



SOCIÉTÉ DE
DÉVELOPPEMENT
CRIE



LA GRANDE ALLIANCE

ÉTUDE DE PRÉFAISABILITÉ - PHASES II & III – INFRASTRUCTURE DE TRANSPORT

NOTE TECHNIQUE 9 CHANGEMENT CLIMATIQUE

VERSION FINALE

DATE : LE 25 MARS 2023

PRÉPARÉ PAR :

Jamie Summers, BScH, MPlan, PhD
Conseiller, Risque climatique et résilience
Chef de l'équipe FutureReady



SOMMAIRE EXÉCUTIF

L'objectif de cette note technique 9 est de documenter les évolutions des changements climatiques pendant la durée de vie des infrastructures projetées dans le cadre de La Grande Alliance. Cette évaluation prend en compte les prévisions climatiques à court terme (2021-2050) et à long terme (2051-2080) et tient compte de deux scénarios d'émissions du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) - RCP 4,5 et RCP 8,5.

Les infrastructures proposées dans le cadre de La Grande Alliance comprennent des infrastructures portuaires, routières et ferroviaires dans le nord du Québec, le long de la côte sud de la baie d'Hudson et plus loin dans les terres. La zone d'étude de La Grande Alliance se situe dans un environnement subarctique, accidenté, forestier et glaciaire (WWF, 2022; Agriculture et Agroalimentaire Canada, 1995). La zone d'étude connaît :

- Des hivers froids et des étés frais, dont on prévoit une augmentation des températures;
- Un pergélisol sporadique, dont on prévoit une dégradation continue en raison de l'augmentation des températures et des régimes de précipitations liquides;
- Conditions modérément sèches, qui devraient se transformer en conditions plus humides avec l'augmentation des événements de précipitations extrêmes;
- Une importante accumulation de neige, qui devrait se maintenir dans un avenir proche;
- Des journées de pluie verglaçante, dont le nombre devrait presque doubler;
- De fortes rafales de vent et des vitesses de vent soutenues, lesquelles devraient presque tripler dans certains cas;
- Un nombre modéré de jours de propagation des incendies (c'est-à-dire les jours où les conditions météorologiques sont favorables à la propagation des incendies de forêt), qui devraient croître jusqu'à trois jours par an dans la zone subarctique orientale plus septentrionale de la zone à l'étude;
- Des inondations fluviales, qui nécessitent une caractérisation plus poussée, mais qui peuvent potentiellement augmenter à l'avenir;
- Des inondations côtières, qui sont une préoccupation à court terme, mais qui devraient finalement diminuer à l'avenir en raison du soulèvement des terres.

L'objectif est d'évaluer si et comment les aléas climatiques peuvent avoir un impact et une influence sur les éléments d'infrastructure inclus dans le projet proposé de La Grande Alliance. Dans l'ensemble, huit aléas climatiques ont été sélectionnés pour la région et devraient être pris en considération dans les évaluations ultérieures :

- | | |
|----------------------------|--------------------------|
| 1. Froid extrême | 5. Grands vents |
| 2. Précipitations extrêmes | 6. Incendies de forêt |
| 3. Pluie verglaçante | 7. Inondations fluviales |
| 4. Instabilité des terres | 8. Inondations côtières |

Ces risques climatiques sont susceptibles d'interagir avec les éléments d'infrastructure inclus dans La Grande Alliance et devraient être étudiés davantage. Trois lacunes dans les données sont identifiées (liées aux inondations fluviales, aux connaissances géotechniques, à la distribution et à la fonte du pergélisol, et au vent). En plus de combler les lacunes en matière de données, les prochaines étapes proposées comprennent une évaluation de la résilience climatique en vertu des lois provinciales applicables, tout en se conformant aux normes ISO 31000 et ISO 14091 pour la gestion des risques et l'adaptation aux changements climatiques afin de mieux quantifier le niveau de risque pour chaque interaction climat-infrastructure.

TABLE DES MATIÈRES

1	INTRODUCTION	1
2	CLIMAT HISTORIQUE ET ENVIRONNEMENT NATUREL	2
2.1	Température	2
2.2	Pergélisol et les cycles de gel-dégel	2
2.3	Précipitation	3
2.4	Vent	4
2.5	Incendies de forêt	4
2.6	Inondations côtières et fluviales	5
2.7	Glissements de terrain	5
3	PRÉVISIONS CLIMATIQUES.....	6
3.1	Température	6
3.2	Pergélisol et cycles de gel et de dégel	6
3.3	Précipitation	8
3.4	Vent	9
3.5	Incendies	10
3.6	Inondations côtières et fluviales	10
4	RISQUES CLIMATIQUES ET IMPACTS POTENTIELS	11
5	LACUNES DANS LES DONNÉES ET PROCHAINES ÉTAPES	13
6	RÉFÉRENCES	14

TABLE DES MATIÈRES

TABLEAUX

Tableau 3-1	Prévisions des températures et du cycle gel-dégel.....	7
Tableau 3-2	Prévisions des précipitations extrêmes	8
Tableau 3-3	Prévisions de vent	9
Tableau 3-4	Prévision du nombre de jours de propagation des incendies.....	10
Tableau 4-1	Risques climatiques.....	11
Tableau 4-2	Interactions potentielles entre les risques climatiques et les infrastructures	12

FIGURES

Figure 2-1	Cellule du lac Mistanukaw	2
Figure 2-2	Zones de pergélisol	3
Figure 2-3	Stations climatiques de Kuujjuarapik et Nitchequon.....	3
Figure 2-4	Zone d'incendie.....	4

1 INTRODUCTION

L'objectif de cette note technique 9 est de documenter les évolutions des changements climatiques pendant la durée de vie des infrastructures proposées dans le cadre de La Grande Alliance. Cette évaluation tient compte des prévisions climatiques à court terme (2021-2050) et à long terme (2051-2080) et tient compte de deux scénarios d'émissions du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) - RCP 4,5 et RCP 8,5.

