.ca/historical\\_data/search\\_historic\\_data\\_f.html](https://climat.meteo.gc.ca/historical_data/search_historic_data_f.html). Consulté en février 2019.
- Gouvernement du Nouveau-Brunswick. New Brunswick's Future Climate Projections: AR5 Data and Maps. Disponible à l'adresse : [https://www2.gnb.ca/content/gnb/en/departments/elg/environment/content/climate\\_change.html](https://www2.gnb.ca/content/gnb/en/departments/elg/environment/content/climate_change.html). Consulté en février 2019.
- Government of Newfoundland and Labrador, 2016. Climate Data and Tools. Disponible à l'adresse : <https://www.turnbackthetide.ca/tools-and-resources/climate-data-and-tools.shtml>. Consulté en février 2019.
- Institute for Energy, Environment and Sustainable Communities, 2019. Ontario Climate Change Data Portal. University of Regina. Disponible à l'adresse : <https://climateriskinstitute.ca/2019/09/13/ccdp-ontario-climate-change-data-portal/>. Consulté en février 2019.
- Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC). 2013. Changements climatiques 2013: Les éléments scientifiques, Contribution du Groupe de travail I au cinquième rapport d'évaluation du groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. Extrait en 2018 depuis : [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/WG1AR5\\_SummaryVolume\\_FINAL\\_FRENCH.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/WG1AR5_SummaryVolume_FINAL_FRENCH.pdf)
- International Council on Mining and Metals, 2018. The Mining Climate Assessment (MiCA) Tool. Disponible à l'adresse : <https://icmm-mica-live.azurewebsites.net/Home/About>. Consulté en février 2019.
- Scenarios Network for Alaska and Arctic Planning (SNAP), 2019. International Arctic Research Center at the University of Alaska Fairbanks. Disponible à l'adresse : <https://www.snap.uaf.edu>. Consulté en février 2019.
- Mahony, C. et Lee, J. The BC Climate Explorer. Biogeoclimatic Ecosystem Classification (BEC) and Ecology Research program of the British Columbia Ministry of Forests, Lands and Natural Resource Operations. Disponible à l'adresse : <https://joeyklee.github.io/bc-climate-explorer/>. Consulté en février 2019.
- National Aeronautics and Space Administration (NASA). Modern-Era Retrospective Analysis for Research and Applications, Version 2 (MERRA-2). Global Modeling and Assimilation Office. Disponible à l'adresse : <https://gmao.gsfc.nasa.gov/reanalysis/MERRA-2/>. Consulté en février 2019.

- National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). Climate Data Online: Dataset Discovery. Department of Commerce, Government of the United States of America. Disponible à l'adresse : <https://www.ncdc.noaa.gov/cdo-web/datasets>. Consulté en février 2019.
- National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). North American Regional Reanalysis (NARR). Department of Commerce, Government of the United States of America. Disponible à l'adresse : <https://www.ncdc.noaa.gov/data-access/model-data/model-datasets/north-american-regional-reanalysis-narr>. Consulté en février 2019.
- National Snow and Ice Data Centre (NSIDC). Global Terrestrial Network for Permafrost. Disponible à l'adresse : <https://nsidc.org/data/ggd633>. Consulté en février 2019.
- National Snow and Ice Data Centre (NSIDC). Canadian Geothermal Data Collection: Deep permafrost temperatures and thickness of permafrost, Version 1. Disponible à l'adresse : <https://nsidc.org/data/GGD503/versions/1>. Consulté en février 2019.
- Nunavut Climate Change Centre. Nunavut Permafrost Data Bank. Disponible à l'adresse : <https://www.climatechangenunavut.ca/en/climate-change/nunavut-permafrost-databank>. Consulté en février 2019.
- Charron, I. 2016. Guide sur les scénarios climatiques : Utilisation de l'information climatique pour guider la recherche et la prise de décision en matière d'adaptation Édition 2016. Ouranos, 94 p. Disponible à l'adresse [https://www.ouranos.ca/publication-scientifique/GuideScenarios2016\\_FR.pdf](https://www.ouranos.ca/publication-scientifique/GuideScenarios2016_FR.pdf)
- Pacific Climate Impacts Consortium (PCIC), 2013. Data Portal. University of Victoria. Disponible à l'adresse : <https://www.pacificclimate.org/data>
- Pacific Climate Impacts Consortium (PCIC). BC Station Data Portal. University of Victoria. Disponible à l'adresse : <https://data.pacificclimate.org/portal/pcds/map/>. Consulté en février 2019.
- Prairie Climate Centre, Conseil de recherches en sciences humaines du Canada (CRSH) , 2018. Atlas climatique du Canada. Gouvernement du Manitoba, Environnement et Changement climatique Canada (ECCC). Disponible à l'adresse : <https://atlasclimatique.ca/> Consulté en février 2019.
- Scenarios Network for Alaska and Arctic Planning (SNAP). Depth to Permafrost – Alaska LandCarbon Project. Disponible à l'adresse : <http://ckan.snap.uaf.edu/dataset/depth-to-permafrost-alaska-landcarbon-project/>. Consulté en février 2019.
- Scenarios Network for Alaska and Arctic Planning (SNAP). Active Layer Thickness – Alaska LandCarbon Project. Disponible à l'adresse : <http://ckan.snap.uaf.edu/dataset/active-layer-thickness-alaska-landcarbon-project>. Accessed February 2019.
- University of Regina, 2019. Canada Climate Change Data Portal (CCDP). Disponible à l'adresse : <http://canadaccdp.ca>. Consulté en février 2019.
- The World Bank Group, 2019. Climate Change Knowledge Portal (CCKP). Disponible à l'adresse : [http://sdwebx.worldbank.org/climateportal/index.cfm?page=why\\_climate\\_change](http://sdwebx.worldbank.org/climateportal/index.cfm?page=why_climate_change). Consulté en février 2019.
- York University, Ontario Climate Data Portal (OCDP). Laboratory of Mathematical Parallel Systems. Disponible à l'adresse : [http://lamps.math.yorku.ca/OntarioClimate/index\\_v18.htm](http://lamps.math.yorku.ca/OntarioClimate/index_v18.htm)

## Annexe D : Études de cas

### Installations de nickel intégrées de Sudbury – Glencore



#### Contexte

Glencore est une société minière et métallurgique mondiale qui exploite plus de 150 sites miniers et métallurgiques dans le monde. Leurs installations de nickel intégrées de Sudbury (Sudbury INO) emploient environ 1 200 employés permanents sur leurs quatre sites avec une capacité de production annuelle de plus de 70 000 tonnes de matte de nickel. Le concentrateur Strathcona reçoit le minerai des deux mines de Sudbury et produit un flux de concentré de nickel-cuivre (processus de fusion par la fonderie de Sudbury) et expédié vers d'autres sites de Glencore. L'usine a commencé à élaborer un plan de lutte contre les changements climatiques en réponse aux objectifs de développement durable de l'entreprise en 2009. Climate Risk Assessment

#### Évaluation des risques climatiques

À l'aide du registre des risques du site, Glencore a tenu une première session de travail interne d'évaluation des risques avec du personnel clé des opérations, de l'ingénierie, des capitaux et d'autres départements. La session a permis de sensibiliser les participants aux impacts des conditions météorologiques extrêmes et des changements climatiques sur les opérations, particulièrement sur les infrastructures, et de solliciter diverses mesures pour faire face à ces impacts. L'évaluation des risques a révélé plusieurs domaines qui

sont touchés par les conditions météorologiques extrêmes et les changements climatiques pour l'INO de Sudbury, incluant :

- problématiques liées à la gestion de l'eau, incluant les inondations;
- sécurité des employés (particulièrement lors d'événements extrêmes);
- transport de produits par temps variable;
- réduction de la production en raison de facteurs météorologiques;
- sécurité de l'énergie;
- sécurité et exploitation des infrastructures;
- non-respect des réglementations en raison de l'évolution des tendances climatiques (p. ex., des niveaux plus élevés de rejet d'eaux usées en raison des changements climatiques peuvent faire courir aux entreprises le risque de ne pas atteindre leurs objectifs de rejet, conformément à la réglementation provinciale ou fédérale.

A priori, il n'était pas clair, pour les participants de l'atelier, de quelle façon les changements climatiques affecteraient leurs activités. L'atelier a permis de surmonter cette hésitation en abordant les questions dans le contexte de « comment la météo affecte-t-elle votre travail? » et en discutant de la « variabilité du temps ». Les changements climatiques ont d'abord été considéré par certains comme un événement (occurrence) qui se produirait dans un avenir lointain, bien au-delà de la fin de la durée de vie de la mine de Sudbury. Cependant, l'acceptation du fait que les changements climatiques ont déjà affecté les opérations a été réalisée à la fois par les données sur les tendances historiques et le partage des impacts qui ont été vécus aux opérations de Sudbury par les participants à l'atelier. Le fait d'intégrer les changements climatiques dans le vocabulaire des risques existants a permis aux membres de l'équipe d'adhérer au projet et de faire avancer la discussion.

La séance de travail sur l'évaluation des risques liés aux changements climatiques a aussi permis à Glencore d'identifier et de classer, par ordre de priorité, les défis climatiques propres à chaque site. Les résultats des risques ont été facilement incorporés dans le registre des risques existant de l'entreprise. Piloté par des experts internes, le processus d'évaluation des risques climatiques a également permis d'impliquer les équipes de gestion et les experts techniques dans le processus d'identification des risques climatiques et de proposition de mesures adaptatives pour réduire les risques.

Depuis l'atelier initial, des réunions annuelles du groupe de travail ont été organisées avec une équipe de projet ciblée pour examiner les données climatiques actualisées et les évaluations techniques approfondies afin de recueillir davantage d'informations. Les études de suivi ont porté sur :

- gestion de l'eau sur site (y compris les études de bilan hydrique);
- impacts des changements météorologiques sur les opérations (réduction et stress thermique);
- évaluation de la teneur en eau de la neige et le ruissellement de la pluie sur la neige.

Ce travail a été rédigé sous la forme d'une étude de cas avec le soutien de Golder Associates et de Ressources naturelles Canada, disponible à l'adresse suivante : [http://climateontario.ca/doc/casestudies/mining\\_case\\_study\\_glencore.pdf](http://climateontario.ca/doc/casestudies/mining_case_study_glencore.pdf)

### Processus d'analyse décisionnelle

L'une des principales recommandations émises dans le cadre des réunions du groupe de travail était d'élaborer un processus décisionnel pour aider à prioriser les mesures d'adaptation potentielles identifiées dans l'évaluation des risques, ainsi qu'à mieux comprendre à quel moment les mesures devraient être mises en œuvre, p. ex., maintenant ou dans le futur. En réponse à cette recommandation, une approche d'analyse coûts-avantages (ACA) a été utilisée pour analyser et prioriser les options d'adaptation en tenant compte des coûts de mise en œuvre de chaque option d'adaptation. L'ACA a aussi contribué à la planification des immobilisations en ce qui concerne les risques liés à la gestion de l'eau.

La première étape de l'évaluation a impliqué l'élaboration d'un scénario de base portant sur les éléments suivants :

- les informations sur les infrastructures et les opérations qui pourraient être incluses dans l'évaluation;
- les vulnérabilités qui pourraient affecter le système de gestion de l'eau et entraîner des risques de priorité élevée;
- l'analyse des conséquences de chacune des vulnérabilités;
- l'estimation des coûts pour chacune des vulnérabilités.

Ces informations ont été confirmées lors d'un atelier ciblé réunissant des spécialistes de l'environnement et de la sécurité, des ingénieurs et des membres de l'équipe financière. Les coûts directs de remise en état d'une vulnérabilité et les coûts indirects tels que l'impact sur la réputation ont été estimés. À l'aide de ces informations, l'équipe du projet a d'abord élaboré des estimations du risque pour chaque vulnérabilité dans les conditions climatiques actuelles et les conditions d'exploitation normales, puis a combiné ces estimations avec les informations sur les coûts pour établir une base économique. Les cinq vulnérabilités suivantes ont été identifiées :

- faire face à des conditions de niveaux d'eau élevés au printemps;
- faire face à des conditions de faibles niveaux d'eau à l'été et l'automne;
- faire face à un événement de pluie significatif;
- gérer des cas d'inondations locales dans les zones à faible risque;
- gérer des cas d'inondations locales dans des zones à risque élevé.

