

COMMISSION DE LA CAPITALE NATIONALE – CONSEIL CANADIEN DES
NORMES
NUMÉRO DU RAPPORT : 201-10298-00

ÉVALUATION DES RISQUES DES EFFETS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR LA PATINOIRE DU CANAL RIDEAU ANALYSE ET OPTIONS DE RECOMMANDATIONS

LE 19 JUILLET, 2021



RAPPORT FINAL

WSP CANADA INC.
11^E ÉTAGE
1600 BOUL. RENÉ-LÉVESQUE OUEST
MONTRÉAL, QC H3H 1P9
CANADA

TÉL. : +1-514-340-0046
TÉLÉC. : +1-514-340-1337

WSP.COM



RÉSUMÉ

La patinoire du canal Rideau (la Patinoire ou la PCR), qui figure parmi les plus longues patinoires naturelles du monde, est entretenue par la Commission de la capitale nationale (CCN) depuis 1971. Des questions ont commencé à faire surface concernant la viabilité à long terme de la patinoire du canal Rideau dans des conditions climatiques changeantes. La hausse et la variabilité accrue des températures, le raccourcissement de la saison hivernale et les changements de schémas des précipitations hivernales auront tous une incidence sur les opérations, l'équipement et les infrastructures nécessaires pour maintenir une surface de patinage de haute qualité le plus longtemps possible chaque année.

La Commission de la capitale nationale et le Conseil canadien des normes ont mandaté WSP pour réaliser une évaluation des risques liés aux changements climatiques qui définira les impacts de ce dérèglement sur la PCR, analysera la sévérité des conséquences et la probabilité de ces impacts, et proposera des recommandations pour atténuer les plus grands risques climatiques et augmenter la résilience de la PCR. La portée de cette évaluation comprend les impacts sur tous les accès, les éléments d'accueil et de décoration, les installations alimentaires et sanitaires, les services de santé et de sécurité, en mettant l'accent sur les opérations d'entretien des surfaces de patinage et de la glace. Ce travail a consisté en une analyse des risques qualitative et quantitative, complétée par une analyse documentaire et un programme de surveillance de la température de l'eau et de la conductivité qui a été effectué en février 2021 pour combler les lacunes immédiates en matière de données. Ce rapport résume les informations clés sur la PCR dans des conditions climatiques futures, l'évaluation des risques et le processus de priorisation des impacts, ainsi que les mesures potentielles de planification de l'adaptation et de réduction des risques.

PROJECTIONS POUR LA SAISON DE PATINAGE

Une analyse a été menée pour étudier les changements projetés des conditions de patinage selon deux scénarios d'émissions de gaz à effet de serre (GES). Les scénarios sélectionnés sont le RCP4.5 (diminution des émissions de GES d'ici les années 2040, appelé scénario « modéré » ou de stabilisation) et le RCP8.5 (augmentation régulière des émissions de GES jusqu'à la fin du siècle, souvent appelé scénario « statu quo »). Les principales conclusions de cette analyse sont les suivantes :

- Au cours des prochaines décennies, dans le cadre du scénario modéré d'émissions de GES (RCP4.5), la CCN devrait se préparer à des saisons offrant moins de 40 jours de patinage environ 50 % du temps;
- Il est peu probable que des hivers de plus de 60 jours de patinage se produisent à l'avenir selon les deux scénarios RCP;
- Dans les deux scénarios d'émissions de GES, la probabilité de disposer d'au moins 20 jours de patinage par an jusqu'aux années 2050 est élevée, bien que cette probabilité puisse tomber en dessous de 50 % dans la seconde moitié du siècle dans le cadre d'un scénario d'émissions de GES élevées;
- Au cours des prochaines décennies, dans le cadre d'un scénario d'émissions de GES modéré, la CCN devrait s'attendre à ouvrir la PCR en moyenne une à deux semaines plus tard qu'auparavant;
- L'ouverture de la PCR en décembre est peu probable à l'avenir;
- Des changements importants dans le début de la saison de patinage sont prévus dans la seconde moitié du siècle;
- La date de fin de la saison de patinage ne devrait pas changer autant que celle du début de la saison. Ceci est cohérent avec les données historiques indiquant qu'il n'y a pas de tendances significatives relatives au dernier jour de la saison.

ÉVALUATIONS DES RISQUES LIÉS AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES

Une évaluation qualitative des risques a été réalisée selon la méthodologie ISO 14091 Adaptation aux changements climatiques afin d'étudier les conséquences sociales, environnementales et économiques associées aux impacts des changements climatiques sur la PCR. En résumé, le processus d'évaluation des risques climatiques comprend les éléments suivants :

- Identification des aléas climatiques pertinents et des impacts potentiels sur la PCR en tenant compte de chaque aléa climatique;
- Détermination d'un niveau de risque pour chaque impact, qui tient compte de la sensibilité, de la capacité d'adaptation, de la vulnérabilité, de la probabilité et de la sévérité des conséquences relatives de chaque impact s'il se produit.

Sur les 22 répercussions cernées, 12 présentent un risque élevé ou très élevé pour la PCR, qui sont résumés dans le tableau ci-dessous.

Risques élevés et très élevés liés aux changements climatiques pour la PCR

Identification de l'impact	Impact potentiel	Probabilité	Sévérité	Risque
1	Augmentation de la production d'eaux pluviales chaudes provenant de précipitations plus importantes fondant la glace du canal.	Élevée	Élevée	Élevé
2	Augmentation des eaux pluviales chaudes en raison d'une fonte des neiges accrue due à des températures plus élevées faisant fondre la glace du canal.	Élevée	Élevée	Élevé
3	Températures nocturnes plus élevées retardant le début des inondations et l'épaississement de la glace.	Très élevée	Élevée	Très élevé
4	Fréquence réduite des vagues de froid limitant la capacité opérationnelle d'inonder le canal pendant la nuit.	Très élevée	Élevée	Très élevé
9	Perte de perspectives économiques directes en raison de la baisse de fréquentation de l'événement annuel du Bal de Neige.	Élevée	Élevée	Élevé
10	Perte de perspectives économiques indirectes dues à la diminution du tourisme et aux dépenses associées, notamment dans les restaurants, les hôtels et les autres activités à proximité.	Élevée	Élevée	Élevé
11	Perte d'une icône culturelle canadienne.	Élevée	Élevée	Élevée
12	Retard du début de la saison de patinage réduisant le nombre de jours de patinage viables.	Très élevée	Élevée	Très élevé
13	Fin précoce de la saison de patinage réduisant le nombre de jours de patinage viables.	Très élevée	Élevée	Très élevé
14	Augmentation des périodes chaudes pendant la saison réduisant la stabilité de la glace et le nombre de jours de patinage viables.	Très élevée	Élevée	Très élevé
20	Augmentation du coût des opérations pour entretenir le canal dans des conditions hivernales changeantes.	Élevée	Élevée	Élevé
21	Réduction de la jouissance du canal par les patineurs en raison de mauvaises conditions météorologiques.	Élevée	Modérée	Élevé

Un effet positif a également été cerné pour la PCR, à savoir que la réduction des périodes de froid extrême pourrait accroître le plaisir d'utiliser la PCR et donc augmenter le nombre de patineurs ainsi que de visiteurs.

Les risques élevés et très élevés pour la PCR concernaient les impacts indirects sur la formation et la qualité de la glace (par exemple, l'augmentation du drainage des eaux de pluie dans le canal causant une température et une salinité de l'eau plus importante), la variabilité accrue de l'état de la glace en hiver, les pertes économiques dues à la réduction de la saison de patinage et les impacts culturels dus à l'aspect emblématique de la PCR. Les impacts du déversement d'eaux pluviales plus chaudes, censé être lié au drain de l'avenue Laurier, sont déjà observés près de la section du Centre national des Arts de la PCR, nécessitant des fermetures saisonnières pour des raisons de sécurité. Par conséquent, des améliorations dans la formation, la résistance ou la qualité de la glace atténueraient tous les risques élevés et très élevés qui ont été repérés.

RECOMMANDATIONS

La CCN a déjà mis en œuvre de nombreuses pratiques opérationnelles pour augmenter l'épaisseur et la qualité de la glace après la formation du couvert de glace initial. Cette étude fournit une série de recommandations pour compléter ces pratiques existantes à court et moyen terme afin d'améliorer la résilience de la PCR aux changements climatiques, résumées dans le tableau ci-dessous. Les changements prévus pour le début de la saison sont plus importants pour la durée totale de la saison que pour la fin de la saison. Par conséquent, la plupart des recommandations visent à accroître l'efficacité de la formation précoce de glace.

La nature unique de la PCR signifie que cette étude peut contribuer à un corpus de documentation et de normes modeste, mais important pour les installations d'activités récréatives hivernales extérieures. Il est donc également recommandé que la CCN recherche des occasions de partager ces résultats.

À long terme, la CCN devrait déterminer le seuil à partir duquel l'investissement dans le maintien de la surface de la glace excède les bénéfices en résultant, et envisager la diversification de la programmation hivernale autour du canal.

Tableau E.1 Résumé des méthodes potentielles d'amélioration de la gestion/de la glace pour la PCR

Méthode	Description	Amélioration potentielle			Principal avantage	Principal inconvénient	Niveau de confiance dans l'efficacité	Niveau d'effort et de ressources requis
		Gel plus précoce	Couvert plus résistant	Autre				
Arrosage précoce de la glace	Commencer à arroser la surface de la mince couche de glace à l'aide d'une pompe et d'un système de flexibles depuis la rive	x	x		Épaississement précoce	Coût supplémentaire	Élevé	Modéré
Canon à neige	Reproduire de fortes chutes de neige en début de saison pour démarrer le couvert de glace	x	x		Gel plus précoce	Coût supplémentaire	Élevé	Modéré
Détournement des eaux pluviales	Réduire ou éliminer l'écoulement des eaux pluviales contaminées par le sel dans le canal	x ¹			Éliminer la source de chaleur	Impact local uniquement	Élevé	Modéré
Eau plus profonde – Niveau plus élevé	Augmenter la profondeur de l'eau en relevant son niveau en hiver, en modifiant le batardeau utilisé par Parcs Canada (PC) aux écluses d'Ottawa	x	x		Stabilisation du couvert de glace	La modification des structures existantes de la CCN est nécessaire	Moyenne à élevée	Très élevé
Débit entrant plus froid – De l'écluse	Modifier la configuration hivernale aux écluses de Hogs Back pour amener l'eau plus froide de la surface de la rivière dans le canal	x	x		Eau plus froide en hiver	La modification de la gestion hivernale par PC est nécessaire	Modéré	Élevé
Gestion de la végétation	Retirer toute la végétation du canal		x		Stabilisation du couvert de glace	Coût supplémentaire	Modéré	Modéré
Diversification des activités hivernales	Accroître l'attrait du canal Rideau en tant que destination hivernale, même pendant les saisons où la glace est de qualité inférieure			x	Réduire la dépendance à l'état des glaces pour attirer les visiteurs	Augmentation des ressources nécessaires en équipement et en personnel	Modéré	Élevé
Débit entrant plus froid – Eau libre	Amener de l'eau plus froide dans le canal en augmentant les échanges thermiques air/eau sur le tronçon du canal entre les écluses de Hogs Back et Hartwells	x	x		Eau plus froide en hiver	Théorique	Faible	Faible
Eaux plus profondes – Dragage	Augmenter la profondeur de l'eau en draguant le canal, celle-ci ayant diminué dans certaines zones avec le temps		x		Stabilisation du couvert de glace	Déplacement des matériaux contaminés	Faible	Très élevé
Pratiques de sécurité	Cerner les zones d'arrêt interdit patrouillées, ériger les concessions loin de la surface de la glace afin de limiter		x	x	Limiter la charge sur la glace	Insatisfaction croissante de certains utilisateurs,	Faible	Modéré

	les rassemblements statiques et limiter le nombre de visiteurs sur la PCR					coût supplémentaire et mise en œuvre complexe		
Renforcement de la glace	Installer des pieux centraux ancrés dans le lit du canal et auxquels la liaison de la glace peut contribuer à augmenter sa flottabilité		x		Augmenter la flottabilité	Coût supplémentaire, risque d'affaiblissement du couvert de glace	Très faible	Élevé
1. Dans les sections en amont.								

PROCHAINES ÉTAPES

Il existe des incertitudes significatives quant à l'efficacité des différentes mesures telles que résumées dans le tableau ci-dessus, en raison du manque de données sur le canal et de la nature unique de la PCR. C'est la raison pour laquelle WSP recommande que la CCN suive un processus en trois phases afin de surmonter ces obstacles :

- Phase 1 : Rassembler les données et les connaissances (années 1 à 3)
- Phase 2 : Projets pilotes (années 2 à 5)
- Phase 3 : Mise en œuvre permanente (>année 5)

Pour résumer les prochaines étapes pour la CCN, le tableau ci-dessous présente les tâches recommandées en préparation de la saison hivernale 2021-2022 et pendant celle-ci.

Tableau E.2 Tâches recommandées en préparation de la saison hivernale 2021-2022 et pendant celle-ci.

Période	Tâches recommandées (par ordre chronologique)
Été 2021	<ol style="list-style-type: none">1. Effectuer un relevé bathymétrique du canal.2. Planifier la campagne de suivi et d'observation du canal pour l'automne/hiver 2021-2022.3. Planifier les projets pilotes 2021-2022 et acquérir du matériel (arrosage précoce de la glace ou APG, canon et aérateur).
Oct. – nov. 2021 (automne)	<ol style="list-style-type: none">4. Installer les instruments de suivi et les équipements du projet pilote dans le canal.5. Commencer le suivi et les observations de la glace.
Nov. – déc. 2021 (gel)	<ol style="list-style-type: none">6. Poursuivre le suivi et les observations.7. Lancer des projets pilotes (APG, canon et aérateur).
Déc. 2021 – mar. 2022 (hiver)	<ol style="list-style-type: none">8. Mettre fin aux projets pilotes sur l'APG et les canons.9. Poursuivre le suivi, les observations et le projet pilote sur l'aérateur.10. Mesurer régulièrement l'épaisseur de la glace et noter les résultats dans le journal de bord.
Fin de la saison de patinage	<ol style="list-style-type: none">11. Mettre fin au projet pilote lié à l'aérateur.12. Préparer un rapport technique pour résumer la campagne de suivi, les observations et le projet pilote.13. Évaluer l'efficacité des projets pilotes et émettre des recommandations pour l'hiver 2022-2023.
2022	<ol style="list-style-type: none">14. Réaliser une étude thermique de la glace et de l'eau, en fonction des résultats de la campagne de suivi de l'hiver 2021-2022.15. Évaluer l'efficacité d'autres solutions potentielles (soit un afflux plus froid, des eaux plus profondes et la déviation des exutoires) en fonction de l'étude thermique.

Il s'agit de la première évaluation des risques liés aux changements climatiques commandée par la CCN. Il est recommandé que ce rapport soit mis à jour au moins tous les cinq ans afin de tenir compte de l'évolution des conditions socio-économiques, de l'élaboration des politiques et des dernières données scientifiques sur le climat.

TABLE DES MATIÈRES

	RÉSUMÉ.....	III
	Projections pour la saison de patinage	iii
	Évaluations des risques liés aux changements climatiques	iv
	Recommandations	v
	Prochaines étapes.....	viii
1	INTRODUCTION	1
1.1	Contexte	1
1.2	Structure du rapport	3
2	RÉSUMÉ DE L'ANALYSE DOCUMENTAIRE	5
2.1	Introduction.....	5
2.2	Processus de formation de la glace.....	5
2.3	Impacts des changements climatiques sur les activités de patinage	6
2.4	Conclusions de l'analyse documentaire.....	7
3	ANALYSE.....	8
3.1	Données disponibles	8
3.2	Données historiques sur les jours de patinage	9
3.3	Résumé du programme de surveillance	11
3.4	Téledétection	11
3.5	Projections pour la saison de patinage	13
3.6	Évaluation des risques	21
3.7	Conclusions de l'évaluation des risques.....	33
4	RECOMMANDATIONS POUR LE TRAITEMENT DES RISQUES	35
4.1	Méthodes potentielles de gestion de la glace	35
4.2	Recommandations pour l'amélioration des connaissances.....	44

4.3	Mise en œuvre des recommandations	44
4.4	Prochaines étapes.....	46
4.5	Recommandations pour l'élaboration de normes ...	49
4.6	Conclusion	50
BIBLIOGRAPHIE		51
5	IMPORTANCE CULTURELLE	61
5.1	Questions d'histoire.....	61
5.2	Site classé au Patrimoine mondial de l'UNESCO	61
5.3	Perception du public.....	61
5.4	Données démographiques sur les utilisateurs et impact économique.....	62
5.5	Opérations.....	64
5.6	Tendances liées aux changements climatiques	68
6	NORMES RÉVISÉES.....	73
6.1	Processus de formation de la glace.....	73
6.2	Changements climatiques et formation de glace dans différents contextes	74
6.3	Facteurs environnementaux affectant la formation de la glace	75
6.4	Mesures d'adaptation et pratiques exemplaires	77
6.5	Base de données de l'analyse documentaire.....	79

TABLEAUX

TABLEAU 3-1 : DONNÉES DISPONIBLES POUR L'ANALYSE DE LA GLACE	8
TABLEAU 3-2 : RÉSUMÉ DE LA RELATION ENTRE LE CLIMAT ET LA GLACE.....	14
TABLEAU 3-3 : RÉSUMÉ DES PROBABILITÉS ANNUELLES DÉCROISSANTES DE DISPOSER DE 20, 40 OU	

	60 JOURS DE PATINAGE SUR LA PCR SELON LE RCP4.5 ET RCP8.5 PAR RAPPORT À LA RÉFÉRENCE HISTORIQUE	17
TABLEAU 3-4 :	DATE MÉDIANE PROJÉTÉE DE DÉBUT DE LA SAISON DE PATINAGE. LES DATES ENTRE PARENTHÈSES REPRÉSENTENT LES 10 ^E ET 90 ^E PERCENTILES DE LA DISTRIBUTION.	18
TABLEAU 3-5 :	DATE MÉDIANE PROJÉTÉE DE FIN DE LA SAISON DE PATINAGE. LES DATES ENTRE PARENTHÈSES REPRÉSENTENT LES 10 ^E ET 90 ^E PERCENTILES DE LA DISTRIBUTION.	20
TABLEAU 3-6 :	MATRICE DE NOTATION DE LA VULNÉRABILITÉ	23
TABLEAU 3-7 :	MATRICE DE NOTATION DE LA PROBABILITÉ D'IMPACT	24
TABLEAU 3-8 :	MATRICE DE NOTATION DE L'ÉVALUATION DES RISQUES	24
TABLEAU 3-9 :	APERÇU DU CLIMAT ET DES IMPACTS CLIMATIQUES	27
TABLEAU 3-10 :	EXEMPLE DE NOTATION DES ALÉAS ET JUSTIFICATION POUR LA PCR	29
TABLEAU 3-11 :	EXEMPLE DE COTE DE VULNÉRABILITÉ DE LA PCR, Y COMPRIS LES CLASSEMENTS DE LA SENSIBILITÉ ET DE LA CAPACITÉ D'ADAPTATION ET LES JUSTIFICATIONS.....	30
TABLEAU 3-12 :	EXEMPLE DE DÉTERMINATION DE LA PROBABILITÉ D'IMPACT POUR LA PCR.....	30
TABLEAU 3-13 :	EXEMPLE DE COTE DE GRAVITÉ ET JUSTIFICATION DE LA PCR.....	32
TABLEAU 3-14 :	RISQUES ÉLEVÉS ET TRÈS ÉLEVÉS LIÉS AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES POUR LA PCR	32
TABLEAU 3-15 :	POSSIBILITÉS ASSOCIÉES AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES POUR LA PCR	33
TABLEAU 4-1 :	FACTEURS INFLUENÇANT LE RÉGIME DE LA GLACE SUR LE CANAL RIDEAU	37
TABLEAU 4-2 :	NOMBRE DE JOURS DE PATINAGE DANS LES DIFFÉRENTS TRONÇONS DU CANAL DE LA PCR	39
TABLEAU 4-3 :	RÉSUMÉ DES MÉTHODES POTENTIELLES D'AMÉLIORATION DE LA GESTION DES GLACES POUR LA PCR.....	42
TABLEAU 4-4 :	TÂCHES RECOMMANDÉES EN VUE DE LA PRÉPARATION DE LA SAISON D'HIVER 2021-2022 ET PENDANT CELLE-CI.....	46
TABLEAU 5-1 :	FACTEURS INFLUENÇANT LE RÉGIME DE LA GLACE SUR LE CANAL RIDEAU	67

FIGURES

FIGURE 1-1 : CARTE DE LOCALISATION DE LA PCR (KP DÉSIGNE LES « POINTS KILOMÉTRIQUES » LE LONG DE LA PATINOIRE)	2
FIGURE 1-2 : ISO 31000 – CADRE DE LA GESTION DU RISQUE	3
FIGURE 3-1 : TENDANCE À LA BAISSÉ DE LA DURÉE DE LA SAISON DE PATINAGE ENTRE 1971 ET 2020.	9
FIGURE 3-2 : AUGMENTATION DU RETARD DE DÉBUT DE LA SAISON DE 1971 À 2020. LA SAISON 1971 PEUT ÊTRE CONSIDÉRÉE COMME UNE VALEUR ABERRANTE ÉTANT DONNÉ QU'IL S'AGISSAIT DE LA PREMIÈRE ANNÉE D'EXPLOITATION. LA LIGNE VERTICALE EN POINTILLÉS MONTRE LE PASSAGE D'UN MODÈLE À FAIBLE VARIANCE À UN MODÈLE À FORTE VARIANCE EN 1996.....	10
FIGURE 3-3 : DIFFÉRENCE CUMULÉE PAR RAPPORT À LA MOYENNE HISTORIQUE DE LA DURÉE DE LA SAISON DE PATINAGE. CETTE FIGURE MONTRE QUE LES CONDITIONS DE PATINAGE ÉTAIENT MEILLEURES QUE LA MOYENNE JUSQU'AU MILIEU DES ANNÉES 1990, À L'EXCEPTION D'UNE INTERRUPTION DE CINQ ANS ENTRE 1982 ET 1987. LA LIGNE VERTICALE EN POINTILLÉS MONTRE LE POINT DE BASCULEMENT VERS UNE DÉGRADATION GÉNÉRALE DES CONDITIONS DE PATINAGE EN 1996.....	10
FIGURE 3-4 : TEMPÉRATURES DE L'EAU MESURÉES DANS LA PATINOIRE DU CANAL RIDEAU ENTRE LE 9 FÉVRIER ET LE 1 ^{ER} MARS 2021	11
FIGURE 3-5 : TEMPÉRATURE ESTIMÉE DE L'EAU DÉRIVÉE DE L'IMAGE LANDSAT 8 DU 2 NOVEMBRE 2014 – RÉSULTATS PRÉLIMINAIRES.....	12
FIGURE 3-6 : RELATION ENTRE LA TEMPÉRATURE MINIMALE QUOTIDIENNE MOYENNE ET LE NOMBRE DE JOURS DE PATINAGE SUR LA PCR.....	15
FIGURE 3-7 : ÉVOLUTION PROJETÉE DE PROBABILITÉ D'OCCURRENCE DE JOURS DE PATINAGE ANNUELS SUR LA PCR AVEC 20, 40 ET 60 JOURS DE PATINAGE SELON LES SCÉNARIOS RCP4.5 (À GAUCHE) ET RCP8.5 (À DROITE).	16

FIGURE 3-8 : RÉSUMÉ DE LA RELATION ENTRE LE NOMBRE DE JOURS APRÈS LE DÉBUT HISTORIQUE DE LA SAISON DE PATINAGE SUR LA PCR APRÈS LE 1 ^{ER} DÉCEMBRE ET LA TEMPÉRATURE MINIMALE QUOTIDIENNE MOYENNE EN HIVER.....	17
FIGURE 3-9 : DATE DE DÉBUT DE LA SAISON PRÉVUE SELON DEUX HORIZONS TEMPORELS ET DEUX SCÉNARIOS DE GES. LA DATE DE DÉBUT REPRÉSENTE LE NOMBRE DE JOURS APRÈS LE 1 ^{ER} DÉCEMBRE.....	18
FIGURE 3-10 : RÉSUMÉ DE LA RELATION ENTRE LE NOMBRE DE JOURS APRÈS LE 1 ^{ER} FÉVRIER LORSQUE LA SAISON DE PATINAGE SUR LA PCR SE TERMINE HISTORIQUEMENT ET LE NOMBRE D'ÉVÉNEMENTS DE GEL IMPORTANT EN FÉVRIER	19
FIGURE 3-11 : DATE DE FIN DE LA SAISON PROJÉTÉE SELON DEUX HORIZONS TEMPORELS ET DEUX SCÉNARIOS DE GES. LA DATE DE FIN REPRÉSENTE LE NOMBRE DE JOURS APRÈS LE 1 ^{ER} FÉVRIER.....	20
FIGURE 3-12 : CADRE D'ÉVALUATION DES RISQUES CLIMATIQUES	21
FIGURE 3-13 : DIAGRAMME CONCIS DES IMPACTS POTENTIELS DU CLIMAT SUR LA PCR	26
FIGURE 4-1 : CHRONOLOGIE TYPIQUE DE LA SAISON DE PATINAGE SUR LE CANAL RIDEAU	37
FIGURE 4-2 : CALENDRIER DE MISE EN ŒUVRE DES RECOMMANDATIONS	45
FIGURE 4-3 : EXEMPLES DE RÉSULTATS DE RELEVÉS HYDROGRAPHIQUES ET MULTIFAISCEAUX	47
FIGURE 4-4 : EXEMPLE DE CANON AVEC JET DIRECTIONNEL ÉTROIT (HTTPS://WWW.HKDSNOWMAKERS.COM/FR/)	48
FIGURE 4-5 : EXEMPLE D'AÉRATEUR DE SURFACE (WWW.ARBRUX.COM).....	49
FIGURE 5-1 : ESTIMATION DU NOMBRE DE PATINEURS SUR LE CANAL RIDEAU ENTRE 1992 ET 2020 (CCN, 2020).....	63
FIGURE 5-2 : LA NOUVELLE INSTALLATION DE DRAINAGE PRÈS DU PONT LAURIER. PHOTO DE GAUCHE TIRÉE DE LAROCQUE ET PRINGLE (2020). LA PHOTO DE DROITE EST REPRODUITE AVEC L'AUTORISATION DE LA CCN.	64

FIGURE 5-3 : CAROTTES DE GLACE PRÉLEVÉES À DIFFÉRENTS ENDROITS LE LONG DE LA PCR, QUI ILLUSTRONT LA VARIABILITÉ DE L'ÉTAT DE LA GLACE (GLACE BLANCHE VS GLACE NOIRE) ET DE SON ÉPAISSEUR.....	65
FIGURE 5-4 : CHRONOLOGIE D'UNE SAISON DE PATINAGE TYPIQUE SUR LE CANAL RIDEAU	68
FIGURE 5-5 : TEMPÉRATURE MENSUELLE LA PLUS FROIDE – JANVIER (CCN ET AL., 2020)	69
FIGURE 5-6 : CHUTES DE NEIGE ANNUELLES TOTALES (CCN ET AL., 2020).....	70

ANNEXES

ANNEXE A	MISE EN CONTEXTE
ANNEXE B	CONTENU ET BASE DE DONNÉES DE L'ANALYSE DOCUMENTAIRE COMPLÉMENTAIRE
ANNEXE C	RAPPORT SUR LE PROGRAMME DE SUIVI
ANNEXE D	BASE DE DONNÉES SUR L'ÉVALUATION DES RISQUES LIÉS AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES
ANNEXE E	MATRICES D'ÉVALUATION DES RISQUES

1 INTRODUCTION

La patinoire du canal Rideau (la Patinoire ou la PCR), qui figure parmi les plus longues patinoires naturelles du monde, est entretenue par la Commission de la capitale nationale (CCN) depuis 1971. Ayant célébré son 50^e anniversaire lors de la saison hivernale 2019-2020, cet élément emblématique de la région de la capitale nationale (RCN) fait partie du patrimoine culturel du Canada. Il a été reconnu comme tel en 2007 lorsque ce lieu a été nommé site historique national du Canada et site classé au Patrimoine mondial de l'UNESCO.

Des questions ont commencé à faire surface concernant sa viabilité à long terme dans des conditions climatiques changeantes. La hausse et la variabilité accrue des températures, le raccourcissement de la saison hivernale et les changements de schémas des précipitations hivernales auront tous une incidence sur les opérations, l'équipement et les infrastructures nécessaires pour maintenir une surface de patinage de haute qualité le plus longtemps possible chaque année.