L'objectif est d'évaluer si et comment les risques climatiques peuvent avoir un impact et une influence sur les éléments d'infrastructure inclus au projet proposé de La Grande Alliance.

2 CLIMAT HISTORIQUE ET ENVIRONNEMENT NATUREL

La zone d'étude des infrastructures proposées dans le cadre de La Grande Alliance couvre de vastes régions du Québec, autant le long de la côte sud de la baie d'Hudson que plus à l'intérieur des terres, au sud et à l'est. Toutes les zones du projet proposé se trouvent dans l'écozone de la taïga du bouclier de l'Est, un paysage subarctique au relief accidenté, généralement plat, couvert de forêts de conifères et entrecoupé de tourbières, d'éléments glaciaires et de rivières (WWF, 2022; Agriculture et Agroalimentaire Canada, 1995).

Pour ce portrait et évaluation climatique, les données pour de multiples paramètres climatiques sont extraites de l'Atlas climatique du Canada du Centre climatique des Prairies (2019). À moins d'indication contraire, elles proviennent de la cellule de grille du grand lac Mistanukaw, qui a été sélectionnée pour représenter le climat de la zone d'étude parce qu'elle est relativement centrale (Figure 2-1).

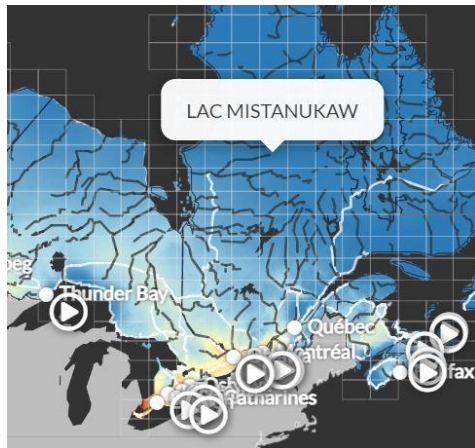


Figure 2-1 Cellule du lac Mistanukaw

Les coordonnées du lac Mistanukaw sont approximativement 54,7779, -72,6324, qui sont intégrées à la cellule de la grille. Image tirée de l'Atlas climatique du Canada (2019) du Centre climatique des Prairies (2019).

2.1 TEMPÉRATURE

Les conditions historiques dans la zone d'étude de La Grande Alliance présentent un climat relativement froid. Les températures annuelles moyennes historiques sont d'environ -4°C , les températures hivernales moyennes sont très basses (-21°C en moyenne) et les conditions estivales moyennes sont relativement fraîches (environ 11°C ; Centre climatique des Prairies, 2019). Les journées très froides sont plutôt fréquentes, les températures chutant sous les -30°C environ 38 jours par an et la température minimale moyenne la plus basse atteignant environ -42°C chaque année (Centre climatique des Prairies, 2019). Les journées très chaudes sont rares, les températures ne dépassant essentiellement pas 30°C au plus haut (Tableau 3-1).

2.2 PERGÉLISOL ET LES CYCLES DE GEL-DÉGEL

La latitude de La Grande Alliance fait en sorte qu'elle se trouve dans une zone de pergélisol sporadique (en date de 2010; Figure 2-2), ce qui signifie que 10 à 50 % de la surface terrestre est recouverte de pergélisol, c'est-à-dire d'un sol gelé en permanence (à 0°C ou moins pendant au moins deux ans ; Université de Calgary, 2016). Dans les régions qui enregistrent des cycles de gel-dégel, qui s'expriment par le nombre de jours où l'air fluctue entre des températures de gel et de non-gel, les modèles historiques indiquent une moyenne d'environ 55 cycles par an (tableau 3-1; Prairie Climate Centre, 2019).

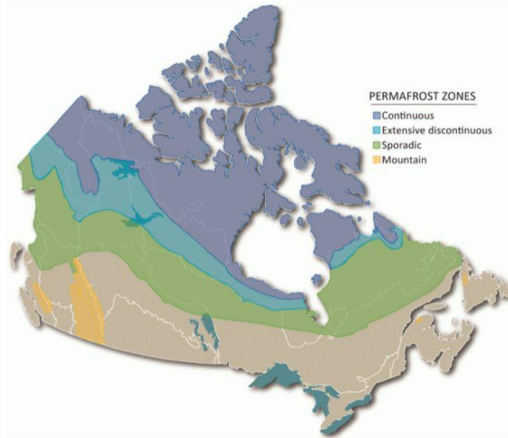


Figure 2-2 Zones de pergélisol

Délimitation du pergélisol au Canada, illustrant la zone d'étude de La Grande Alliance dans une zone sporadique. Carte tirée de (Smith S. , 2010) et adaptée de (Heginbottom et al., 1995).