Les tendances climatiques historiques et les modèles hydrologiques spécifiques au site qui ont pris en compte l'infrastructure et les seuils opérationnels, ont été utilisés pour caractériser la probabilité qu'une vulnérabilité environnementale se produise dans les conditions climatiques actuelles. Pour évaluer l'évolution du risque économique dans les conditions climatiques futures, les changements de la probabilité de chaque vulnérabilité ont été estimés. Un générateur de climat développé pour le bilan hydrique du site GoldSIM pour la zone de la fonderie a été utilisé pour traiter les données de l'ensemble des données climatiques futures. À cette époque, les données du quatrième rapport d'évaluation du GIEC (AR4) ont été utilisées pour obtenir des prédictions mensuelles pour les températures et les précipitations futures. En utilisant la caractéristique stochastique du générateur, une gamme de conditions climatiques futures a été caractérisée pour chacune des cinq vulnérabilités.

Des options d'adaptation ont été identifiées pour chaque risque, qui permettraient de diminuer les conséquences de l'événement ou de réduire la probabilité d'apparition de la vulnérabilité. Deux périodes ont été évaluées, une période de 10 ans et une période de 39 ans, et les coûts et bénéfices ont été évalués en supposant que l'option d'adaptation a été mise en œuvre au début de chaque période par rapport à une approche de maintien du statu quo. Une évaluation stochastique de chaque période a été effectuée dans les conditions climatiques actuelles et futures. Les résultats de l'évaluation ont été présentés sous forme de tableau pour représenter visuellement le moment où les coûts financiers estimés du scénario du statu quo, également appelés coûts d'adaptation, ont été compensés par la réduction des coûts résultant de la mise en œuvre des mesures d'adaptation. Ce résumé a été utilisé pour montrer quand l'investissement dans l'adaptation à l'heure actuelle entraînera probablement une réduction des coûts à l'avenir. Glencore continue d'évaluer les options d'adaptation et inclura une évaluation actualisée dans le cadre du processus de planification des immobilisations pour les options d'adaptation recommandées.

Une vue d'ensemble de l'approche de développement et des résultats de l'évaluation a été rédigée sous forme d'une étude de cas avec le soutien de Golder Associates et de Ressources naturelles Canada, disponible à l'adresse suivante : [http://climateontario.ca/doc/casestudies/SINO\\_CaseStudy-FINAL.pdf](http://climateontario.ca/doc/casestudies/SINO_CaseStudy-FINAL.pdf)

### Gestion adaptive

Les réunions annuelles du groupe de travail mentionnées ci-dessus incluent le champion des risques et le champion du SGE (ISO) de Sudbury INO, qui suivent les recommandations et les actions des réunions du groupe de travail dans le cadre du processus d'amélioration continue du registre des risques et du système de surveillance environnementale des opérations. Ce processus est documenté dans un plan global pour les opérations.

Un domaine d'amélioration continue a été la mise à jour des données climatiques qui soutiennent l'évaluation des risques. Comme indiqué ci-dessus, l'évaluation a commencé lorsque les données actuellement disponibles étaient basées sur les résultats du quatrième rapport d'évaluation (AR4). Glencore a depuis mis à jour les données afin d'intégrer les résultats de l'AR5 disponibles sur [climatedata.ca](http://climatedata.ca) et a réalisé une analyse statistique détaillée du climat afin de développer des projections pour les changements dans l'intensité des précipitations, les extrêmes de température et de précipitation et les précipitations maximales probables. Ces projections actualisées sont intégrées au processus en tant que déclencheurs de la planification de l'adaptation.

### Ressources additionnelles

Lien vers les responsabilités, les objectifs et les initiatives de Glencore en matière de développement durable et de changements climatiques : <https://www.glencore.com/sustainability/climate-change>

## Mines Agnico Eagle – Utilisation des données climatiques pour réduire les risques et favoriser une meilleure conception des couvertures

### Contexte

Agnico Eagle Mines Ltd. (Agnico Eagle) est une société canadienne d'exploitation de l'or qui produit des métaux précieux depuis 1957. Ses mines sont situées au Canada, en Finlande et au Mexique, avec des activités d'exploration dans chacun de ces pays ainsi qu'aux États-Unis et en Suède. La société possède d'importantes opérations dans le district de Kivalliq au Nunavut, notamment :

- la mine d'or à ciel ouvert à Meadowbank, située à environ 300 km à l'ouest de la baie d'Hudson et à 110 km au nord du lac Baker;
- la mine Meliadine, à environ 25 km au nord de Rankin Inlet et à 290 km au sud-est de Meadowbank;
- Whale Tail (la mine Amaruq), située à 50 km au nord-ouest de l'usine Meadowbank, qui prolongera l'opération des installations de Meadowbank au terme de la production sur le site.

Ces projets développés depuis 2006 représentent désormais les plus grands gisements d'or d'Agnico Eagle en termes de ressources minérales.

### Évaluation de la vulnérabilité et des risques climatiques

La Commission du Nunavut chargée de l'examen des répercussions (CNER) exige la réalisation d'une évaluation des impacts environnementaux et sociaux (EIES) avant de délivrer un permis qui permettra à un projet de compléter le processus d'approbation et à l'exploitation. La CNER exige que le projet prenne en considération les effets des changements climatiques.

Les lignes directrices initiales avaient pour but de suivre une approche décrite par le Comité fédéral-provincial-territorial sur les changements climatiques et l'évaluation environnementale (CFPTCCEE) en 2003. Le document d'orientation du CFPTCCEE indique la question suivante : « Comment les changements climatiques potentiels affecteront-ils les infrastructures associées au projet ». La réponse à cette question a été utilisée à titre de référence pour une série d'évaluations des changements climatiques afin d'aborder les vulnérabilités climatiques pour toutes les étapes des projets soumis à l'examen de la CNER. Cependant, le niveau de détail des soumissions à la CNER, les demandes d'information subséquentes et les futures projections climatiques disponibles utilisées pour soutenir l'évaluation ont évolué depuis le lancement du projet Meadowbank initial en 2005 jusqu'à l'approbation plus récente de Whale Tail en 2020.

Pour chaque évaluation des changements climatiques, une caractérisation détaillée du climat historique de la région, et plus localement du site du projet, a été réalisée. Pour le climat futur, l'approche a consisté à prendre les projections de changement climatique existantes et disponibles publiquement, à les analyser en utilisant des outils et des protocoles développés, puis à fournir les projections dans un format significatif à la fois pour un scientifique non spécialiste du climat et pour les autres disciplines qui remplissent les sections de l'EIES et qui s'appuient sur les données pour des applications techniques. Ces informations ont ensuite été fournies dans un format permettant une analyse plus poussée et servant de base à l'identification des interactions potentielles entre le climat et les infrastructures et à la conception de mesures d'adaptation visant à réduire les risques du projet. Pour tous les projets, les renseignements

accessibles au public d'Environnement Canada et Changement climatique (ECCC) ont été utilisés pour analyser les tendances climatiques actuelles et les projections climatiques futures. Le tableau suivant résume les données sur le climat futur utilisées dans les évaluations, ainsi que les principales vulnérabilités identifiées.

Projet	Source de données	Variables climatiques considérées	Vulnérabilités d'importance
<b>Meadowbank</b>	Projections mondiales du troisième rapport d'évaluation (2001) du GIEC	Projections de la température moyenne annuelle pour l'Arctique	Les températures changeantes ont un impact sur les grandes infrastructures en raison de la dégradation du pergélisol
<b>Mine Meliadine</b>	Projections mondiales du quatrième rapport d'évaluation (2007) du GIEC fournies par ECCC	Projections de la température moyenne mensuelle et des précipitations totales extraites de la cellule (grille) la plus près du site minier pour un ensemble de modèles climatiques (tous les modèles disponibles, tous les scénarios d'émissions)	Identifier les impacts potentiels des changements climatiques sur le projet par le biais des interactions climat-infrastructure en suivant les directives requises pour la réalisation d'une EIES
<b>Whale Tail (Mine Amaruq)</b>	Projections mondiales du cinquième rapport d'évaluation (2013) du GIEC, fournies par ECCC	Projections de la température moyenne mensuelle et des précipitations totales extraites de la cellule de grille la plus proche du site minier pour un ensemble de modèles climatiques (tous les modèles disponibles, scénario d'émissions moyennes et élevées)	Changement des températures ayant un impact sur l'épaisseur du gel dans les installations de stockage des stériles formant le système de couverture des roches acidogène

GIEC = Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat

ECCC = Environnement et Changement Climatique Canada

### Prise de décision intégrant les changements climatiques

Le niveau de détail requis pour documenter les options d'adaptation est également devenu plus significatif avec chaque évaluation subséquente. La CNER, ses réviseurs techniques et les intervenants se sont concentrés sur les options d'adaptation potentielles et sur la façon dont elles étaient liées à la conception du projet. Cette étude de cas se concentre sur l'évaluation la plus récente du projet Whale Tail.

Comme indiqué ci-dessus, l'une des principales vulnérabilités identifiées dans le cadre du projet Whale Tail était la vulnérabilité de l'installation de stockage des stériles (WRSF) à l'augmentation des températures. L'installation de stockage des stériles de Whale Tail sera recouvert de roches non potentiellement acidogène (NPAG) et de déchets ne lixiviant pas des métaux (NML) pour favoriser la congélation comme stratégie de contrôle contre la génération d'acide et la migration des contaminants à partir des roches

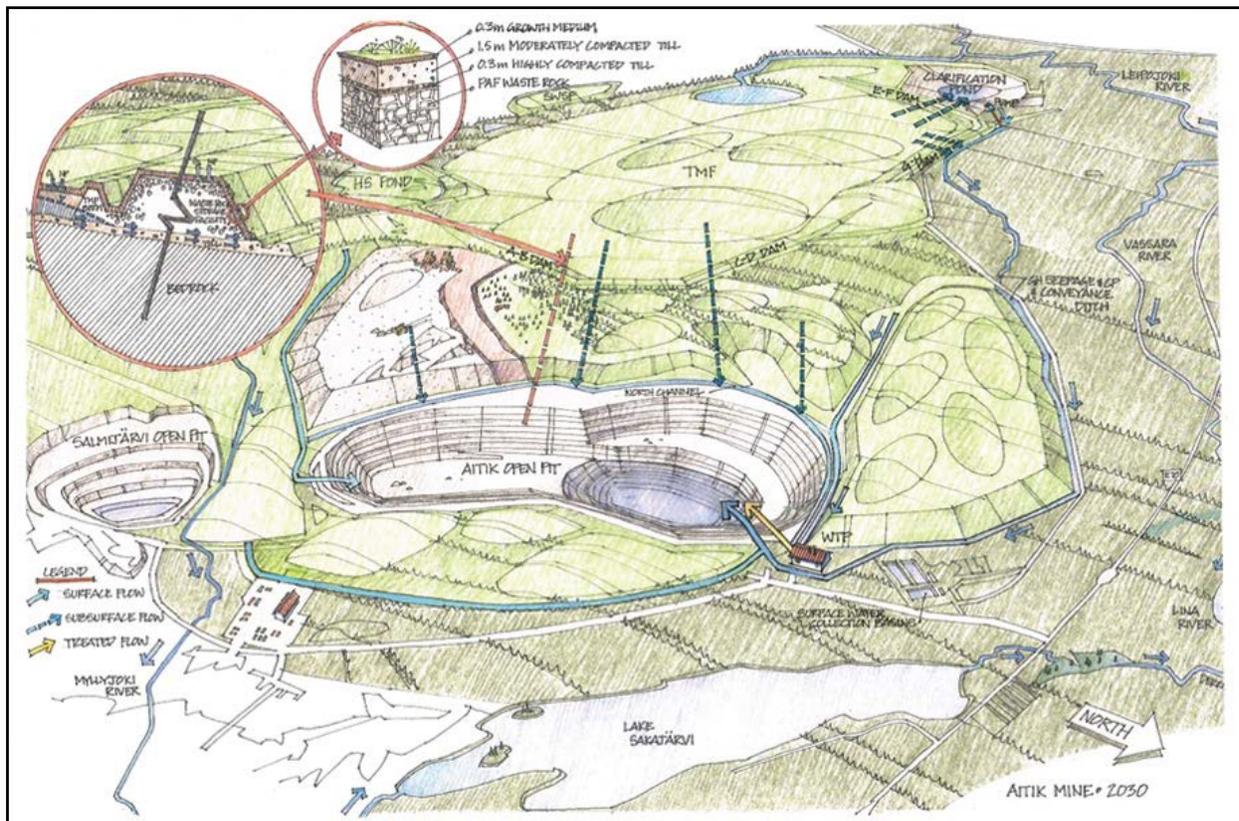
potentiellement acidogène (PAG) et des déchets lixiviant des métaux (ML) contenus dans le WRSF. La conception du WRSF permettra de maintenir la qualité de l'eau existante dans la zone et de prévenir la contamination des eaux souterraines et de surface. Si le gel ne se produit pas en raison de la hausse des températures, l'oxydation des minéraux sulfurés ou les réactions génératrices d'acide peuvent se produire et affecter la qualité de l'eau. Démontrer que le changement climatique n'aura pas d'impact sur la protection des eaux souterraines et de surface a été une considération clé lors de l'examen de la demande par la CNER, ce qui a également été souligné dans les commentaires techniques du gouvernement fédéral, y compris le ministère des Relations Couronne-Autochtones et Affaires du Nord Canada et Ressources naturelles Canada. Pour remédier à cette vulnérabilité, une évaluation de l'épaisseur minimale de la couverture a été réalisée.