Dans sa [stratégie de développement durable 2018-2023](#), la CCN s'est engagée à « évaluer les risques de l'impact des changements climatiques sur ses actifs, ses programmes et ses services ». Après s'être associée à la Ville d'Ottawa et au ministère de l'Environnement pour obtenir un ensemble solide de projections climatiques pertinentes dans le cadre des vulnérabilités régionales, la CCN cherche à utiliser ces projections comme base pour son évaluation des risques liés aux changements climatiques. Compte tenu de l'importance culturelle de la PCR, la CCN l'a désignée en tant que premier actif nécessitant une évaluation des risques liés aux changements climatiques. La portée de cette évaluation comprend les impacts sur tous les accès, les éléments d'accueil et de décoration, les installations alimentaires et sanitaires, les services de santé et de sécurité, en mettant l'accent sur les opérations d'entretien des surfaces de patinage et de la glace. Une analyse documentaire a été entreprise pour mieux comprendre l'impact des changements climatiques sur les installations de patinage naturel en plein air, ainsi qu'une analyse des normes nationales et internationales et des bonnes pratiques en matière de résilience.

La Commission de la capitale nationale s'est associée au Conseil canadien des normes afin de réaliser une évaluation des risques liés aux changements climatiques qui définira les impacts de ce dérèglement sur la PCR, analysera la sévérité des conséquences et la probabilité de ces impacts, et proposera des recommandations pour atténuer les plus grands risques climatiques et augmenter la résilience de la Patinoire. Le Conseil canadien des normes espère utiliser les résultats de l'évaluation pour déterminer la possibilité d'élaborer des normes relatives aux loisirs d'hiver en plein air et communiquer les options d'adaptation pour d'autres installations de patinage extérieur similaires.

1.1 CONTEXTE

1.1.1 DESCRIPTION DU SITE

La Patinoire est située sur le canal Rideau à Ottawa, entre les écluses de Hartwell et d'Ottawa (Figure 1-1). S'étendant sur 7,8 kilomètres, elle comprend une boucle sur le lac Dow et une plus petite sur le ruisseau Patterson.

Pendant la saison de navigation, le canal est utilisé par les bateaux pour traverser les rivières Ottawa et Rideau. L'eau de la rivière Rideau passe par les écluses de Hog's Back (n° 11-12) et Hartwell (n° 9-10) avant de pénétrer dans le tronçon de la Patinoire. L'eau quitte le tronçon de la patinoire par l'écluse n° 8 d'Ottawa, située à côté du Château Laurier. Ces écluses sont toutes entretenues et exploitées par Parcs Canada (PC).

Pendant la saison hivernale, la CCN transforme le canal pour devenir la plus grande patinoire extérieure du monde. En plus de l'attraction principale, la PCR offre une multitude de commodités sur les aires de repos avec des toilettes et des vestiaires, des rampes d'accès, des foyers, des tables de pique-nique, des installations de location et des concessions de nourriture et de boissons, selon l'endroit.

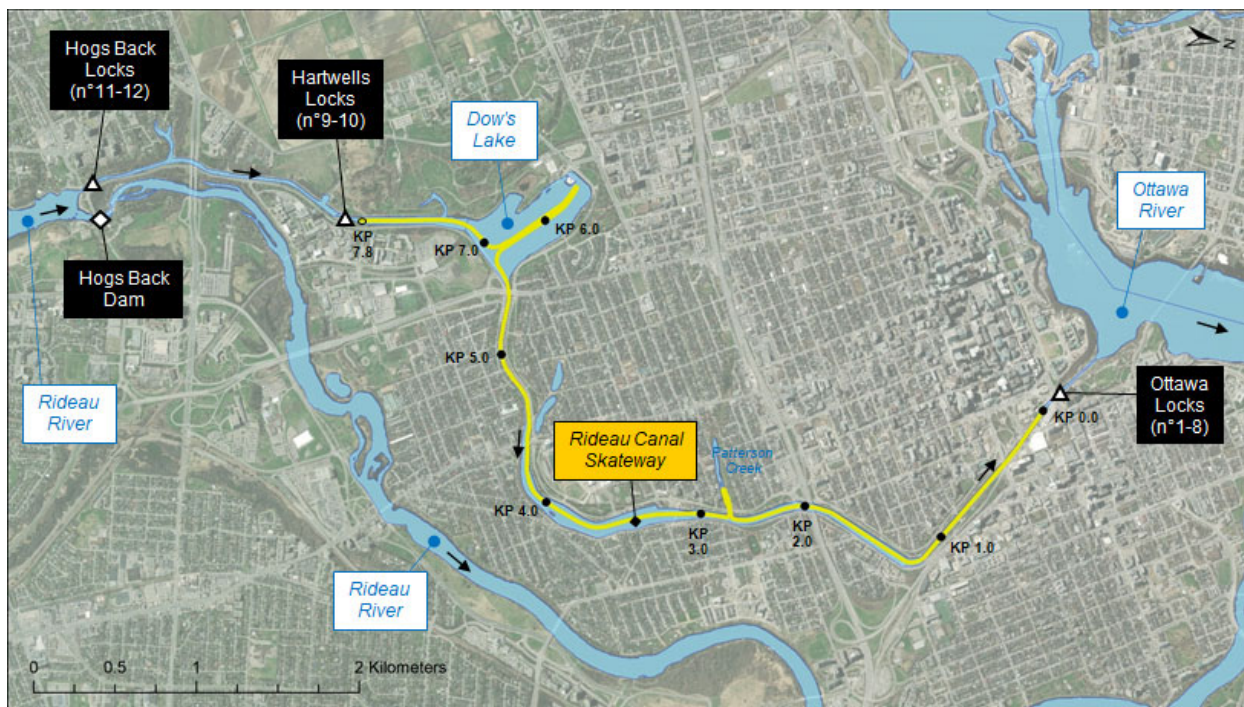


Figure 1-1 : Carte de localisation de la PCR (KP désigne les « points kilométriques » le long de la Patinoire)

1.1.2 JURIDICTION DE LA PATINOIRE DU CANAL RIDEAU

La PCR fonctionne dans un contexte juridique complexe. Elle est gérée par la CCN dans une installation patrimoniale relevant de la compétence de PC, dans le centre de la ville d'Ottawa, la quatrième plus grande ville du Canada. La collaboration entre plusieurs organisations est nécessaire pour permettre à la CCN d'exploiter la PCR, lesquelles bénéficient de la présence de la PCR. La compétence de la CCN comprend l'exploitation et la gestion de la PCR et la gestion des sentiers et des promenades de part et d'autre du canal, y compris la promenade Queen Elizabeth et la promenade Colonel By (les « promenades de la CCN »). En outre, le territoire de compétence du canal, ses infrastructures, son environnement et sa voie navigable impliquent une gestion plus large incluant ces parties prenantes :

- Au niveau fédéral, PC est le maître d'ouvrage à l'année et l'intendant principal du canal Rideau. Le canal est un site classé au Patrimoine mondial de l'UNESCO et un site historique national. À ce titre, PC est responsable de l'entretien des infrastructures, veille à la gestion des écosystèmes (gestion des mauvaises herbes, moules zébrées, etc.) et contrôle les niveaux de l'eau.
- Au niveau provincial, le ministère de l'Environnement et de l'Énergie de l'Ontario a le pouvoir législatif de gérer la qualité de l'eau en vertu de la Loi sur les ressources en eau de l'Ontario et de la Loi sur la protection de l'environnement. Le ministère est soutenu par l'Office de protection de la nature de la vallée Rideau, bien que son rôle soit limité aux frontières du canal.
- Au niveau municipal, la ville d'Ottawa est responsable de l'entretien des routes de chaque côté du canal Rideau, au-delà des promenades de la CCN. En outre, la gestion des eaux pluviales et des égouts sanitaires relève de la compétence de la ville. Selon le personnel d'exploitation et d'entretien de la PCR, le canal compte environ 600 exutoires d'eaux pluviales. La température des eaux pluviales, ainsi que leur concentration en sel et en sédiments, ont une incidence sur la formation de la glace et sa résistance aux chocs.

1.1.3 INFRASTRUCTURES

L'accès à la PCR par des escaliers (9-13 marches) est prévu à 29 points d'entrée. En outre, des rampes d'accès universel sont installées aux entrées Rideau, Mackenzie King Ouest, Holmwood et Bronson. La PCR dispose de quatre aires de repos :

- Rideau : un chalet vestiaire et un chalet avec services sanitaires;
- Concord : un chalet vestiaire et un chalet avec services sanitaires;
- Cinquième Avenue : un chalet vestiaire et une remorque avec services sanitaires;
- Bronson : un chalet vestiaire et un chalet avec services sanitaires.

Les partenaires de la PCR installent également des concessions. Au pavillon du lac Dow, un partenaire installe une tente pour se changer et gère une remorque de location de patins hors-glace. Des remorques de location de patins sont exploitées par un tiers à l'angle de Rideau et de la Cinquième Avenue. Près de 20 lots sont également disponibles pour les concessions alimentaires, mais ils ne sont pas toujours occupés ou occupés par les mêmes concessions.

1.2 STRUCTURE DU RAPPORT

Dans un premier temps, le rapport définit les impacts pertinents liés aux changements climatiques, évalue la vulnérabilité et les risques associés, et présente des recommandations pour faire face à ces impacts. Le rapport couvre les principales étapes de la norme ISO 31000 relative à la gestion des risques, reconnue au niveau international (Figure 1-2). La partie consacrée à l'évaluation des risques suit la norme ISO 14091 relative à l'adaptation aux changements climatiques.

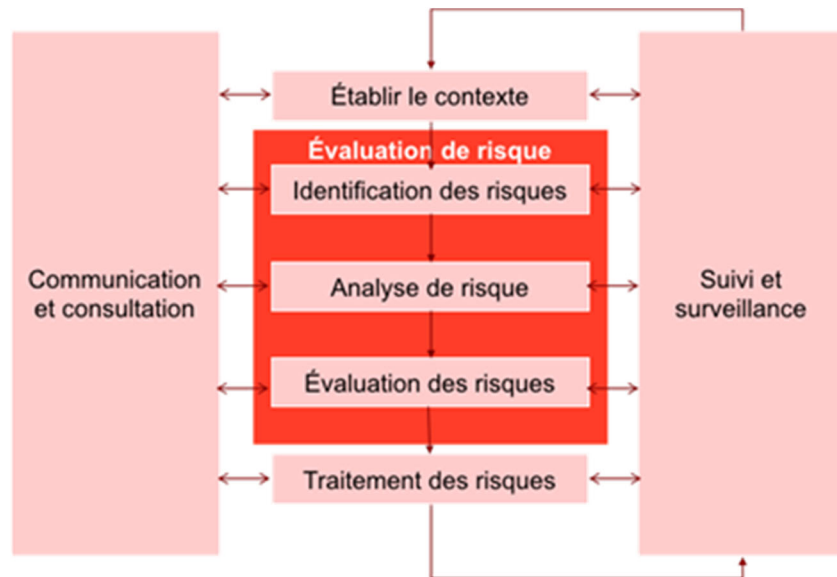


Figure 1-2 : ISO 31000 – Cadre de gestion du risque

Conformément au cadre ci-dessus, le rapport comprend les sections suivantes, qui ont été réorganisées pour une meilleure lisibilité :

- **Section 2 – Sommaire des travaux :** Résumer l'état de l'information sur les aléas et les risques climatiques pour les installations de patinage en plein air. L'annexe A propose des informations supplémentaires.
- **Section 3 – Analyse :** Présenter le processus d'évaluation des risques liés aux changements climatiques pour la PCR, ainsi que les informations clés qui ont été prises en compte lors de l'évaluation, un accent particulier ayant été mis sur la relation entre la qualité de la glace et le climat.

- **Section 4 – Recommandations pour le traitement des risques :** Proposer des recommandations pour atténuer les risques liés aux changements climatiques pour la PCR, un plan de mise en œuvre, et des éléments à prendre en compte pour intégrer les changements climatiques dans les normes relatives aux installations de loisirs hivernaux en général.

Après le corps principal du rapport, les annexes comprennent :

- **Annexe A – Présentation du contexte :** Fournir une analyse approfondie du contexte de la PCR pour cerner les limites de l'évaluation des risques, ainsi que les considérations juridiques et géographiques.
- **Annexe B – Contenu supplémentaire de l'analyse documentaire et base de données :** Fournir un aperçu complet de la recherche de base menée pour cerner les impacts des changements climatiques sur la glace et les bonnes pratiques d'adaptation aux changements climatiques pour les installations de patinage extérieur.
- **Annexe C – Rapport du programme de surveillance :** Fournir une description du travail de terrain et récapituler les données de température et de conductivité acquises pendant l'hiver 2021.
- **Annexe D – Base de données pour l'évaluation des risques liés aux changements climatiques :** Présenter une description détaillée du profil de risque de la PCR.
- **Annexe E – Matrices de notation de l'évaluation des risques :** Définir les processus d'évaluation des différents paramètres de l'évaluation des risques.

2 RÉSUMÉ DE L'ANALYSE DOCUMENTAIRE

2.1 INTRODUCTION

Une première étape importante de l'évaluation des risques liés aux changements climatiques consiste à comprendre le contexte du problème. La patinoire du canal Rideau est non seulement l'une des plus longues patinoires naturelles au monde, mais elle a aussi la réputation d'offrir une expérience de qualité supérieure grâce aux soins et aux opérations d'entretien intensifs de la CCN. Cependant, les patinoires extérieures du Canada et du monde entier sont confrontées aux défis d'un climat changeant et cherchent des moyens de s'adapter à une planète qui se réchauffe. Afin de fournir un contexte et des bases solides pour le projet actuel d'évaluation des risques climatiques, WSP a réalisé une analyse documentaire axée sur les normes, les directives et les bonnes pratiques en matière d'adaptation des installations de patinage en plein air au climat. Un examen supplémentaire a été effectué sur d'autres étendues de glace extérieures telles que les lacs, les rivières et les routes de glace afin de déterminer si des informations pouvaient être directement ou indirectement applicables au canal.

Cette analyse documentaire est principalement constituée de sources internationales, mais elle comprend également quelques références canadiennes qui apportent un éclairage pertinent à ce projet. Les sujets examinés comprennent les aléas et les risques climatiques pour les installations de patinage en plein air, les normes et les lignes directrices relatives à l'exploitation des patinoires extérieures, les mesures d'adaptation et les bonnes pratiques adoptées par les exploitants de patinoires au niveau international, ainsi que d'autres éléments liés à ces thèmes principaux. Ce chapitre résume la documentation examinée, aborde des thèmes communs et définit les principaux points à retenir sur la PCR.

Plusieurs documents ont été examinés et leurs conclusions et thèmes clés sont présentés ci-dessous. Un résumé plus détaillé de chacune des sources consultées et de leur pertinence pour cette étude a été inclus dans l'annexe B.

2.2 PROCESSUS DE FORMATION DE LA GLACE

Cette section décrit les processus généraux de formation de la glace qui se produisent sur un lac ou un plan d'eau calme, comme le canal Rideau. Au cours de la saison, l'évolution du couvert de glace passera par ces trois étapes :

- 1 Formation :** Les lacs se refroidissent d'abord de haut en bas par temps froid, jusqu'à ce que toute l'eau du lac atteigne une température de 4 °C et sa densité maximale. Avec un refroidissement supplémentaire, une couche d'eau plus légère forme la surface. La glace se forme à la surface soit par le gel de la masse d'eau (nucléation primaire), soit par la neige atmosphérique et les particules de glace tombant sur la masse d'eau (nucléation secondaire). La nucléation secondaire permet la création du couvert de glace même si l'eau de surface n'a pas atteint le point de gel.
- 2 Accumulation :** La formation de glace se poursuit lorsque les températures de l'air en surface deviennent suffisamment basses pour permettre le gel de l'eau sur la face inférieure de la couche de glace. Le couvert de glace peut également se développer par l'agrégation de neige sur le couvert de glace.
- 3 Dégel :** Le dégel des lacs commence lorsque la couche de neige qui recouvre la glace fond, formant des flaques d'eau et diminuant l'albédo de la surface supérieure. Pendant la dégradation, la glace fond généralement de façon simultanée sur les surfaces supérieure et inférieure.

En hiver, les épisodes d'accumulation peuvent être interrompus par un rejet thermique, c'est-à-dire le processus par lequel de l'eau chaude pénètre dans un plan d'eau. Les décharges thermiques augmentent la température de l'eau, mais réduisent également la quantité de glace qui se formerait autrement.

2.3 IMPACTS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR LES ACTIVITÉS DE PATINAGE

Depuis les années 1980, les effets des changements climatiques sur le tourisme en hiver sont un sujet de plus en plus populaire pour la recherche sur le tourisme et le climat. Cependant, il a été constaté que la majeure partie de cette documentation se concentre sur le ski ou les plans d'eau naturels, et que les données et rapports disponibles sur le patinage et les autres activités liées à la glace sont limités (Liu et al., 2017). Les recherches sur le patinage montrent que les changements climatiques ne réduisent pas seulement le temps de patinage disponible, en retardant la date de début et en raccourcissant la saison, mais aussi en augmentant le nombre de blessures et en modifiant les préférences et les demandes des touristes en conséquence (Liu et al., 2017).

Une grande partie des documents examinés se concentre sur les impacts des changements climatiques sur le patinage en plein air et sur les différentes méthodes de prévision des opérations annuelles. Dans une étude portant sur le parc Bei Hai de Pékin, destination populaire de patinage en plein air qui existe depuis plus de 1 000 ans, les données météorologiques historiques ont été analysées pour déterminer leur impact sur les possibilités d'exploitation. Elle constate qu'une augmentation de la température de 1 °C en décembre est associée à un décalage de la date d'ouverture de 3,8 jours et à une diminution de la durée d'exploitation de 4,49 jours (Liu et al., 2017). Au cours de la période étudiée (1989-2015), les chercheurs ont constaté qu'il existait des variations naturelles triennales du climat et du calendrier de la débâcle et du gel, mais qu'après 2000, les fluctuations étaient plus marquées, avec une fréquence plus élevée d'ouvertures anormales plus précoces ou plus tardives. Cela a eu un impact sur la saison de patinage, car la durée d'ouverture a été raccourcie, l'épaisseur de la glace a été réduite, le nombre de jours où l'épaisseur minimale opérationnelle de la glace (15 cm) était respectée a été limité, et donc le nombre de touristes a diminué. Il est important de noter que l'étude conclut également que les caractéristiques individuelles de l'eau dans diverses parties du pays ont également contribué à leurs caractéristiques de gel (Liu et al., 2017). Le principal facteur constaté était la taille et la profondeur du lac, les données qualitatives et d'engagement montrant que les lacs plus petits et moins profonds ouvraient environ deux semaines plus tôt.

Ces résultats sont tous cohérents avec le contexte canadien qui a vu une augmentation de la température moyenne hivernale de plus de 2,5 °C depuis les années 1950 et une diminution de la fréquence, de la durée et de l'intensité des périodes de froid hivernal partout sauf dans le Nord-Est (Damyanov et al., 2012; Zhang et al., 2010). Ces changements ont conduit à une réduction étudiée de la saison de patinage opérationnelle quasiment partout dans le pays.

La CCN, la ville d'Ottawa et le ministère de l'Environnement se sont récemment associés pour commander une importante étude sur les [projections climatiques pour la région de la capitale nationale](#) (CCN et al., 2020). Ces projections montrent que, dans le cadre du scénario le plus pessimiste en matière d'émissions de gaz à effet de serre (RCP8.5), la température moyenne annuelle devrait augmenter de 9,3 °C d'ici les années 2050 et de 11,4 °C d'ici les années 2080. La même étude prévoit une diminution des températures froides extrêmes et des épisodes de gel important, une augmentation des cycles de gel et de dégel en hiver, ainsi qu'un changement de caractéristiques saisonnières, notamment une gelée d'automne plus tardive et une dernière gelée de printemps plus précoce.

À l'aide des données sur les patinoires extérieures recueillies dans le cadre d'un projet scientifique citoyen appelé RinkWatch, les données sur le patinage ont été comparées dans 10 villes canadiennes, dont Montréal, sur deux saisons. En comparant les données avec des simulations de températures quotidiennes basées sur le scénario d'émissions A2 du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, l'étude prévoit que le nombre de jours de patinage à l'horizon 2080 diminuerait en moyenne de 34 % à Montréal (Robertson, 2015).

À Montréal, une analyse a été effectuée pour déterminer quel était le meilleur indicateur météorologique permettant de prédire de manière fiable les opérations de patinage extérieur, et un modèle prédictif a été généré à partir des résultats afin de prévoir des créneaux d'activités de patinage dans le futur selon différents scénarios climatiques (Dickau et al., 2020). Dickau et al. (2020) ont constaté que la saison de patinage extérieur à Montréal pourrait diminuer de 15 % pour atteindre une moyenne de 41 jours selon le RCP2.6 (diminution de 7 jours) ou de 75 % pour atteindre une moyenne de 11 jours (diminution de 37 jours) selon le RCP8.5 d'ici la fin du siècle.

Aux Pays-Bas, des données historiques ont été utilisées pour élaborer un indicateur climatique basé sur la probabilité qu'une course de patinage de vitesse en plein air (Elfstedentocht) soit organisée chaque année, ce qui dépend de l'épaisseur de la glace (Visser, Peterson, 2009). La course, qui couvre un circuit de 200 km à travers onze villes, avait 20 % de chances de se produire chaque année à partir de 1909. En 2019, ces chances se sont réduites à 8 % et au cours des 50 dernières années, seuls trois circuits ont été organisés (Oldenborgh et al., 2019). Les auteurs concluent que d'ici la fin du XXI^e siècle, il y aura 4 % de chances annuelles que l'événement se produise selon un scénario optimiste et de faibles chances (<0,2 %) qu'il se produise selon un scénario pessimiste. L'impact de cette incertitude sur l'action politique en matière de climat a également été abordé dans l'étude de Visser et Peterson (2009).

2.4 CONCLUSIONS DE L'ANALYSE DOCUMENTAIRE

Dans un contexte canadien et international, les facteurs climatiques qui influencent le plus l'exploitation des sites de patinage extérieur sont les températures pendant les saisons intermédiaires (printemps et automne), les températures de la saison hivernale, la stabilité et le taux de changement des températures (refroidissement et réchauffement), le rayonnement solaire, la vitesse et la température du vent, ainsi que la quantité, la durée et la composition de la neige. Les facteurs intervenant au cours de la formation de la glace, dont la formation de neige et de bulles d'air, la salinité et la turbidité, influencent également les propriétés structurelles de la glace, la « glace blanche » remplie d'air étant considérée comme inférieure à la « glace claire » plus dense. Les changements climatiques, avec une tendance à l'augmentation des températures annuelles et hivernales, ont déjà commencé à réduire la saison de patinage opérationnelle ainsi que l'intégrité et la sécurité de la glace utilisée à des fins récréatives et économiques. Au niveau national et international, des rapports et des études ont fait état de saisons opérationnelles raccourcies et de dates de début plus tardives, bien qu'il existe des cas isolés.

Plusieurs mesures d'adaptation ont été suggérées et testées afin d'améliorer l'utilisation de la glace en ce qui concerne les installations de patinage extérieur et les routes de glace. Sur le plan opérationnel, il a été suggéré de réduire les facteurs de stress sur la glace, tels que les amoncellements de neige ou le poids qu'elle est censée supporter, de renforcer les points faibles, de modifier les durées d'exploitation, de réduire l'albédo et de solidifier la glace elle-même à l'échelle macroscopique et microscopique, bien que tous ces éléments présentent des avantages et des inconvénients en fonction de la situation. La réduction des quantités de sources d'eau chaude par le biais du rejet des eaux pluviales et de la salinité par le biais des sels de déglacage pourrait également contribuer à protéger la glace et à diminuer sa température de gel. Une glace qui est soigneusement entretenue dans un plan d'eau contrôlé comme le canal Rideau offre certains avantages par rapport à la glace naturelle. La création et la protection de la glace peuvent être mieux contrôlées et moins influencées par des facteurs hydrologiques externes tels que les vagues, l'entrée d'autres sources d'eau et les niveaux d'eau dynamiques. De même, l'adaptation peut être mise en œuvre à l'échelle locale, ce qui pourrait ouvrir la voie à des mesures dont le coût serait prohibitif à des échelles géographiques plus grandes, comme les lacs naturels ou les routes de glace isolées.

Les directives, normes et bonnes pratiques internationales examinées ne traitent pas précisément de l'adaptation des patinoires extérieures aux changements climatiques. La documentation présente des mesures d'adaptation axées sur l'acceptation du raccourcissement de la saison de patinage et l'adaptation des pratiques touristiques et commerciales en conséquence. Toutefois, en raison de la nature contrôlée du canal Rideau, certaines mesures d'adaptation suggérées pour renforcer les routes de glace pourraient être envisagées afin d'augmenter la résilience de la Patinoire. Cela peut également être considéré comme une occasion et un besoin potentiels d'élaborer des directives d'adaptation aux changements climatiques pour les installations de loisirs d'hiver par un organisme directeur.

3 ANALYSE

Notre approche de l'évaluation des risques liés aux changements climatiques pour la PCR respecte les normes ISO 31000 et ISO 14091 en matière de gestion des risques, car ce cadre est internationalement reconnu. La première étape consistait à établir le contexte, comme décrit dans la section 3. La deuxième étape consistait à évaluer le risque, ce qui implique les actions suivantes :

- 1 Définir les aléas liés aux changements climatiques et les impacts associés;
- 2 Analyser l'exposition et les vulnérabilités de la PCR à ces aléas;
- 3 Évaluer la sévérité des conséquences et de la probabilité des impacts climatiques, qui constitue la dernière étape de l'évaluation des risques.

À un niveau élevé, en plus de la formation de glace, l'étude tient compte des infrastructures suivantes dans l'évaluation des risques liés aux changements climatiques :

- Infrastructures de drainage;
- Machinerie;
- Remorques et chalets;
- Bâtiments de concession alimentaire.

Dès le début du projet, les différents intervenants ont clairement indiqué que la principale préoccupation concernant les changements climatiques était de savoir s'il y aurait suffisamment de glace à l'avenir sur le canal Rideau pour exploiter la Patinoire en toute sécurité en hiver. Ces préoccupations ont considérablement orienté l'évaluation suivante.

Dans le cadre de l'évaluation complète des risques, une analyse statistique de la relation entre le climat historique et la durée de la saison de patinage, du début à la fin, a été produite par l'équipe de projet. Ces projections de la saison de patinage sont présentées ci-dessous en mettant l'accent sur les paramètres qui affecteront les performances et la sécurité de la glace. Cette analyse historique est complétée par des données de température et de conductivité qui ont été recueillies dans le cadre d'un programme de surveillance pendant l'hiver 2021.

Suite à cette analyse, l'équipe de projet a produit une évaluation qualitative des risques afin de souligner les impacts et les risques associés aux changements climatiques attendus. Les étapes de ce cadre sont définies et couvertes en détail ci-dessous, avec des exemples fournis pour chaque étape. L'évaluation complète est disponible dans la matrice d'évaluation des risques située à l'annexe D.

3.1 DONNÉES DISPONIBLES

Le Tableau 3-1 résume les informations disponibles sur les conditions de la glace sur la PCR, fournies à WSP par la CCN pour utilisation dans l'analyse.

Tableau 3-1 : Données disponibles pour l'analyse de la glace

Description	Période (nombre d'années)
Date de début/fin de la saison de patinage	1970 – 2021 (51)
Nombre de jours de fermeture	1995-2021 (26)
Nombre de visiteurs	1992-2021 (29)
Observations de l'épaisseur de la glace	Hiver 2020-2021 (<1)
Images de la caméra en time-lapse le long de la PCR	Hiver 2020-2021 (<1)
Mesures de la température et de la conductivité de l'eau sous la glace	Février 2021 (<1)

3.2 DONNÉES HISTORIQUES SUR LES JOURS DE PATINAGE

Depuis 1971, la durée moyenne de la saison de patinage sur la PCR est de 57 jours. La saison de patinage la plus longue a été de 90 jours en 1972, tandis que la saison la plus courte a été de 26 jours en 2021. Chaque saison a été interrompue par des périodes plus chaudes où les conditions de glace ont limité les activités. Par exemple, entre 1996 et 2020, la période de patinage a duré en moyenne 43 jours et la PCR a fermé huit jours.

Historiquement, la PCR ouvre en moyenne autour du 3 janvier et ferme autour du 2 mars, bien qu'il y ait une variabilité autour de ces dates. La date d'ouverture la plus hâtive est le 18 décembre (en 1972 et 1981) et la plus tardive le 2 février 2002. La date de clôture la plus hâtive était le 13 février 1984, et la plus tardive le 25 mars 1972.

Des tendances significatives dans l'évolution des jours de patinage sont déjà observables. Depuis 1971, la durée de la saison a diminué de 3,8 jours par décennie en moyenne (Figure 3-1), ce qui est principalement dû à un début plus tardif de la saison de patinage (4,6 jours par décennie; Figure 3-2).