2.3 PRÉCIPITATION

À titre d'information, les régions du sud du Canada sont généralement plus chaudes et plus humides, tandis que les régions du nord sont généralement plus froides et plus sèches. La zone d'étude de La Grande Alliance se situe près des latitudes moyennes du Canada et, en plus d'être relativement froide, elle est modérément sèche. La moyenne historique des précipitations maximales enregistrées en une journée est d'environ 21 mm, bien que ces événements ne soient pas fréquents dans la région, avec moins d'une occurrence par an (tableau 3-2; Prairie Climate Centre, 2019).

Les courbes intensité-durée-fréquence (IDF) sont très représentatives des événements pluvieux extrêmes. Les modèles historiques IDF chiffrent 17 mm de précipitations en 15 minutes et 72 mm en 24 heures dans la zone d'étude de La Grande Alliance, tous deux avec une période de retour de 50 ans, soit une probabilité de 2 % de se produire chaque année (University of Western Ontario et al., 2022). Bien que ces quantités soient modélisées pour une station climatique côtière de la région (Kuujjuarapik), les données de sortie du modèle d'une station intérieure (Nitchequon) sont similaires (ce qui suggère que l'influence de la côte sur les régimes de précipitations dans la zone d'étude de La Grande Alliance est minime).



Figure 2-3 Stations climatiques de Kuujjuarapik et Nitchequon

Les coordonnées de Kuujjuarapik sont approximativement 55,2847, -77,7625 et celles de Nitchequon sont approximativement 53,3963, -70,8557. Image tirée de l'Atlas climatique du Canada (2019) du Centre climatique des Prairies.

La neige et la glace sont courantes dans la zone d'étude de La Grande Alliance. La région est sujette à une accumulation importante de neige au printemps, avec une accumulation maximale historique de 124 cm (avril ; station climatique de l'aéroport de Kuujjuarapik). Cette valeur est extraite de la base de données des normales climatiques canadiennes 1981-2010 (2021) et représente la densité moyenne dans une zone représentative.

Enfin, les précipitations verglaçantes se produisent d'octobre à mai. Les moyennes historiques observées et modélisées chiffrent à 3,6 jours par an les épisodes de pluie verglaçante d'au moins une heure. À titre de comparaison, ce chiffre est inférieur aux moyennes annuelles de l'est (8 jours) et du sud (5 jours) de l'Ontario (Cheng et al., 2012).

2.4 VENT

Les vents peuvent se déplacer horizontalement et verticalement dans différentes directions et à différentes vitesses, et ils peuvent être soutenus ou se produire en rafales. Dans la zone d'étude de La Grande Alliance, la vitesse maximale du vent soutenu enregistrée est de 97 km/h (9 novembre 1957; Gouvernement du Canada, 2021). La même base de données rapporte que la vitesse maximale des rafales de vent enregistrées est de 113 km/h ce même jour et une moyenne annuelle de 15,4 jours avec des vents de plus de 52 km/h et de 2,9 jours supérieurs à 63 km/h. La même base de données indique que les directions du vent les plus fréquentes sont le sud-est de décembre à mars, le nord d'avril à juin, l'ouest de juillet à septembre et le sud en octobre et novembre (station climatique de l'aéroport de Kuujjuarapik : 7103536).

2.5 INCENDIES DE FORÊT

La zone d'étude de La Grande Alliance couvre les zones d'incendie du subarctique oriental et de l'est de la baie James (figure 2-4). La zone la plus septentrionale, l'Est subarctique, présente une médiane de référence de deux jours de propagation de feux, tandis que la zone la plus méridionale, l'est de la baie James, présente une médiane de référence d'un jour de propagation de feux¹. De plus, la fumée des incendies actifs dans d'autres régions du pays (ex. : le nord-ouest de l'Ontario) peut causer des niveaux élevés de particules dans l'air, ce qui peut réduire la visibilité et la qualité de l'air

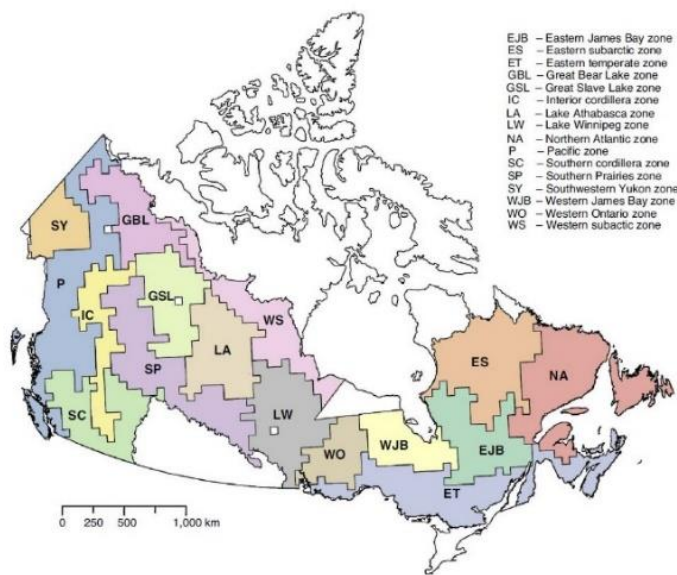


Figure 2-4 Zone d'incendie

Délimitation des zones d'incendie au Canada, illustrant la zone d'étude de La Grande Alliance dans les zones du subarctique oriental et de l'est de la Baie James. Carte tirée de (Wang, et al., 2017) et adaptée de (Boulanger et al., 2012)

¹ Un jour de propagation d'incendie se produit lorsque les conditions météorologiques sont favorables à la propagation des incendies de forêt en termes de température, de sécheresse et de régime des vents.