La première étape de l'évaluation de la couverture a consisté à développer un ensemble de données climatiques intégrant les informations du programme de surveillance en cours de l'installation de stockage des stériles de la mine de Meadowbank et à fournir un résumé de la température moyenne mensuelle future projetée pour l'emplacement de Whale Tail. Ces données climatiques ont ensuite été utilisées comme entrées dans une étude de modélisation thermique pour évaluer les temps de regel et estimer les changements dans la profondeur de la couche active. Les résultats ont été utilisés pour évaluer l'épaisseur de roche NPAG/NML qui serait nécessaire pour maintenir les matériaux PAG/ML gelés sous la couche active dans les conditions de changement climatique sélectionnées. Les résultats de cette évaluation ont ensuite été incorporés dans les dessins de conception finale et ont reçu l'approbation de la CNER.

### Trajectoires d'adaptation

En plus de l'évaluation de la modélisation thermique, l'approbation de la CNER exigeait que des sondes de température du sol, connues sous le nom de thermistances, soient installées à différents endroits pour surveiller les températures du sol tout au long des opérations de la mine. En plus de la confirmation des entrées dans l'évaluation de la modélisation thermique et de la surveillance du gel au fil du temps pour affiner le modèle, des données sur les variables qui ne pouvaient pas être incluses dans l'évaluation initiale étaient également requises. Cela comprenait l'ajout de thermistances à des endroits susceptibles de fournir des données sur les variations potentielles de la couche active dues à l'exposition au soleil et au vent dominant, ainsi que les effets de la pente par rapport au plateau et une station météorologique sur place. Les conditions météorologiques observées, les données thermiques enregistrées et les projections climatiques futures mises à jour seront utilisées pour déterminer les paramètres liés au climat pour la conception de la couverture finale et seront communiquées au public par l'intermédiaire de l'Office des eaux du Nunavut lors de la demande de fermeture définitive.

## Mine Aitik, conception d'un scénario de référence et plan de fermeture



Dessin conceptuel – Mine Aitik, année 2030

### Contexte

Boliden AB (Boliden) est une société suédoise d'exploitation minière et de fusion qui se concentre sur la production de ressources en cuivre, zinc, plomb, or et argent à l'endroit de propriétés situées en Suède, en Finlande, en Norvège et en Irlande. Depuis 1968, la société extrait du cuivre, de l'or et de l'argent de la mine d'Aitik, dans le nord de la Suède, en utilisant des méthodes d'exploitation à ciel ouvert. La mine d'Aitik fait l'objet d'une expansion qui augmentera la capacité d'extraction et de traitement de 36 à 45 millions de tonnes par an (Mt/an). Pour soutenir l'expansion proposée, Boliden a évalué les responsabilités potentielles et a développé un scénario de référence et un plan de fermeture. Les empreintes de la fermeture et l'infrastructure du site comprennent : un parc à résidus miniers et un bassin de clarification, des installations de stockage des stériles potentiellement acidogènes (PAG) et non acidogènes, les mines à ciel ouvert d'Aitik et de Salmijärvi, des fossés de dérivation des eaux propres et des eaux de contact, des bassins de stockage et une usine de traitement des eaux.

### Évaluation de la vulnérabilité et des risques climatiques

Les évaluations techniques prévues dans le cadre du plan de fermeture de la mine Aitik sont les suivantes :

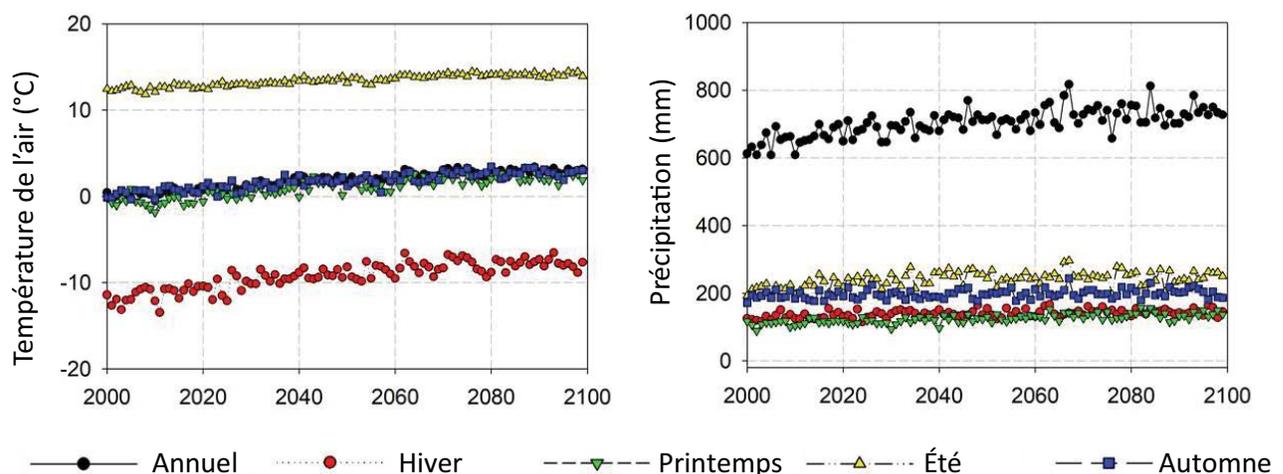
- évaluation hydrogéochimique des installations de stockage des stériles;
- évaluation hydrogéochimique du parc à résidus miniers;
- étude sur l'équilibre hydrique des lacs et une modélisation de la qualité de l'eau;
- évaluations des effets sur la qualité de l'eau et les ressources aquatiques des cours/plans d'eau situés en aval du site minier.

Toutes ces évaluations nécessitent des données climatiques pour piloter les modèles hydrologiques et/ou géochimiques. C'est pourquoi, afin d'assurer la cohérence et la coordination au sein des différentes équipes de modélisation et entre elles, un ensemble de données climatiques quotidiennes à long terme a d'abord été développé, qui tient compte des prévisions de changements climatiques pour la région locale.

Deux stations climatiques à long terme (multi-décennales) exploitées par le SMHI (*Swedish Meteorological and Hydrological Institute*) sont situées à moins de 15 km de la mine d'Aitik. La revue des données antérieures et récentes indique que le site du projet connaît un climat continental subarctique ou boréal, caractérisé par un hiver froid et un été court et frais. La température annuelle moyenne sur la propriété est de 0,1 °C, les températures typiques des mois de juillet et de janvier étant respectivement de 14,7 °C et -13,1 °C. Les précipitations annuelles moyennes pour le site du projet sont estimées à 600 mm. En moyenne, 50 % des précipitations annuelles se présentent sous forme de pluie en juin, juillet, août et septembre.

Les données du scénario de changements climatiques confirment ce qui suit pour le site du projet (voir figure 1) : 1) les conditions climatiques futures seront plus chaudes et plus humides sur le site de la mine, avec des augmentations annuelles moyennes de la température (T) de ~3 °C et des précipitations (P) de 25 % attendues d'ici 2100; 2) les augmentations de T sont prévues pour toutes les saisons, mais les changements les plus importants sont prévus pour les mois d'hiver (décembre, janvier et février); 3) les augmentations de P sont susceptibles d'être plus importantes en été (juin, juillet, août) et en automne (septembre, octobre, novembre) par rapport à l'hiver (décembre, janvier, février) et au printemps (mars, avril, mai).

**Figure 1 : Exemple de données de scénario de changements climatiques pour la mine d'Aitik**



**(RCP4,5, maillage de 50 km). Les données présentées sont dérivées de la moyenne des données climatiques mensuelles provenant de neuf MCG.**

Pour l'itération la plus récente du plan de fermeture de la mine Aitik, un enregistrement climatique quotidien a été compilé pour une période de fermeture de 200 ans (c'est-à-dire de 2025 à 2225). La création de la base de données climatiques a nécessité la compilation de données climatiques régionales et spécifiques au site pour caractériser les conditions existantes de la mine et l'utilisation de données de scénarios de changements climatiques quotidiens (SMHI, 2014) pour représenter les conditions futures. Les détails techniques de la base de données climatiques et de sa compilation sont résumés dans Fraser *et al.* (2011, 2017).

Le RCP4,5 (*Representative Concentration Pathway*) a ultimement été choisi comme base pour le plan de fermeture. Ce qui motive ce choix est principalement le fait de maintenir une cohérence avec les travaux de fermeture antérieurs et les soumissions réglementaires qui étaient basés sur le scénario A1B, désormais remplacé. Il est à noter que l'échéancier du plan de fermeture s'étend jusqu'en 2225, mais que les données du scénario de changements climatiques ne sont disponibles que jusqu'en 2100. Par conséquent, une portion de 35 ans de la base de données climatiques, la période allant de 2065 à 2099, a été utilisée en boucle plusieurs fois pour représenter la période 2100-2225.

### **Prise de décision intégrant les changements climatiques**

Un futur régime climatique plus chaud et plus humide à la mine d'Aitik devrait se traduire par divers changements tels que : 1) l'apparition progressive et précoce de la crue nivale, l'apparition plus tardive du gel automnal et une saison sans glace plus longue; 2) l'évolution dans le temps et modifications des proportions de pluie par rapport aux chutes de neige sur une base annuelle; 3) des augmentations des conditions de débit de base en hiver et la probabilité d'événements de fonte au milieu de l'hiver ou à l'inter-saison; et 4) des augmentations progressives du débit du milieu récepteur avec le temps. De plus, on s'attend à ce que ces changements du bilan hydrique sensibles au climat se répercutent sur le comportement hydrogéochimique des installations de la mine (c.-à-d., parc à résidus miniers, installation de stockage des stériles et les mines à ciel ouvert), ainsi que sur les cours d'eau récepteurs en aval.

Un élément clé du plan de fermeture est l'utilisation de systèmes de couverture de till à faible perméabilité pour minimiser l'échange de gaz et l'oxydation des minéraux sulfurés dans les WRSF potentiellement acidogène. À cet égard, des conditions plus humides et des changements dans le bilan hydrique de la couverture constitueront une barrière plus efficace aux échanges gazeux. Dans le cas de la mine à ciel ouvert d'Aitik, la modélisation confirme que des conditions plus chaudes et plus humides raccourcissent le temps de remplissage de la mine à ciel ouvert d'Aitik (d'environ 15 ans), principalement en raison de l'augmentation des quantités d'eau de ruissellement générées par les zones adjacentes à l'installation. La modélisation du lac de la fosse montre également qu'une diminution de la durée de remplissage de la fosse aura pour effet de : 1) diminuer le temps d'exposition subaérien et les charges provenant des parois de la fosse; et 2) affectera le moment et la durée des diverses mesures de gestion et d'atténuation des eaux invoquées dans le cadre du plan de fermeture, y compris le traitement actif des eaux.