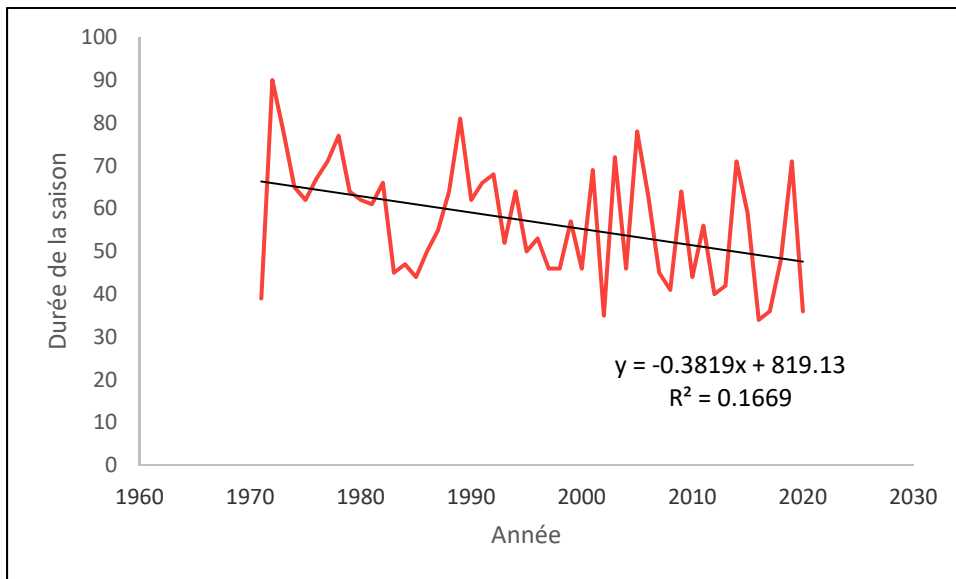


Figure 3-1 : Tendence à la baisse de la durée de la saison de patinage entre 1971 et 2020.

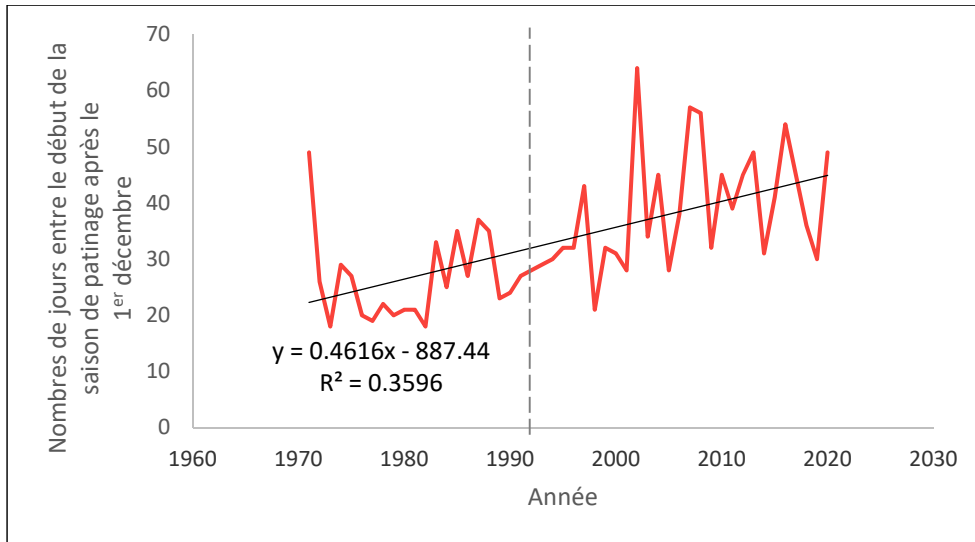


Figure 3-2 : Augmentation du retard de début de la saison de 1971 à 2020. La saison 1971 peut être considérée comme une valeur aberrante étant donné qu'il s'agissait de la première année d'exploitation. La ligne verticale en pointillés montre le passage d'un modèle à faible variation à un modèle à forte variation en 1996.

Il n'y a pas de tendance significative pour le dernier jour de la saison. Ceci est cohérent avec le fait que les conditions froides du début de la saison définissent probablement la dynamique de la formation de la glace. En plus de la tendance à la hausse observée dans la Figure 3-2, nous constatons un changement notable du modèle climatique autour de l'année 1996. Avant 1996, la variabilité interannuelle de la date de début était plus faible (écart-type de 5,5 jours) par rapport aux deux dernières décennies (écart-type de 10,5 jours). Cette évolution est synchrone avec le passage d'une durée de saison de patinage supérieure à la moyenne à une durée inférieure à la moyenne, comme le montre la Figure 3-3. Ce chiffre représente la différence cumulée par rapport à la moyenne de la durée de la saison de patinage. Une pente ascendante est représentative d'une période de saisons de patinage plus longues et une pente négative suggère le contraire.

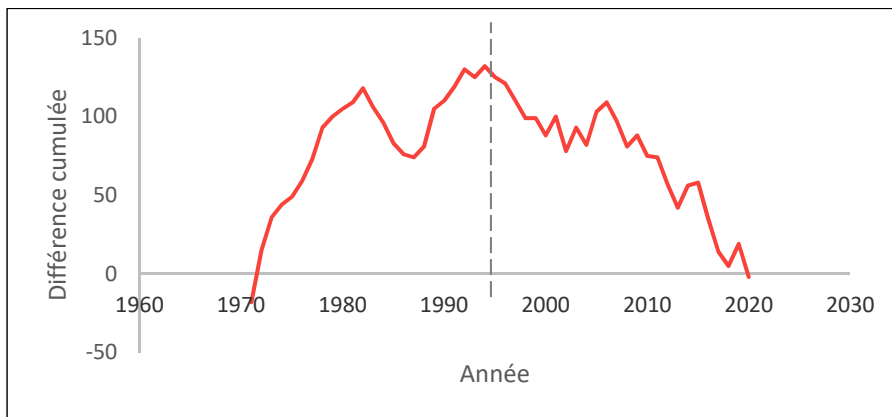


Figure 3-3 : Différence cumulée par rapport à la moyenne historique de la durée de la saison de patinage. Cette figure montre que les conditions de patinage étaient meilleures que la moyenne jusqu'au milieu des années 1990, à l'exception d'une interruption de cinq ans entre 1982 et 1987. La ligne verticale en pointillés montre le point de basculement vers une dégradation générale des conditions de patinage en 1996.

3.3 RÉSUMÉ DU PROGRAMME DE SURVEILLANCE

L'annexe C décrit le programme de surveillance de la PCR mené par WSP entre le 9 février 2021 et le 1^{er} mars 2021. Au cours de cette campagne, la température et la conductivité de l'eau ont été surveillées sous le couvert de glace à plusieurs endroits. L'objectif principal du programme était d'acquérir des données sur le modèle thermique de l'eau dans le canal Rideau pendant la saison hivernale. La Figure 3-4 illustre les températures de l'eau enregistrées au niveau de 6 jauges installées par WSP le long du canal, aux kilomètres 0,0, 0,3, 0,7, 1,4, 2,4 et 7,8. Les principales conclusions du programme sont les suivantes :

- L'eau qui entre dans le canal est relativement chaude (de l'ordre de 1 °C) et a tendance à se refroidir légèrement en descendant le courant.
- La température de l'eau proche de la glace à l'entrée de la Patinoire (point kilométrique ou PK 7,8) est souvent plus élevée (de l'ordre de +0,3 °C) que dans le canal en aval. Cela semble indiquer que l'eau se refroidit généralement lorsqu'elle s'écoule en aval dans le canal.
- Les données suggèrent également que l'eau proche de la glace est significativement plus chaude au PK 0,0, avec une température moyenne de 1,7 °C. La différence de température (par rapport au reste du canal) est généralement d'environ +1 °C, augmente à +2 °C le 25 février et atteint +5 °C le 1^{er} mars. Nous pensons que cette température importante pourrait s'expliquer par les exutoires d'eaux pluviales urbaines, notamment le drain de l'avenue Laurier, qui déversent des eaux plus chaudes dans le canal.
- Les résultats montrent que la température de l'eau sur le tronçon aval du canal (PK 0,0, 0,3 et 0,7) est plus influencée par une température de l'air supérieure à 0 °C que sur les tronçons en amont. Le 1^{er} mars 2021, les enregistrements au niveau des jauges des PK 0,0 et 0,7 montrent une augmentation importante de la température de l'eau, de l'ordre de +4 °C. L'augmentation de la température de l'eau au PK 0,3 (avenue Laurier) est moins importante (+0,7 °C), ce qui semble indiquer que les tuyaux installés par la CCN au niveau du drain de l'avenue Laurier sont relativement efficaces pour détourner l'eau plus chaude en aval.

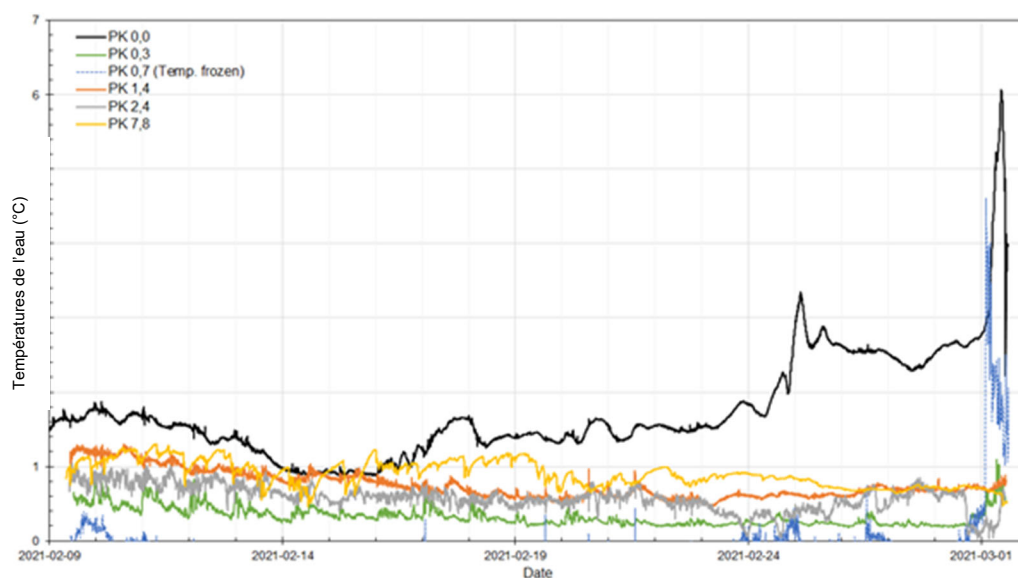


Figure 3-4 : Températures de l'eau mesurées dans la patinoire du canal Rideau entre le 9 février et le 1^{er} mars 2021

3.4 TÉLÉDÉTECTION

Les techniques de télédétection peuvent être utilisées pour estimer la température de surface d'un plan d'eau. Étant donné qu'aucune donnée sur les températures automnales/hivernales n'est disponible dans le canal, à l'exception des

mesures prises par WSP en février 2021 (annexe C), la télédétection semble être une méthode prometteuse pour recueillir de nouvelles données ou des observations passées à partir d'images aériennes historiques.

La température de l'eau peut être estimée à partir d'images aériennes de télédétection (prises depuis un satellite ou un avion) avant la formation du couvert de glace. Une analyse comparative entre la rivière Rideau et le canal est possible en utilisant la température dérivée des images.

WSP a effectué une analyse préliminaire de la température de l'eau dans la rivière Rideau à l'entrée du canal et dans le canal lui-même (lac Dow) en utilisant les images capturées par le satellite Landsat 8. Les résultats préliminaires montrent que la disponibilité des images est limitée et influencée par la présence de nuages. Malheureusement, il n'y avait pas assez de preuves pour la période qui nous intéresse, c'est-à-dire entre l'irrigation du canal¹ et la formation de la glace (généralement entre fin novembre et mi-décembre).

La Figure 3-5 illustre un exemple de trame de température dérivée d'une image Landsat 8 capturée le 2 novembre 2014. Les résultats préliminaires indiquent que l'eau de la rivière près de l'entrée du canal est typiquement plus chaude (de 0,5 à 1,0 °C) que celle du canal (lac Dow) avant l'irrigation du canal (généralement la troisième semaine de novembre). Ces résultats préliminaires sont cohérents sur plusieurs images prises au début du mois de novembre, mais devront être validés par des mesures in situ de la température de l'eau lors des phases futures du projet.

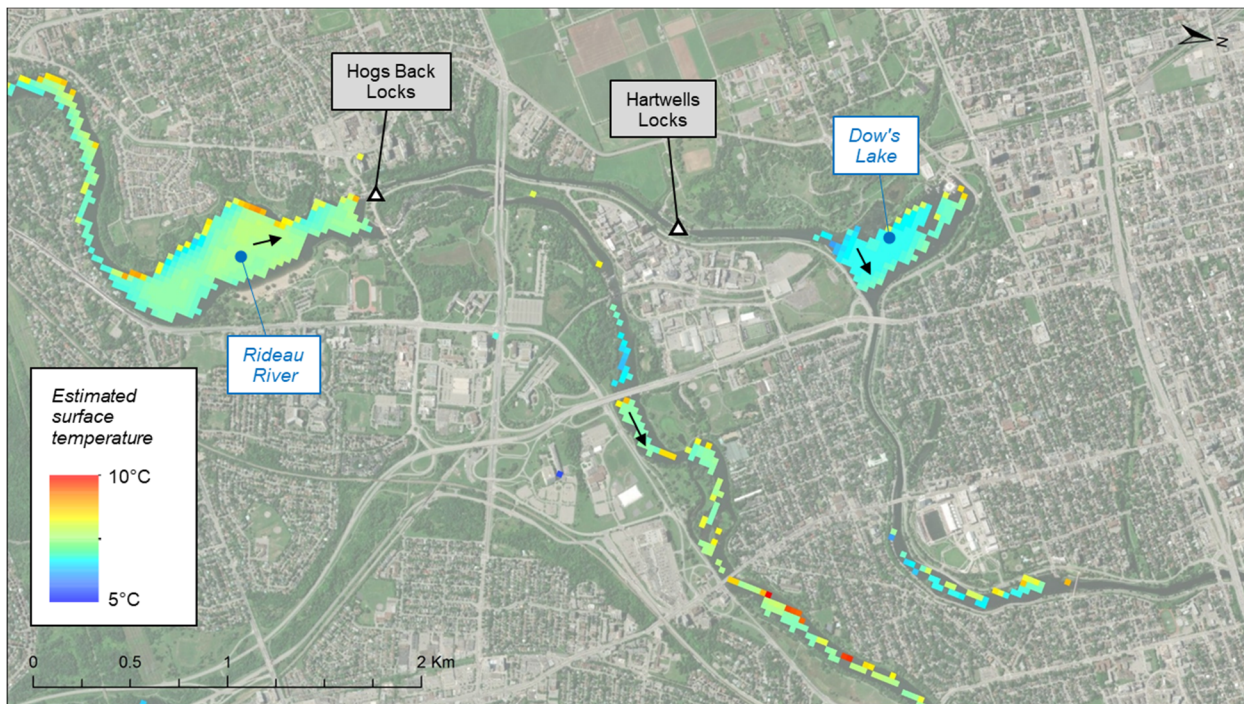


Figure 3-5 : Température estimée de l'eau dérivée de l'image Landsat 8 du 2 novembre 2014 – résultats préliminaires.

¹ L'irrigation du canal désigne le processus d'ouverture des écluses en amont pour remplir le canal Rideau au niveau adéquat pour la saison de patinage ou de navigation.

3.5 PROJECTIONS POUR LA SAISON DE PATINAGE

3.5.1 OBJECTIF

L'objectif est d'observer les changements prévus dans les conditions de patinage pour trois horizons temporels différents (les années 2030 [2021-2050], les années 2050 [2041-2070] et les années 2080 [2071-2100]) selon deux scénarios d'émissions de gaz à effet de serre (GES). Les scénarios sélectionnés sont le RCP4.5 (diminution des émissions de GES d'ici les années 2040) et le RCP8.5 (augmentation régulière des émissions de GES jusqu'à la fin du siècle, souvent appelé scénario « statu quo »).

3.5.2 DONNÉES

Pour réaliser cette analyse, les jeux de données suivants ont été utilisés :

- Conditions de patinage : les statistiques annuelles de la PCR fournies par la CCN (Tableau 3-1);
 - Données climatiques historiques : la station météorologique CDA d'Ottawa du ministère de l'Environnement (numéro d'identification 6105976), les données quotidiennes pour 1971-2020;
 - Projections relatives aux changements climatiques : l'ensemble de 24 modèles du ministère de l'Environnement, réduit statistiquement via BCCAQ2 et selon la grille ANUSPLIN.
-

3.5.3 MÉTHODE

1 Définir les relations entre les conditions de la glace et les variables météorologiques.

Calculer la corrélation de Pearson entre les variables météorologiques historiques et les données sur l'état de la glace. Les variables météorologiques suivantes ont été étudiées à l'échelle mensuelle, bimestrielle (novembre-décembre, décembre-janvier, janvier-février, etc.) et saisonnière (novembre-mars et décembre-février) :

- Température moyenne quotidienne;
 - Température minimale quotidienne moyenne;
 - Nombre total de degrés-jours de gel;
 - Nombre total d'événements de gel (où la température minimale descend en dessous de -10 °C).
 - Les statistiques suivantes sur la glace ont été étudiées :
 - Début de la saison (nombre de jours après le 1^{er} décembre);
 - Fin de la saison (nombre de jours après le 1^{er} février);
 - Durée de la saison (nombre de jours entre la date de début et la date de fin);
 - Le nombre de jours de patinage;
 - Le nombre de jours fermés.
- #### 2 Construire un modèle de régression linéaire entre les meilleurs prédicteurs météorologiques et les prédicteurs des conditions de la glace.
- #### 3 Transférer cette relation prédictive aux projections climatiques pour chaque modèle de l'ensemble.
- #### 4 Pour chaque modèle et chaque horizon temporel, vérifier l'hypothèse d'une distribution normale des résultats à l'aide du test de Lilliefors.
- #### 5 Projeter les conditions de patinage prévues à trois horizons temporels différents (les années 2030 [2021-2050], les années 2050 [2041-2070] et les années 2080 [2071-2100]) pour deux scénarios d'émissions de GES (RCP4.5 et RCP8.5).

3.5.4 RÉSULTATS

3.5.4.1 RELATIONS CLIMAT-GLACE

Pour chaque paramètre de condition de la glace utilisé, les relations entre les paramètres de température basse ont souvent produit de fortes corrélations (0,5 ou plus), comme le résume le Tableau 3-2.

Tableau 3-2 : Résumé de la relation entre le climat et la glace

	Début de la saison de patinage (n=51)	Fin de la saison de patinage (n=51)	Durée de la saison de patinage (n=51)	Nombre de jours de patinage (n=26)	Nombre de jours de fermeture (n=26)
Température minimale moyenne – Déc.	0,54	0,07	-0,44	-0,56	-0,01
Température minimale moyenne – Jan.	0,36	0,01	-0,32	-0,69	0,35
Température minimale moyenne – Févr.	0,15	-0,40	-0,42	-0,59	0,44
Température minimale moyenne – Mars	0,02	-0,29	-0,25	-0,44	0,09
Température minimale moyenne – DJF	0,57	-0,14	-0,62	-0,87	0,36
Degrés-jours de gel – Déc.	-0,50	-0,09	0,40	0,56	0,00
Degrés-jours de gel – Jan.	-0,35	-0,04	0,29	0,69	-0,40
Degrés-jours de gel – Févr.	-0,15	0,38	0,41	0,53	-0,45
Degrés-jours de gel – Mars	-0,06	0,27	0,25	0,37	-0,04
Degrés-jours de gel – DJF	-0,54	0,10	0,56	0,86	-0,42
Nombre d'événements de gel important – Déc.	-0,52	-0,05	0,44	0,60	-0,10
Nombre d'événements de gel important – Jan.	-0,31	-0,06	0,27	0,61	-0,43
Nombre d'événements de gel important – Févr.	-0,10	0,47	0,40	0,61	-0,50
Nombre d'événements de gel important – Mars	0,00	0,23	0,19	0,30	-0,09
Nombre d'événements de gel important – DJF	-0,52	0,15	0,59	0,85	-0,47

Les chiffres en gras indiquent des corrélations statistiquement significatives ($p < 0,05$). Les cellules en bleu mettent en évidence les prédicteurs qui ont été sélectionnés pour les étapes suivantes.
 Les corrélations positives indiquent une relation directe (le paramètre météorologique et les statistiques sur la glace augmentent ou diminuent simultanément). Les corrélations négatives indiquent une relation inverse (l'augmentation du prédicteur météorologique est associée à une diminution des statistiques sur la glace ou inversement).
 DJF : décembre, janvier, février

À partir de cette matrice de corrélation, pour chaque statistique sur la glace, des variables météorologiques ont été sélectionnées pour construire un modèle prédictif à l'aide de régressions linéaires. Le processus est le suivant :

- Construire un modèle de régression simple en utilisant le prédicteur présentant la corrélation la plus forte (c'est-à-dire plus proche de -1 ou de 1);
- Comparer ce modèle avec d'autres prédicteurs ou des modèles multivariés pour sélectionner le modèle qui a le plus fort pouvoir prédictif tout en étant le plus parcimonieux.

Le modèle de la durée de la saison de patinage suit la même tendance que le modèle du nombre de jours de patinage. Les modèles du nombre de jours de fermeture ne sont pas performants. Par conséquent, ils ne sont pas présentés ci-dessous.

3.5.4.2 JOURS DE PATINAGE PROJETÉS

La meilleure relation est entre le nombre de jours de patinage et la température minimale quotidienne moyenne en hiver. La Figure 3-6 illustre cette relation.

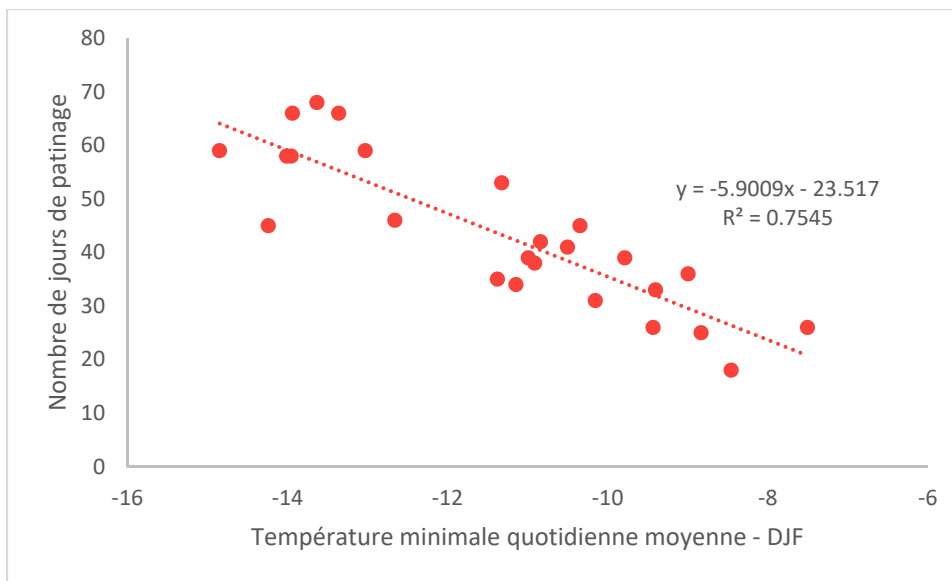


Figure 3-6 : Relation entre la température minimale quotidienne moyenne et le nombre de jours de patinage sur la PCR

La variation interannuelle (75 %) du nombre de jours de patinage s'explique par la température minimale journalière moyenne entre décembre et février. Des modèles de régression plus complexes comprenant plusieurs prédicteurs n'augmentent pas suffisamment la puissance de la relation pour justifier cette complexité supplémentaire. Nous avons donc conclu que la relation entre le nombre de jours de patinage (y) et la température minimale quotidienne moyenne en hiver (x) peut être modélisée à partir des projections climatiques en utilisant l'équation suivante :

$$y = -5.9009x - 23.517 \quad (\text{Eq. 1})$$

Les jours de patinage projetés correspondent à une distribution normale, et la probabilité annuelle de disposer d'un certain nombre de jours de patinage (20, 40 ou 60) a été calculée en suivant l'hypothèse de normalité, et en supposant une relation constante entre la température hivernale et la glace. La

Figure 3-7 illustre l'évolution projetée de la probabilité d'occurrence d'une année avec 20, 40 et 60 jours de patinage.

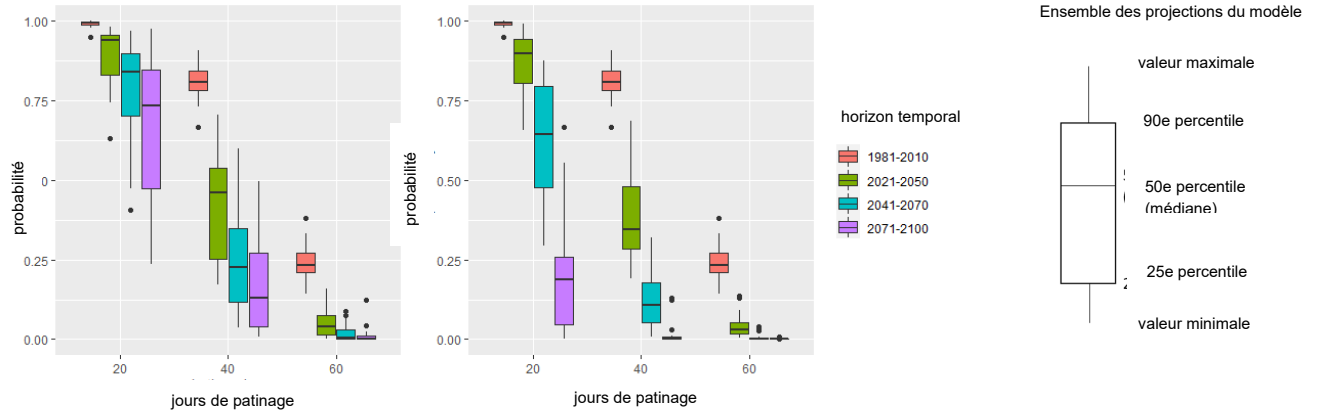


Figure 3-7 : Évolution projetée de probabilité d’occurrence de jours de patinage annuels sur la PCR avec 20, 40 et 60 jours de patinage selon les scénarios RCP4.5 (à gauche) et RCP8.5 (à droite).

Ces deux chiffres indiquent une diminution significative du nombre de jours de patinage entre la période historique et un avenir proche, comme le résume le Tableau 3-3.

Tableau 3-3 : Résumé des probabilités annuelles décroissantes de disposer de 20, 40 ou 60 jours de patinage sur la PCR selon le RCP4.5 et RCP8.5 par rapport à la référence historique

Nombre de jours de patinage	Période de référence 1981-2010	Années 2030 (2021-2050)		Années 2050 (2041-2070)		Années 2080 (2071-2100)	
		RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5
20	99 % [98 %; >99 %]	94 % [77 %; 97 %]	90 % [72 %; 97 %]	84 % [55 %; 95 %]	64 % [34 %; 82 %]	73 % [34 %; 90 %]	19 % [<1 %; 43 %]
40	81 % [75 %; 88 %]	46 % [19 %; 61 %]	34 % [22 %; 58 %]	23 % [5 %; 47 %]	11 % [3 %; 27 %]	13 % [2 %; 42 %]	<1 % [<1 %; <1 %]
60	23 % [16 %; 30 %]	4 % [<1 %; 11 %]	3 % [<1 %; 9 %]	1 % [<1 %; 6 %]	<1 % [<1 %; 2 %]	<1 % [<1 %; 2 %]	<1 % [<1 %; <1 %]

Les principales conclusions de cette analyse sont les suivantes :

- Au cours des prochaines décennies, dans le cadre du scénario modéré d'émissions de GES, la CCN devrait se préparer à des saisons avec moins de 40 jours de patinage environ 50 % du temps;
- Il est peu probable que des hivers de plus de 60 jours de patinage se produisent à l'avenir selon les deux scénarios RCP;
- Dans les deux scénarios d'émissions de GES, la probabilité de disposer d'au moins 20 jours de patinage par an jusqu'aux années 2050 est élevée, bien que cette probabilité puisse tomber en dessous de 50 % dans la seconde moitié du siècle dans le cadre d'un scénario d'émissions de GES élevées.

3.5.4.3 DÉCALAGE PRÉVU DE LA DATE D'OUVERTURE DE LA SAISON

La relation statistique la plus forte est entre le nombre de jours après le début de la saison de patinage après le 1^{er} décembre et la température minimale quotidienne moyenne en hiver. La Figure 3-8 illustre cette relation.