2.6 INONDATIONS CÔTIÈRES ET FLUVIALES

Les inondations peuvent être causées par des événements de précipitations extrêmes de courte durée, des brèches dans les rivières et la submersion des océans. Au Canada, les inondations fluviales sont généralement causées par des précipitations extrêmes et de longue durée, la fonte de la neige ou de la glace (y compris les événements de pluie sur la neige), ou les embâcles fluviaux (Bonsal et al., 2019). Cependant, aucune indication sur les tendances des débits de hautes et basses eaux n'est disponible pour la zone d'étude de La Grande Alliance (MELCC, 2022). Cette absence indique une absence de données.

Les inondations côtières constituent un risque dangereux qui devrait augmenter le long de la plupart des côtes canadiennes en raison de la combinaison de l'élévation du niveau de la mer et de l'affaissement des terres (Bush et Lemmen, 2019). Cependant, une grande partie de la région de la côte nord du Canada, y compris les parties côtières de la zone d'étude de La Grande Alliance, ne connaît pas d'élévation du niveau de la mer en raison de l'ajustement isostatique glaciaire (soulèvement des terres ; Climatedata.ca, 2021). Ainsi, il y a une réduction continue des événements extrêmes de niveau de l'eau, mais un potentiel d'événements à court terme étant donné les changements dans l'étendue et la durée de la glace de mer, tandis que l'intensité des tempêtes demeure similaire à celle observée dans les derniers temps (Ford et al., 2016).

2.7 GLISSEMENTS DE TERRAIN

L'occurrence des glissements de terrain dépend de caractéristiques et de conditions telles que la pente, les précipitations, le pergélisol, la géologie, la végétation et la distance aux rivières et aux côtes. Les infrastructures proposées de La Grande Alliance sont situées dans la région du Bouclier canadien, qui est une zone relativement plate avec une mince couverture sédimentaire. À ce titre, la susceptibilité aux glissements de terrain est considérée comme faible et peu susceptible d'augmenter substantiellement en tant que risque climatique au fil du temps (Bobrowsky et Dominguez, 2012).

Un glissement de terrain récent le long de la Grande rivière de la Baleine dans la zone d'étude de La Grande Alliance (22 avril 2021, 8 km en amont de Whapmagoostui et Kuujjuarapik) a été jugé trop au sud pour être causé par la dégradation du pergélisol et trop profond pour être causé par les effets des changements climatiques. Ce glissement massif (le deuxième plus important au Québec en 150 ans d'enregistrement) dans une région relativement côtière a plutôt été causé par des dépôts d'argile profonds et sensibles, qui ne sont pas aussi courants plus loin dans les terres (Bell, 2021).

Étant donné que les changements climatiques ne sont pas considérés comme un facteur déterminant de ces glissements de terrain, les prévisions de glissements de terrain futurs pour la zone d'étude de La Grande Alliance ne seront pas décrites dans le présent rapport. Voir la Note technique 10 pour plus d'information sur les glissements de terrain dans la zone d'étude.

3 PRÉVISIONS CLIMATIQUES

Les changements climatiques dans l'environnement naturel sont inévitables et vont probablement s'accroître à l'avenir. Un niveau de base de changements climatiques est inévitable étant donné les émissions de gaz à effet de serre (GES) qui ont déjà eu lieu; cependant, la gravité des changements futurs dépendra de l'action mondiale en cours pour réduire les émissions de GES.

Les scénarios de changements futurs les plus utilisés sont appelés « Profils représentatifs d'évolution de concentration » (RCP), qui ont été établis lors de la préparation du cinquième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC). Ces scénarios présentent une gamme de trajectoires potentielles de changements climatiques basées sur une gamme d'émissions mondiales nettes. Les RCP sont nommés en fonction de leurs valeurs de forçage radiatif (c'est-à-dire la variation de l'irradiation nette dans la troposphère due à des facteurs externes) pour l'année 2100 : 2,6, 4,5, 6,0 et 8,5 Wm⁻² (van Vuuren et al., 2011). Cette évaluation prend en compte le RCP 4,5, qui est un scénario d'atténuation modérée du changement climatique représentant le cas le plus optimiste, mais réalisable aujourd'hui, et le RCP 8,5, qui est la trajectoire la plus pessimiste compte tenu des mesures d'atténuation mises en œuvre à l'échelle mondiale (van Vuuren et al., 2011).

Étant donné que les changements se produiront tout au long de la durée de vie des infrastructures proposées de La Grande Alliance, cette évaluation tient compte des prévisions climatiques à court terme (2021-2050) et à long terme (2051-2080).