### Trajectoires d'adaptation

Une analyse complète des modes de défaillance et de leurs effets (AMDE) de la conception du scénario de référence et du plan de fermeture a été réalisée afin d'identifier les modes de défaillance potentiels, les effets/trajectoires et les mesures d'atténuation pour réduire la probabilité et/ou les conséquences d'une trajectoire de défaillance donnée. Dans le cadre de cette évaluation, les risques et les opportunités liés aux changements climatiques futurs ont été évalués. Dans l'ensemble, l'approche AMDE s'est avérée efficace car le processus apporte des informations au niveau de la gestion des risques, tels que les changements climatiques, parallèlement aux composantes concurrentes du profil de risque complet, tout en offrant aussi des possibilités d'optimiser et d'affiner la conception du scénario de référence par des études et des itérations supplémentaires.

### Ressources additionnelles

Fraser C.J.D., Martin A.J., Pedersen T.F., 2011. Climate-scaled water balance development for mine closure planning. Proceedings of the 6th International Conference on Mine Closure. September 18-21, 2011, Lake Louise, Canada : 357-366.

Fraser C., Martin A., Mueller S. et Scott, J., 2017. Incorporating Climate Change Scenarios into Mine Design and Permitting Studies. 13th Annual Mine Water Association Congress, Rauha-Lappeenranta, Finlande, 25-30 juin 2017.

SMHI, 2014. CORDEX scenarios for Europe from the Rossby Centre regional climate model RCA4. Report Meteorology and Climatology No. 116, Swedish Meteorological and Hydrological Institute, SE 601 76 Norrköping, Suède. 84 pp.

## Réhabilitation – Mine Giant – Effets déclencheurs des changements climatiques



Photo : Mine Giant : Étude sur l'optimisation de la congélation  
(Source : Review Board, 2013)

### Contexte

La mine Giant est une mine d'or historique qui est en cours de réhabilitation et de fermeture. La mine est située à 5 km au nord du centre-ville de Yellowknife, dans les Territoires du Nord-Ouest. Le projet d'assainissement de la mine Giant, cogéré par les gouvernements du Canada et des Territoires du Nord-Ouest (GTNO), comprend des éléments tels que la stabilité physique et chimique, la réhabilitation en surface, le traitement de l'eau et la surveillance du site minier pour la santé et la sécurité humaines ainsi que pour les communautés environnantes pour les effets environnementaux. L'un des principaux objectifs du projet de réhabilitation est le confinement et la gestion à long terme des déchets miniers historiques sur le site.

### Évaluation de la vulnérabilité et des risques climatiques

L'un des défis associés au projet de réhabilitation de la mine Giant est la prévalence de matériaux contenant du trioxyde d'arsenic (arsenic) qui ont été produites lors du traitement du minerai d'or. Environ 237 000 tonnes de matériaux contenant de l'arsenic sont actuellement entreposées sur le site dans des chambres souterraines (GNWT et INAC, 2010). Comme la mine est située sur les rives du lac Athabasca, à proximité d'une zone peuplée, un plan de gestion à long terme des matières contenant de l'arsenic doit être élaboré. Après des recherches et des consultations approfondies, il a été décidé que la façon la plus efficace de gérer les matières contenant de l'arsenic serait de laisser les chambres et les gradins geler par la « méthode des blocs congelés ». Le critère de conception est le suivant :

Le critère pour le confinement initial consiste à abaisser la température du sol à  $-10\text{ °C}$  sur une distance d'au moins 10 m autour et en dessous de tous les travaux miniers où la poussière de trioxyde d'arsenic est présente. La zone de 10 mètres à  $-10\text{ °C}$  sera étendue jusqu'au sommet de la chambre et du gradin après la saturation du trioxyde d'arsenic. Le critère serait ensuite déplacé vers la deuxième étape, où il viserait spécifiquement la poussière de trioxyde d'arsenic. Le critère proposé à cette étape consiste à maintenir une température de  $-5\text{ °C}$  ou moins au sein de la poussière. (Mackenzie Valley Environmental Impact Review Board, 2013).

Compte tenu de l'emplacement de la mine et des connaissances actuelles concernant les changements climatiques dans le Nord, l'un des principaux défis de la gestion de l'installation de confinement sera de maintenir la température afin que le bloc reste gelé. Des projections au niveau des changements climatiques ont été élaborées afin de fournir des informations sur l'augmentation de la température moyenne future de la région (GNWT, 2019), mais aussi d'apporter des renseignements pertinents en ce qui concerne la conception et la gestion de l'installation de confinement. Plus précisément, les connaissances seront utilisées pour soutenir la conception détaillée du bloc de congélation afin que l'équipement et les procédures de surveillance appropriés puissent être mis en œuvre, et que des ajustements puissent être effectués pour maintenir le bloc congelé au fil du temps. En substance, les projections climatiques informeront les déclencheurs et les seuils, les étapes du plan de gestion adaptative et, plus précisément, les points de décision pour mettre en place des mesures de gestion.

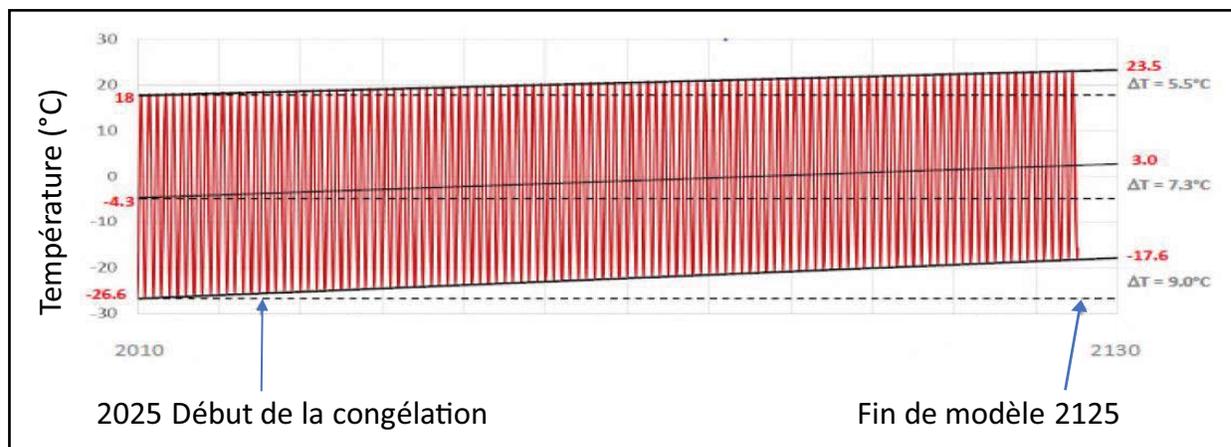
Une description du climat actuel au cours des 48 dernières années (1971 – 2018) a été fournie sur la base des mesures observées par la station climatique de Yellowknife A, située à environ 5 kilomètres de la mine Giant. Les observations de la station climatique ont été complétées à l'aide de données de réanalyse (basées sur des observations satellitaires et terrestres) afin d'obtenir l'exhaustivité des données requise pour l'analyse et ajustées pour tenir compte des impacts de l'emplacement et de la prise au vent sur les observations. Ces observations ont été utilisées comme référence climatique; référence qui a fourni le cadre pour le climat actuel et son évolution.

Le climat futur a été décrit à l'aide des projections des modèles de circulation générale (MCG) incluses dans le cinquième rapport d'évaluation (RE5) du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC). Les projections sont incertaines, mais cette incertitude est réduite par l'utilisation de projections multiples provenant de plusieurs modèles et scénarios (ensemble multi-modèles), comme le recommande le GIEC (GIEC, 2013). Les projections futures sont fournies en termes de percentiles ou de probabilités de dépassement, permettant différents niveaux de risque acceptable. Cette évaluation est utilisée par les équipes chargées des eaux de surface et de la fermeture des mines pour évaluer les impacts du changement climatique sur leurs ensembles de conception.

### **Prise de décision intégrant les changements climatiques**

L'évaluation climatique ci-dessus a mis à jour les projections de conception originales qui ont identifié la technologie la plus économique et la meilleure pour la performance. Les données plus récentes ont confirmé les précédentes projections de changements climatiques élaborées pour donner un aperçu des tendances au réchauffement entre 2025 et 2130 à l'aide des modèles du Scenario Network for Alaska & Arctic Planning (SNAP) disponibles auprès de la mine NICO (GNWT, 2019). En utilisant les projections les plus élevées et les plus basses jusqu'à l'année 2130, un réchauffement plus important a été observé en hiver ( $+9,0\text{ °C}$ ) qu'en été ( $+5,5\text{ °C}$ ). En intégrant le modèle de réchauffement climatique dans la conception stratégique, la performance du bloc gelé peut être modélisée pour la même durée temporelle (projection sur 100 ans).

**Figure 2 : Projections du réchauffement climatique appliquées entre 2025 et 2125 (GNWT/CIRNAC, 2019)**



Une étude sur l'optimisation de la congélation (FOS) est en cours pour évaluer et atténuer les risques, ainsi qu'identifier la stratégie la plus efficace pour réaliser la méthode des blocs de congélation (GNWT & INAC, 2010). L'étude FOS comprend le résumé des résultats de la mise en œuvre de la méthode des blocs réfrigérants sur une chambre de confinement, en utilisant des thermosiphons actifs et passifs (hybrides). L'étude révèle que les thermosiphons passifs ont montré des signes de performance réduite en mai (2011), lorsque la température de l'air est devenue trop chaude, ces thermosiphons ont donc été basculés en mode hybride. Le suivi des opérations passives a permis de mieux comprendre la façon dont le climat peut influencer ce qui se passe dans le sol. Les principaux résultats de l'étude sont résumés comme suit :

- le sol gèle plus rapidement que prévu, ce qui explique pourquoi la conception présentée est conservatrice;
- le gel est suffisamment rapide pour qu'un refroidissement passif complet soit raisonnable (en considérant les conditions climatiques actuelles), conséquemment;
- la congélation active, à l'aide d'une unité de réfrigération à forte consommation d'énergie, pourrait ne pas être nécessaire.

Une évaluation environnementale supplémentaire a été réalisée pour évaluer le risque d'une méthode humide ou sèche pour la congélation initiale. L'évaluation a conclu que la méthode sèche fonctionnait tout aussi bien que la méthode humide pour atteindre la température cible de congélation (GNWT, 2018), et que le risque supplémentaire, associé à la méthode humide, pouvait donc être évité. La congélation à sec est également plus facile à inverser que la congélation humide, permettant ainsi une meilleure technologie d'assainissement de l'arsenic car le bloc de congélation peut être facilement inversé. Les projections de conception ont également été utilisées dans la conception de l'adaptation, notamment en ce qui concerne les thermosiphons. L'entretien des thermosiphons à perpétuité est anticipé car leur efficacité diminue avec le temps (p. ex., perte de pression du gaz de charge). Sans entretien, le bloc gelé pourrait se réchauffer et dégeler si le système de refroidissement n'est pas surveillé et entretenu.

### Trajectoires d'adaptation

Comme nous l'avons mentionné précédemment, le succès de la méthode des blocs de congélation dépend du climat environnant de la mine. Le gel initial, qui permet d'obtenir une enveloppe gelée autour des chambres à arsenic, est le plus important. Si la température de l'air ambiant est constamment supérieure à la température du tube de congélation, il faudra intégrer une méthode active d'évacuation de la chaleur pour obtenir le pergélisol souhaité. En outre, si les technologies futures offrent une meilleure option pour la gestion de la poussière d'arsenic, la flexibilité nécessaire pour s'adapter à d'autres options devrait être disponible. L'objectif du FOS est de fournir des informations de base pour une mise en œuvre réussie du bloc de congélation et de permettre aux gouvernements d'identifier les zones qui nécessitent des mesures d'adaptation potentielles et une surveillance pour s'assurer que le bloc de congélation réussit à contenir la chambre de stockage d'arsenic. Le FOS est également l'occasion d'identifier les incertitudes et les contraintes, ainsi que de mettre au point des mesures d'urgence en fonction des événements imprévus qui pourraient survenir.