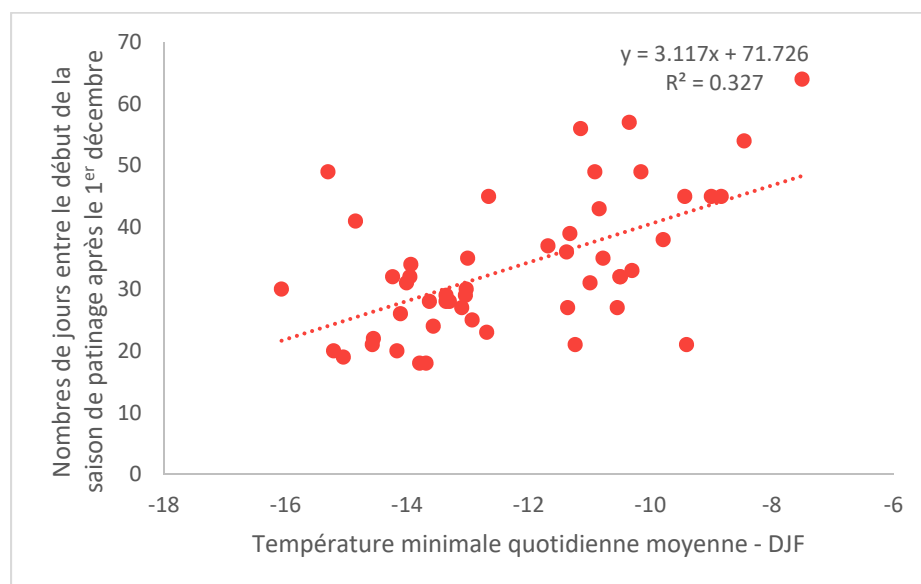


Figure 3-8 : Résumé de la relation entre le nombre de jours après le début historique de la saison de patinage sur la PCR après le 1^{er} décembre et la température minimale quotidienne moyenne en hiver

La variation (33 %) du nombre de jours de patinage s'explique par la température minimale journalière moyenne entre décembre et février. Des modèles de régression plus complexes comprenant des prédicteurs supplémentaires n'augmentent pas suffisamment la puissance de la relation pour justifier cette complexité supplémentaire. Nous avons donc conclu que la relation entre la date de début de la saison (y) et la température minimale quotidienne moyenne en hiver (x) peut être modélisée à partir des projections climatiques en utilisant l'équation suivante :

$$y = 3.117x + 71.726 \quad (\text{Eq. 2})$$

La Figure 3-9 illustre comment le début de la saison devrait évoluer en fonction de cette relation. La concordance entre les statistiques historiques de la CCN et les valeurs projetées pour la période 1981-2010 est bonne. Par exemple, la date historique médiane du début de la saison de patinage entre 1981 et 2010 est le 1^{er} janvier, qui est la date exacte prévue par l'équation 2 à l'aide des données du modèle climatique.

En ce qui concerne les projections futures, la saison de patinage devrait commencer six à sept jours plus tard en moyenne à court terme et environ deux semaines plus tard en moyenne à long terme. La distribution des données illustrée dans les diagrammes de quartiles de la Figure 3-9 ou détaillée dans le Tableau 3-4 montre que le début de la saison de patinage fera l'objet d'une variabilité croissante. Il est également important de noter que l'utilisation d'un modèle de régression linéaire de force moyenne pour projeter les valeurs futures aura tendance à sous-estimer les valeurs extrêmes des modèles. Cela signifie, par exemple, que pour la période des années 2050 (2041-2070) selon le scénario RCP8.5, bien que le 90^e percentile de la distribution soit le 25 janvier (c'est-à-dire que dans 90 % des itérations du modèle, le début de la saison de patinage était antérieur au 25 janvier), cette valeur est sous-estimée, et nous pensons que les occurrences où la saison de patinage débute après cette date seront plus fréquentes.

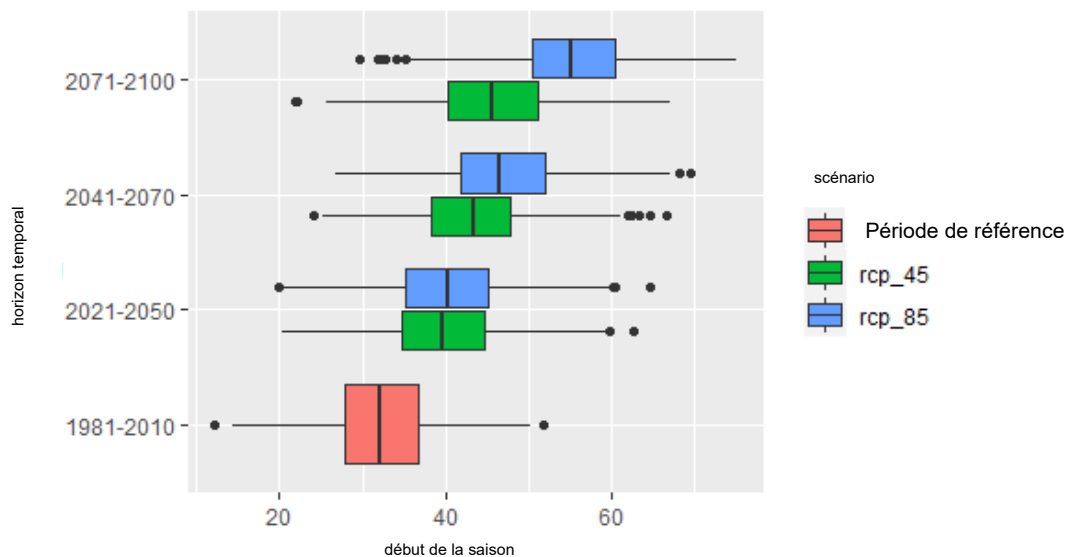


Figure 3-9 : Date de début de la saison prévue selon deux horizons temporels et deux scénarios de GES. La date de début représente le nombre de jours après le 1^{er} décembre.

Tableau 3-4 : Date médiane projetée de début de la saison de patinage. Les dates entre parenthèses représentent les 10^e et 90^e percentiles de la distribution.

Scénario	Période de référence	2021-2050	2041-2070	2071-2100
RCP4.5	1 ^{er} janv. [24 déc.; 10 janv.]	9 janv. [30 déc.; 18 janv.]	12 janv. [2 janv.; 22 janv.]	15 janv. [4 janv.; 25 janv.]
RCP8.5	1 ^{er} janv. [24 déc.; 10 janv.]	9 janv. [31 déc.; 19 janv.]	15 janv. [5 janv.; 25 janv.]	25 janv. [15 janv.; 3 févr.]

Les principales conclusions de cette analyse sont les suivantes :

- Au cours des prochaines décennies, dans le cadre d'un scénario d'émissions de GES modéré (RCP4.5), la CCN devrait s'attendre à ouvrir la PCR en moyenne une à deux semaines plus tard qu'auparavant;
- L'ouverture de la PCR en décembre est peu probable à l'avenir.

3.5.4.4 DÉCALAGE PRÉVU DE LA DATE DE FIN DE LA SAISON

La fin de la saison de patinage est le paramètre pour lequel le modèle avait la plus faible force statistique. Il fallait s'y attendre, car l'affaiblissement de la glace est multifactoriel et affecté par les événements météorologiques sur toute la saison. La meilleure relation est entre le nombre de jours après le 1^{er} février lorsque la saison de patinage se termine et le nombre d'événements de gel important en février. La Figure 3-10 illustre cette relation.

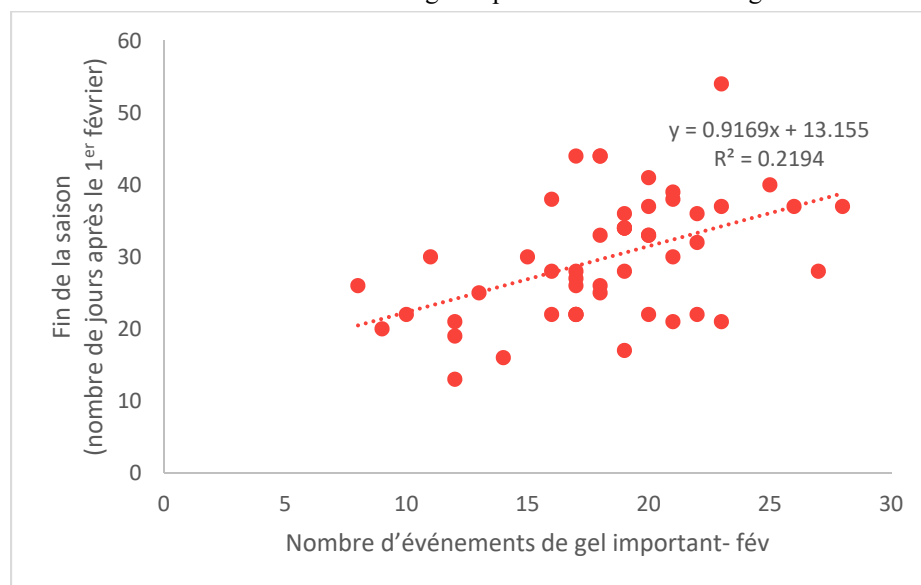


Figure 3-10 : Résumé de la relation entre le nombre de jours après le 1^{er} février lorsque la saison de patinage sur la PCR se termine historiquement et le nombre d'événements de gel important en février

La variation (22 %) du nombre de jours de patinage s'explique par le nombre d'événements de gel important survenus en février. Des modèles de régression plus complexes comprenant plusieurs prédicteurs ou d'autres algorithmes n'augmentent pas suffisamment la puissance de la relation pour justifier cette complexité supplémentaire. Par conséquent, nous avons conclu que la relation entre la date de fin de la saison (y) et le nombre d'événements de gel important en février (x) peut être modélisée à partir des projections climatiques en utilisant l'équation suivante :

$$y = 0.9169x + 13.155 \quad (\text{Eq. 3})$$

La Figure 3-11 illustre comment la fin de la saison devrait évoluer en fonction de cette relation. La concordance entre les statistiques historiques de la CCN et les valeurs projetées pour la période 1981-2010 est bonne. Par exemple, la date médiane historique de la fin de la saison de patinage entre 1981 et 2010 est le 2 mars, ce qui représente une différence d'un jour seulement par rapport à la date prévue par l'équation 2 à l'aide des données du modèle climatique pour la période historique.

En ce qui concerne les projections futures, la saison de patinage devrait se terminer environ une semaine plus tôt en moyenne sur le long terme, bien que les modèles les plus pessimistes prévoient une fin de saison vers la mi-février. De plus, la distribution des données illustrée dans les diagrammes de quartiles de la Figure 3-11 ou détaillée dans le Tableau 3-5 montre que la fin de la saison de patinage fera l'objet d'une variabilité croissante. Il est également important de noter que l'utilisation d'un modèle de régression linéaire de force moyenne pour projeter les valeurs futures aura tendance à sous-estimer les valeurs extrêmes des modèles. Cela signifie, par exemple, que pour la période des années 2050 (2041-2070) selon le scénario RCP8.5, bien que le 10^e percentile de la distribution soit le 23 février (c'est-à-dire que dans 10 % des itérations du modèle, la fin de la saison de patinage était antérieure au

23 février), cette valeur est sous-estimée, et nous pensons que les occurrences où la saison de patinage se termine après cette date seront plus fréquentes.

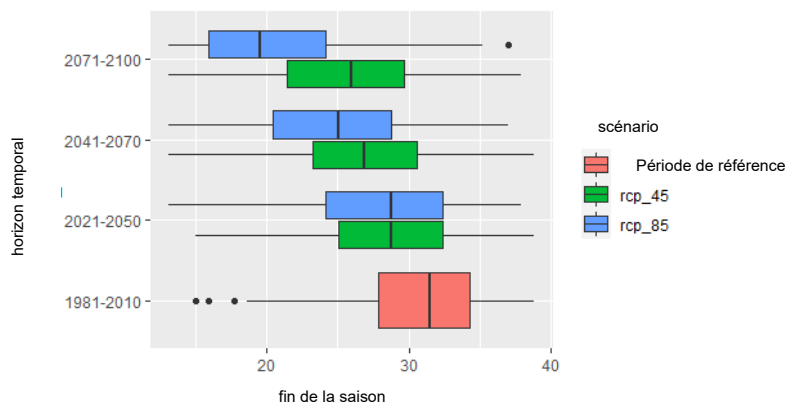


Figure 3-11 : Date de fin de la saison projetée selon deux horizons temporels et deux scénarios de GES. La date de fin représente le nombre de jours après le 1^{er} février.

Tableau 3-5 : Date médiane projetée de fin de la saison de patinage. Les dates entre parenthèses représentent les 10^e et 90^e percentiles de la distribution.

Scénario	Période de référence	Années 2030 (2021-2050)	Années 2050 (2041-2070)	Années 2080 (2071-2100)
RCP4.5	3 mars [24 févr.; 8 mars]	1 ^{er} mars [22 févr.; 7 mars]	27 févr. [20 févr.; 4 mars]	26 févr. [19 févr.; 5 mars]
RCP8.5	3 mars [24 févr.; 8 mars]	1 ^{er} mars [21 févr.; 6 mars]	25 févr. [18 févr.; 4 mars]	19 févr. [13 févr.; 28 févr.]

Les principales conclusions de cette analyse sont les suivantes :

- Des changements de fin de la saison de patinage sont projetés dans la seconde moitié du siècle;
- La date de fin de la saison de patinage ne devrait pas changer autant que celle du début de la saison. Ceci est cohérent avec les données historiques indiquant qu’il n’y a pas de tendances significatives relatives au dernier jour de la saison.

Cette analyse montre que, quel que soit le scénario d’émission de GES, à court terme, les saisons de patinage seront considérablement raccourcies, notamment en raison d’un début de saison plus tardif. En effet, dans le cadre du scénario statu quo, la probabilité annuelle d’atteindre 40 jours de patinage chute à moins de 50 % d’ici les années 2030 pour atteindre 11 % au milieu du siècle (années 2050). La probabilité annuelle de disposer d’au moins 20 jours de patinage reste élevée d’ici les années 2050, mais elle diminue sensiblement à la fin du XXI^e siècle. Cela signifie que sans aucun changement d’apport d’eaux pluviales ou d’activités d’accumulation de glace, il est très probable que la PCR puisse être exploitée dans les décennies à venir.

Il semble également que février soit le mois où l’ouverture de la PCR est la plus probable à l’avenir, et donc toute activité hivernale sur glace devrait être planifiée durant cette période dans un futur proche.

3.5.5 SOMMAIRE

Pour résumer, les principales conclusions de cette analyse sont les suivantes :

- Au cours des prochaines décennies, dans le cadre du scénario modéré d’émissions de GES, la CCN devrait se préparer à des saisons avec moins de 40 jours de patinage environ 50 % du temps;

- Il est peu probable que des hivers de plus de 60 jours de patinage se produisent à l’avenir selon les deux scénarios RCP;
- Dans les deux scénarios d’émissions de GES, la probabilité de disposer d’au moins 20 jours de patinage par an jusqu’aux années 2050 est élevée, bien que cette probabilité puisse tomber en dessous de 50 % dans la seconde moitié du siècle dans le cadre d’un scénario d’émissions de GES élevées;
- Au cours des prochaines décennies, dans le cadre d’un scénario d’émissions de GES modéré (RCP4.5), la CCN devrait s’attendre à ouvrir la PCR en moyenne une à deux semaines plus tard qu’auparavant;
- L’ouverture de la PCR en décembre est peu probable à l’avenir selon les deux scénarios RCP;
- La date de fin de la saison de patinage ne devrait pas changer autant que celle du début de la saison. Ceci est cohérent avec les données historiques indiquant qu’il n’y a pas de tendances significatives relatives au dernier jour de la saison.

3.6 ÉVALUATION DES RISQUES

3.6.1 MÉTHODE

Notre approche face à l’évaluation des risques est conforme à la norme ISO 31000 sur la gestion des risques, à la norme ISO 14091:2021 *Adaptation au changement climatique – Lignes directrices sur la vulnérabilité, les impacts et l’évaluation des risques*, et suit le cadre du Groupe d’experts intergouvernemental sur l’évolution du climat (GIEC), qui définit le risque comme le produit de la probabilité des impacts et de la sévérité des conséquences associées à ces impacts (Figure 3-12). La dernière version de la norme ISO 14091 de l’Organisation internationale de normalisation s’appuie sur les fondements des normes précédentes et couvre la préparation, la mise en œuvre et la communication d’une évaluation des risques climatiques. Elle propose également des conseils sur la mise en œuvre, la surveillance et l’évaluation de différents types de projets.

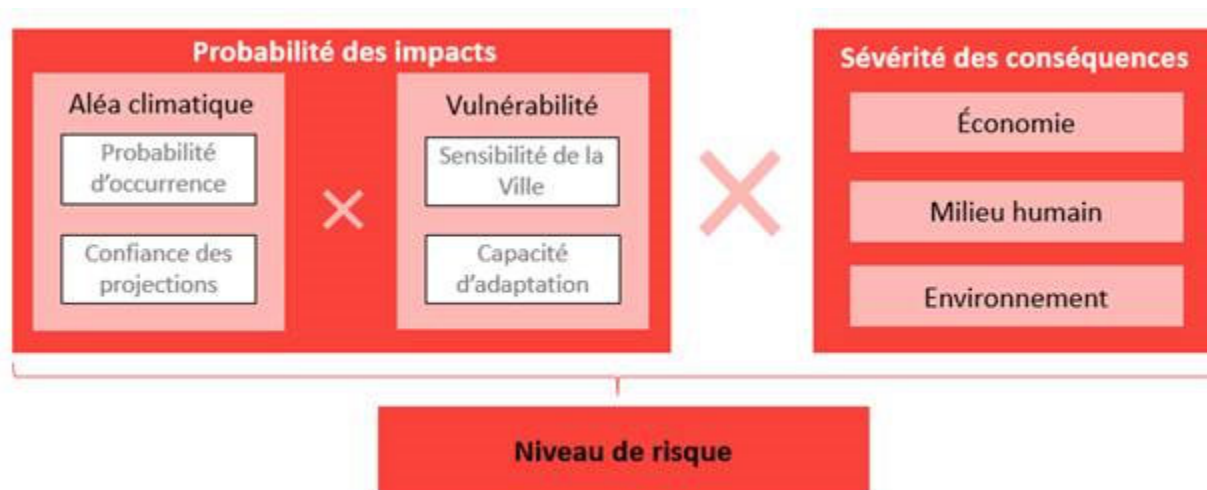


Figure 3-12 : Cadre d’évaluation des risques climatiques

En résumé, le processus d’évaluation des risques climatiques comprend les éléments suivants :

- Identification des aléas climatiques pertinents et des impacts potentiels pour la PCR en tenant compte de chaque aléa climatique;
- Évaluation de la probabilité d’occurrence des aléas, sur la base des projections climatiques futures et de la confiance dans les données concernant les aléas climatiques;

- Détermination du niveau de vulnérabilité pour chaque impact potentiel, sur la base de la sensibilité (c'est-à-dire la mesure dans laquelle un système sera affecté par les changements climatiques) et de la capacité d'adaptation (c'est-à-dire la mesure dans laquelle des ajustements sont possibles en réponse aux changements climatiques);
- Notation de la probabilité de chaque impact, compte tenu du niveau de l'aléa et de la vulnérabilité évaluée;
- Détermination de la sévérité des conséquences relatives de chaque impact s'il se produit, en tenant compte des facteurs sociaux, économiques et environnementaux;
- Évaluation du risque global, qui est fonction de la probabilité qu'un impact donné se produise et de la sévérité de l'impact s'il se produit.

Le niveau de risque global permet de classer les impacts par ordre de priorité pour la planification de l'adaptation et les mesures de réduction des risques.

3.6.1.1 IDENTIFICATION DES IMPACTS

Dans le contexte de cette évaluation et conformément à la norme ISO 14091, un impact désigne les « effets sur les systèmes naturels et humains » et se rapporte principalement aux effets des phénomènes météorologiques et climatiques extrêmes et des changements climatiques sur ces systèmes. Les impacts peuvent affecter les vies humaines, les moyens de subsistance, la santé, les écosystèmes, les économies, les sociétés, les services culturels et les infrastructures. Les impacts ne sont pas nécessairement négatifs et peuvent être soit positifs soit négatifs. Aux fins du présent rapport, les impacts seront censés être négatifs, sauf indication contraire.

Les impacts sur la PCR ont été examinés sous différents angles : opérationnel, économique, physique, environnemental, santé et sécurité et bien-être de la communauté. Ils ont été déterminés selon un jugement professionnel, une analyse documentaire, des circonstances comparatives, des entretiens/discussions avec la CCN et d'autres parties prenantes, ainsi que les impacts historiques. À ce stade de l'évaluation, les impacts n'ont pas été inclus ou exclus en fonction de leur probabilité (voir section 3.6.1.4) ou de la sévérité des conséquences (voir section 3.6.1.5), mais plutôt en fonction de leur pertinence potentielle par rapport aux objectifs opérationnels de la PCR et de la CCN.

Lors de l'établissement de la liste d'impacts préliminaire, l'exposition de la zone à différents paramètres climatiques a été prise en compte. L'exposition est définie comme « la nature et le degré d'exposition d'un système à des variations climatiques importantes » (GIEC, 2018). Elle tient compte des types de paramètres climatiques auxquels le système pourrait être exposé en fonction du contexte mondial plus large et de considérations locales. Par exemple, la PCR est située dans une zone urbaine près d'une source d'eau contrôlée, à distance de la côte. Ces caractéristiques indiquent que des aléas tels que l'élévation du niveau de la mer, les incendies de forêt ou les ouragans n'ont pas été ou ne seront pas pertinents pour le site en question, et ces aléas n'ont donc pas été pris en compte dans l'évaluation.

3.6.1.2 ALÉAS CLIMATIQUES

Un aléa est défini comme « l'occurrence potentielle d'un événement physique ou d'une tendance naturelle ou anthropique qui pourrait causer des pertes en vie humaine, des blessures ou d'autres impacts sur la santé, ainsi que des dégâts et des pertes touchant les biens, les infrastructures, les moyens de subsistance, la fourniture de services, les écosystèmes et les ressources environnementales. » (GIEC, 2018). Dans ce contexte, il s'agit d'une fonction des changements climatiques projetés pour la région par rapport aux cas historiques d'aléas et aux limites d'exploitation connues. L'analyse des aléas prend en compte la probabilité des changements (climatiques) et la confiance dans les données.

En utilisant les données de projection climatique, cette évaluation a examiné *si* les variables climatiques individuelles changeraient, *dans quelle mesure* elles changeraient et dans quelle *direction*. La robustesse de la source de données est également prise en compte lors de la formulation des recommandations. Par exemple, les températures hivernales moyennes devraient augmenter, et cette augmentation devrait être significative, ce qui indique un niveau d'aléa plus élevé. Si les projections montrent qu'un paramètre climatique ne devrait pas changer, que ce changement est relativement faible ou insignifiant, ou que la confiance dans la qualité scientifique du modèle est faible, alors l'aléa sera considéré comme plus faible.

Les aléas ont été déterminés à l'aide des images géographiques et historiques en ligne de la PCR, des documents et des informations fournis par la CCN, de la documentation disponible pour la région, du rapport précédent créé pour la région de la capitale nationale (CCN et al, 2020) et des projections climatiques à échelle réduite, comme indiqué dans la section 3.5.4. Les aléas ont été classés à l'aide d'un système de notation à cinq niveaux allant de « très faible » à « très élevé » pour chaque impact climatique individuel, avec une justification du choix de la notation. Une échelle décrivant le système de notation se trouve à l'annexe E. Au début du projet, il a été convenu que l'évaluation des risques serait basée sur un scénario de fortes émissions de gaz à effet de serre (RCP8.5) d'ici les années 2050 (2041-2070). Le choix d'un horizon temporel plus long est motivé par le fait que la plupart des risques seront exacerbés à plus long terme et que, par conséquent, les projections climatiques seront, à long terme, plus significativement différentes de la période de référence historique.

3.6.1.3 ANALYSE DE VULNÉRABILITÉ

La vulnérabilité est la propension ou la prédisposition d'un système à être affecté négativement. Dans un contexte d'évaluation des risques, la vulnérabilité dépend de deux concepts : la sensibilité et la capacité d'adaptation (Tableau 3-11).

La sensibilité est définie comme « la mesure dans laquelle un système est affecté, de façon préjudiciable ou bénéfique, par des stimuli liés au climat (directs ou indirects) » (GIEC, 2001). La sensibilité d'un système aux changements climatiques peut être affectée par plusieurs facteurs tels que l'âge du système, la dépendance à l'égard de sources de revenus ou d'éléments d'infrastructures uniques, la zone et les caractéristiques géographiques, et les conditions existantes. Par exemple, une communauté côtière qui dépend du tourisme maritime pourrait être plus sensible à un cyclone qu'une communauté similaire dont l'apport économique principal est différent. La PCR peut être considérée comme particulièrement sensible car elle est directement exposée au climat extérieur avec peu ou pas de protection directe. La sensibilité a été classée à l'aide d'un système de notation en cinq niveaux allant de « très faible » à « très élevé » pour chaque impact climatique individuel, et une justification a été donnée pour étayer le choix de la notation.

La capacité d'adaptation est définie comme « la capacité d'ajustement des systèmes, des institutions, des êtres humains et des autres organismes, leur permettant de se prémunir contre les risques de dégâts, de tirer parti des possibilités ou de réagir aux conséquences » (ISO, 2019). Il s'agit d'une mesure de la capacité à s'adapter aux risques climatiques et à développer la résilience. Il n'existe pas de mesure unique de la capacité d'adaptation, car elle est relative à chaque système individuel. En général, les ressources disponibles (financières ou personnelles), la flexibilité et la diversité augmentent la capacité d'adaptation. La capacité d'adaptation a été classée à l'aide d'un système de notation en cinq niveaux allant de « très faible » à « très élevé » pour chaque impact climatique individuel, et une justification a été donnée pour étayer le choix de la notation. Contrairement à la sensibilité, une capacité d'adaptation plus élevée a un effet de réduction de la vulnérabilité, car elle permet à un système d'accroître sa résilience face à un climat changeant.

La capacité d'adaptation et la sensibilité sont comparées à l'aide d'une matrice simple illustrée dans le Tableau 3-6. Lorsque la sensibilité est élevée et que la capacité d'adaptation est faible, la vulnérabilité du système est considérée comme élevée parce que le système est sensible aux impacts potentiels, mais a une capacité d'adaptation très faible pour augmenter sa résilience. De même, si la sensibilité est faible et la capacité d'adaptation élevée, la vulnérabilité du système sera considérée comme faible.

Tableau 3-6 : Matrice de notation de la vulnérabilité

		Capacité d'adaptation				
		Très faible	Faible	Modérée	Élevée	Très élevée
Notation de la sensibilité	Très faible	Très faible	Très faible	Très faible	Très faible	Très faible
	Faible	Faible	Faible	Faible	Très faible	Très faible
	Modérée	Modérée	Modérée	Faible	Faible	Faible
	Élevée	Élevée	Élevée	Modérée	Modérée	Faible
	Très élevée	Très élevée	Élevée	Élevée	Modérée	Modérée

3.6.1.4 PROBABILITÉ DES IMPACTS

La probabilité d'un impact est fonction des aléas et des vulnérabilités présents dans un système. Les aléas sont comparés aux vulnérabilités d'un système dans la matrice présentée ci-dessous dans le Tableau 3-7. Le résultat de cette comparaison est un niveau de probabilité des impacts, qui indique la probabilité qu'un impact se produise compte tenu des vulnérabilités individuelles du système ainsi que la probabilité qu'un aléa ou une tendance climatique particulière se produise.

Tableau 3-7 : Matrice de notation de la probabilité d'impact

		Vulnérabilité				
		Très faible	Faible	Modérée	Élevée	Très élevée
Aléa	Très élevée	Faible	Modérée	Élevée	Très élevée	Très élevée
	Élevée	Faible	Modérée	Élevée	Élevée	Très élevée
	Modérée	Faible	Faible	Modérée	Élevée	Élevée
	Faible	Très faible	Faible	Faible	Modérée	Modérée
	Très faible	Très faible	Très faible	Faible	Faible	Modérée

3.6.1.5 SÉVÉRITÉ DES IMPACTS

La sévérité de l'impact est la conséquence relative qu'un impact aura sur un système. Elle répond à la question de savoir quel degré de préjudices ou de bénéfices se produirait si un impact avait lieu. La sévérité de l'impact se base sur les conséquences pour les catégories suivantes :

- **Économique** : cela inclut tout impact sur le confort monétaire du système, y compris les dommages, les coûts de maintenance et les revenus;
- **Santé, sécurité et communauté** : cela inclut tout impact sur la santé physique, émotionnelle ou culturelle de la communauté du système et
- **Environnement** : cela inclut tout impact sur l'environnement immédiat ou en aval du système.

La sévérité des impacts a été classée à l'aide d'un système de notation en cinq niveaux allant de « très faible » à « très élevé » pour chaque impact climatique, et une justification a été donnée pour étayer le choix de la notation. Pour cette évaluation des risques, la plus élevée des trois catégories de sévérité a été choisie comme classement final. Par exemple, si la sévérité des impacts économiques est élevée (4), celle sur la santé, la sécurité et la communauté faible (2) et celle sur l'environnement très faible (1), le score final de sévérité sera élevé (4). Cela permet d'adopter une approche conservatrice du classement des risques, et d'éviter qu'un risque potentiellement élevé soit négligé parce que son impact n'est grave que dans une seule catégorie. Une échelle décrivant le système de notation se trouve à l'annexe E.