3.1 TEMPÉRATURE

Les projections de température pour la zone d'étude de La Grande Alliance révèlent des conditions de réchauffement à la fois dans le RCP 4,5 et le RCP 8,5 à court et à long terme. Les températures hivernales augmentent plus que les températures estivales sur les deux périodes dans les deux scénarios (tableau 3-1; Centre climatique des Prairies, 2019).

3.2 PERGÉLISOL ET CYCLES DE GEL ET DE DÉGEL

La hausse des températures annuelles moyennes dépassant -1°C à long terme dans les scénarios RCP 4,5 et RCP 8,5 indique non seulement une augmentation des températures (tableau 3-1), mais également la probabilité d'une dégradation du pergélisol (Brown, 1967). Compte tenu de la hausse des températures dans la zone d'étude de La Grande Alliance, il est probable que le pergélisol discontinu dégèle et disparaisse au cours du siècle à venir (Smith & Burgess, 2004).

De plus, le nombre annuel de cycles de gel-dégel dans la région devrait diminuer de 10 à 15 % par rapport à la référence historique à court et à long terme dans les scénarios RCP 4,5 et RCP 8,5 (tableau 3-1 ; Centre climatique des Prairies, 2019).

NOTE TECHNIQUE 9 – CHANGEMENT CLIMATIQUE

Tableau 3-1 Prévisions des températures et du cycle gel-dégel

INDICATEUR CLIMATIQUE	HISTORIQUE	RCP 4,5		RCP 8,5	
		COURT	LONG	COURT	LONG
Température annuelle moyenne (°C)	-4	-2	-0,8	-1,6	0,9
Température minimale moyenne la plus basse (°C)	-42	-38	-36	-38	-33
Nombre de jours en dessous de -30°C	38	22	13	19	6
Température maximale moyenne la plus élevée (°C)	28	29	31	30	32
Nombre de jours au-dessus de +30°C	0.2	0.8	1.6	1	3,5
Nombre annuel de cycles de gel-dégel	55	51	48	49	46

Lignes de base historiques et prévisions à court et à long terme pour certains indicateurs de température dans le cadre des scénarios RCP 4,5 et RCP 8,5. Le texte en rouge dénote des conditions plus chaudes par rapport à la période précédente. Les plages d'incertitude ne sont pas indiquées, mais seraient prises en compte dans l'évaluation détaillée des risques d'adaptation au changement climatique.

3.3 PRÉCIPITATION

Les précipitations peuvent tomber sous forme de pluie, de neige, de pluie verglaçante et d'autres variations entre l'eau et la glace. En plus des conditions peu clémentes lorsque les précipitations tombent rapidement et intensément, elles peuvent provoquer des inondations, un stress dû à une lourde charge (neige) ou des dommages et des dangers dus à la glace. Les niveaux de précipitations extrêmes dans la zone d'étude de La Grande Alliance, représentée par une station climatique côtière (Kuujjuarapik) et intérieure (Nitchequon) et par la grille du lac Mistanukaw, devraient augmenter dans les deux scénarios à court et à long terme (tableau 3-2 ; University of Western Ontario et al., 2022).

Selon Derksen et al. (2019), le couvert et la charge de neige sont susceptibles de ne presque pas changer dans le nord du Canada, y compris dans la zone d'étude de La Grande Alliance (une perte aussi faible que 2,5 % de l'accumulation de neige ou un gain aussi élevé que 2,5 % par décennie). L'augmentation des précipitations de neige devrait être compensée par une hausse des températures qui raccourcit la période d'accumulation.

Selon Cheng et al. (2011), il est probable qu'il y aura une augmentation et un changement dans la distribution de la pluie verglaçante au cours d'une année typique. Le nombre de jours de pluie verglaçante devrait augmenter considérablement en hiver (décembre, janvier et février) et modérément (novembre, mars, avril et mai) ou seulement légèrement (octobre) pendant les saisons intermédiaires (tableau 3-2 ; Cheng et al., 2011).

Tableau 3-2 Prévisions des précipitations extrêmes

LIEU	INDICATEUR CLIMATIQUE	HISTORIQUE	RCP 4,5		RCP 8,5	
			COURT	LONG	COURT	LONG
Lac Mistanukaw (Figure 2-1)	Précipitations max. sur 5 jours (mm)	40	43	45	43	46
Kuujjuarapik (côtière; Figure 2-3)	Courbe IDF, 15-min, période de retour 1:50 (mm)	17,3	20,6	21,3	20,0	23,7
	Courbe IDF, 24 heures, période de retour 1:50 (mm)	72	76,1	78,1	73,7	86,9
Nitchequon (intérieur des terres; Figure 2-3)	Courbe IDF, 15-min, période de retour 1:50 (mm)	17	21,3	22,7	21,5	23,1
	Courbe IDF, 24 heures, période de retour 1:50 (mm)	69	78,8	83,6	79,8	85,3
Zone de la baie d'Hudson (VI zone)	Jours de pluie verglaçante - Déc, Jan, Fév	0,7	Aucune donnée	Aucune donnée	1,1	1,4
	Jours de pluie verglaçante - Nov, Mar, Avr, Mai	2,5	Aucune donnée	Aucune donnée	3,0	3,1
	Jours de pluie verglaçante - Oct	0,4	Aucune donnée	Aucune donnée	0,4	0,4
	Jours de pluie verglaçante - Annuel	3,6	Aucune donnée	Aucune donnée	4,5	4,9

Lignes de base historiques et prévisions à court et long terme pour les indicateurs de précipitations selon les scénarios RCP 4,5 et RCP 8,5. Les données du lac Mistanukaw proviennent du Centre climatique des Prairies (2019), celles de Kuujjuarapik et de Nitchequon proviennent de Donneesclimatiques.ca (2021) et celles de la baie d'Hudson (VI) proviennent de Cheng et al. (2011). Les plages d'incertitude ne sont pas indiquées, mais seraient prises en compte dans une évaluation détaillée des risques liés à l'adaptation au changement climatique.