Pendant les étapes de gel initial et opérationnel du programme de gel, une procédure de surveillance sera mise en œuvre pour observer si le bloc de gel atteint la température des critères de conception. Un plan d'urgence a également été élaboré pour tenir compte des incertitudes qui peuvent survenir pendant l'opération de congélation. Ce plan comprend la recherche des causes, le remplacement des composants défectueux si nécessaire, l'extension de la durée de la congélation active/hybride, et/ou l'installation d'un plus grand nombre de thermosiphons hybrides et de conduites de congélation (GNWT & INAC, 2010).

Les procédures de surveillance suivantes sont prévues pour examiner les performances du bloc de congélation. Les principaux instruments seront les suivants :

- systèmes de surveillance de la température (GNWT & INAC, 2010);
- dispositifs de mesure du mouvement du sol dans les zones où la stabilité est une préoccupation (GNWT & INAC, 2010);
- surveillance des températures, débits et pressions des fluides dans la tuyauterie du système hybride (GNWT & INAC, 2010);
- contrôle de la gestion du gaz et surveillance de la perte de chaleur des radiateurs des thermosiphons passifs (GNWT & INAC, 2010).

Si la surveillance pendant la phase de maintien du gel passif à long terme indique un réchauffement inattendu dans ou autour des blocs gelés, les mesures d'urgence disponibles comprendront :

- recherchez les causes;
- remplacer les composantes défectueuses;
- installer des thermosiphons supplémentaires pour contrer le réchauffement de la surface (GNWT & INAC, 2010).

Un seuil critique est fixé lorsque la température du sol à 10 m de la chambre atteint  $-2\text{ °C}$ , tandis qu'un déclencheur est fixé lorsque cette température atteint  $0\text{ °C}$  (GNWT, 2019). Un scénario catastrophe a été évalué pour les thermosiphons défectueux qui passent inaperçus et ne sont pas atténués. Une fois que le bloc de glace est atteint et que la zone de 10 m est à  $-10\text{ °C}$ , on a prévu qu'il faudrait 10 ans avant que les limites extérieures de la poussière ne dégèlent à  $-5\text{ °C}$ , ce qui donne donc suffisamment de temps pour réagir et s'adapter avant que le seuil ne soit dépassé (GNWT & INAC, 2010).

### Ressources additionnelles

GNWT & INAC, 2010. Government of the Northwest Territories and Indian and Northern Affairs Canada. Giant Mine Remediation Project Developer's Assessment Report. EA0809-001. October 2010.

[http://reviewboard.ca/upload/project\\_document/EA0809-001\\_Giant\\_DAR\\_1288220431.PDF](http://reviewboard.ca/upload/project_document/EA0809-001_Giant_DAR_1288220431.PDF)

GNWT (2018). The 2017-18 Annual Report of the Giant Mine Remediation Project. Moving Towards Remediation. October 2018. <https://gmob.ca/wp-content/uploads/2018/11/2018-11-02-Giant-Mine-Remediation-Project-Annual-Report-2017-2018.pdf>

GNWT & Crown-Indigenous Relations and Northern Affairs Canada (2019). Giant Mine Remediation Project; SABCS Workshop, Deep-Freeze – Accounting for Potential Climate Changes in the Freeze Program at Giant Mine. PowerPoint. September 25, 2019.

Mackenzie Valley Environmental Impact Review Board (2013). Report of Environmental Assessment and Reasons for Decision. Giant Mine Remediation Project. EA0809-001. June 20, 2013. [http://reviewboard.ca/upload/project\\_document/EA0809-001\\_Giant\\_Report\\_of\\_Environmental\\_Assessment\\_June\\_20\\_2013.PDF](http://reviewboard.ca/upload/project_document/EA0809-001_Giant_Report_of_Environmental_Assessment_June_20_2013.PDF)

## Mine Millennium de Suncor – Gestion adaptative dans la gestion des résidus miniers

### Contexte

Suncor Energy Ltd. (Suncor) est une société énergétique Canadienne spécialisée dans la production de pétrole brut synthétique à partir de sables bitumineux en Alberta. Elle exploite des sables bitumineux commerciaux en Alberta depuis 1967 et actuellement, elle exploite plusieurs mines de sables bitumineux dans le nord de l'Alberta.

En 2016, Suncor a soumis un plan de gestion des résidus fluides (TMP) pour la demande de l'usine « Base Plant » conjointement à la demande de modification opérationnelle connue sous le nom de Millenium Operational Amendment (MOA), ce qui comprend les détails relatifs aux plans de mine et de fermeture. Le TMP proposé prévoit que plus de 70 % des résidus seront gérés au moyen d'une nouvelle technologie non éprouvée – le système de stockage aquatique passif (Passive Aquatic Storage System ou SSAP) – qui implique l'ajout de produits chimiques pour déshydrater les résidus et réduire la mobilité des contaminants. De l'eau sera placée sur les résidus traités à la fin de la vie de la mine, ayant pour résultat une fermeture aquatique dans le DDA3 (aussi connu sous le nom de recouvrement d'eau). Ce nouveau PASS vise également à gérer les incertitudes et les risques liés aux changements climatiques, particulièrement les incertitudes liées aux niveaux d'eau.

L'Alberta Energy Regulator (AER) applique une approche basée sur le risque pour réglementer l'industrie, ce qui signifie que les activités à haut risque reçoivent une plus grande attention. Étant donné la nature et l'ampleur des résidus liquides générés par l'exploitation des mines de sables bitumineux et la recherche et le développement continus de la technologie de traitement des résidus, la gestion des résidus liquides est considérée comme l'une des activités industrielles les plus risquées de l'Alberta<sup>2</sup>. Pour gérer et diminuer la responsabilité et le risque environnemental résultant de l'accumulation de résidus fluides, le gouvernement de l'Alberta a publié en 2015 le cadre de gestion des résidus pour les sables bitumineux exploitables de l'Athabasca (TMF). Dans le cadre de la mise en œuvre du TMF, l'AER a publié la Directive 085 : Gestion des résidus fluides pour les projets d'exploitation des sables bitumineux (*Tailings Management Framework for the Mineable Athabasca Oil Sands* (TMF), qui énonce les nouvelles exigences relatives aux plans de gestion des résidus fluides. Pour la demande de TMP de Suncor, cela signifie que l'AER avait besoin d'obtenir l'assurance suffisante que les résidus fluides de Suncor atteindront les résultats de l'ATM à temps et que les conditions des approbations sont claires et applicables en vertu de la Directive 085.

### Évaluation de la vulnérabilité et des risques climatiques

Suncor a fourni des informations concernant la justification, les données et les hypothèses liées aux risques et incertitudes pour le PASS et le DDA3. Cette information comprenait des mesures d'atténuation, des plans d'urgence et des jalons pour la remise en état, y compris l'information relative aux changements climatiques. Suncor a constaté que les changements climatiques pouvaient représenter un risque pour le lac Upper Pit (UPL) et que les prévisions actuelles indiquent un avenir plus chaud et plus humide. Dans le

---

2 Alberta Energy Regulator Decision 20171025A: Suncor Energy Inc., Applications for Millennium Operational Amendment and Base Plant Tailings Management Plan.

cas contraire, la viabilité de l'UPL pourrait être compromise s'il n'était pas géré de façon appropriée. Suncor a fourni des informations à l'AER sur les leviers dont elle dispose pour gérer ce risque, notamment :

- la possibilité de modifier l'élévation de la sortie du lac;
- changer l'élévation de la zone littorale;
- adapter notre approche au cours des 26 prochaines années, à mesure que nous acquérons une meilleure compréhension de l'hydrologie à long terme et des conditions climatiques;
- capter les résidus de fluide traité sous une forme particulière, en veillant à ce que, même dans un scénario où le lac s'assèche périodiquement, il y ait une certaine barrière entre les résidus de fluide traité et l'environnement;
- modifier le paysage de fermeture et le drainage pour fournir de l'eau en plus ou moins grande quantité.

### Prise de décision intégrant les changements climatiques

Selon la Directive 085, l'AER inclut dans les approbations des conditions qui sont basées sur les résultats, gèrent les risques et les incertitudes, soutiennent la flexibilité et la gestion adaptative, et sont exécutoires. Au minimum, les conditions d'approbation porteront sur les points suivants :

- seuils spécifiques au projet pour les résidus fluides (nouveaux et anciens);
- étapes et performance du dépôt de résidus miniers;
- mesures d'atténuation et plans d'urgence;
- exigences en matière de surveillance et de rapports.

Par conséquent, l'AER a inclus des exigences en matière de recherche, de surveillance, d'évaluation et de production de rapports à l'approbation du TMP de Suncor afin de fournir l'information nécessaire pour vérifier les hypothèses relatives à la technologie et au rendement des dépôts, y compris les exigences liées à la surveillance et à l'évaluation des changements climatiques.

### Trajectoires d'adaptation

Les scénarios de changements climatiques pourraient avoir un certain nombre d'impacts potentiels sur la fermeture et ses résultats. Pour gérer les incertitudes liées aux conditions climatiques futures, Suncor a modélisé une gamme de conditions attendues sur la base des meilleures informations disponibles. En général, ces prévisions indiquent que la température augmentera et qu'il en sera de même pour la quantité de précipitations (plus chaudes et plus humides). Toutefois, il demeure possible qu'il y ait moins de précipitations à l'avenir. La modélisation réalisée à ce jour montre que dans les conditions de changement climatique prévues, l'UPL sera viable. S'il y a moins d'eau que prévu, Suncor a la possibilité de modifier efficacement le DDA3 pour obtenir un lac viable.

En guise de toile de fond, le plan de drainage de la fermeture atteint un ratio de 9:1 entre le bassin versant et la superficie du lac et se situe dans la fourchette acceptable pour un lac de mine viable. En l'absence d'un modèle hydrologique, l'utilisation du ratio bassin versant/surface du lac est considérée comme acceptable comme approche générale pour la viabilité de la taille du lac. Cependant, Suncor dispose d'un modèle hydrologique (qui est à la référence de la demande de MOA) qu'elle a utilisé pour déterminer si le bassin versant est suffisant pour supporter la taille du lac proposé compte tenu d'une gamme de

scénarios de changements climatiques. L'approche qui consiste à utiliser un modèle hydrologique est préférable comparativement à un ratio générique bassin versant/lac et fournit de meilleures informations pour aider à gérer les incertitudes.

Suncor dispose de deux leviers clés pour gérer les impacts des scénarios de changements climatiques sur la viabilité du lac de mine prévu pour DDA3 :

1. Suncor a la possibilité de modifier l'élévation de la sortie du lac. Le plan de résidus miniers pour le DDA3 comporte une hypothèse prudente de tassement/consolidation des résidus traités pendant les opérations de 2018 à 2043; par conséquent, il est attendu qu'un tassement plus important se produise dans le DDA3 pendant la période d'exploitation. Cela signifie que l'élévation finale des résidus traités dans le DDA3 pourrait être plus faible. Cela donne à Suncor la flexibilité de déplacer l'élévation de sortie vers le haut ou vers le bas, selon le cas.
2. Suncor a la possibilité de modifier l'élévation de la zone littorale. La zone littorale de l'UPL est créée par l'excavation à l'intérieur de la décharge de sable (Sand Dump 9). Cela signifie que l'élévation de la zone littorale peut être modifiée afin de s'adapter à une taille de lac plus petite ou plus grande.