3.6.1.6 ÉVALUATION DES RISQUES

Le niveau de risque final est le produit de la probabilité et de la sévérité des impacts, combinant tous les concepts mentionnés ci-dessus. La probabilité et la sévérité des impacts sont comparées à l'aide de la matrice présentée ci-dessous dans le Tableau 3-8.

Tableau 3-8 : Matrice de notation de l'évaluation des risques

		Sévérité des impacts				
		Très faible	Faible	Modérée	Élevée	Très élevée
Probabilité des impacts	Très élevée	Faible	Modérée	Élevée	Très élevée	Très élevée
	Élevée	Faible	Modérée	Élevée	Élevée	Très élevée
	Modérée	Faible	Faible	Modérée	Élevée	Élevée
	Faible	Très faible	Faible	Faible	Modérée	Modérée

	Très faible	Très faible	Très faible	Faible	Faible	Modérée
--	-------------	-------------	-------------	--------	--------	---------

3.6.1.7 RÉSUMÉ DES RÉSULTATS

La section suivante présente un résumé concis des résultats de l'analyse de l'évaluation des risques. Les résultats complets se trouvent dans l'évaluation des risques liés aux changements climatiques à l'annexe D. Chaque section ci-dessous présente un aperçu des résultats de l'analyse, et une explication de la manière dont les résultats sont présentés dans le registre des risques de l'annexe E pour plus de clarté, avec un exemple à l'appui.

3.6.1.8 IDENTIFICATION DES IMPACTS

Les impacts directs et indirects ont été pris en compte lors de cette évaluation. Un impact direct désigne un impact où le climat agit sur l'objet en question. Par exemple, des températures plus élevées feront fondre la glace. Les impacts indirects sont souvent le résultat de ces impacts directs, mais restent initialement influencés par le climat. Par exemple, si la glace fond, les patineurs ne seront plus en sécurité et les commerçants recevront moins de revenus des touristes, ce qui aura un impact sur l'économie. Ces principaux facteurs climatiques peuvent à leur tour influencer d'autres impacts et événements climatologiques en cascade et peuvent également agir en synergie. Par exemple, une augmentation des précipitations hivernales seule pourrait entraîner plus de neige, mais une augmentation des précipitations hivernales et de la température pourrait entraîner plus de pluie. De même, des événements tels que les tempêtes de neige ou les averses sont le résultat de la combinaison du vent, de la température et des précipitations. Ces facteurs climatiques peuvent avoir des impacts directs ou indirects sur la PCR. Par exemple, les fortes pluies pourraient avoir un effet indirect tel que le déversement d'eaux pluviales supplémentaires et plus chaudes sur la glace et l'accélération de la fonte. La

Figure 3-13 présente une relation concise entre le climat et les impacts climatiques, tandis qu'un aperçu plus détaillé figure dans le Tableau 3-9.

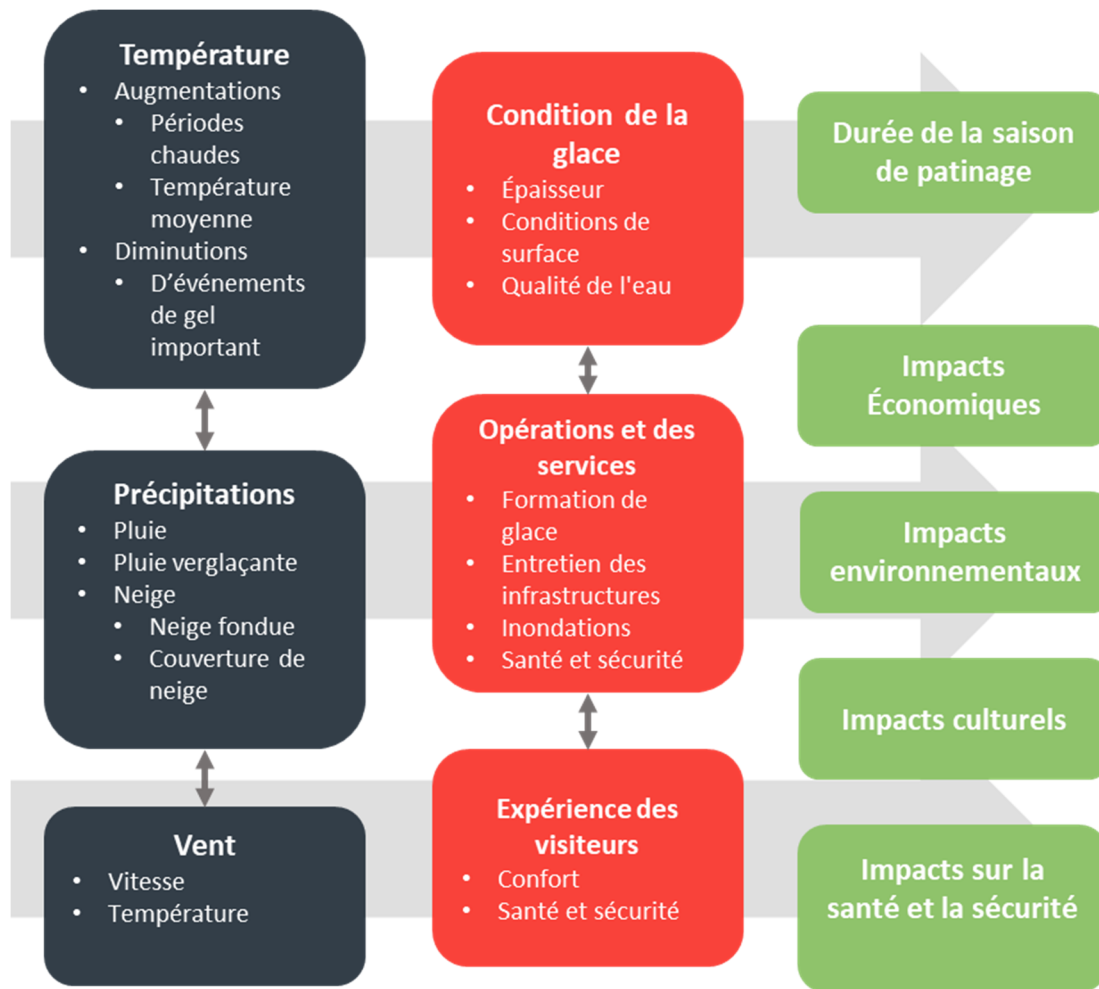


Figure 3-13 : Diagramme concis des impacts potentiels du climat sur la PCR

Tableau 3-9 : Aperçu du climat et des impacts climatiques

Paramètre climatique			Impacts climatiques
Température	Précipitations	Vent	
Impacts climatiques directs			
X			1) Températures nocturnes plus élevées retardant le début des inondations et l'épaississement de la glace. 2) Fréquence réduite des vagues de froid limitant la capacité opérationnelle d'inonder le canal pendant la nuit. 3) Retard du début de la saison de patinage réduisant le nombre de jours de patinage viables. 4) Fin précoce de la saison de patinage réduisant le nombre de jours de patinage viables. 5) Augmentation des périodes chaudes pendant la saison réduisant la stabilité de la glace et le nombre de jours de patinage viables. 6) Augmentation des cycles de gel-dégel réduisant la stabilité et la viabilité de la glace.
X	X		7) Augmentation de la production d'eaux pluviales chaudes provenant de précipitations plus importantes fondant la glace du canal. 8) Augmentation des eaux pluviales chaudes en raison d'une fonte des neiges accrue due à des températures plus élevées faisant fondre la glace du canal. 9) Utilisation accrue de sel sur les routes avoisinantes en raison des mauvaises conditions hivernales qui font baisser le point de congélation de l'eau. 10) Augmentation de la fréquence des épisodes de neige réduisant la capacité d'inonder le canal Rideau pour créer de nouvelles glaces.
X	X	X	11) Augmentation de la fréquence des chutes de neige nécessitant un entretien et des opérations accrues. 12) Augmentation de l'ampleur des chutes de neige nécessitant un entretien et des opérations accrues. 13) Augmentation de la fréquence des tempêtes hivernales réduisant le nombre de jours de patinage viables. 14) Réduction de la jouissance du canal par les patineurs en raison de mauvaises conditions météorologiques.
Impacts climatiques indirects			
X			15) Perte de perspectives économiques directes en raison de la baisse de fréquentation de l'événement annuel du Bal de Neige et en général.
X			16) Perte de perspectives économiques indirectes dues à la diminution du tourisme et aux dépenses associées, notamment dans les restaurants, les hôtels et les autres activités à proximité.
X	X		17) Perte d'une icône culturelle canadienne.
X	X	X	18) Risque accru pour la santé et la sécurité des visiteurs de la Patinoire.
X	X	X	19) Risque accru pour la santé et la sécurité du personnel de la Patinoire.
X	X	X	20) Augmentation du coût des opérations pour entretenir la Patinoire dans des conditions hivernales changeantes.
X	X		21) Réduction de la confiance du public dans la fiabilité de la PCR.

Paramètre climatique			Impacts climatiques
Température	Précipitations	Vent	
Impacts climatiques positifs			
X			22) Réduction des périodes de froid extrême augmentant le plaisir et donc le nombre de patineurs et de visiteurs.

Cette évaluation a ciblé 22 impacts des changements climatiques sur la PCR. Parmi ceux-ci, 21 ont été considérés comme ayant le potentiel de nuire, d'une manière ou d'une autre, aux opérations et aux actifs de la PCR, tandis que l'un d'entre eux, « réduction des périodes de froid extrême augmentant le plaisir des patineurs et des visiteurs » est susceptible d'avoir un impact positif sur la PCR. La matrice complète des risques est présentée à l'annexe D.

3.6.1.9 ALÉAS CLIMATIQUES

Le caractère saisonnier et la nature extérieure et non couverte de la PCR augmentent considérablement son exposition aux phénomènes et aux aléas climatiques. À un niveau élevé, les températures hivernales et les schémas de précipitations sous forme de pluie et de neige devraient changer de manière significative dans la région. Les tempêtes et la variabilité des conditions météorologiques devraient également augmenter, bien que le degré d'incertitude soit plus élevé. Chaque impact potentiel a une probabilité d'occurrence (notation) d'aléa unique ainsi qu'une justification complète. Sauf indication contraire, lorsque deux valeurs sont indiquées pour chaque indicateur climatique (par exemple [8,2; 9,3] °C), il ne s'agit pas de fourchettes; elles représentent les valeurs moyennes pour les scénarios d'émissions modérées (RCP4.5) et élevées (RCP8.5) respectivement. Si le deuxième chiffre présenté est inférieur au premier, cela signifie que les valeurs projetées dans le cadre du scénario d'émissions plus élevées sont inférieures à celles projetées dans le cadre du scénario d'émissions modérées, par rapport à la période de référence. À des fins de suivi et d'organisation, un numéro d'identification numérique (ID) leur a été attribué. Ces chiffres sont uniquement fournis à des fins de clarté du rapport et ne dénotent aucun niveau d'analyse ou de classement pour chaque impact. Le Tableau 3-10 présente un exemple de notation des aléas et une justification de l'impact potentiel ID 1. La liste complète des aléas est présentée à l'annexe D.

Tableau 3-10 : Exemple de notation des aléas et justification pour la PCR

ID	IMPACT POTENTIEL	NOTATION DE L'ALÉA	JUSTIFICATION DE LA NOTATION DE L'ALÉA
1	Augmentation de la production d'eaux pluviales chaudes provenant de précipitations plus importantes fondant la glace du canal.	Élevée	On prévoit une augmentation des précipitations totales pendant les mois d'hiver, mais une diminution des chutes de neige totales prévues. Une diminution des chutes de neige annuelles totales est prévue dans la RCN, passant d'environ 223 cm dans le scénario de référence à [193; 201] cm dans les années 2030, [179; 184] cm dans les années 2050 et [124; 154] cm dans les années 2080. Cela représente une diminution de 31 à 44 % d'ici les années 2080. Cela pourrait indiquer une augmentation des précipitations tombant sous forme de pluie, ce qui est cohérent avec d'autres résultats pour la province. Les précipitations hivernales devraient passer d'une base historique (1976-2005) de 199 mm à [169; 318] mm dans les années 2050 selon le scénario RCP8.5.

Dans le cas où un impact résulte de plusieurs paramètres climatiques, le classement final a été attribué en utilisant le jugement professionnel ou la probabilité la plus conservatrice utilisée. Sur les 22 impacts potentiels, 19 ont été déterminés comme ayant un niveau d'exposition « modéré » ou supérieur.

3.6.1.10 VULNÉRABILITÉ

SENSIBILITÉ

La sensibilité a été déterminée en estimant l'impact relatif du climat sur les différents aspects de la PCR en utilisant le jugement professionnel, les informations reçues par la CCN, les informations historiques, et une petite revue documentaire des systèmes similaires. La sensibilité a été classée à l'aide d'un système de notation en cinq niveaux allant de « très faible » à « très élevé » pour chaque impact climatique, et une justification a été donnée pour étayer le choix de la notation. La PCR dépend à la fois du calendrier et de l'ampleur d'une variété de facteurs climatiques, ce qui augmente considérablement sa sensibilité aux changements climatiques. Par exemple, le calendrier et la température minimale au début de la saison hivernale, la durée de la saison hivernale, les précipitations tombant sous

forme de pluie ou de neige, et les fluctuations de température influenceront l'intégrité et la résistance de la glace. La sensibilité de ce système est accrue en raison du niveau élevé de normes de sécurité appliquées par la CCN avant d'ouvrir la glace chaque saison et chaque jour. Le Tableau 3-11 présente un exemple de score de sensibilité et une justification de l'impact potentiel ID1 dans le contexte de la vulnérabilité. L'évaluation de la sensibilité de chaque impact est présentée à l'annexe D. Il a été déterminé que, sur les 22 impacts potentiels, 20 avaient un score de sensibilité « modéré » ou supérieur.

CAPACITÉ D'ADAPTATION

La PCR a une plus grande capacité d'adaptation pour des facteurs tels que le calendrier et le nombre de patineurs sur la glace, les infrastructures environnantes et l'entretien de la glace. Sa capacité d'adaptation est plus faible en ce qui concerne la glace elle-même, qui est à découvert et qui couvre une surface importante. Contrairement aux autres notations de cette évaluation, la capacité d'adaptation a un effet d'atténuation sur le risque. Par conséquent, ce résumé présente les impacts potentiels qui ont une notation « modérée » ou inférieure, car ce sont ceux qui contribuent à un niveau de risque plus élevé. Le Tableau 3-11 présente un exemple de vulnérabilité pour l'impact potentiel ID 1. L'évaluation de la capacité d'adaptation pour chaque impact est présentée à l'annexe D.

Tableau 3-11 : Exemple de score de vulnérabilité de la PCR, y compris les classements de la sensibilité et de la capacité d'adaptation et les justifications

ID	Impact potentiel	Sensibilité		Capacité d'adaptation		Vulnérabilité
		Notation	Justification	Notation	Justification	
1	Augmentation de la production de la production d'eaux pluviales chaudes provenant de précipitations plus importantes fondant la glace du canal.	Élevée	Les eaux pluviales seront plus chaudes et plus polluées par des matières plus sombres, absorbant la lumière, et salines, ce qui peut accélérer la fonte de la glace.	Élevée	Il s'agit d'un problème existant et la PCR a déjà une capacité d'adaptation intégrée dans ses opérations. Environ six semaines avant le début de la saison de patinage, un système personnalisé d'atténuation des eaux pluviales est installé pour détourner les eaux pluviales plus chaudes des zones de patinage. À l'automne 2020, un troisième tuyau a été ajouté pour détourner le trop-plein dans le centre du canal Rideau et favoriser l'épaississement de la glace dans les sections allant de la rue Rideau au pont Laurier.	Modérée

Sur les 22 impacts potentiels, 14 ont été déterminés comme ayant une capacité d'adaptation « modérée » ou inférieure.

3.6.1.11 PROBABILITÉ DES IMPACTS

Le Tableau 3-12 présente un exemple de notation de la probabilité d'impact pour l'impact potentiel ID1. Aucune justification n'est proposée car il s'agit d'une fonction directe de l'exposition et de la vulnérabilité pour chaque impact potentiel.

Tableau 3-12 : Exemple de détermination de la probabilité d'impact pour la PCR

ID	Impact potentiel	Aléa (2080 – RCP8.5)	Score de vulnérabilité	Probabilité de l'impact
1	Augmentation de la production d'eaux pluviales chaudes provenant de précipitations plus importantes fondant la glace du canal.	Élevée	Modérée	Élevée

Au cours de l'évaluation, il a été déterminé que, sur les 22 impacts potentiels, 16 avaient une probabilité d'impact « modérée » ou supérieure. L'analyse d'impact complète est présentée à l'annexe D.

3.6.1.12 SÉVÉRITÉ DES IMPACTS

La sévérité des impacts sur la PCR (soit la conséquence relative si elle se produit) est principalement axée sur la perte de revenus due à la diminution du nombre de jours de patinage, la perte d'une icône culturelle et communautaire, la santé, la sécurité et le plaisir des visiteurs. Le Tableau 3-13 présente un exemple de score de sévérité de l'impact et une justification de l'impact potentiel ID1. La liste complète est présentée à l'annexe D.

Tableau 3-13 : Exemple de score de sévérité et justification de la PCR

ID	Impact potentiel	Probabilité de l'impact	Sévérité de l'impact			Score de sévérité	Justification de la sévérité
			Économie	Santé, sécurité et communauté	Environnement		
1	Augmentation de la production d'eaux pluviales chaudes provenant de précipitations plus importantes fondant la glace du canal.	Élevée	Élevée	Modérée	Faible	Élevée	La réduction du nombre de jours de patinage viables réduit le potentiel économique des vendeurs locaux, du transport et de l'hébergement. En outre, une saison plus courte augmente le coût d'exploitation par jour de patinage. La diminution du nombre de jours de patinage pourrait également avoir un impact sur la communauté et les utilisateurs de la PCR. Cette sévérité touche principalement deux groupes. Le premier est celui des utilisateurs réguliers qui utilisent la PCR pour se rendre au travail ou pour leurs activités quotidiennes et qui ont toujours été frustrés lorsque ces activités sont entravées. Le second est celui des visiteurs de l'extérieur de la ville qui doivent planifier, voyager et faire des sacrifices plus importants pour utiliser la PCR.

Les 22 impacts potentiels ont tous été jugés comme ayant une sévérité « modérée » ou supérieure.

3.6.1.13 ANALYSE DE RISQUE

Sur les 22 impacts ciblés, 12 présentent un risque élevé ou très élevé pour la PCR, comme le montre le Tableau 3-14.

Tableau 3-14 : Risques élevés et très élevés liés aux changements climatiques pour la PCR

ID	Impact potentiel	Probabilité	Sévérité	Risque
1	Augmentation de la production d'eaux pluviales chaudes provenant de précipitations plus importantes fondant la glace du canal.	Élevée	Élevée	Élevée
2	Augmentation des eaux pluviales chaudes en raison d'une fonte des neiges accrue due à des températures plus élevées faisant fondre la glace du canal.	Élevée	Élevée	Élevée
3	Températures nocturnes plus élevées retardant le début des inondations et l'épaississement de la glace.	Très élevé	Élevée	Très élevé
4	Fréquence réduite des vagues de froid limitant la capacité opérationnelle d'inonder le canal pendant la nuit.	Très élevé	Élevée	Très élevé
9	Perte de perspectives économiques directes en raison de la baisse de fréquentation de l'événement annuel du Bal de Neige.	Élevée	Élevée	Élevée

ID	Impact potentiel	Probabilité	Sévérité	Risque
10	Perte de perspectives économiques indirectes dues à la diminution du tourisme et aux dépenses associées, notamment dans les restaurants, les hôtels et les autres activités à proximité.	Élevée	Élevée	Élevée
11	Perte d'une icône culturelle canadienne.	Élevée	Élevée	Élevée
12	Retard du début de la saison de patinage réduisant le nombre de jours de patinage viables.	Très élevé	Élevée	Très élevé
13	Fin précoce de la saison de patinage réduisant le nombre de jours de patinage viables.	Très élevé	Élevée	Très élevé
14	Augmentation des périodes chaudes pendant la saison réduisant la stabilité de la glace et le nombre de jours de patinage viables.	Très élevé	Élevée	Très élevé
20	Augmentation du coût des opérations pour entretenir le canal dans des conditions hivernales changeantes.	Élevée	Élevée	Élevée
21	Réduction de la jouissance du canal par les patineurs en raison de mauvaises conditions météorologiques.	Élevée	Modérée	Élevée

Nous avons également repéré une incidence positive pour la CCN (Tableau 3-15).

Tableau 3-15 : Possibilités associées aux changements climatiques pour la PCR

ID	Impact potentiel	Probabilité	Sévérité	Risque
5	Réduction des périodes de froid extrême augmentant le plaisir et donc le nombre de patineurs et de visiteurs.	Très élevé	Modérée	Impact positif

Les risques élevés et très élevés pour la PCR concernaient les impacts indirects sur la formation et la qualité de la glace (par exemple, l'augmentation du drainage des eaux de pluie dans le canal causant une température et une salinité de l'eau plus importante), la variabilité accrue de l'état de la glace en hiver, les pertes économiques dues à la réduction de la saison de patinage et les impacts culturels dus à l'aspect emblématique de la PCR. Par conséquent, des améliorations dans la formation, la résistance ou la qualité de la glace atténueraient tous les risques élevés et très élevés qui ont été repérés.

3.7 CONCLUSIONS DE L'ÉVALUATION DES RISQUES

L'équipe de projet a réalisé une évaluation des risques liés aux changements climatiques sur la PCR. La première partie de cette évaluation vise à produire une évaluation qualitative des changements prévus en matière de durée, de date de début et de date de fin de la saison de patinage. Les résultats de cette évaluation suggèrent qu'au milieu du XXI^e siècle, la probabilité annuelle de disposer d'une saison de patinage de 40 jours ou plus sera inférieure à 50 %. Ceci est associé au décalage moyen du début de la saison d'une à deux semaines et à une date de clôture qui sera avancée de près d'une semaine en moyenne.

La deuxième partie de cette analyse propose l'évaluation pluridisciplinaire des risques liés aux changements climatiques qui étudie les conséquences sociales, environnementales et économiques associées aux impacts des changements climatiques sur la PCR. Sur les 22 impacts, les 12 associés à un risque élevé ou très élevé pourraient être atténués en utilisant des pratiques de construction de glace visant à améliorer la stabilité de la glace et à augmenter la durée de la saison de patinage.

L'étape suivante de cette évaluation vise à formuler des recommandations préliminaires. Les mesures d'adaptation étudiées concernent les catégories suivantes :

- Mesures thermiques pour favoriser un gel plus précoce et un couvert de glace plus épais;
- Mesures de planification visant à diminuer l'impact du drainage des eaux pluviales sur la température et la salinité de l'eau (niveau d'eau, déviations du drainage);

- Mesures techniques pour solidifier la glace;
- Méthodes de surveillance pour mieux évaluer la capacité de charge de la glace afin de diminuer l'épaisseur requise pour fonctionner.

4 RECOMMANDATIONS POUR LE TRAITEMENT DES RISQUES

Dans le chapitre suivant, WSP fournit des recommandations pour atténuer les impacts des changements climatiques sur les opérations et les activités de la PCR. Dans la première section, nous détaillons les différentes méthodes susceptibles d'améliorer la résilience de la PCR.

Comme nous l'avons vu dans le chapitre précédent, les principaux risques sont liés aux difficultés de formation de la glace en raison de la hausse des températures de l'air ou de l'eau. Par conséquent, les premières recommandations exposent des méthodes pour modifier l'équilibre thermique de l'eau du canal Rideau afin d'accroître la résilience à moyen terme. La deuxième série de recommandations présente d'autres méthodes qui pourraient améliorer d'autres aspects de l'infrastructure, des opérations et des services de la PCR à moyen et long terme. Enfin, étant donné le manque relatif de données sur les caractéristiques physiques et chimiques de l'eau de la PCR, la troisième série de recommandations concerne l'amélioration de la compréhension des caractéristiques de l'eau et de la glace du canal pendant la saison hivernale. WSP propose ensuite un plan pour mettre en œuvre les actions d'adaptation. La deuxième partie du chapitre traite des considérations relatives à l'inclusion de l'adaptation aux changements climatiques dans les futures normes sur les loisirs en hiver.

Les informations sur les changements climatiques sont en constante évolution. Au fur et à mesure que de nouveaux modèles sont produits, il est probable que :

- L'incertitude concernant certains paramètres climatiques diminuera;
- De nouveaux indicateurs climatiques permettant de mieux appréhender les risques seront disponibles;
- Les données et les projections climatiques seront disponibles selon une meilleure résolution spatiale;
- Les tendances climatiques prévues seront modifiées.

Parallèlement à l'évolution des conditions socio-économiques, de la démographie et de l'élaboration des politiques, l'amélioration constante de la science du climat contribuera à la nécessité de mettre à jour cette évaluation. Les bonnes pratiques prévoient la mise à jour de toute évaluation des risques liés aux changements climatiques au moins tous les cinq ans.

4.1 MÉTHODES POTENTIELLES DE GESTION DE LA GLACE

Les conditions et les propriétés de la glace sur le canal Rideau sont influencées par de multiples facteurs, tant naturels qu'anthropiques, résumées dans le Tableau 4-1. La glace se développe principalement de façon thermique au début de l'hiver, suivant l'arrosage du canal. Les premiers processus de gel sont principalement déterminés par les conditions naturelles. Lorsque le couvert de glace s'est formé sur le canal, l'échange de chaleur entre l'air et l'eau devient limité. Le bilan thermique de l'eau du canal est alors déterminé par les débits entrants et les drains des eaux pluviales, ainsi que par l'échange de chaleur avec le sol dans une moindre mesure. En hiver, l'eau qui pénètre dans le canal au niveau des écluses de Hogs Backs passe par des vannelles situées près du fond.

La variation du débit en hiver est limitée par les écluses en amont. Toutefois, le dégel et les pluies au milieu de l'hiver peuvent augmenter les débits entrants de la rivière Rideau et de ses affluents. Des eaux plus chaudes et plus salées peuvent pénétrer dans le canal pendant ces événements. Les événements survenant au milieu de l'hiver, comme la pluie et les températures moins basses, peuvent modifier le couvert de glace en faisant fondre et en inondant la surface de la glace. L'eau qui recouvre la glace est évidemment indésirable pour le patinage, mais elle peut aussi créer une surface irrégulière lorsqu'elle regèle. La neige abondante ajoute du poids sur la glace, qui a tendance à s'enfoncer et à plier le couvert, créant ainsi des fractures de tension. Ces fractures peuvent à leur tour faire remonter l'eau à la surface. Les équipes d'entretien travaillent pour limiter l'impact des événements survenant au milieu de l'hiver. Toutefois, une fermeture temporaire pendant l'hiver est toujours possible.

L'importante activité de patinage et les opérations d'entretien génèrent des charges et des contraintes sur le couvert de glace. Par exemple, les rassemblements peuvent créer une charge ponctuelle ainsi que des fractures locales (Sinha, 1985). Les véhicules d'entretien peuvent également créer des tensions lorsqu'ils se déplacent ou s'immobilisent sur la glace. La saison de patinage se termine lorsque l'état de la glace devient irrémédiablement non sécuritaire.

Tableau 4-1 : Facteurs influençant le régime de la glace sur le canal Rideau

Type	Facteur
Naturel	<ul style="list-style-type: none"> – Température de l’air – Précipitations (pluie et neige) – Vent – Rayonnement solaire
Anthropique	<ul style="list-style-type: none"> – Contrôle du niveau d’eau et du débit entrant aux écluses de Hogs Back et de Hartwells – Contrôle du niveau d’eau et du débit sortant aux écluses d’Ottawa – Affluents et débits entrants des drains d’eaux pluviales – Opérations d’entretien hivernal – Activités de patinage

L’hiver glaciologique est la période pendant laquelle la glace est présente sur le canal Rideau. Il commence au gel et se termine lorsque la glace a complètement disparu.

L’entretien de la glace représente la période pendant laquelle la CCN travaille à maintenir ou à améliorer les conditions de glace de la PCR. Actuellement, cette période commence avec le premier arrosage de la glace et se termine lorsque les conditions de patinage deviennent irrémédiablement non sécuritaires. Les objectifs des opérations d’entretien de la glace sont les suivants :

- Lisser la surface de la glace pour garantir des conditions de patinage de haute qualité.
- Retirer la neige de la PCR pour réduire la charge morte sur le couvert, augmenter l’échange thermique eau/air, limiter le potentiel de fonte de la neige sur la glace et faciliter les opérations de lissage de la glace.
- Augmenter l’épaisseur de la glace en ajoutant et en gelant de l’eau sur le couvert de glace existant.

La saison de patinage correspond aux périodes pendant lesquelles la PCR est ouverte au public. C’est également la période pendant laquelle les conditions de patinage sont considérées comme adéquates et sécuritaires. Par définition, la l’hiver glaciologique est plus longue que l’hiver glaciologique et que la période d’entretien de la glace. Elle démarre lorsque la glace s’épaissit et se termine lorsque la glace devient trop mince, trop fracturée ou trop inondée. La PCR peut être fermée temporairement pendant la saison lorsque les conditions de patinage deviennent inadéquates ou non sécuritaires.