3.4 VENT

Les prévisions de vent sont des modèles indirects basés sur les températures et les précipitations quotidiennes; elles comportent donc une incertitude accrue. Selon Cheng et al. (2014), la fréquence annuelle moyenne des rafales et des phénomènes de vent soutenu devrait augmenter dans les deux scénarios à court et à long terme. La fréquence des rafales à faible vitesse et des rafales à vitesse moyenne ne devrait pas augmenter de plus de 12 et 62 %, respectivement, tandis que la fréquence des rafales à vitesse élevée ne devrait pas augmenter de plus de 290 %. La fréquence des phénomènes de vent soutenu devrait également augmenter en raison des changements climatiques (tableau 3-3). Cela laisse supposer que les changements dans les rafales dans la région sont surtout caractérisés par des augmentations substantielles de la fréquence des vents à grande vitesse.

Tableau 3-3 Prévisions de vent

INDICATEUR CLIMATIQUE	VITESSE (km/h)	AUGMENTATION MAXIMALE PROJÉTÉE EN POURCENTAGE (%) DE LA FRÉQUENCE DES ÉVÉNEMENTS
Rafales à faible vitesse	≥28 et >40	12
Rafales à vitesse moyenne	≥70	62
Rafales à grande vitesse	≥90	290
Événements de vents soutenus de faible vitesse	≥28 et >40	17
Événements de vent soutenu à vitesse moyenne	≥70	22
Événements de vents soutenus à haute vitesse	≥90	65

Augmentation maximale projetée en pourcentage (%) de la fréquence annuelle moyenne des phénomènes de vents horaires (rafales) et quotidiens (soutenus) de faible, moyenne et forte intensité. L'augmentation maximale présentée est la plus élevée des valeurs projetées à court (2046-2065) ou à long (2081-2100) terme; dans tous les cas, l'augmentation dans la période non présentée n'est pas sensiblement différente.

3.5 INCENDIES

Le nombre moyen de jours de propagation annuelle des incendies de forêt dans la zone d'étude de La Grande Alliance, y compris les zones d'incendie du Subarctique oriental et de l'Est de la baie James, devrait augmenter à court et à long terme dans les deux scénarios de changements climatiques (tableau 3-4; Wang, et al., 2017).

Tableau 3-4 Prédiction du nombre de jours de propagation des incendies

INDICATEUR CLIMATIQUE	HISTORIQUE	RCP 4,5		RCP 8,5	
		COURT	LONG	COURT	LONG
Moyenne du nombre annuel de jours de propagation des incendies (zone subarctique orientale)	2	2,4	2,5	2,3	3,2
Moyenne annuelle du nombre de jours de propagation des incendies (zone Est de la baie James)	1	1,2	1,5	1,3	1,6

Données historiques de base et prévisions à court et à long terme des jours de propagation des incendies dans deux régions englobant la zone d'étude de La Grande Alliance. Les prévisions pour les scénarios 4,5 et 8,5 sont incluses. Le texte en rouge dénote une augmentation des jours de propagation des incendies par rapport à la période précédente. Les plages d'incertitude ne sont pas indiquées, mais seraient prises en compte dans l'évaluation détaillée des risques liés à l'adaptation aux changements climatiques.

3.6 INONDATIONS CÔTIÈRES ET FLUVIALES

Bien que la cartographie des inondations fluviales dans la région ne soit pas encore disponible, nous prévoyons que les précipitations maximales sur 5 jours (présentées dans le tableau 3-2 ci-dessus), qui constituent une approximation des conditions susceptibles de provoquer des inondations fluviales, augmenteront dans les deux scénarios à court et à long terme (Centre climatique des Prairies, 2019).

Les inondations côtières dans la zone d'étude de La Grande Alliance devraient diminuer au fil du temps dans les deux scénarios avec une baisse relative du niveau de la mer. Toutefois, la fréquence potentielle des événements extrêmes liés au niveau de l'eau pourrait augmenter à court terme (Ford et al., 2016). Si on considère la période 1986-2005, le niveau médian de la mer devrait baisser de 50 et 78 cm à court et à long terme, respectivement, selon le scénario RCP 4,5. Selon le scénario RCP 8,5, le niveau de la mer devrait baisser de 47 et 67 cm à court et à long terme, respectivement (Donneesclimatiques.ca, 2021).

4 RISQUES CLIMATIQUES ET IMPACTS POTENTIELS

Compte tenu des conditions historiques et projetées, huit risques climatiques actuels et futurs sont identifiés dans la zone d'étude de La Grande Alliance (tableau 4-1).