Le temps qui nous sépare de l'achèvement prévu du DDA3 (2043) offre des possibilités supplémentaires d'évaluation et d'atténuation des risques. Cette période permettra de poursuivre les travaux sur la technologie de traitement des résidus, l'amélioration des modèles et la compréhension du changement climatique. En conclusion, ces mesures d'atténuation potentielles offrent à Suncor la souplesse nécessaire pour adapter le plan de fermeture au fur et à mesure que nous améliorons notre compréhension de l'hydrologie à long terme au cours des 20 prochaines années et plus.

### Ressources additionnelles

Alberta Energy Regulator Decision 20171025A: Suncor Energy Inc., Applications for Millennium Operational Amendment and Base Plant Tailings Management Plan. <https://www.aer.ca/documents/decisions/2017/20171025A.pdf>

Alberta Energy Regulator. 2017. Directive 085: Fluid Tailings Management for Oil Sands Mining Projects. <https://www.aer.ca/documents/directives/Directive085.pdf>

Government of Alberta. 2015. Lower Athabasca Region: Tailings Management Framework for the Mineable Athabasca Oil Sands (TMF). <https://open.alberta.ca/publications/9781460121740>

## Annexe E : Vulnérabilités liées aux changements climatiques – Cycle de vie d'une mine

Comme nous l'avons vu à la [section 4](#), les risques liés aux changements climatiques varient en fonction de la phase du cycle de vie dans laquelle se trouve une mine. Les risques climatiques dépendent de l'emplacement de la mine (p. ex., côte ou intérieur, aride ou tempéré), de son étendue géographique et des composantes de l'infrastructure physique.

Après les deux premières étapes du processus d'évaluation des risques (étape 1 : définition de l'évaluation des risques et étape 2 : collecte d'informations), l'étape 3 : Identification des vulnérabilités nécessite l'identification des vulnérabilités et des risques liés aux changements climatiques d'un site. Les risques climatiques sont spécifiques à chaque site; par conséquent, il est prévu que la liste des risques élaborée à l'étape 3 variera d'un site à l'autre. Voici une liste non exhaustive des vulnérabilités climatiques potentielles qui peuvent présenter des risques pour une mine et qui ont été incluses dans le tableau ci-dessous. Les vulnérabilités sont divisées par les variables de changements climatiques qui influenceront les changements prévus pour chaque vulnérabilité (p. ex., l'augmentation des températures entraînera une augmentation de la dégradation du pergélisol).

- températures à la hausse;
- chaleur extrême;
- sécheresse;
- vents changeants;
- précipitations changeantes;
- événements de précipitation de haute intensité;
- changements dans les chutes de neige;
- fonte de neige de plus forte intensité;
- retraite glaciaire;
- changements dans les saisons de croissance;
- dégradation du pergélisol;
- élévation du niveau de la mer;
- tempêtes (p. ex., verglas, foudre, vent, ouragans);
- érosion côtière;
- inondations;
- feux de forêt;
- humidité/évapotranspiration;
- communautés biologiques.

Le tableau E-1 donne des exemples de risques pouvant résulter des vulnérabilités aux changements climatiques au cours de chaque phase du cycle de vie de la mine.

Tableau E-1 : Variables et événements climatiques et vulnérabilités potentielles catégorisées selon le cycle de vie de la mine

Variables et événements climatiques	Planification	Conception	Construction et opérations	Fermeture et post fermeture
<b>Températures à la hausse</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Peut avoir un impact sur l'emplacement du site minier étant donné que la disponibilité de l'eau peut être affectée par les risques liés à l'augmentation des températures (c-à-d. la chaleur extrême et la sécheresse).</li> <li>■ Au cours de la phase de planification, le propriétaire doit tenir compte des impacts potentiels des changements de température prévus, en fonction des risques identifiés dans les autres phases.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Peut avoir un impact sur les hypothèses climatiques sous-jacentes utilisées dans la conception des infrastructures de la mine, y compris les réseaux de systèmes de ventilation.</li> <li>■ Peut avoir un impact sur les hypothèses climatiques sous-jacentes utilisées dans l'élaboration du plan de fermeture.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Des températures plus élevées peuvent réduire la capacité des générateurs thermiques et des lignes de transport.</li> <li>■ Des températures plus élevées pourraient signifier une saison sans glace plus longue dans l'Arctique, venant raccourcir les saisons d'approvisionnement des mines qui dépendent des routes de glace en hiver pour leur approvisionnement.</li> <li>■ Une variabilité saisonnière des besoins en énergie peut être observée (p. ex., moins d'énergie de chauffage est nécessaire en hiver mais plus de climatisation en été).</li> <li>■ Pourrait mener à un plus grand nombre d'arrêts de fonctionnement en raison de la hausse des températures souterraines.</li> <li>■ Pourrait affecter les coûts énergétiques de la ventilation (susceptibles d'augmenter en conséquence).</li> <li>■ Pourrait augmenter la production de poussière et affecter les activités d'atténuation de la poussière.</li> <li>■ Pourrait créer des conditions de travail inadéquates pour le personnel.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Les changements de température pourraient affecter la croissance réussie des espèces de flore/végétation pour les activités de fermeture.</li> <li>■ Des températures plus élevées pourraient endommager les infrastructures restant sur les sites après leur fermeture.</li> <li>■ Peut augmenter la production de poussière et avoir un impact sur les activités d'atténuation de la poussière.</li> </ul>

Variables et événements climatiques	Planification	Conception	Construction et opérations	Fermeture et post fermeture
<b>Chaleur extrême</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Dans le cadre de la planification, le propriétaire doit tenir compte les impacts potentiels de la chaleur extrême prévue, sur la base des risques identifiés dans les autres phases.</li> <li>■ Pourrait être nécessaire d'anticiper des pertes de transport de l'électricité entre la source de production au site.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Pourrait avoir un impact sur la conception des infrastructures et des mines si elles ne sont pas conçues pour résister à une chaleur extrême.</li> <li>■ Pourrait avoir un impact sur les hypothèses climatiques sous-jacentes utilisées dans l'élaboration du plan de fermeture.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ La chaleur extrême peut avoir des répercussions sur la disponibilité de l'eau (voir section sur la sécheresse) et pourrait entraîner un déséquilibre de l'eau sur le site. La réduction des ressources en eau, nécessaires pour l'eau de refroidissement, pourrait affecter les opérations ou conduire à des inefficacités de la turbine. Par exemple, les exploitations minières et métallurgiques ont besoin d'eau pour le refroidissement, le concassage, le broyage, la concentration du minerai, le transport des boues, le stockage des résidus miniers et les activités d'atténuation des poussières.</li> <li>■ La disponibilité de l'eau est essentielle pour la production d'énergie hydroélectrique.</li> <li>■ Les températures élevées peuvent poser des problèmes de santé et de sécurité aux employés. Les vagues de chaleur peuvent provoquer une fatigue chronique due à la chaleur et le stress thermique peut exacerber les maladies cardiovasculaires et respiratoires.</li> <li>■ Efficacité réduite de l'infrastructure à des températures élevées.</li> <li>■ Peut augmenter la production de poussière et avoir un impact sur les activités d'atténuation de la poussière.</li> <li>■ Pourrait créer des conditions de travail inadéquates pour le personnel.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ La chaleur extrême pourrait endommager les infrastructures demeurant sur les sites après leur fermeture.</li> <li>■ Une chaleur extrême pourrait entraîner la perte de la végétation.</li> <li>■ La chaleur extrême pourrait avoir un impact sur l'efficacité des stratégies de fermeture des déchets miniers (p. ex., la performance des systèmes de couverture).</li> <li>■ Pourrait favoriser une plus grande production de poussière et affecter les activités d'atténuation de la poussière.</li> </ul>

Variables et événements climatiques	Planification	Conception	Construction et opérations	Fermeture et post fermeture
<b>Sécheresse</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Pourrait affecter le bilan hydrique. Plus précisément, si une mine a besoin d'une certaine quantité d'eau pour maintenir ses activités, le plan de la mine pourrait avoir besoin de tenir compte des futurs changements de température et de précipitations, car il est prévu que les épisodes de sécheresse seront de plus en plus fréquents.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Pourrait affecter la conception des infrastructures et des mines si elles ne sont pas conçues de façon à résister à des périodes avec peu ou pas d'eau.</li> <li>■ Pourrait affecter les hypothèses climatiques sous-jacentes utilisées dans l'élaboration du plan de fermeture.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Pourrait affecter la disponibilité de l'eau et le bilan hydrique du site.</li> <li>■ Pourrait augmenter le coût de l'approvisionnement de l'eau.</li> <li>■ Pourrait affecter l'approvisionnement en eau souterraine avec la réduction du taux de recharge.</li> <li>■ L'aggravation des conditions de sécheresse pourrait accroître la probabilité d'incendies dans les zones environnantes (voir section sur les incendies de forêt).</li> <li>■ Pourrait augmenter la génération de poussières et affecter les activités d'atténuation de la poussière.</li> <li>■ Pourrait affecter l'efficacité des stratégies de gestion des déchets miniers (p. ex., nécessité de maintenir des conditions de saturation pour prévenir le drainage acide), ce qui peut à son tour avoir un impact sur les besoins de gestion et de traitement d'eau.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ L'efficacité à long terme des couvertures de résidus miniers et de stériles peut diminuer dans les zones soumises à un stress hydrique.</li> <li>■ L'augmentation de la fréquence des épisodes de sécheresse pourrait entraîner une perte de la végétation.</li> <li>■ Pourrait affecter l'efficacité des stratégies de gestion des déchets miniers (p. ex., nécessité de maintenir des conditions de saturation pour prévenir le drainage acide), ce qui peut à son tour avoir un impact sur les besoins de gestion et de traitement de l'eau.</li> <li>■ Pourrait affecter le stress hydrique des communautés locales.</li> </ul>
<b>Vents changeants</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Au cours de la phase de planification, le propriétaire doit tenir compte des impacts potentiels des changements futurs prévus en matière de vent, sur la base des risques identifiés dans les autres phases.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ La conception des infrastructures devra peut-être tenir compte d'une augmentation des vents susceptibles d'entraîner des dommages.</li> <li>■ Peut avoir un impact sur les hypothèses climatiques sous-jacentes utilisées dans l'élaboration du plan de fermeture.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ L'augmentation des vents peut endommager les infrastructures sur place (p. ex., les vents extrêmes peuvent endommager les toits des bâtiments ou d'autres infrastructures).</li> <li>■ L'augmentation des vents peut contribuer à la génération de poussières et aux exigences associées en matière de gestion de la poussière.</li> <li>■ Les voies de transmission de l'énergie peuvent être perturbées.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Possibilité d'endommager les infrastructures à long terme en raison de l'augmentation des vents.</li> <li>■ L'augmentation des vents peut accroître les risques de migration hors-site de la poussière.</li> </ul>

Variables et événements climatiques	Planification	Conception	Construction et opérations	Fermeture et post fermeture
<p><b>Précipitations changeantes</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Au cours de la planification, le maître d'ouvrage doit tenir compte des impacts potentiels des changements prévus dans les précipitations, sur la base des risques identifiés dans les autres phases.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Pourrait avoir un impact sur les hypothèses climatiques sous-jacentes utilisées dans la conception des infrastructures minières.</li> <li>■ Pourrait avoir un impact sur les hypothèses climatiques sous-jacentes utilisées dans l'élaboration du plan de fermeture.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Les changements dans les précipitations saisonnières affecteront l'hydrologie et l'humidité du sol, ce qui peut affecter la capacité des structures de confinement des déchets à empêcher la contamination des terres et des eaux souterraines environnantes.</li> <li>■ L'augmentation des précipitations et les températures élevées peuvent accélérer l'altération des stériles acidogène et provoquer l'apparition plus précoce et l'augmentation du volume de drainage minier acide.</li> <li>■ Les modifications de l'écoulement de l'eau au travers les sites miniers, résultant de changements dans les précipitations, peuvent provoquer des défaillances dans la stabilité des pentes, ce qui peut endommager les structures de confinement.</li> <li>■ Les modifications de l'écoulement de l'eau à travers le site peuvent avoir un impact sur la gestion de l'eau, notamment sur le drainage du site.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Les changements dans les précipitations saisonnières peuvent affecter la réhabilitation de la flore/végétation pour les sites fermés.</li> <li>■ Les changements dans les précipitations saisonnières affecteront l'hydrologie et l'humidité du sol, ce qui peut affecter la capacité des structures de confinement des déchets à empêcher la contamination des terres et des eaux souterraines environnantes.</li> <li>■ L'augmentation des précipitations et les températures élevées peuvent accélérer l'altération des stériles acidogène et provoquer l'apparition plus précoce et l'augmentation du volume du drainage minier acide.</li> <li>■ Les modifications de l'écoulement de l'eau au travers les sites miniers résultant de changements dans les précipitations peuvent provoquer des défaillances dans la stabilité des pentes, ce qui peut endommager les structures de confinement.</li> <li>■ Les changements dans l'écoulement de l'eau à travers le site peuvent avoir un impact sur la gestion de l'eau, y compris le drainage du site, et peuvent avoir un impact sur les communautés d'intérêt environnantes.</li> </ul>