La Figure 4-1 illustre la chronologie d’une saison de patinage typique. Cette figure montre qu’il est possible de mettre en œuvre des opérations d’accumulation de glace avant le stade d’entretien afin d’accélérer la formation du couvert de glace.

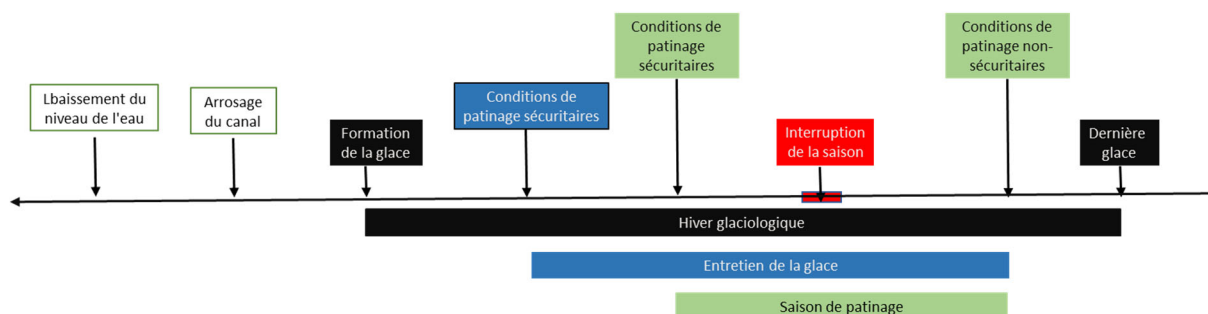


Figure 4-1 : Chronologie typique de la saison de patinage sur le canal Rideau

4.1.1 ÉCHANGES THERMIQUES

L'équilibre thermique de l'eau dans le canal pourrait être modifié pour favoriser un gel précoce et un couvert de glace plus solide et plus résistant. Les approches d'amélioration pourraient avoir un impact direct sur la durée de la saison de patinage en accélérant le début de la saison et en réduisant la probabilité d'interruption de la saison.

4.1.1.1 ARROSAGE PRÉCOCE DE LA GLACE

Les membres de l'équipe de la CCN démarrent aujourd'hui les opérations d'inondation de la glace une fois qu'elle est assez épaisse pour pouvoir marcher dessus. Une option serait de commencer cette opération d'inondation avant cette date. Par exemple, l'eau pourrait être ajoutée sur une fine couche de glace (quelques centimètres) à l'aide d'une pompe et d'un système de tuyaux actionnés depuis la berge. Un camion-citerne rempli d'eau froide et des bouches d'incendie pourraient être utilisés dans ce sens.

Une inondation plus précoce de la glace aurait un impact direct sur son épaissement et augmenterait la capacité du couvert de glace à résister aux événements potentiels qui se produisent au milieu de l'hiver. Par exemple, pendant l'hiver 2020-2021, l'arrosage précoce de la glace aurait pu être effectué dès le 16 décembre 2020, lorsque la température est tombée en dessous de -10 °C pendant quelques jours. Son épaissement précoce aurait permis à la glace de résister à l'événement pluvieux qui a eu lieu les 24 et 25 décembre 2020. À titre de comparaison, l'inondation de la glace par la CCN (équipement sur la glace) a démarré le 21 janvier 2021. L'épaisseur de la glace mesurée ce jour-là par la CCN était comprise entre 14 et 36 cm.

L'une des recommandations relatives aux inondations de la glace consiste à utiliser l'eau la plus froide possible, qui ne proviendrait pas nécessairement du canal lui-même. La température de l'eau qui est déversée sur la glace doit également être surveillée.

4.1.1.2 CANON À NEIGE

Un canon à neige pourrait être utilisé pour ajouter des cristaux de glace ou de la neige mouillée dans le canal tôt dans la saison, et ainsi créer un couvert de glace plusieurs jours avant la formation de glace thermique. Un tel canon imiterait une forte chute de neige et favoriserait la nucléation secondaire (voir la section 2.2).

Le canon pourrait être placé sur une remorque et tracté par un véhicule d'entretien le long du canal. Les opérations liées au canon pourraient commencer en aval et se déplacer progressivement en amont.

La technologie des canons est aujourd'hui très avancée grâce aux solutions développées par les nombreux fabricants canadiens sur plusieurs années aux fins de former de la neige pour le domaine du ski alpin et du ski de fond. Il existe désormais des produits à portée directionnelle étroite, pouvant être utilisés dans des espaces restreints et permettant d'éviter de répandre la glace ou la neige en dehors de la zone de travail (c'est-à-dire sur les sentiers et les promenades adjacents).

La plage de fonctionnement et la qualité de la neige d'un canon sont influencées par la température et l'humidité de l'air. Une neige de bonne qualité peut généralement être formée autour de -4 °C lorsque l'air est sec.

Dans tous les cas, l'ajout d'un matériau froid et fondu à la surface de l'eau au début de la saison contribuerait à la formation précoce de glace, surtout sur le tronçon aval du canal.

4.1.1.3 ARRIVÉES D'EAU PLUS FROIDE

La surveillance hivernale effectuée en février 2021 montre que l'eau entrant dans le canal est relativement chaude. Un apport plus froid dans le canal est souhaitable pour favoriser l'épaississement thermique de la glace et limiter la fonte de la couche de glace basale.

À partir de la fin novembre et pendant tout l'hiver, l'eau de la rivière Rideau pénètre dans le canal par les écluses de Hog's Back. Leurs vantelles sont proches du bas des portes de l'écluse, où l'eau est plus chaude que près de la surface en raison de la stratification thermique naturelle.

La modification de la configuration hivernale de Hog's Back pour amener de l'eau plus froide de la surface de la rivière dans le canal est souhaitable, mais semble difficilement réalisable en raison des contraintes de prélèvement hivernal de PC et des défis logistiques que représente la modification de cette infrastructure patrimoniale.

Une autre façon d'amener de l'eau plus froide dans le canal pendant toute la saison hivernale serait d'augmenter les échanges thermiques air/eau sur le tronçon du canal entre les écluses de Hog's Back et de Hartwell. Cela pourrait être réalisé en empêchant la formation du couvert de glace sur une partie de ce tronçon à l'aide de diffuseurs de bulles ou de systèmes de recirculation. Ces systèmes peuvent être automatiquement activés pendant les périodes de froid et désactivés pendant les périodes plus douces en hiver.

Des données thermiques hivernales supplémentaires seront nécessaires pour évaluer les avantages de ces approches.

4.1.1.4 EAU PLUS PROFONDE

Lors des discussions avec la CCN et son équipe d'entretien des glaces, tous deux ont souligné que les sections les plus profondes de la PCR ont généralement un couvert de glace plus épais et restent ouvertes plus longtemps. Cela est corroboré, dans une certaine mesure, par les observations saisonnières de chacun des tronçons du canal qui sont disponibles auprès de la CCN (Tableau 4-2). Les observations montrent que le tronçon de Pretoria à Bank (PK 2,0-4,4) et le tronçon du lac Dow (PK 5,4-7,8) restent généralement ouverts pendant une plus longue période. Au cours de l'hiver 2019-2020, le tronçon le plus en aval (PK 0,0-0,4) est resté fermé, les autres tronçons d'une profondeur maximale de 1,8 m (PK 0,4-0,8 et 4,4-5,4) n'ont connu qu'environ 10 jours de patinage et les tronçons plus profonds (PK 0,8-4,4, 5,4-7,8) ont offert environ 30 jours de patinage.

Tableau 4-2 : Nombre de jours de patinage dans les différents tronçons du canal de la PCR

Point kilométrique	Tronçon du canal	Profondeur max. de l'eau (m)*	Hiver 2016-2017	Hiver 2018-2019	Hiver 2019-2020
0,0 à 0,4	Des écluses d'Ottawa à Laurier	1,8	22	51	0
0,4 à 0,8	De Laurier à Somerset	1,8	23	53	11
0,8 à 2,0	De Laurier à Pretoria	2,7**	23	53	28
2,0 à 4,4	De Pretoria à Bank	4,3	26	60	31
4,4 à 5,4	De Banque à Bronson	1,8	24	55	10
5,4 à 7,8	De Bronson à Hartwell (y compris le lac Dow)	5,2	21	53	25

* D'APRÈS LES CARTES MARINES
 ** PROFONDEUR MAXIMALE = 2,4 M (PK 0,8-1,4; SOMERSET-CONCORD)

En théorie, les eaux peu profondes peuvent entraîner des problèmes de stabilité du couvert de glace. La glace est plus susceptible de reposer sur le lit de la rivière sur un tronçon peu profond que sur un tronçon plus profond, créant ainsi des fractures dans le couvert. De plus, une eau peu profonde signifie une stratification thermique verticale moindre et donc une eau plus chaude près de la glace. Les cours d'eau peu profonds sont également plus sensibles aux variations thermiques de l'environnement car ils contiennent moins d'eau. Ceci est préoccupant car la profondeur de l'eau en hiver sur le tronçon aval de la PCR est très faible (inférieure à 1 m). Ce tronçon transporte également de l'eau plus chaude provenant des exutoires d'eaux pluviales, notamment les drains de Laurier et Cooper. Par conséquent, des eaux plus profondes pourraient contribuer à atténuer ce problème comme suit :

- Une flottaison du couvert de glace au lieu de reposer sur le lit de la rivière;
- Une stratification thermique qui devrait maintenir les eaux pluviales plus chaudes à distance de la glace;
- Un plus grand volume d'eau pour diluer le sel transporté par les eaux pluviales pendant les épisodes de pluie hivernale;
- La réduction de l'échange de chaleur entre les parois latérales et l'eau dans le canal.

Théoriquement, un niveau d'eau plus élevé en hiver pourrait limiter la dégradation des parois latérales du canal. En effet, la paroi sous l'eau ne serait pas affectée par les cycles de gel-dégel. Il semble également qu'un niveau d'eau plus élevé permettrait de mieux équilibrer la charge horizontale produite par la saturation et le gel du sol du côté extérieur du canal Rideau. Cependant, cette hypothèse devrait être corroborée par des experts en géotechnique pour confirmer l'avantage que pourraient apporter des niveaux d'eau plus élevés sur les parois du canal Rideau.

La profondeur de l'eau du canal pourrait être augmentée en relevant le niveau de l'eau en hiver. Cela pourrait être réalisé en modifiant le batardeau utilisé par PC aux écluses d'Ottawa. Cette option exigerait de la CCN qu'elle modifie certaines structures de la patinoire (escaliers, piquets, fondations de bâtiments temporaires) pour s'adapter au nouveau niveau d'eau ou au niveau d'eau plus élevé.

La profondeur de l'eau pourrait également être augmentée localement, par exemple sur le tronçon aval, en draguant le canal. Cependant, cette option nécessiterait de traiter des sédiments contaminés. Il convient également de noter que le dragage est une solution temporaire qui doit être répétée périodiquement. D'après nos connaissances, le canal n'a jamais été dragué. Ainsi, il semble que la profondeur de l'eau ait été réduite au fil des ans dans de nombreuses zones du canal. Cette réalité, en plus des changements climatiques, peut éventuellement expliquer certains des problèmes récents relatifs au maintien de la qualité de la glace sur le tronçon aval.

L'augmentation de la profondeur de l'eau devrait être considérée comme une solution potentielle pour améliorer la résilience de la PCR face aux changements climatiques. Toutefois, avec les informations disponibles, il n'est pas possible d'établir de relation entre le gain potentiel de la durée de la saison de patinage et les différents niveaux d'eau. De plus, étant donné les contraintes juridiques concernant le niveau d'eau et l'investissement dans la modification de l'infrastructure pour tenir compte d'un niveau d'eau plus élevé, la mise en œuvre de cette solution représente un engagement important. Par conséquent, WSP recommande que les avantages de l'augmentation de la profondeur de l'eau (grâce à l'augmentation du niveau ou au dragage) pour la qualité de la glace et la durée de la saison de patinage soient évalués sur la base d'une étude thermique de la glace et de l'eau. Des informations supplémentaires devraient être recueillies pour cette étude, notamment des données sur la bathymétrie du canal, le niveau d'eau et la température.

4.1.1.5 GESTION DE LA VÉGÉTATION

À mesure que le climat se réchauffe, la productivité des écosystèmes augmente de manière générale. Le personnel d'exploitation et d'entretien précise que l'activité croissante des mauvaises herbes dans le canal était nuisible au processus de formation de la glace. En effet, le dépérissement de la végétation diminue l'albédo de la masse d'eau (davantage de rayonnement solaire sera absorbé), augmente la sédimentation (affectant ainsi la profondeur de l'eau) et affaiblit la liaison de la glace. Par conséquent, WSP recommande de mettre en œuvre un programme annuel de gestion de la végétation en partenariat avec Parcs Canada afin de nettoyer efficacement le canal avant l'irrigation hivernale.

4.1.1.6 DÉVIATION DE L'EXUTOIRE DES EAUX PLUVIALES

L'exutoire des eaux pluviales apporte de l'eau supplémentaire dans le canal qui a probablement une teneur en sel plus élevée en raison du ruissellement des routes et des surfaces, ce qui a un impact sur la qualité de la glace de la PCR. Une solution pour atténuer l'impact de l'exutoire sur la qualité de la glace locale consiste à dévier l'exutoire afin de réduire considérablement, voire d'éliminer, le flux d'eaux pluviales dans le canal.

Comme indiqué à l'annexe A, la CCN a déjà installé un système de réduction des eaux pluviales pour dévier les eaux pluviales plus chaudes des aires de patinage au niveau de l'exutoire des eaux pluviales de Laurier. Des systèmes de réduction similaires pourraient également être mis en œuvre pour détourner l'eau des autres grands exutoires d'eaux pluviales le long du canal.

La déviation de l'exutoire pourrait également être effectuée en interceptant le flux avant qu'il ne pénètre dans le canal. Ce type de solution de déviation a été évalué dans le cadre du projet Capstone (Al-Saeed et al., 2021) avec l'objectif de raccorder la canalisation d'égout pluvial existante à la canalisation d'égout combinée inférieure existante en utilisant une structure de chute de 20 m de haut. Le coût de ce projet a été estimé à 3,4 millions de dollars (Al-Saeed et al., 2021). Bien qu'elle ne soit pas abordée dans le rapport Capstone, cette solution aurait probablement un impact négatif sur d'autres infrastructures et présenterait également des défis juridiques.

4.1.2 RECOMMANDATIONS GÉNÉRALES

4.1.2.1 RENFORCEMENT DE LA GLACE

De façon générale, la patinoire du canal Rideau (PCR) ouvre au public lorsqu'une section atteint 30 cm de glace transparente. L'ouverture du canal avec une glace plus fine présente un facteur de flottabilité, c'est-à-dire la capacité de la couche de glace à flotter lorsqu'elle supporte la charge de milliers de visiteurs. Dans les sections plus étroites, l'installation de pieux centraux ancrés dans le lit du canal et auxquels la glace se lie pourrait contribuer à augmenter sa flottabilité. Cette solution est théorique et présente des inconvénients importants :

- En raison de l'albédo et de l'inertie thermique du matériau du pieu, celui-ci se réchauffe et se refroidit à un rythme différent de celui de la glace. La glace présente autour du pieu pourrait fondre et donc affaiblir sa couverture.
- L'installation de pieux au centre du canal entraînera des contraintes opérationnelles supplémentaires (installation des pieux à l'automne, plus d'obstacles pour l'entretien des glaces).
- L'installation de pieux ne modifie pas le régime thermique et ne favorise donc pas l'apparition plus précoce d'un couvert de glace.

4.1.2.2 MISE EN ŒUVRE DES MESURES DE SÉCURITÉ

Pendant les périodes où la glace est de qualité inférieure et où la PCR est fermée pour des raisons de sécurité, la CCN devrait évaluer la possibilité de mettre en œuvre des pratiques de sécurité, telles que :

- Cerner les zones d'arrêt interdit patrouillées, car les charges concentrées non mobiles doivent être soutenues par une glace plus épaisse.
- Ériger les concessions loin de la surface de la glace afin de limiter les rassemblements statiques.
- Mettre en place une limitation du nombre de visiteurs sur la PCR, bien que cette pratique nécessite l'installation d'un système de contrôle à chaque entrée.

4.1.2.3 DIVERSIFICATION DES ACTIVITÉS HIVERNALES

Pendant la saison hivernale 2021, en raison de la pandémie de COVID-19, la promenade Queen Elizabeth était ouverte aux piétons et aux cyclistes pendant la journée, entre la Cinquième Avenue et la rue Somerset. La promenade Queen Elizabeth, les sentiers du canal Rideau et la PCR relevant de la compétence de la CCN, il s'agit d'une occasion de diversifier l'offre d'activités hivernales le long du canal Rideau, telles que :

- La randonnée
- Le ski de fond
- Le vélo d'hiver

Le principal avantage de la diversification des activités hivernales est de s'assurer que le corridor du canal Rideau demeure une destination hivernale attrayante, même pendant les saisons où la glace est de qualité inférieure. De nombreuses activités et événements pourraient être planifiés autour du canal Rideau à l'extérieur de la patinoire. Il est également possible d'offrir des concessions à installer loin de la glace, si la saison de patinage écourtée perd de l'intérêt d'un point de vue commercial.

4.1.3 SOMMAIRE

Le Tableau 4-3 résume les méthodes potentielles pour améliorer les conditions de patinage et la durée de la saison.

Tableau 4-3 : Résumé des méthodes potentielles d'amélioration de la gestion des glaces pour la PCR

Méthode	Description	Amélioration potentielle			Principal avantage	Principal inconvénient	Niveau de confiance dans l'efficacité	Niveau d'effort et de ressources requis
		Gel plus précoce	Couvert plus résistant	Autre				
Arrosage précoce de la glace	Commencer à arroser la surface de la mince couche de glace à l'aide d'une pompe et d'un système de flexibles depuis la rive	x	x		Épaississement précoce	Coût supplémentaire	Élevée	Modérée
Canon à neige	Reproduire de fortes chutes de neige en début de saison pour démarrer le couvert de glace	x	x		Gel plus précoce	Coût supplémentaire	Élevée	Modérée
Détournement des eaux pluviales	Réduire ou éliminer l'écoulement des eaux pluviales contaminées par le sel dans le canal	x ¹			Éliminer la source de chaleur	Impact local uniquement	Élevée	Modérée
Eau plus profonde – Niveau plus élevé	Augmenter la profondeur de l'eau en relevant son niveau en hiver, en modifiant le batardeau utilisé par Parcs Canada (PC) aux écluses d'Ottawa	x	x		Stabilisation du couvert de glace	La modification des structures existantes de la CCN est nécessaire	Moyenne à élevée	Très élevée
Débit entrant plus froid – De l'écluse	Modifier la configuration hivernale aux écluses de Hogs Back pour amener l'eau plus froide de la surface de la rivière dans le canal	x	x		Eau plus froide en hiver	La modification de la gestion hivernale par PC est nécessaire	Modérée	Élevée
Gestion de la végétation	Retirer toute la végétation du canal		x		Stabilisation du couvert de glace	Coût supplémentaire	Modérée	Modérée
Diversification des activités hivernales	Accroître l'attrait du canal Rideau en tant que destination hivernale, même pendant les saisons où la glace est de qualité inférieure			x	Réduire la dépendance à l'état des glaces pour attirer les visiteurs	Augmentation des ressources nécessaires en équipement et en personnel	Modérée	Élevée
Débit entrant plus froid – Eau libre	Amener de l'eau plus froide dans le canal en augmentant les échanges thermiques air/eau sur le tronçon du canal entre les écluses de Hogs Back et Hartwells	x	x		Eau plus froide en hiver	Théorie	Faible	Faible
Eaux plus profondes – Dragage	Augmenter la profondeur de l'eau en draguant le canal, celle-ci ayant diminué dans certaines zones avec le temps		x		Stabilisation du couvert de glace	Déplacement des matériaux contaminés	Faible	Très élevée
Pratiques de sécurité	Cerner les zones d'arrêt interdit patrouillées, ériger les concessions loin de la surface de la glace afin de limiter		x	x	Limiter la charge sur la glace	Insatisfaction croissante de certains utilisateurs,	Faible	Modérée

	les rassemblements statiques et limiter le nombre de visiteurs sur la PCR					coût supplémentaire et mise en œuvre complexe		
Renforcement de la glace	Installer des pieux centraux ancrés dans le lit du canal et auxquels la liaison de la glace peut contribuer à augmenter sa flottabilité		x		Augmenter la flottabilité	Coût supplémentaire, risque d'affaiblissement du couvert de glace	Très faible	Élevée
1. Dans les sections en amont.								

4.2 RECOMMANDATIONS POUR L'AMÉLIORATION DES CONNAISSANCES

La compréhension du régime des glaces sur la patinoire du canal Rideau est actuellement limitée en raison du manque de données, de mesures enregistrées et de suivi. Le programme de suivi sur le terrain lancé par WSP durant le mois de février 2021 a permis d'obtenir des informations préliminaires sur le régime thermique hivernal. Il devrait maintenant couvrir une saison de glace supplémentaire ou entière, du gel en novembre-décembre jusqu'à la fin de la saison de patinage en février-mars (trois à cinq mois).

WSP recommande à la CCN de normaliser la façon dont l'information sur la glace est recueillie, gérée et stockée. Par exemple, un journal de bord numérique officiel contenant les observations quotidiennes du chef de l'équipe opérationnelle sur la glace devrait être établi. Ce journal permettrait de communiquer l'évolution du couvert de glace, avant et pendant les saisons de patinage. Les conditions météorologiques, l'épaisseur de la glace, l'état de la glace, les opérations d'entretien et les problèmes particuliers devraient être décrits quotidiennement dans cette base de données.

WSP recommande également de mettre en place un réseau de suivi pour recueillir des informations sur la qualité de l'eau, le débit et l'état de la glace dans le canal. Le réseau devrait comprendre des caméras de surveillance, des transducteurs de pression d'eau et des jauges de température et de conductivité de l'eau, tous répartis le long du canal. Au moins une station météorologique devrait également être installée à côté du canal. Pour maximiser le potentiel de collecte de données, le réseau de suivi devrait être en place en octobre 2021, prêt pour la saison de patinage 2021-2022. La CCN pourrait charger un expert (consultant ou institution universitaire) de planifier et de réaliser ce programme de suivi conformément à ses attentes.

Des informations supplémentaires sur les exutoires d'eaux pluviales de la ville d'Ottawa devraient également être recueillies par la CCN. Le programme de suivi devrait également comprendre le suivi du débit, de la température et de la conductivité dans les exutoires d'eaux pluviales, en particulier dans les drains Laurier et Cooper.

Les mesures recueillies pendant toute une saison de glace permettront à la CCN de mieux comprendre le régime thermique hivernal du canal et d'évaluer sa vulnérabilité. Sur la base de ces informations, le bilan thermique de l'eau du canal pourra être calculé. Les méthodes d'amélioration, notamment l'augmentation de la déviation des exutoires d'eaux pluviales et le maintien de niveaux d'eau plus profonds (section 4.1), pourraient également être évaluées.

WSP recommande également à la CCN de mandater un expert (professeur d'université, consultant, etc.) pour travailler avec les équipes d'exploitation et effectuer un suivi du canal afin de préparer une description exhaustive du processus de gel de la glace, qui débiterait immédiatement après l'arrosage du canal (durant la troisième semaine de novembre environ). Ce travail nécessiterait probablement d'effectuer des observations pendant les nuits froides de la fin novembre ou du début décembre. Ces observations seront essentielles pour évaluer le potentiel de la mise en œuvre de techniques de gel précoce, comme décrit dans la section 4.1 ci-dessus.

Toutes les parties prenantes impliquées autour du canal bénéficieraient de l'amélioration des données sur la qualité de l'eau. Un effort conjoint entre la CCN, Parcs Canada et la ville d'Ottawa est donc recommandé. Une base de données mondiale pourrait être développée, afin que toutes les parties prenantes puissent partager les informations de façon commune.

4.3 MISE EN ŒUVRE DES RECOMMANDATIONS

D'importantes incertitudes sont présentes quant à l'efficacité des différentes mesures résumées au Tableau 4-3. Cela est dû au manque de données sur le canal et au fait que la plupart des recommandations reposent sur un raisonnement théorique en raison du caractère unique de la PCR (c'est-à-dire qu'aucun exemple d'application de méthodes aussi complexes n'est disponible, pour atténuer le risque lié aux changements climatiques pour toute installation de patinage naturel en plein air soumise aux diverses contraintes juridiques). D'autres modèles de

gestion des changements des routes de glace naturelles ne peuvent également être directement appliqués à cette évaluation.

Pour aider à surmonter ces obstacles, WSP recommande à la CCN de suivre un processus en trois phases disponible sur le site (Figure 4-2).

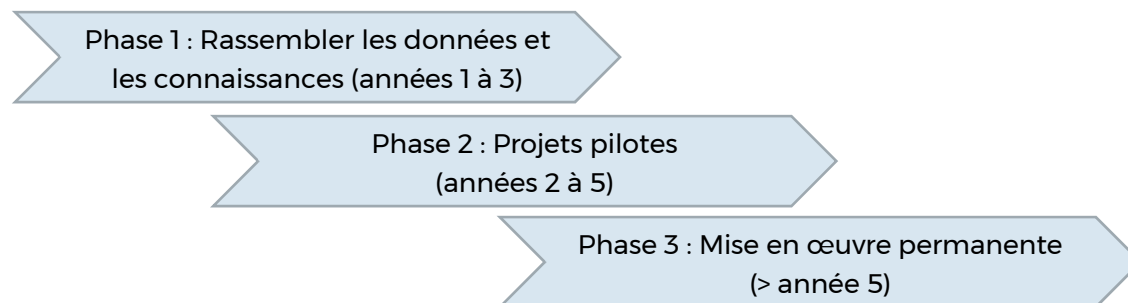


Figure 4-2 : Calendrier de mise en œuvre des recommandations

Au cours de la **phase 1**, la CCN devrait continuer à recueillir des données sur les conditions thermiques et chimiques de l'eau dans le canal Rideau en réalisant un programme de suivi approfondi. Les différents aspects de l'acquisition de connaissances sont les suivants :

- Durant l'été 2021, effectuer une évaluation bathymétrique complète afin de disposer d'un relevé actualisé des profondeurs d'eau.
- Mesurer les profils de température et de salinité de l'eau dans le canal Rideau pendant toute la saison hivernale, c'est-à-dire à partir du moment où le canal est rempli au niveau hivernal (la troisième semaine de novembre environ) jusqu'à la disparition du couvert de glace (habituellement en avril). Les campagnes de suivi devraient suivre un protocole similaire à celui du programme de suivi de l'hiver 2021. Les capteurs devraient être positionnés de manière à saisir les impacts des exutoires d'eaux pluviales sur l'eau du canal.
- Obtenir des images thermiques à distance à l'aide de vols de drones équipés d'une caméra thermique. Ces vols seraient effectués lorsque l'eau est au niveau le plus bas et après le remplissage du canal au niveau du patinage. Cela apportera une meilleure compréhension du gradient de température de l'eau sur la longueur de la PCR.
- Préparer une technique d'étude de la qualité de la glace, en utilisant des carottes de glace ou un géoradar. S'assurer que les résultats soient systématiquement enregistrés dans une base de données numériques.
- Installer des capteurs pour suivre l'impact des machines, des chutes de neige et des utilisateurs sur la déviation de la glace.
- Effectuer une inspection visuelle du processus de formation de la glace pendant les premières nuits très froides de la saison (environ -10 °C), afin de mieux percevoir l'emplacement et le processus de formation précoce de la glace.

L'obtention de toutes ces données permettrait à la CCN de calibrer un modèle thermique qui pourrait fournir des réponses plus solides à des questions telles que :

- Quel serait l'impact de différentes augmentations des niveaux d'eau?
- Quelle est la perte d'épaisseur de glace due aux ruissellements des eaux de pluie?

Comprendre la formation de la glace dans le contexte d'un cours d'eau contrôlé tel que le canal Rideau est une occasion de recherche incroyable. La CCN pourrait s'associer à des universitaires ou à des instituts de recherche locaux pour aider ou diriger ce travail.

Disposer de résultats complets issus d'un programme de suivi approfondi pourrait ne pas respecter les délais souhaités par la CCN. Toutefois, WSP estime qu'il est prudent de prendre des décisions fondées sur des données afin de réduire le niveau d'incertitude. Le risque de privilégier des stratégies quasi irréversibles, telles que l'élévation du niveau de l'eau de la surface de patinage et l'adaptation de toutes les infrastructures physiques associées, sans acquérir de connaissances préalables, pourrait être moins rentable sur un temps d'exploitation plus long.