Tableau 4-1 Risques climatiques

RISQUE CLIMATIQUE	EXPLICATION
1. Froid extrême	Bien que les températures (hivernales) devraient continuer à augmenter, la zone d'étude de La Grande Alliance connaîtra toujours des conditions très froides, pouvant menacer la sécurité des personnes et des infrastructures.
2. Précipitations extrêmes	Les courbes IDF prévoient des augmentations des précipitations totales lors d'événements extrêmes infra-quotidiens et quotidiens. Les prévisions de précipitations maximales sur 5 jours démontrent également des augmentations sur les deux périodes de temps dans les deux scénarios. Celles-ci représentent des risques d'inondation pluviale (par voie de surface) et des conditions préalables aux inondations fluviales.
3. Pluie verglaçante	Les pluies verglaçantes, particulièrement en hiver, devraient augmenter sensiblement dans la région. Les conditions qui prévalent pendant les pluies verglaçantes ainsi que le verglas et les dommages qui en découlent constituent des dangers.
4. Instabilité des terres	Bien que le récent glissement de terrain survenu dans la zone d'étude de La Grande Alliance ne soit pas imputable au changement climatique et que les cycles de gel-dégel devraient diminuer, l'instabilité des terres liée à la dégradation du pergélisol constitue un risque croissant.
5. Vents forts	La fréquence des rafales à haute vitesse et des événements de vent soutenu devrait augmenter de manière significative dans une région où les vents enregistrés atteignent déjà des vitesses maximales de plus de 90 km/heure. Ces vents présentent des risques pour la sécurité humaine, les infrastructures et les structures.
6. Incendies de forêts	Le nombre de jours de propagation des incendies devrait augmenter, ce qui présente des risques permanents de brûlures et de fumée.
7. Inondations fluviales	Malgré l'absence de cartographie des inondations fluviales dans la région, les augmentations prévues des précipitations maximales sur cinq jours suggèrent que les inondations fluviales dans les zones adjacentes aux voies navigables peuvent constituer un risque permanent.
8. Inondations côtières	Bien que le soulèvement des terres entraîne une baisse du niveau de la mer, il subsiste un risque à court terme d'inondations et de dommages côtiers en raison de la réduction de l'étendue et de la durée de la glace de mer et de l'intensité des tempêtes.

Identification et explication des risques climatiques actuels et futurs dans la zone d'étude de La Grande Alliance, compte tenu des conditions et des prévisions ci-dessus.

NOTE TECHNIQUE 9 – CHANGEMENT CLIMATIQUE

Ces risques climatiques sont susceptibles d'interagir avec les infrastructures proposées de La Grande Alliance (tableau 4-2).

Tableau 4-2 Interactions potentielles entre les risques climatiques et les infrastructures

	Froid extrême	Précip. extrême	Pluie verglaçante	Instabilité terres	Vents forts	Incendies	Inondation fluviale	Inondation côtière
Ports	N	O	O	O	O	N	N	O
Routes	O	O	O	O	N	O	O	N
Voies ferrées et signaux	O	O	O	O	O	O	O	N
Drainage	O	O	O	O	N	N	O	N

Lorsqu'une interaction est marquée N (non), cela ne veut pas dire qu'il n'y a pas d'interaction ou d'impact; cela indique plutôt que l'impact est négligeable.

5 LACUNES DANS LES DONNÉES ET PROCHAINES ÉTAPES

Des données robustes à des échelles significatives sont essentielles. Dans la présente évaluation, quelques lacunes dans les données ont été identifiées.

- **Données fluviales.** La zone d'étude de La Grande Alliance n'est pas incluse dans l'Atlas hydroclimatique du sud du Québec. La cartographie des inondations fluviales à une échelle pertinente n'est pas facilement disponible et il est recommandé de la localiser ou de la poursuivre.
- **Données géotechniques et sur le pergélisol.** Une dégradation du pergélisol est en cours et se poursuivra dans la zone d'étude et peut avoir des répercussions sur les infrastructures. Une caractérisation plus précise de l'étendue et de l'état du pergélisol sporadique de la région serait utile pour comprendre les dangers et les risques actuels et futurs.
- **Données sur le vent.** Les données historiques sur le vent (vitesses et jours excédant les vitesses) ne correspondent pas aux prévisions disponibles (pourcentage de changement dans l'occurrence des événements avec des vitesses spécifiques). De plus, il n'y a pas de prévisions connues ou facilement disponibles pour la direction future du vent.

En plus de combler d'importantes lacunes dans les données par la cartographie des inondations, les études géotechniques et les prévisions de vent, les prochaines étapes proposées comprennent une évaluation plus détaillée de la résilience climatique en suivant le Guide aux initiateurs de projet du ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les Changements Climatiques (MELCC) et la deuxième partie de la Directive pour la réalisation d'une étude d'impact sur l'environnement via l'Annexe II de la Loi sur la qualité de l'environnement (LQE), tout en respectant les exigences des normes ISO 31000 et ISO 14091 pour la gestion des risques et l'adaptation aux changements climatiques. Cette démarche permettra de mieux quantifier le niveau de risque de chaque interaction climat-infrastructure identifiée en fonction de la tolérance au risque du promoteur.