Variables et événements climatiques	Planification	Conception	Construction et opérations	Fermeture et post fermeture
<p><b>Événements de précipitations de haute intensité (Mason <i>et al.</i>, 2013)</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Au cours de la phase de planification, le propriétaire doit tenir compte des impacts potentiels des événements de précipitations de forte intensité projetés à l'avenir, en fonction des risques identifiés dans les autres phases.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Pourrait envisager des normes de construction et de conception qui tiennent compte des changements climatiques.</li> <li>■ La conception des futurs barrages, parcs à résidus miniers et systèmes de gestion de l'eau (ponceaux, canalisations et usines de traitement) doit tenir compte des changements climatiques futurs, en particulier des changements dans les précipitations et des événements extrêmes qui peuvent être en dehors des valeurs de conception historiques.</li> <li>■ Pourrait avoir un impact sur les hypothèses climatiques sous-jacentes utilisées dans l'élaboration du plan de fermeture.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Les précipitations de forte intensité pourraient endommager les infrastructures, perturber les opérations et les chaînes d'approvisionnement.</li> <li>■ Pourrait entraîner des inondations localisées ou en aval (voir la section Inondations).</li> <li>■ Les fortes précipitations pourraient avoir un impact sur les structures de gestion de l'eau qui n'ont pas été conçues pour résister à ces événements.</li> <li>■ Des précipitations intenses peuvent provoquer des emportements de routes, limitant l'accès aux sites miniers et interrompant l'approvisionnement et les services.</li> <li>■ L'augmentation des précipitations pourrait entraîner un mouvement des parois et une rupture des parois de la fosse liée à l'assèchement de celle-ci.</li> <li>■ Pourrait augmenter les besoins énergétiques en raison de l'augmentation des activités d'assèchement et de déplacement de l'eau (pompage).</li> <li>■ Les fortes précipitations pourraient avoir un impact sur les parcs à résidus miniers qui n'ont pas été conçus pour résister à ces événements.</li> <li>■ Pourrait affecter le drainage du site.</li> <li>■ Pourrait causer de la contamination en aval dû à des rejets d'eau non traitée.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Les structures de gestion des eaux finales peuvent déborder et les structures en aval peuvent être submergées à la suite d'événements de pluie extrêmes.</li> <li>■ Peut entraîner des inondations localisées ou en aval (voir la section Inondations).</li> <li>■ Des précipitations intenses peuvent provoquer des emportements de routes, limitant l'accès aux sites miniers et interrompant l'approvisionnement et les services.</li> <li>■ Les fortes précipitations peuvent avoir un impact sur les parcs à résidus miniers qui n'ont pas été conçus pour résister à ces événements.</li> <li>■ Pourrait affecter le drainage du site.</li> <li>■ Peut causer de la contamination en aval par des rejets d'eau non traitée.</li> </ul>

Variables et événements climatiques	Planification	Conception	Construction et opérations	Fermeture et post fermeture
<b>Changements dans les chutes de neige</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Au cours de la phase de planification, le maître d'ouvrage doit tenir compte des impacts potentiels des changements prévus dans les chutes de neige, sur la base des risques identifiés dans les autres phases.</li> <li>■ Se référer aux codes de construction applicables aux structures (p. ex., la charge de neige sur les bâtiments).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ La conception des infrastructures (p. ex., les toits des bâtiments) peut être endommagée ou peut céder si les charges de neige augmentent et dépassent les seuils de conception.</li> <li>■ Pourrait avoir un impact sur les hypothèses climatiques sous-jacentes utilisées dans l'élaboration du plan de fermeture.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Les modifications de l'écoulement de l'eau à travers les sites miniers, résultant de changements dans les chutes de neige, peuvent endommager les infrastructures de gestion de l'eau et les structures de confinement.</li> <li>■ Augmentation des besoins en équipement et en énergie pour les activités accrues de déneigement.</li> <li>■ La diminution des chutes de neige peut entraîner une érosion accrue des parcs à résidus miniers.</li> <li>■ Les modifications du régime des chutes de neige et la fréquence accrue des dégels hivernaux et des épisodes de « pluie sur la neige » augmentent le risque d'avalanches et peuvent aussi accroître le risque associé aux débits élevés et au ruissellement excessif en hiver.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Possibilité d'endommager les infrastructures à long terme en raison de l'augmentation des charges de neige.</li> <li>■ Les modifications de l'écoulement de l'eau à travers les sites miniers résultant de changements dans les chutes de neige peuvent endommager les infrastructures de gestion de l'eau et les structures de confinement.</li> <li>■ La diminution des chutes de neige peut entraîner une érosion accrue des parcs à résidus miniers.</li> <li>■ Les modifications du régime des chutes de neige et la fréquence accrue des dégels hivernaux et des épisodes de « pluie sur la neige » augmentent le risque d'avalanches et pourraient aussi accroître le risque associé aux débits élevés et au ruissellement excessif pendant l'hiver.</li> <li>■ Pourrait également nuire aux chaînes d'approvisionnement / provoquer des interruptions de la chaîne d'approvisionnement.</li> </ul>

Variables et événements climatiques	Planification	Conception	Construction et opérations	Fermeture et post fermeture
<b>Fonte de neige de plus haute intensité</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Au cours de la phase de planification, le maître d'ouvrage doit tenir compte des impacts potentiels des changements prévus dans la fonte des neiges, sur la base des risques identifiés dans les autres phases.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ La conception des infrastructures devra peut-être tenir compte d'une augmentation de la fonte des neiges qui pourrait entraîner des dommages.</li> <li>■ Peut avoir un impact sur les hypothèses climatiques sous-jacentes utilisées dans l'élaboration du plan de fermeture.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Pourrait être l'occasion de puiser dans les lacs locaux, car l'augmentation de la fonte des neiges alimentera ces systèmes.</li> <li>■ Pourrait entraîner des répercussions sur le bilan hydrique du site et la disponibilité de l'eau en été si les systèmes de gestion de l'eau sont surchargés pendant la crue et que le propriétaire n'est pas en mesure de stocker suffisamment d'eau pour l'utiliser en été.</li> <li>■ Les épisodes de fonte des neiges de forte intensité pourraient endommager les infrastructures, perturber les opérations et les chaînes d'approvisionnement.</li> <li>■ Peut entraîner des inondations localisées ou en aval (voir la section Inondations).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Une crue d'une plus grande intensité peut bouleverser la gestion de l'eau sur le site et perturber les opérations (voir la section sur les précipitations de haute intensité).</li> <li>■ Pourrait affecter le bilan hydrique du site.</li> <li>■ Pourrait entraîner des inondations localisées ou en aval (voir la section Inondations).</li> </ul>
<b>Retraite glaciaire</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Au cours de la planification, le maître d'ouvrage devrait tenir compte des impacts potentiels du recul glaciaire projeté, sur la base des risques identifiés dans les autres phases.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ La conception des infrastructures pourrait avoir besoin de tenir compte d'une augmentation (ou d'une diminution) de la disponibilité de l'eau et des modifications du bilan hydrique en cas de récession d'un glacier.</li> <li>■ Pourrait avoir un impact sur les hypothèses climatiques sous-jacentes utilisées dans l'élaboration du plan de fermeture.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Le recul des glaciers pourrait avoir un impact sur la gestion de l'eau sur le site.</li> <li>■ Pourrait avoir un impact sur la conception de la future mine, les réserves de minerais potentielles et la durée de vie de la mine si le retrait glaciaire expose des zones qui n'étaient pas accessibles à l'exploitation minière auparavant.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Pourrait avoir un impact sur la gestion de l'eau sur le site pour les infrastructures restantes.</li> </ul>

Variables et événements climatiques	Planification	Conception	Construction et opérations	Fermeture et post fermeture
<b>Retraite glaciaire (suite)</b>		<ul style="list-style-type: none"> <li>Pourrait avoir un impact sur la conception de la future mine, les réserves de minerai potentielles et la durée de vie de la mine, si le retrait glaciaire expose des zones qui n'étaient pas accessibles à l'exploitation minière auparavant.</li> </ul>		
<b>Saisons de croissance changeantes</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Au cours de la phase de planification, le propriétaire devrait tenir compte des impacts potentiels en lien avec les saisons de croissance changeantes sur l'élaboration et la mise en œuvre du plan de remise en état et de fermeture progressive.</li> <li>Le propriétaire devrait tenir en compte les impacts potentiels sur les communautés d'intérêts environnantes qui peuvent dépendre de l'agriculture locale.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Le propriétaire devrait tenir compte des saisons de croissance changeantes sur l'élaboration et la mise en œuvre du plan de remise en état progressive et de fermeture.</li> <li>Le propriétaire devrait tenir compte des impacts sur les communautés d'intérêts environnantes qui peuvent mettre à mal l'agriculture locale.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Les changements dans la durée de la saison de croissance peuvent avoir un impact sur la réhabilitation progressive et les émissions de poussières.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>La durée de la saison de croissance pourrait avoir un impact sur la sélection des espèces et la réhabilitation de la flore/végétation qui peut avoir un impact sur les communautés d'intérêt.</li> </ul>
<b>Dégradation du pergélisol</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Au cours de la phase de planification, le maître d'ouvrage devrait tenir compte des impacts potentiels de la dégradation projetée du pergélisol, sur la base des risques identifiés dans les autres phases.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Le dégel du pergélisol pourrait avoir un impact sur la conception des infrastructures minières dont l'intégrité structurelle peut en dépendre.</li> <li>Pourrait avoir un impact sur les hypothèses climatiques utilisées dans la conception de la fermeture.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>La dégradation du pergélisol pourrait entraîner l'instabilité des terres et affecter les infrastructures qui dépendent du pergélisol, notamment les parcs à résidus miniers, les infrastructures de gestion de l'eau, les routes d'accès aux mines, les routes de transport, les fondations des bâtiments et des usines ainsi que d'autres structures souterraines.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Possibilité d'endommager les infrastructures à long terme, notamment les parcs à résidus miniers et les infrastructures de gestion des eaux, en raison de la dégradation du pergélisol.</li> </ul>