La planification de la **phase 2** doit commencer dès que possible une fois les informations nécessaires recueillies, la mise en œuvre devant s'étaler sur plusieurs années. Dans cette phase, la CCN devrait préparer des projets pilotes pour les recommandations qu'elle privilégie pour tester l'efficacité à faire croître plus rapidement un couvert de glace de qualité, mais également la faisabilité et les contraintes opérationnelles associées. WSP recommande que les projets pilotes se concentrent sur les solutions suivantes :

- Arrosage précoce de la glace
- Canon à neige
- Aérateurs.

Ces solutions ne nécessitent pas d'analyse supplémentaire et devraient être testées durant l'hiver 2021-2022.

Enfin, les résultats du suivi et de la mise en œuvre des projets pilotes expérimentaux aideront la CCN à mieux comprendre les recommandations qui pourraient atténuer les risques liés aux changements climatiques sur la PCR de façon optimale. La **phase 3** consiste à mettre en œuvre des mesures permanentes ou semi-permanentes, telles qu'une élévation significative du niveau de l'eau de la patinoire.

4.4 PROCHAINES ÉTAPES

Le Tableau 4-4 présente les tâches recommandées en vue de la préparation de la saison d'hiver 2021-2022 et pendant celle-ci. Chacune de ces tâches est brièvement décrite à la suite du tableau.

Tableau 4-4 : Tâches recommandées en vue de la préparation de la saison d'hiver 2021-2022 et pendant celle-ci.

Période	Tâches recommandées (par ordre chronologique)
Été 2021	16. Effectuer un relevé bathymétrique du canal. 17. Planifier la campagne de suivi et d'observation du canal pour l'automne/hiver 2021-2022. 18. Planifier les projets pilotes 2021-2022 et acquérir du matériel (arrosage précoce de la glace ou APG, canon et aérateur).
Oct. – nov. 2021 (automne)	19. Installer les instruments de suivi et les équipements du projet pilote dans le canal. 20. Commencer le suivi et les observations de la glace.
Nov. – déc. 2021 (gel)	21. Poursuivre le suivi et les observations. 22. Lancer des projets pilotes (APG, canon et aérateur).
Déc. 2021 – mar. 2022 (hiver)	23. Mettre fin aux projets pilotes sur l'APG et les canons. 24. Poursuivre le suivi, les observations et le projet pilote sur l'aérateur. 25. Mesurer régulièrement l'épaisseur de la glace et noter les résultats dans le journal de bord.
Fin de la saison de patinage	26. Mettre fin au projet pilote lié à l'aérateur. 27. Préparer un rapport technique pour résumer la campagne de suivi, les observations et le projet pilote. 28. Évaluer l'efficacité des projets pilotes et émettre des recommandations pour l'hiver 2022-2023.
2022	29. Réaliser une étude thermique de la glace et de l'eau, en fonction des résultats de la campagne de suivi de l'hiver 2021-2022. 30. Évaluer l'efficacité d'autres solutions potentielles (soit un afflux plus froid, des eaux plus profondes et la déviation des exutoires) en fonction de l'étude thermique.

4.4.1 RELEVÉ BATHYMÉTRIQUE

Un relevé bathymétrique devra couvrir entièrement le tronçon situé entre la rivière Rideau à l'entrée des écluses de Hogs Back et de celles d'Ottawa. Le relevé bathymétrique doit être effectué pendant la saison de navigation afin d'améliorer la mobilité des bateaux et l'acquisition des données. Un relevé bathymétrique multifaisceaux est recommandé, afin d'obtenir des informations plus complètes, précises et détaillées sur l'élévation du niveau du lit. La Figure 4-3 présente des exemples de résultats de relevés hydrographiques et multifaisceaux (nuage de points).

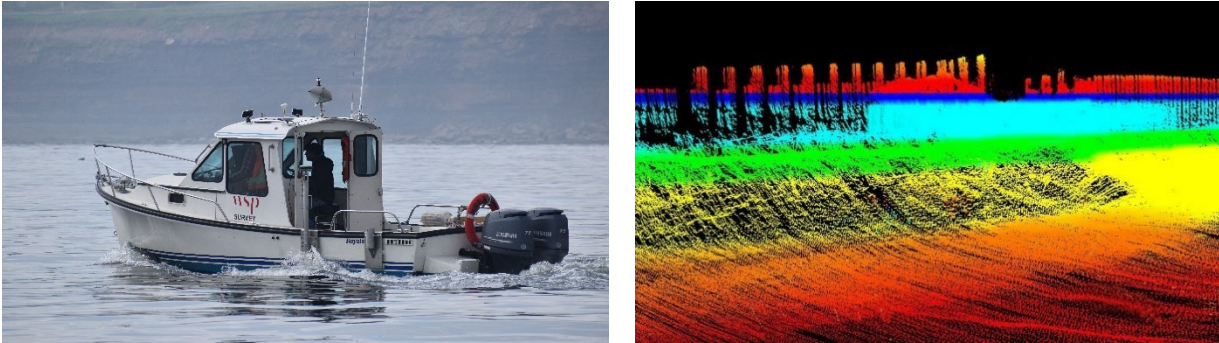


Figure 4-3 : Exemples de résultats de relevés hydrographiques et multifaisceaux

4.4.2 SUIVI

Une initiative de suivi comprendrait l'installation de plusieurs instruments le long du canal : caméras, collecteurs de pression, capteurs de température et de conductivité de l'eau. Le type et l'emplacement exacts de ces instruments devront être définis dans un plan de relevé, qui sera élaboré au cours de l'été 2021. Les instruments devraient être déployés à plusieurs endroits répartis entre les écluses de Hogs Back et d'Ottawa. Des instruments devraient également être positionnés près des projets pilotes (en amont et en aval) afin de suivre de près leur efficacité. Les données provenant des instruments seront téléchargées régulièrement pendant l'hiver, afin de garantir leur fonctionnement adéquat et de s'assurer que les données ne sont pas perdues.

4.4.3 PROJETS PILOTES

Trois projets pilotes sont recommandés pour l'hiver 2021-2022 : Arrosage précoce de la glace (APG), canons et aérateurs. La définition exacte et les emplacements des projets pilotes devront être décrits dans un document technique qui sera préparé au cours de l'été 2021. Des discussions entre la CCN et les fournisseurs auront également lieu au cours de l'été 2021, afin d'acquiescer l'équipement nécessaire aux projets pilotes.

WSP recommande de réaliser l'APG à un endroit précis entre Somerset et Bronson. Le choix de l'emplacement du projet pilote APG doit être basé sur les conditions particulières de gel de 2021-2022 (quel tronçon gèle en premier) et l'accès à l'eau (p. ex. : une borne-fontaine). Les projets pilotes APG doivent être situés en amont du projet sur le canon, décrit ci-dessous. Le pilote APG pourrait débiter aussitôt qu'une fine couche de glace (quelques centimètres) s'est formée sur le canal. Il pourrait se terminer lorsque le couvert de glace sera suffisamment épais pour que l'équipe de la CCN puisse se rendre physiquement sur la glace et commencer l'arrosage régulier avec des pompes. Le carottage ou la cartographie de la glace à l'aide du géoradar devraient avoir lieu juste après la fin du projet pilote APG, afin d'évaluer son efficacité sur l'épaississement de la glace.

Le projet pilote sur le canon devrait être effectué à un endroit précis entre Somerset et la Cinquième Avenue, par exemple dans le parc situé directement en amont de Pretoria. La position de ce projet pilote est à définir en fonction de l'accès à l'eau (p. ex. : borne-fontaine) et de la proximité des routes et des résidences, afin de limiter les nuisances potentielles (p. ex. : glace sur la route, bruit). Le type de canon devra être discuté avec les fournisseurs. Un canon possédant un jet directionnel étroit est recommandé (Figure 4-4). Cet équipement pourrait être loué ou acheté par la CCN pour la saison. Des capteurs de température de l'eau devraient être installés dans le canal

directement en amont et en aval du canon, afin d'évaluer l'efficacité du projet pilote pour abaisser la température de l'eau pendant la période de gel.

Une campagne d'observation intensive comprenant une présence sur place (notamment la nuit) et des caméras doit être menée pendant le projet pilote. L'objectif principal de ces observations serait de décrire le transport et l'accumulation de matières boueuses dans le canal ainsi que la formation associée d'un couvert de glace précoce. Le projet pilote du canon pourrait commencer après l'arrosage du canal (fin novembre), au moment où les conditions météorologiques sont favorables à la formation de neige et de neige fondante. Le projet pilote se terminerait lorsqu'une couche de glace stable se serait formée sur le canal près du canon.



Figure 4-4 : Exemple de canon avec jet directionnel étroit (<https://www.hkdsnowmakers.com/fr/>)

Le projet pilote de l'aérateur doit être mené sur le tronçon entre les écluses de Hogs Back et de Hartwells. Le type d'équipement et l'emplacement du projet pilote devraient être décrits dans un document technique qui sera préparé au cours de l'été 2021. Une série de deux ou trois aérateurs est recommandée pour le projet pilote. La discussion avec les fournisseurs devrait être initiée par la CCN. La Figure 4-5 présente un exemple d'aérateur de surface qui pourrait être testé durant l'hiver 2021-2022. Des capteurs de température de l'eau doivent être installés dans le canal directement en amont et en aval de l'aérateur. Une campagne d'observations intensives comprenant une présence sur place et des caméras devrait être menée pendant le projet pilote, principalement pour décrire la formation et le transport de cristaux dans le canal, ainsi que la formation et l'épaississement potentiels associés du couvert de glace. Le projet pilote de l'aérateur pourrait commencer immédiatement après l'arrosage du canal (fin novembre) et se terminer avec la saison de patinage. Le carottage de la glace doit avoir lieu pendant la saison hivernale, près de l'aérateur, pour décrire l'accumulation de cristaux de glace et la distance de déplacement sous le couvert de glace.



Figure 4-5 : Exemple d'aérateur de surface (www.arbrux.com).

À la fin de la saison de patinage, un rapport de synthèse technique devrait être rédigé pour décrire le régime de glace et le régime thermique de l'hiver 2021-2022 et évaluer l'efficacité des trois projets pilotes (APG, canon et aérateur). Ce document devrait également inclure des recommandations pour des investigations et des projets pilotes supplémentaires dans les années à venir.

Durant toute la saison hivernale, le responsable technique de la CCN devrait être chargé de tenir un journal de bord contenant les observations quotidiennes, les descriptions de l'état de la glace, les conditions de patinage, les mesures de la glace et les opérations d'entretien.

4.5 RECOMMANDATIONS POUR L'ÉLABORATION DE NORMES

L'évaluation des risques a été réalisée conformément à la norme ISO 31000 sur la gestion des risques et à la norme ISO 14091 sur l'adaptation aux changements climatiques. Les deux normes étaient applicables au contexte de la PCR et offraient l'avantage d'aligner cette évaluation sur des processus reconnus au niveau international.

Comme mentionné dans la section 2, WSP n'a pas été en mesure de trouver des normes nationales ou internationales pertinentes pour les installations d'activités récréatives d'hiver extérieures. ISO prépare actuellement une norme pour l'évaluation des risques pour les installations et équipements sportifs et autres activités récréatives (ISO/WD 4980). Cette étude a souligné l'importance de tenir compte des changements climatiques dans l'exploitation, l'entretien, la gestion et la planification des installations d'activités récréatives extérieures. Cette étude a également démontré que le contexte de la PCR en tant que patinoire naturelle sur un plan d'eau contrôlé dans un contexte urbain est très particulier, relevant de la compétence de trois organisations majeures.

Au niveau national, si des normes pour les activités récréatives hivernales doivent être élaborées, elles devraient tenir compte des tendances nationales globales des projections climatiques qui pourraient avoir un impact sur les opérations. Ces normes devraient se référer à des lignes directrices reconnues sur la manière d'utiliser les informations climatiques, comme le guide d'Ouranos sur les scénarios climatiques (Charron, 2016).

L'épaisseur de la glace a été ciblée comme une autre lacune dans la normalisation. Une nouvelle norme pour les installations d'activités récréatives hivernales extérieures pourrait normaliser l'épaisseur de glace sécuritaire pour supporter un certain poids, en tenant compte également de la qualité de la glace et de la flottabilité. Une norme serait également utile pour les méthodes permettant de tester la résistance de la glace.

Enfin, les processus décrits à la section 4.3 concernant l'acquisition, le stockage et l'interprétation des données pourraient également présenter un intérêt du point de vue de la normalisation. Il existe effectivement des possibilités de normalisation :

- Processus de suivi de l'eau en termes d'équipement, d'emplacement et de paramètres.
- Suivi de l'épaisseur de la glace au moyen de carottes ou d'un géoradar.

4.6 CONCLUSION

La patinoire du canal Rideau sera confrontée à des défis croissants dans un climat qui se réchauffe. La CCN devra ouvrir la patinoire plus tard dans la saison et le nombre de jours où le patinage est viable diminuera généralement, cette tendance s'intensifiant vers la fin du siècle. Cela aura des effets sur l'importance économique et culturelle des activités de la PCR et de la CCN.

Une évaluation des risques liés aux changements climatiques a été réalisée, en tenant compte des impacts potentiels pour la PCR et de l'évaluation globale des risques pour chaque impact. Les risques élevés et très élevés pour la PCR concernaient les impacts indirects sur la formation et la qualité de la glace (par exemple, l'augmentation du drainage des eaux de pluie dans le canal causant une température et une salinité de l'eau plus importante), la variabilité accrue de l'état de la glace en hiver, les pertes économiques dues à la réduction de la saison de patinage et les impacts culturels dus à l'aspect emblématique de la PCR.

Cette étude a recommandé une série de mesures axées sur la formation et la solidité de la glace, la santé et la sécurité, et la diversification des activités hivernales. Ces mesures devraient être mises en œuvre par une approche par étapes comprenant la collecte de données, le suivi et des projets pilotes pour évaluer l'efficacité de chaque mesure. À long terme, la CCN devrait déterminer le seuil à partir duquel l'investissement dans l'entretien de la surface de la glace excédera l'avantage financier, et envisager la diversification de la programmation hivernale autour du canal. La nature unique de la PCR signifie que cette étude peut contribuer à un corpus de documentation et de normes modeste, mais important pour les installations d'activités récréatives hivernales extérieures. Il est donc également recommandé que la CCN recherche des occasions de partager ces résultats.

Il s'agit de la première évaluation des risques liés aux changements climatiques commandée par la CCN. Il est recommandé que ce rapport soit mis à jour au moins tous les cinq ans afin de tenir compte de l'évolution des conditions socio-économiques, de l'élaboration des politiques et des dernières données scientifiques sur le climat.

BIBLIOGRAPHIE

- Al-Saeed M., Ousmoi O., Tuo S., Andrea, N. et Benali Y. Projet Capstone – Protection de la glace à Laurier. 16 avril 2021.
- Ashton, G D. « River and Lake Ice Engineering ». Water Resources Publications. 1986.
- Ashton, G D. « Ice in Lakes and Rivers ». Encyclopedia Britannica, Encyclopedia Britannica, Inc., 1998, www.britannica.com/science/lake-ice/Ice-in-rivers.
- Ashton, G.D. « River and lake ice thickening, thinning, and snow ice formation » Cold Regions Science and Technology, 68 (2011) 3-19.
- ASTM International. « ASTM F1703-13 Guide des normes pour les installations de patinage et de hockey sur glace ». ASTM International, 2013.
- Barrette, P D. « A Laboratory Study on the Flexural Strength of White Ice and Clear Ice from the Rideau Canal Skateway ». Revue canadienne de génie civil, vol. 38, 2011, p. 1 435 à 1 439.
- Barrette, Paul D. « Overview of Ice Roads in Canada: Design, Usage and Climate Change Mitigation ». 2015, Conseil national de recherches Canada. Centre de recherche en génie océanique, côtier et fluvial, nrc-publications.canada.ca/fr/view/ft/?id=5984226f-bee8-48fe-a138-5a23c800f435.
- BMT Fleet Technology, « Ice Bearing Capacity Manual », Ottawa, Canada, (2011). 22 p. Charron, I. « Guide sur les scénarios climatiques : Utilisation de l'information climatique pour guider la recherche et la prise de décision en matière d'adaptation ». Ouranos, 2016, 94 pages.
- Coble, R L, et W D Kingery. « Ice Reinforcement ». Ice and Snow: Properties, Processes, and Applications, MIT Press, Cambridge, 1963, p. 130 à 148.
- Damyanov, N, et al. « Observed Decreases in the Canadian Outdoor Skating Season Due to Recent Winter Warming ». Environmental Research Letters, vol. 7, n° 1, 2012, p. 014028., doi:10.1088/1748-9326/7/1/014028.
- Dickau, M, et al. « Projections of Declining Outdoor Skating Availability in Montreal Due to Global Warming ». Université Concordia, 2020, www.researchgate.net/publication/340879440_Projections_of_declining_outdoor_skating_availability_in_Montreal_due_to_global_warming.
- Dickau, M, et al. « Projections of Declining Outdoor Skating Availability in Montreal Due to Global Warming ». Environmental Research Communications, vol. 2, n° 5, 2020, p. 051001., doi:10.1088/2515-7620/ab8ca8.
- Ford, J D, et al. « The State of Climate Change Adaptation in the Arctic ». Environmental Research Letters, vol. 9, 2014, p. 1 à 9.
- Gold, L W. « Use of Ice Covers for Transportation ». Revue canadienne de géotechnique, vol. 8, 1971, p. 170 à 181.
- Gouvernement de l'Alberta. « Best Practices for Building and Working Safety on Ice Covers in Alberta ». Gouvernement de l'Alberta, 2013, open.alberta.ca/dataset/612530c3-9f41-41f3-ad45-4b62b47a0b06/resource/74decde6-8120-46be-b137-158bb63ee569/download/whs-pub-sh010.pdf.
- Gouvernement du Canada, « Le Bal de Neige au fil du temps » (2021-02-05), <https://www.canada.ca/fr/patrimoine-canadien/campagnes/bal-neige/a-propos/fil-temps.html>

- Gouvernement des Territoires du Nord-Ouest [GTNO]. « Guidelines for Safe Ice construction ». 2015, www.inf.gov.nt.ca/sites/inf/files/resources/0016-001_norex_ice_road_constr._web.pdf
- Gouvernement de la Saskatchewan. « Safe Operating Procedures for Winter Roads Committee. Winter Roads Handbook. » Direction des normes d'ingénierie du ministère des Transports et de l'Infrastructure, 2009, p. 1 à 52. <http://www.highways.gov.sk.ca/Doing Business with MHI/Ministry Manuals/Winter Roads Handbook/Winter Roads Handbook.pdf>
- Haynes, F D, et al. « Bearing Capacity Tests on Ice Reinforced with Geogrid Ice Reinforcement with Geotechnical Fabrics ». 1992, p. 1 à 12.
- Jarrett, P M, et K W Biggar. « Ice Reinforcement with Geotechnical Fabrics ». 1980, p. 60 à 68.
- Hock, R. « A Review on Processes and Their Modelling » *Progress in Physical Geography*, vol. 29, n° 3, 2005, p. 362 à 391, www.atmos.albany.edu/daes/atmclasses/atm551/OtherReadingMaterials/Hock_ProgPhysGeogr-2005.pdf.
- Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. « Annex I: Glossaire [Matthews, J.B.R. (ed.)]. In: Réchauffement planétaire de 1,5 °C. Rapport spécial du GIEC sur les effets d'un réchauffement planétaire de 1,5 °C au-dessus des niveaux préindustriels et sur les trajectoires d'émissions de gaz à effet de serre dans le contexte du renforcement de la réponse mondiale à la menace des changements climatiques, du développement durable et des efforts d'éradication de la pauvreté [Masson-Delmotte, V., 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 (eds.)]. » Publié, 2018.
- Commission électrotechnique internationale, Organisation internationale de normalisation. « IEC 31010:2019 Management du risque – Techniques d'appréciation du risque ». IEC, ISO, 2019.
- Organisation internationale de normalisation, Association canadienne de normalisation. « CSA ISO 31000:2018 Management du risque – Lignes directrices ». ISO, 2018.
- Organisation internationale de normalisation. « ISO 14090:2019 Adaptation au changement climatique – Principes, exigences et lignes directrices ». ISO, 2019.
- Organisation internationale de normalisation. « ISO/TS 14092:2020 Adaptation au changement climatique – Exigences et recommandations relatives à la planification de l'adaptation pour les autorités locales et les communautés ». ISO, 2020.
- Organisation internationale de normalisation. « ISO 13822:2010 Bases pour la conception des structures – Évaluation des structures existantes ». ISO, 2010.
- Organisation internationale de normalisation. « ISO 9196:1992 Mesure de débit des liquides dans les canaux découverts – Mesures de débit en présence de glace ». ISO, 1992.
- Organisation internationale de normalisation. « Mesure de débit des liquides dans les canaux découverts – Équipement pour la mesure de débit en présence de glace ». ISO, 1994.
- Organisation internationale de normalisation. « Qualité de l'eau – Échantillonnage — Partie 4 : Lignes directrices pour l'échantillonnage des eaux des lacs naturels et artificiels ». ISO, 2016.
- Kuehn, G A, et W A Nixon. « Reinforced Ice: Mechanical Properties and Cost Analysis for Its Use in Platforms and Roads. Proceedings of the 7th International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering (OMAE) ». The American Society of Mechanical Engineers (ASME), 1988, p. 193 à 200.
- Larocque, Leah, et Pringle, Josh. « The NCC's Secret Weapon to Freeze the Downtown Section of the Rideau Canal Skateway This Winter ». Ottawa, CTV News, 17 nov. 2020, ottawa.ctvnews.ca/the-ncc-s-secret-weapon-to-freeze-the-downtown-section-of-the-rideau-canal-skateway-this-winter-1.5192844.

- Liu, Jun, et al. « Effects of Climate Change on Outdoor Skating in the Bei Hai Park of Beijing and Related Adaptive Strategies ». *Sustainability*, vol. 9, n° 7, 2017, p. 1147, doi:10.3390/su9071147.
- McGregor, R V, et al. « Climate Change Impacts and Adaptation: Case Studies of Roads in Northern Canada, Proceedings of the Annual Conference of the Transportation Association of Canada ». Association des transports du Canada, 2008.
- Michel, B., « Winter regime of rivers and lakes, Cold Regions Science and Engineering Monograph III-B1a ». CRREL, Hanover, NH. Avril 139 pages. 1971.
- Michel, B, et al. « Ice Bridges in the James Project ». *Revue canadienne de géotechnique*, vol. 11, 1974, p. 599 à 619. Nixon, W. A., et L. J. Weber. « Flexural Strength of Sand-Reinforced Ice ». *Journal of Cold Regions Engineering*, vol. 5, n° 1, 1991, p. 14 à 27, doi:10.1061/(asce) 0887-381x (1991) 5:1 (14).
- Michel B. « Ice Mechanics ». Les Presses de l'Université Laval. Québec, 1978.
- Montgomery, M. « It's Too Late: Short Ice-Skating Ends for the Season on Renowned Rideau Canal ». *Radio-Canada*, 2 mars 2020, www.rcinet.ca/en/2020/03/02/its-too-late-short-ice-skating-ends-for-the-season-on-renowned-rideau-canal/.
- Comité des normes DIN de la NABAU – Bâtiment et génie civil. « DIN 18036 Ice-Sport Facilities – Ice-Sport Facilities with Artificial Ice – Rules for Planning and Construction ». Institut allemand de normalisation, 2017.
- National Snow & Ice Data Center. « Salinity and Brine ». *All About Sea Ice*, National Snow and Ice Data Center, 3 avril 2020, [nsidc.org/cryosphere/seaice/characteristics/brine_salinity.html#:~:text=For every 5 psu increase, Celsius \(28.8 degrees Fahrenheit\).&text=This raises the salinity of the near-surface water.](https://nsidc.org/cryosphere/seaice/characteristics/brine_salinity.html#:~:text=For every 5 psu increase, Celsius (28.8 degrees Fahrenheit).&text=This raises the salinity of the near-surface water.)
- Nixon, W.A, et R.A Smith. « The Fracture Toughness of Some Wood-Ice Composites ». *Cold Regions Science and Technology*, vol. 14, n° 2, 1987, p. 139 à 145, doi:10.1016/0165-232x (87) 90029-2.
- Ocean Networks Canada. « Ice Profiler ». Ocean Networks Canada, 2020, [www.oceannetworks.ca/learning/ocean-sense/resources-lessons/ice-profiler#:~:text=Detailed explanation, freezes at 0°C\).&text=If the water is brackish, little below 0°C.](http://www.oceannetworks.ca/learning/ocean-sense/resources-lessons/ice-profiler#:~:text=Detailed explanation, freezes at 0°C).&text=If the water is brackish, little below 0°C.)
- Ohstrom, E G, et S L DenHartog. « Cantilever Beam Tests on Reinforced Ice », 7^e édition, vol. 76, 1976, p. 1 à 15.
- Parcs Canada. « Lieu historique national du canal Rideau », 2021-01-05, <https://www.pc.gc.ca/fr/lhn-nhs/on/rideau/histoire-history>
- Prowse, Terry, et al. « Effects of Changes in Arctic Lake and River Ice ». *Ambio*, vol. 40, n° S1, 2012, p. 63 à 74, doi:10.1007/s13280-011-0217-6.
- Rawlings, M, et al. « Winter Roads and Ice Bridges: Anomalies in Their Records of Seasonal Usage and What We Can Learn from Them », Actes de la conférence annuelle de l'Association des transports du Canada. Association des transports du Canada. 2009.
- Robertson, C, et al. « Les hivers sont-ils trop chauds pour patiner? La science citoyenne fait état de la variabilité de la possibilité de patiner en plein air au Canada ». *The Canadian Geographer*, vol. 59, n° 4, 5 nov. 2015, doi:<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/cag.12225/abstract>.
- Saraukskiene, D., et Jurgelanaite, A. « Impact of Climate Change on River Ice Phenology in Lithuania ». *Environmental Research, Engineering and Management*, vol. 4, n° 46, 2008, p. 13 à 22.
- Shen, H.T. et Yapa, P.D. « A unified degree-day method for river ice cover thickness simulation ». *Revue canadienne de génie civil*, 1984.

- Conseil canadien des normes et Manifest Climate. « Guide for Integrating Climate Change Adaptation Considerations into Canadian Standards, Version 1.0 ». 2021.
- Sievänen, Tuija, et al. « Nature-Based Tourism, Outdoor Recreation and Adaptation to Climate Change. FINADAPT Working Paper 11 ». Polycopiés du Centre finlandais de l'environnement, vol. 341, 2005, p. 46, helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/41057/SYKEmo_341.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Strandberg, A G, et al. 2012, Extended Season Ice Road Operation.
- Sinha, N.K. « Crowd induced deflection of Dow's Lake ice cover during Winterlude Festival 1985 ». Actes de la 9^e conférence internationale du Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering (OMAE '90), 4, p. 161 à 167, 1990.
- SPC – Normes chinoises GB. « GB/T 19995.3-2006 Technical Requirements and Test Methods for Natural Material Sports Field Part 3: Ice Rink ». SPC – Normes chinoises GB, 2006.
- Secrétariat du Conseil du Trésor du Canada [SCT]. « Guide de sécurité pour les opérations sur glace ». 2002, https://www.collectionscanada.gc.ca/eppp-archive/100/201/301/tbs-sct/tb_manual-ef/Pubs_pol/hrpubs/TBM_119/CHAP5_3_f.html
- Vasiliev, N K, et al. « A Review on Development of Reinforced Ice Structures and Dams. Proceedings of the 22nd International Symposium on Ice ». Association internationale d'ingénierie et de recherches hydrauliques (AIRH), 2014, p. 140 à 146.
- Visser, H., et A. C. Petersen. « The Likelihood of Holding Outdoor Skating Marathons in the Netherlands as a Policy-Relevant Indicator of Climate Change ». Climatic Change, vol. 93, n° 1-2, 2008, p. 39 à 54., doi:10.1007/s10584-008-9498-6.

GESTION DE LA QUALITÉ

VERSION	DATE	DESCRIPTION
00	3 juin 2021	Projet de rapport
01	30 juin 2021	Ébauche du rapport final
02	19 juillet 2021	Rapport final

SIGNATURES

PRÉPARÉ PAR

19 juillet 2021

Jean-Philippe Martin, Ph. D.
Chef d'équipe, Sciences du climat et risques
climatiques

Date

19 juillet 2021

Simon Nolin, M.Sc., P.Eng. (PEO 100207535)
Ingénieur hydrotechnique et expert en glace de
rivière

Date

REVU PAR

19 juillet 2021

Elise Paré, P.Eng. (PEO 100548246)
Responsable, Pratiques nationales, Risques et
résilience liés aux changements climatiques

Date

WSP Canada Inc. (« WSP ») a préparé le présent rapport à l'usage exclusif du destinataire prévu, la commission de la capitale nationale, conformément à la convention de services professionnels entre les parties. Dans l'éventualité où un contrat n'est pas exécuté, les parties conviennent que les modalités générales de WSP visant le consultant régiront leur relation d'affaires, lesquelles modalités vous ont été fournies avant la préparation du présent rapport.