6 RÉFÉRENCES

- Agriculture et Agroalimentaire Canada. (1995). *Écozones et écorégions terrestres du Canada*. Récupéré sur <https://sis.agr.gc.ca/siscan/publications/manuals/1996/cad-carte.jpg>
- Bell, S. (2021). 'Sensitive clay' behind massive northern Quebec landslide. Récupéré sur Eye on the Arctic, Radio Canada International: <https://www.rcinet.ca/eye-on-the-arctic/2021/05/28/sensitive-clay-behind-massive-northern-quebec-landslide/>
- Bobrowsky, P. T., & Dominguez, M. J. (2012). Landslide susceptibility map of Canada. *Geological Survey of Canada, Open File 7228*. doi:<https://doi.org/10.4095/291902>
- Boulanger et al. (2012). An alternative fire regime zonation for Canada. *International Journal of Wildland Fire*, 21, 1052-1064.
- Brown, R. (1967). *Distribution of permafrost in Canada*. Ottawa: Division of Building Research, National Research Council. Récupéré sur <https://pubs.aina.ucalgary.ca/cpc/CPC3-1.pdf>
- Centre climatique des Prairies. (2019). *Atlas climatique du Canada*. Récupéré sur Atlas climatique du Canada: <https://atlasclimatique.ca/>
- Centre climatique des Prairies. (2021, Novembre). *Région : Brampton*. Récupéré sur Atlas climatique du Canada: https://atlasclimatique.ca/carte/canada/plus30_2030_85#lat=43.54&lng=-79.18&z=9&grid50k=030M12
- Cheng et al. (2011). Possible impacts of climate change on freezing rain using downscaled future climate scenarios: updated for eastern Canada. *Atmosphere-Ocean*, 8-21. doi:10.1080/07055900.2011.555728
- Cheng et al. (2012). Possible impacts of climate change on extreme weather. *Climatic Change*, 112, 963-979. doi:DOI 10.1007/s10584-011-0252-0
- Cheng et al. (2012). Possible impacts of climate change on extreme weather events at local scale in south-central Canada. *Climatic Change*, 963-979.
- Cheng et al. (2014). Possible impacts of climate change on wind gusts under downscaled future climate conditions: updated for Canada. *Journal of Climate*, 27, 1255-1270. doi:DOI: 10.1175/JCLI-D-13-00020.1
- Derksen, C., Burgess, D., Duguay, C., Howell, S., Mudryk, L., Smith, S., . . . Kirchmeier-Young, M. (2019). Changes in snow, ice, and permafrost across Canada; Chapter 5. Dans E. Bush, & D. Lemmen, *Canada's Changing Climate Report* (pp. 194-260). Ottawa: Government of Canada.
- Donneesclimatiques.ca. (2021, Novembre). Récupéré sur Donneesclimatiques.ca: <https://donneesclimatiques.ca/>
- Ford et al. (2016). Chapter 5: Perspectives on Canada's North Coast Region. Dans L. e. al., *Canada's Marine Coasts in a Changing Climate* (pp. 153-191). Ottawa: Government of Canada.
- Gouvernement du Canada. (2021). *1981-2010 Normales climatiques canadiennes*. Récupéré sur Normales climatiques canadiennes: https://climat.meteo.gc.ca/climate_normals/index_f.html
- Heginbottom et al. (1995). Permafrost. Dans N. A. Service, *The National Atlas of Canada* (éd. 5). Ottawa, Ontario: Geomatics Canada and Geological Survey of Canada.
- Lau, R. (2021, July 26). *Forest fires force smog warning in Greater Montreal area*. Récupéré sur CTV News Montreal: <https://montreal.ctvnews.ca/forest-fires-force-smog-warning-in-greater-montreal-area-1.5523072>

- Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques. (2022). *Atlas hydroclimatique du Québec méridional*. Récupéré sur <https://www.cehq.gouv.qc.ca/atlas-hydroclimatique/index.htm>
- Smith, M. W., & Burgess, M. M. (2004). *Sensitivity of permafrost to climate warming in Canada*. Geological Survey of Canada.
- Smith, S. (2010). *Canadian Biodiversity: Ecosystem Status and Trends: Technical Report No. 9: Trends in permafrost conditions and ecology in northern Canada*. Canadian Councils of Resource Ministers.
- University of Calgary. (2016). *Permafrost*. Récupéré sur Energy Education: <https://energyeducation.ca/encyclopedia/Permafrost#:~:text=Sporadic%20means%2010%25%20to%2050,the%20ground%20stays%20very%20cold.>
- University of Western Ontario et al. (2022). Récupéré sur IDF CC Tool 6.0: <https://www.idf-cc-uwo.ca/home>.
- van Vuuren et al. (2011). The representative concentration pathways: an overview. *Climatic Change*, 109, 5-31. doi:<https://doi.org/10.1007/s10584-011-0148-z>
- Wang, X., Parisien, M.-A., Taylor, S. W., Candau, J.-N., Stralberg, D., Marshall, G. A., . . . Flannigan, M. D. (2017). Projected changes in daily fire spread across Canada over the next century. *Environmental Research Letters*, 13.
- WWF. (2022). *Eastern Canadian Shield taiga*. Récupéré sur World Wildlife Fund (WWF): <https://www.worldwildlife.org/ecoregions/na0606>