Variables et événements climatiques	Planification	Conception	Construction et opérations	Fermeture et post fermeture
<b>Dégradation du pergélisol (suite)</b>			<ul style="list-style-type: none"> <li>Pourrait avoir un impact sur l'efficacité des stratégies de gestion des déchets miniers (p. ex., la nécessité de maintenir des conditions de gel pour empêcher le drainage minier acide), ce qui peut à son tour avoir un impact sur les besoins de gestion et de traitement de l'eau.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Peut avoir un impact sur l'efficacité des stratégies de gestion des déchets miniers (p. ex., la nécessité de maintenir des conditions de gel pour empêcher le drainage minier acide), ce qui peut à son tour avoir un impact sur les besoins de gestion et de traitement de l'eau.</li> </ul>
<b>Élévation du niveau de la mer</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Au cours de la phase de planification, le propriétaire devrait tenir compte des impacts potentiels de l'élévation future du niveau de la mer, sur la base des risques identifiés dans les autres phases.</li> <li>À tenir compte dans le choix des emplacements des principaux composants du site minier pour les sites proches du niveau de la mer.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Pourrait avoir un impact sur la conception des infrastructures en tenant compte de l'élévation du niveau de la mer.</li> <li>Pourrait avoir un impact sur les hypothèses climatiques sous-jacentes utilisées dans l'élaboration du plan de fermeture.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>L'intrusion d'eau salée dans les réserves d'eau douce pourrait affecter la qualité de l'eau.</li> <li>Pourrait affecter la disponibilité des ports et potentiellement perturber les opérations en raison de retards ou d'interruptions du transport.</li> <li>Pourrait affecter les infrastructures terrestres construites près du niveau de la mer.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Pourrait endommager les infrastructures si elles sont proches du niveau de la mer.</li> </ul>
<b>Événements de tempêtes (foudre, glace, neige) (Mason et al., 2013)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Au cours de la phase de planification, le propriétaire devrait tenir compte des impacts potentiels des changements prévus dans les événements pluviaux, sur la base des risques identifiés dans les autres phases.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Pourrait avoir un impact sur la conception des infrastructures en tenant compte de la fréquence accrue de la foudre et de l'augmentation des charges de neige et de glace.</li> <li>Pourrait avoir un impact sur les hypothèses climatiques sous-jacentes utilisées dans l'élaboration du plan de fermeture.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Pourrait endommager les infrastructures, perturber les opérations et les chaînes d'approvisionnement.</li> <li>L'augmentation du nombre de tempêtes pourrait endommager les infrastructures du site en raison de la glace ou de la foudre.</li> <li>Les voies de transport de l'énergie peuvent être perturbées en raison de l'accumulation de glace ou de lignes électriques endommagées.</li> <li>Les tempêtes pourraient avoir un impact sur la capacité des employés à travailler, en raison d'environnements de travail dangereux ou de l'accès bloqué aux sites.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Possibilité d'endommager l'infrastructure à long terme à la suite de tempêtes après la fermeture.</li> <li>Pourrait augmenter la génération de poussières et avoir un impact sur les activités d'atténuation de la poussière.</li> </ul>

Variables et événements climatiques	Planification	Conception	Construction et opérations	Fermeture et post fermeture
<b>Événements de tempêtes (foudre, glace, neige) (Mason et al., 2013) (suite)</b>			<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Pourrait augmenter la génération de poussières et avoir un impact sur les activités d'atténuation de la poussière.</li> <li>■ Pourrait augmenter les facteurs de stress pour les communautés d'intérêt locales.</li> </ul>	
<b>Érosion côtière</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Au cours de la phase de planification, le propriétaire devrait tenir compte des impacts potentiels de l'érosion côtière projetée, en se basant sur les risques identifiés dans les autres phases.</li> <li>■ À considérer dans le choix des emplacements des principales composantes du site minier pour les sites situés près du niveau de la mer.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ La conception des infrastructures pourrait avoir besoin de tenir compte des pentes instables dues à l'érosion.</li> <li>■ Pourrait avoir un impact sur les hypothèses climatiques sous-jacentes utilisées dans l'élaboration du plan de fermeture.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Les changements climatiques exacerbent l'érosion côtière en raison de la hausse des niveaux d'eau et de l'action des vagues, ce qui peut entraîner l'instabilité des pentes ou l'intrusion d'eau salée.</li> <li>■ L'érosion côtière pourrait endommager les infrastructures de transport et autres infrastructures situées dans près du rivage.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Pourrait avoir un impact sur les infrastructures à long terme si la stabilité des pentes est compromise.</li> </ul>
<b>Inondations</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Au cours de la phase de planification, le propriétaire devrait tenir compte des impacts potentiels de l'augmentation prévue des inondations, sur la base des risques identifiés dans les autres phases.</li> <li>■ À tenir compte dans la sélection des emplacements des composantes clés du site minier afin de prévenir les impacts des futures inondations et leur impact sur les communautés voisines.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Les infrastructures d'eaux pluviales pourraient être affectées si elles ne sont pas conçues pour répondre à l'augmentation prévue des précipitations extrêmes.</li> <li>■ Pourrait avoir un impact sur les hypothèses climatiques sous-jacentes utilisées dans l'élaboration du plan de fermeture.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Les voies de transport de l'énergie pourraient être perturbées.</li> <li>■ Pourrait endommager les infrastructures sur place et hors site, notamment les infrastructures de gestion de l'eau et les infrastructures de transport.</li> <li>■ Les inondations pourraient affecter la capacité des employés à travailler en raison d'environnements de travail dangereux ou de l'accès bloqué au site.</li> <li>■ Pourrait causer de la contamination en aval (rejets d'eau non traitée).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Pourrait endommager les infrastructures sur place et hors site, y compris les infrastructures de gestion de l'eau et les infrastructures de transport.</li> <li>■ Pourrait causer de la contamination en aval (rejets d'eau non traitée).</li> </ul>

Variables et événements climatiques	Planification	Conception	Construction et opérations	Fermeture et post fermeture
<b>Feux de forêt</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Au cours de la phase de planification, le propriétaire devrait tenir compte des impacts potentiels de l'augmentation prévue des incendies de forêt, sur la base des risques identifiés dans les autres phases.</li> <li>■ Devrait être pris en compte dans la sélection des emplacements des composantes clés du site minier afin de prévenir ou de limiter les impacts des incendies de forêt.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Pourrait avoir un impact sur la conception de l'infrastructure de façon à envisager l'utilisation de matériaux résistants au feu sur le site si le feu de forêt est une vulnérabilité potentielle.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ La foudre pourrait augmenter la probabilité d'incendies dans les zones environnantes.</li> <li>■ Les dommages causés par les incendies de forêt pourraient inclure l'interruption des lignes de transport d'énergie, limiter l'accès aux opérations et endommager les infrastructures de communication et d'électricité.</li> <li>■ Les incendies de forêt pourraient avoir un impact sur la capacité des employés à travailler en raison d'environnements de travail dangereux ou de l'accès bloqué aux sites.</li> <li>■ Les feux de forêt pourraient entraîner des suspensions temporaires des activités, ce qui pourrait causer des répercussions sur la gestion de l'eau (p. ex., alimentation des pompes et d'autres équipements) et entraîner des perturbations des activités d'entretien et de surveillance (p. ex., interruption de la surveillance du parc à résidus miniers).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Pourrait causer des dommages aux infrastructures à long terme après la fermeture.</li> <li>■ Les feux de forêt pourraient entraîner des interruptions temporaires de l'alimentation électrique, de l'accès au site et à d'autres ressources, ce qui causer des répercussions sur la gestion de l'eau (p. ex., l'alimentation des pompes et d'autres équipements) et pourrait entraîner des perturbations des activités d'entretien et de surveillance (p. ex., perturbation de la surveillance du parc à résidus miniers).</li> </ul>
<b>Humidité/Évapo-transpiration</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Au cours de la phase de planification, le propriétaire devrait envisager les impacts potentiels des changements prévus en matière d'humidité/évapotranspiration, en fonction des risques identifiés dans les autres phases.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Pourrait avoir un impact sur la conception des infrastructures afin de tenir compte des changements d'humidité et d'évapotranspiration.</li> <li>■ Pourrait avoir un impact sur les hypothèses climatiques sous-jacentes utilisées dans l'élaboration du plan de fermeture.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Les changements d'humidité pourraient affecter le bilan hydrique au cours des opérations.</li> <li>■ Pourrait avoir un impact sur l'efficacité des stratégies de fermeture des déchets miniers (p. ex., la performance des systèmes de couverture).</li> <li>■ Pourrait avoir un impact sur la génération de poussières et sur les activités d'atténuation de la poussière.</li> <li>■ Pourrait avoir un impact sur les activités de remise en état progressive, particulièrement la revégétalisation.</li> <li>■ Pourrait affecter les conditions de travail sur le site minier.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Pourrait avoir un impact sur l'efficacité des stratégies de fermeture des déchets miniers (p. ex., la performance des systèmes de couverture).</li> <li>■ Pourrait avoir un impact sur la génération de poussières et sur les activités d'atténuation de poussières.</li> <li>■ Pourrait affecter la revégétalisation.</li> </ul>

Variables et événements climatiques	Planification	Conception	Construction et opérations	Fermeture et post fermeture
<b>Communautés biologiques</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Au cours de la phase de planification, le propriétaire devrait tenir compte des impacts potentiels des changements prévus dans les communautés biologiques, sur la base des risques identifiés dans les autres phases.</li> <li>■ Pourrait entraîner un déplacement ou une perte de l'habitat disponible pour les espèces, modifier la composition de la communauté, modifier la capacité d'assimilation du milieu récepteur et influencer les critères relatifs aux effluents.</li> <li>■ Le changement des communautés biologiques pourrait affecter les moyens de subsistance des communautés locales.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Pourrait entraîner un déplacement ou une perte de l'habitat disponible pour les espèces, modifier la composition de la communauté, modifier la capacité d'assimilation du milieu récepteur et influencer sur les critères relatifs aux effluents.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Pourrait entraîner une modification ou une perte de l'habitat disponible pour les espèces, modifier la composition de la communauté, modifier la capacité d'assimilation de l'environnement récepteur et entraîner une modification des exigences légales.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Pourrait entraîner une modification ou une perte de l'habitat disponible pour les espèces, modifier la composition de la communauté, modifier la capacité d'assimilation de l'environnement récepteur et entraîner une modification des exigences légales.</li> </ul>

Note : Les informations présentées dans ce tableau ont été déduites à partir de plusieurs sources, y compris celles-ci-dessous, mais sans s'y limiter.

Adaptation Platform's Mining Working Group. 2015. Economic impacts of a changing climate on mine sites in Canada: Assessing proactive adaptation investments against estimated reactive costs. Natural Resources Canada.

International Council on Mining & Metals (ICMM), 2013. Adapting to a changing climate: implications for the mining and metals industry.

Mason, L., Unger, C., Lederwasch, A., Razian, H., Wynne, L., & Giurco, D. 2013. Adapting to climate risks and extreme weather: A guide for mining and minerals industry professionals. National Climate Change Adaptation Research Facility (NCCARF), Gold Coast, 76 pp. Extrait de : [https://www.researchgate.net/publication/323357165\\_Adapting\\_to\\_climate\\_risks\\_and\\_extreme\\_weather\\_A\\_guide\\_for\\_mining\\_and\\_minerals\\_industry\\_professionals](https://www.researchgate.net/publication/323357165_Adapting_to_climate_risks_and_extreme_weather_A_guide_for_mining_and_minerals_industry_professionals)

Smith, M.H. 2013. Assessing Climate Change Risks and Opportunities: Mining and Minerals Processing Sector. Australian Nation University and Investor Group on Climate Change. Extrait de : [https://www.researchgate.net/profile/Michael\\_Smith119/publication/304783841\\_Assessing\\_Climate\\_Change\\_Risks\\_and\\_Opportunities\\_Mining\\_and\\_Minerals\\_Processing\\_sector/links/577ad12e08ae213761c9c365/Assessing-Climate-Change-Risks-and-Opportunities-Mining-and-Minerals-Processing-sector.pdf?origin=publication\\_detail](https://www.researchgate.net/profile/Michael_Smith119/publication/304783841_Assessing_Climate_Change_Risks_and_Opportunities_Mining_and_Minerals_Processing_sector/links/577ad12e08ae213761c9c365/Assessing-Climate-Change-Risks-and-Opportunities-Mining-and-Minerals-Processing-sector.pdf?origin=publication_detail)

The Mining Association of Canada. 2017. Guide de gestion des parcs à résidus miniers, 3<sup>e</sup> édition. Extrait de : <https://mining.ca/fr/notre-objectif/gestion-des-residus-miniers/guide-sur-les-residus-miniers/>

Wittrock, V. 2013. Past, Present and Future Vulnerability and Risk Assessment to Climatic Extremes for Potash Mines in the Qu'Appelle River Watershed: Literature Review. Saskatchewan Research Council. Extrait de : <http://www.climateontario.ca/doc/APP/PastPresentFutureVulnerabilityAndRiskAssessmentToClimateExtremesForPotashMinesinTheQuAppelleRiverWatershedLiteratureReview2013.pdf>



The Mining Association of Canada

[www.mining.ca](http://www.mining.ca)