Ce rapport doit être utilisé dans son intégralité. Aucun extrait ne peut être considéré comme représentatif des conclusions de l'évaluation.

Les conclusions présentées dans le présent rapport sont fondées sur le travail effectué par des employés qualifiés, professionnels et techniques, conformément à leur interprétation raisonnable des pratiques courantes et acceptées sur le plan technique et scientifique au moment où le travail a été effectué.

Le contenu et les opinions du présent rapport sont fondés sur les observations ou l'information à la disposition de WSP au moment de la préparation, à l'aide de techniques d'enquête et de méthodes d'étude technique compatibles avec celles normalement utilisées par WSP et d'autres professionnels techniques/scientifiques travaillant dans des conditions semblables et assujettis aux mêmes contraintes temporelles, financières et physiques applicables à ce projet.

WSP décline toute obligation de mettre à jour le présent rapport si, après la date de celui-ci, les conditions semblent diverger de manière significative de celles présentées dans celui-ci; toutefois, WSP se réserve le droit de modifier ou de compléter le présent rapport à la lumière d'informations, de documents ou de données probantes additionnels.

WSP ne fait aucune déclaration, quelle qu'elle soit, concernant la portée juridique de ses conclusions.

La divulgation de tout renseignement faisant partie du présent rapport relève uniquement de la responsabilité du destinataire visé. Si une tierce partie utilise le présent rapport, s'y fie ou prend des décisions conformément à celui-ci, ladite tierce partie est seule responsable de cette utilisation, de cette confiance ou de ces décisions. WSP Canada Inc. (WSP) n'accepte aucune responsabilité pour les dommages-intérêts, le cas échéant, subis par une tierce partie à la suite de décisions ou de mesures prises par cette tierce partie sur la base de ce rapport.

WSP a offert des services au destinataire prévu conformément à la convention de services professionnels entre les parties, en faisant preuve du degré de diligence et de compétence normalement assuré par les membres de la même profession offrant les mêmes services ou des services comparables dans le cadre de projets de nature similaire dans des circonstances semblables. Il est entendu et convenu par WSP et le destinataire du présent rapport que WSP n'offre aucune garantie, expressément ou implicitement, de quelque nature que ce soit. Sans limiter la généralité de ce qui précède, il est entendu et convenu par WSP et le destinataire du présent rapport que WSP ne fait aucune déclaration ni garantie, quelle qu'elle soit, quant au caractère suffisant de la portée des travaux pour atteindre l'objectif visé par le destinataire du présent rapport.

Dans la préparation du présent rapport, WSP s'est fondée de bonne foi sur les informations fournies par d'autres, comme il est indiqué dans le rapport. WSP présume raisonnablement que l'information fournie est exacte et WSP n'est pas responsable de l'exactitude ou de l'exhaustivité d'une telle information.

Les valeurs de référence et les élévations utilisées dans le présent rapport servent principalement à établir des différences d'élévation relatives entre les lieux précis des tests ou des échantillonnages et ne devraient pas servir à d'autres fins, telles que le nivellement, l'excavation, la construction, la planification, le développement, etc.

Les conditions générales ne peuvent être extrapolées qu'à une zone limitée non définie autour des sites d'essai et d'échantillonnage. Les conditions que WSP interprète comme présentes entre les points d'essai et d'échantillonnage peuvent différer des conditions réelles. L'exactitude de toute extrapolation et interprétation au-delà des sites d'échantillonnage dépendra des conditions naturelles, de l'historique du développement du site et des modifications apportées par la construction et autres activités. De plus, l'analyse ayant été effectuée pour les paramètres chimiques et physiques ciblés uniquement, il est possible que d'autres espèces chimiques ou conditions physiques soient présentes. WSP se libère de toute responsabilité environnementale non découverte ou des impacts négatifs à l'extérieur du site.

L'original de ce fichier numérique sera conservé par WSP pour une période d'au moins 10 ans. Puisque le fichier numérique transmis à son destinataire n'est plus sous le contrôle de WSP, son intégrité ne peut plus être assurée. Ainsi, WSP ne garantit pas les modifications apportées à ce fichier numérique après sa transmission au destinataire prévu.

Cet énoncé des restrictions est considéré comme faisant partie intégrante du présent rapport.

Citation recommandée :

WSP Canada Inc. (juillet 2021). *Évaluation des risques des effets des changements climatiques sur la patinoire du canal Rideau*. Rapport réalisé pour la Commission de la capitale nationale et le Conseil canadien des normes.

ÉQUIPE DE RÉALISATION

WSP CANADA INC. (WSP)

Gestionnaire de projet et responsable technique	Jean-Philippe Martin, Ph. D.
Ingénieur hydrotechnique et expert en glace de rivière	Simon Nolin, M. Sc., P.Eng.
Analystes de projet	Ena Ristic, MCC Lisa MacTavish, P.Eng.
Assurance-qualité	Elise Paré, P.Eng.
Contrôle de la qualité	Craig Dedels, M. Urb., UPC, MICU

ÉQUIPE DE PROJET CCN

Commission de la capitale nationale	Bruce Devine Carl Langlois Emily Rideout Kelly Symes
Conseil canadien des normes	Marla Desat

GROUPE DE TRAVAIL

Commission de la capitale nationale	Heather Thomson Jean Wolff (ancien employé de la CCN)
-------------------------------------	--

AUTRES COLLABORATEURS

Parcs Canada
Le ministère de l'Environnement
Office de protection de la nature de la vallée Rideau
Ville d'Ottawa
Robert Taillefer, Gardiens des biens capitaux (GBC)
Robert Frederking, Ingénieur chercheur principal émérite, ingénierie des glaces, ingénierie des océans, des côtes et des rivières, Conseil national de recherches Canada

LISTE DES ACRONYMES

DJGA	Degrés-jours de gel accumulés
ERCC	Évaluations des risques liés aux changements climatiques
RCP	Réanimation cardio-pulmonaire
DJF	Décembre, janvier et février
ECCC	Le ministère de l'Environnement
GTNO	Gouvernement des Territoires du Nord-Ouest
GES	Gaz à effet de serre
GPR	Géoradar
ID	Identification
GIEC	Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat
ISO	Organisation internationale de normalisation
PK	Points kilométriques
CCN	Commission de la capitale nationale
RCN	Région de la capitale nationale
ORFA	Ontario Recreation Facilities Association Inc.
PC	Parcs Canada
USP	Unité de salinité pratique
RCP	Representative Concentration Pathways (profils représentatifs d'évolution de concentration)
PCR	Patinoire du canal Rideau
SCT	Secrétariat du Conseil du Trésor du Canada
UNESCO	Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture

ANNEXE

A MISE EN
CONTEXTE



5 IMPORTANCE CULTURELLE

5.1 QUESTIONS D'HISTOIRE

Ouvert en 1832, le canal Rideau a été construit comme alternative au fleuve Saint-Laurent dans l'éventualité d'une guerre (Parcs Canada, 2021). Aujourd'hui, le canal Rideau est un [lieu historique national du Canada](#), une [rivière du patrimoine canadien](#) et un [site du patrimoine mondial de l'UNESCO](#). Il contribue à la beauté, au sentiment d'appartenance et à la vitalité du paysage urbain d'Ottawa. La CCN est étroitement liée au canal Rideau. L'un des premiers projets de la CCN a été la construction de la promenade du canal Rideau, une route panoramique allant de l'avenue Laurier au lac Dow. Elle est connue aujourd'hui sous le nom de promenade Queen Elizabeth.

En 1971, la CCN a lancé la PCR, qui est devenue une expérience emblématique. C'est l'une des plus longues et des plus grandes patinoires naturelles du monde, située au cœur de la région de la capitale nationale (RCN). En effet, lorsque la CCN a publié un sondage régional et national à l'occasion du 150^e anniversaire de la Confédération en 2017, la PCR s'est classée au premier rang des attractions principales, favorites et les plus visitées de la région. Les résultats de ce sondage ont confirmé que le public perçoit la patinoire comme image de marque culturelle de la RCN, région nordique et centre de loisirs d'hiver.

5.2 SITE CLASSÉ AU PATRIMOINE MONDIAL DE L'UNESCO

En 2007, le canal Rideau a été désigné comme site classé au Patrimoine mondial de l'Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture (UNESCO). « Le canal Rideau est un grand canal stratégique construit à des fins militaires qui a joué un rôle crucial dans la défense par les forces britanniques de la colonie du Canada contre les États-Unis d'Amérique, ce qui contribua au développement de deux entités politiques et culturelles distinctes dans le nord du continent américain ce qui peut être considéré comme une période significative de l'histoire humaine.

- Critère (i) : Le canal Rideau reste l'exemple de canal en plans d'eau (slackwater canal) le mieux préservé d'Amérique du Nord, et il illustre l'utilisation à grande échelle de cette technologie européenne en Amérique du Nord. C'est le seul canal datant de la grande époque de construction de canaux en Amérique du Nord, au début du XIX^e siècle, qui soit encore opérationnel sur son parcours initial et qui conserve intactes la plupart de ses structures d'origine.
- Critère (iv) : Le canal Rideau est un exemple de grande envergure, bien préservé et significatif de canal utilisé à des fins militaires et illustrant une période significative de l'histoire humaine, celle de la lutte pour le contrôle du nord du continent américain. (UNESCO, 2007) ».

La patinoire contribue à son titre par sa valeur patrimoniale récréative globale. Le Réseau de rivières du patrimoine canadien la qualifie de « l'une des destinations touristiques hivernales des plus recherchées dans la capitale nationale » (Réseau de rivières du patrimoine canadien, 2020). De plus, le canal offre également une variété de lieux emblématiques et panoramiques incontournables le long de ses rives :

- Du pont Laurier aux écluses d'Ottawa, avec vue sur la colline du Parlement et le Château Laurier.
 - La section de Patterson Creek avec son pont.
 - La section située près du pont de la rue Bank, qui est l'une des premières structures en béton armé à Ottawa et un bien patrimonial.
 - La section la plus au sud, du lac Dow aux écluses Hartwells, qui borde l'Arboretum du Dominion.
-

5.3 PERCEPTION DU PUBLIC

Patiner sur le canal est une expérience que des millions de Canadiens et de visiteurs internationaux ont pu apprécier. Pour son 40^e anniversaire, un article a été consacré à la patinoire dans le Ottawa Citizen :

ANNEXE A

« Il s'agit d'un microcosme de la société canadienne. On peut y voir des gens de partout dans le monde, de tous âges, chauffer leurs patins et faire un pas dans une partie de l'histoire vivante d'Ottawa. Ces scènes à elles seules nous garderont tous éternellement jeunes. » (Imre, 2010).

On peut trouver en ligne des centaines d'avis et de souvenirs d'hivers d'enfance passés à apprendre à patiner sur le canal et à savourer une collation bien méritée ou un chocolat chaud par temps glacial. Les extraits ci-dessous illustrent l'importance de la patinoire pour les habitants et leur fierté de la présenter aux visiteurs :

« Patiner sur le canal Rideau est un rite de passage pour tous les résidents d'Ottawa et un incontournable pour les touristes en hiver. » (Amanda, 2008).

« Je trouverais absurde le fait de ne pas passer par la patinoire lors d'une visite à Ottawa en hiver. Je n'oublierai jamais ma première expérience sur le canal. Lorsque j'ai descendu les marches recouvertes de caoutchouc depuis la route principale jusqu'à la patinoire, je ne savais pas exactement où commençait la glace. Jusqu'à ce que deux patineurs passent devant moi. C'est à ce moment-là que j'ai réalisé l'ampleur du canal, puisque je me tenais directement dessus. » (Devan, 2009).

« J'ai vécu à Ottawa pendant 10 ans, et certains de mes meilleurs souvenirs de la ville sont reliés au patinage sur le canal! » (Deanna, 2012).



Photo reproduite avec l'autorisation de E. Paré, 1980

Dans le contexte des changements climatiques des dernières années, où la qualité de la glace est plus difficile à maintenir et la durée des saisons de patinage se raccourcit, les réactions du public ont été différentes. En général, les utilisateurs récréatifs sont compréhensifs et reconnaissent que l'on ne peut pas faire grand-chose pour contrôler le climat qui crée de mauvaises conditions ou une fermeture. D'autres utilisateurs plus fréquents de la patinoire ont tendance à exprimer sur les médias sociaux leur déception lors des fermetures. Les utilisateurs les plus touchés sont généralement les visiteurs de la région, qui ont parcouru une certaine distance pour faire l'expérience du patinage sur le canal Rideau. La plupart du temps, ces utilisateurs ont eu recours à certaines ressources pour venir dans la région de la capitale nationale. Ils ne sont donc pas en mesure de modifier leurs plans de voyage en fonction de la météo.

L'importance culturelle de la PCR renforce la nécessité de mettre en œuvre des solutions afin de maintenir la patinoire, malgré le réchauffement prévu des températures hivernales. Les habitants et les visiteurs associent la patinoire aux activités récréatives hivernales à Ottawa et attendent la saison avec impatience chaque année. En effet, la saison 2019-2020 marquait la 50^e saison de la PCR, mais également la première où la section du centre-ville, des écluses d'Ottawa au pont Laurier, est restée fermée pendant tout l'hiver. Cette situation a attiré l'attention des médias et a suscité des inquiétudes quant à la baisse du tourisme et, ultimement, des dépenses des visiteurs dans les commerces de détail.

5.4 DONNÉES DÉMOGRAPHIQUES SUR LES UTILISATEURS ET IMPACT ÉCONOMIQUE

5.4.1 DONNÉES DÉMOGRAPHIQUES SUR LES UTILISATEURS

Durant l'hiver 1970-1971, un groupe d'employés de la CCN, sous la direction de son président Doug Fullerton, a dégagé une petite section de glace près du Centre national des Arts à l'aide de pelles et de balais. Cette fin de semaine d'ouverture, 50 000 personnes ont patiné sur le canal, en faisant un succès immédiat. Cinquante ans plus tard, la patinoire accueille en moyenne un million de visiteurs par an (Patowary, 2016).

Le nombre d'utilisateurs varie considérablement en fonction du climat hivernal. L'hiver 2018-2019 a vu un nombre record de 1 493 524 visiteurs patiner sur le canal, en raison d'une saison de patinage de 71 jours (c'est-à-dire le nombre de jours entre la date

ANNEXE A

d'ouverture et la date de fermeture de la saison) qui comprenait 59 jours de patinage – la plus longue enregistrée depuis 13 ans. L'hiver suivant de 2019-2020 s'est avéré l'une des plus mauvaises saisons jamais enregistrées, en raison de températures douces, de pluie et de neige (Britneff, 2020). La Figure 5-1 illustre le nombre estimé de patineurs par hiver sur le canal depuis la saison 1992-1993 (CCN, 2020).

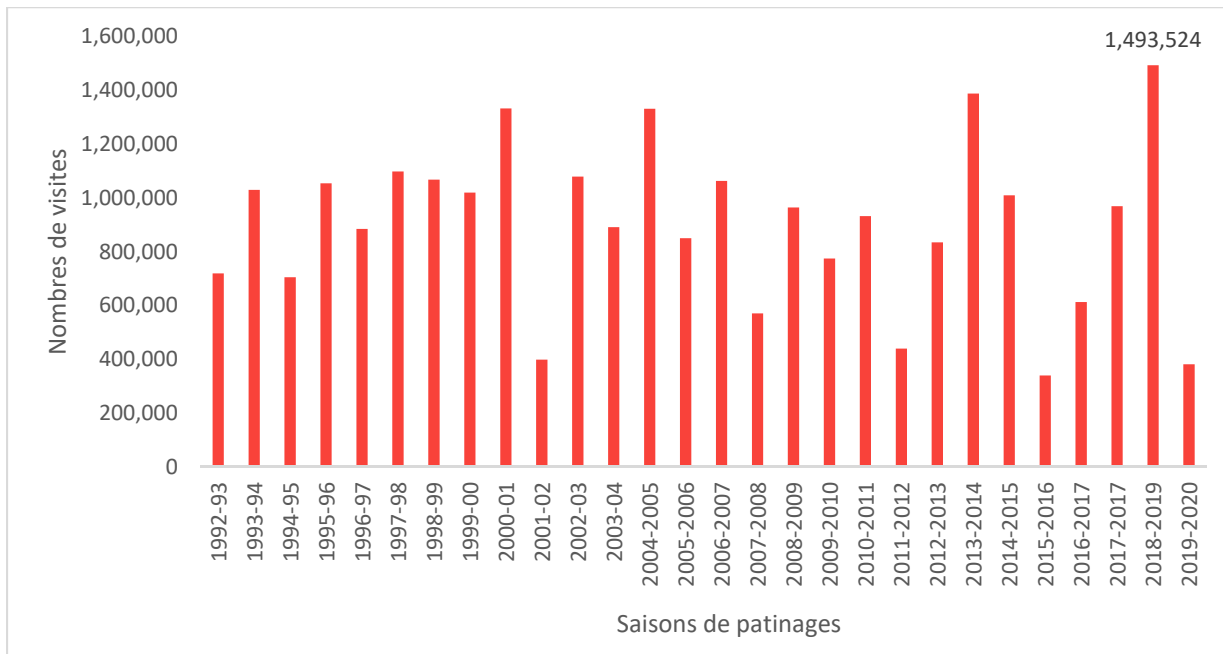


Figure 5-1 : Estimation du nombre de patineurs sur le canal Rideau entre 1992 et 2020 (CCN, 2020)

Lors d'entrevues avec les employés de la CCN, ces derniers ont révélé combien ils étaient fiers que le canal favorise le multiculturalisme. Au cours des 59 dernières années, plusieurs événements ont été organisés afin de célébrer la culture nationale et internationale. Le Bal de Neige est un événement récurrent important que la CCN a créé en 1979 pour célébrer la culture et le climat nordiques uniques du Canada. En 1983, les organisateurs du Bal de Neige ont ajouté une composante internationale au festival avec la création d'une sculpture de neige conçue par des artistes italiens. L'année suivante, le Bal de Neige a accueilli sa première compétition internationale avec l'arrivée de 400 patineurs néerlandais, une tradition qui se poursuit encore aujourd'hui, avec à la fois des patineurs et des sculpteurs sur glace et sur neige du monde entier participant à diverses compétitions (Cultural Heritage, 2020). Entre la patinoire et le Bal de Neige, ces deux attractions attirent de nombreux visiteurs venus d'ailleurs : on estime que 85 % des visiteurs viennent de l'extérieur de la ville, et environ 30 % d'entre eux de l'extérieur de la région (Sims, 1998, CTV News, 2019).

Il est important de noter que la CCN n'organise plus le Bal de Neige, qui est maintenant présenté par le ministère du Patrimoine canadien. Le festival travaille à diminuer sa dépendance à la PCR, en prévision de l'évolution des conditions climatiques.

5.4.2 IMPACT ÉCONOMIQUE

Le patinage sur le canal Rideau est une activité gratuite qui attire des milliers de visiteurs chaque année et contribue à l'économie locale de la région (Tourisme Ottawa, 2020). Une étude réalisée en 2003 a révélé que 75 % des visiteurs interrogés ont affirmé que la patinoire avait joué un rôle important dans leur décision de visiter la RCN (Fiche d'information sur la patinoire du canal Rideau, 2006). Ces visites coïncident notamment avec le Bal de Neige, un festival d'hiver annuel qui se tient à Ottawa-Gatineau et dont la PCR est la principale attraction. Alors que la CCN a créé le Bal de Neige en 1979 pour célébrer la culture et le climat nordiques uniques du Canada, la responsabilité de son organisation a été transférée au ministère du Patrimoine canadien en 2013 (Canada, 2021).

Le Bal de Neige se tient durant trois fins de semaine, généralement entre la mi-janvier et la fin février. Il s'agit d'un moteur économique essentiel pour les entreprises locales, qui confirment avoir constaté une augmentation des recettes dans le secteur de la restauration, des hôtels et villégiatures, des transports et de la vente de souvenirs. En 2014, la CCN a estimé que 650 000 visiteurs se rendraient dans la capitale nationale pour la 32^e édition du Bal de Neige. Une étude économique réalisée en 2004 a estimé que les visiteurs du festival ont dépensé 152 millions de dollars en Ontario et au Québec, dont 82,5 millions à Ottawa (CTV News, 2010). Ces

ANNEXE A

chiffres sont conformes à ceux d'un rapport légèrement antérieur présenté en 2003 au Comité des services corporatifs et du développement économique, qui estimait que l'impact économique du Bal de Neige sur la région était de 143 500 000 \$ (grâce à des dépenses directes de 56 500 000 \$) (Kirkpatrick, 2003). Les retombées économiques directes du Bal de Neige ont été évaluées à environ 68 millions de dollars en 2013, selon le premier vice-président de l'époque, Guy Laflamme (Roche, 2013).

L'Administration du tourisme et des congrès d'Ottawa a soulevé le fait que le festival du Bal de Neige est « l'événement le plus important qui attire les gens dans la communauté en hiver et fait de la ville d'Ottawa une destination hivernale » (Sims, 1998). Kathryn Keyes, conseillère en relation avec les médias de la CCN, note que les zones qui devraient rapporter le plus d'argent sont celles qui se trouvent près des principaux sites du festival, notamment le marché By et le lac Dow. Les zones plus éloignées du canal connaîtront tout de même des augmentations modérées, les visiteurs dépensant pour les hôtels et villégiatures à l'extérieur du centre (Li, 2007).

Les conditions météorologiques ont eu un impact important sur les dépenses des visiteurs de la région, qui sont plus susceptibles de visiter la patinoire et le festival de façon spontanée, alors que les visiteurs de l'extérieur doivent souvent réserver leur hébergement des semaines à l'avance (CBC News, 2020). Comme mesure d'adaptation précoce en réponse aux conditions météorologiques variables, le Bal de Neige a diversifié ses offres et déplacé les événements hors du canal, notamment le populaire concours annuel de sculpture sur glace qui se tient maintenant au marché By (Jay, 2019).

5.5 OPÉRATIONS

5.5.1 PRATIQUES OPÉRATIONNELLES



Figure 5-2 : La nouvelle installation de drainage près du pont Laurier. Photo de gauche tirée de Larocque et Pringle (2020). La photo de droite est reproduite avec l'autorisation de la CCN.

Environ six semaines avant le début de la saison, le niveau d'eau du canal Rideau est abaissé à son minimum pour permettre la préparation du site. Il s'agit notamment d'installer diverses infrastructures de soutien et de raccorder les bâtiments aux systèmes de plomberie et d'électricité avant d'élever l'eau jusqu'au niveau de patinage. Une autre activité menée au cours de cette phase est l'installation d'un système personnalisé d'atténuation de l'écoulement des eaux pluviales (Figure 5-2) pour détourner les plus chaudes loin des zones de patinage. En 2020, une troisième conduite a été ajoutée pour détourner le trop-plein au centre du canal Rideau et favoriser l'épaississement de la glace dans les sections allant de la rue Rideau au pont Laurier (Larocque et Pringle, 2020).

Entre la troisième semaine de novembre et le début de décembre, PC augmente le niveau d'eau dans le canal à environ deux pieds sous le niveau de navigation en été. PC installe également un batardeau en amont de l'écluse n° 8 d'Ottawa, près du Château Laurier, pour contrôler le niveau d'eau durant l'hiver. Le débit entrant dans le canal est contrôlé par les écluses, ce qui limite la variation du niveau d'eau en hiver et stabilise le couvert de glace. La vitesse de l'eau le long du canal est généralement faible, ce qui favorise la formation de glace thermique. Dans ce contexte, la glace sur le canal s'apparente à la glace d'un lac.

Lorsque l'eau a atteint le niveau de patinage établi, la deuxième phase de présaison consiste à former la glace. Dès qu'un couvert de glace minimal est présent, que la température nocturne descend en dessous de $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ pendant un minimum de cinq jours consécutifs et que la température de jour reste inférieure à $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$, l'équipe des opérations commence le processus d'arrosage de la glace pour accélérer son épaississement. Cette étape consiste à pomper une couche d'eau de 2,5 cm au-dessus de la glace, en partant du principe que l'eau gèlera plus rapidement au contact de la température de l'air lors des vagues de froid. Ce processus se poursuit jusqu'à ce que la glace ait une épaisseur minimale de 20 cm – suffisante pour supporter le poids des machines d'entretien de la neige et pour permettre l'installation des équipements sur la glace. Dès que l'épaisseur de la glace atteint 30 cm, les patineurs sont les bienvenus.

ANNEXE A

L'épaisseur et la qualité de la glace sont mesurées à l'aide de carottes extraites dans chaque section de la PCR (Figure 5-3), ainsi que par des relevés de géoradar qui permettent d'étudier les variations à microéchelle du couvert de glace.

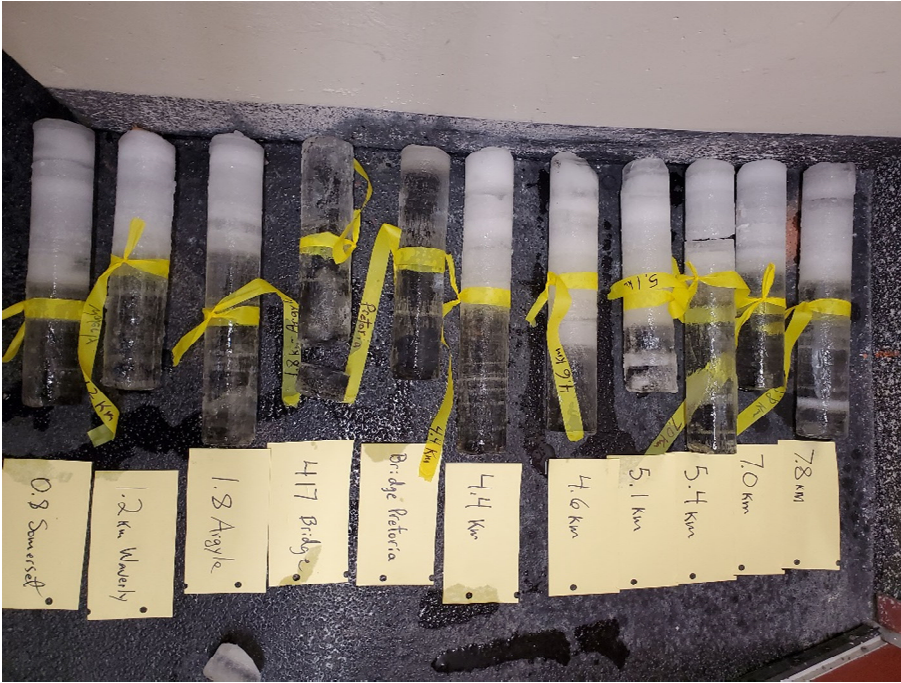


Figure 5-3 : Carottes de glace prélevées à différents endroits le long de la PCR, qui illustrent la variabilité de l'état de la glace (glace blanche vs glace noire) et de son épaisseur.

Pendant la saison de patinage, l'entretien de la PCR est effectué tous les soirs (qu'elle soit ouverte ou non). Il s'agit principalement d'effectuer un suivi de la glace, le resurfaçage, la création de glace par des arrosages intenses pendant les vagues de froid ainsi que le déneigement et la gestion de la neige.

En termes de sécurité, la CCN utilise un système de drapeaux pour indiquer l'état de la PCR. Le drapeau vert signifie que les conditions sont passables ou bonnes, mais que la prudence est toujours de mise lors du patinage. Le drapeau rouge signifie que la PCR est fermée et que les conditions ne sont pas sécuritaires. La PCR possède sa propre patrouille de patineurs formés aux premiers soins et à la RCP (réanimation cardio-pulmonaire).

5.5.2 LIGNES DIRECTRICES ET PRATIQUES EXEMPLAIRES

L'équipe d'exploitation de la PCR s'est appuyée sur les directives en matière de sécurité des glaces établies par le Dr Nirmal Sinha, anciennement du Conseil national de recherches Canada, un chef de file mondial dans la science des glaces. Vous trouverez ci-dessous les pratiques exemplaires et les lignes directrices générales pour l'exploitation des plans d'eau naturels extérieurs et la sécurité du personnel et des visiteurs. Ces renseignements ont été fournis par la CCN, le document « Risk Management Considerations for Outdoor Skating Rinks » du Centre d'excellence en gestion des risques et le document « Guidelines for Creating and Maintaining Outdoor Ice » de l'Ontario Recreation Facilities Association Inc (ORFA) (Centre d'excellence, 2020, ORFA, 2007). Il est à noter que ces pratiques sont déjà mises en œuvre par le personnel de la CCN.

Gestion de la neige :

- La neige doit être retirée de la patinoire à l'aide d'une pelle après chaque chute et lorsque l'épaisseur de la glace le permet, afin de garantir des conditions de surface sécuritaires et uniformes, de réduire le poids et de diminuer l'effet isolant.

Équipement :

- Un éclairage suffisant autour de la PCR doit être présent en tout temps et en bon état de fonctionnement pour le patinage de nuit.
- Des bancs doivent être fournis pour que les utilisateurs puissent se reposer et chausser ou déchausser leurs patins.

ANNEXE A

- Des poubelles doivent être disponibles afin d'éviter que les déchets ne soient laissés sur la glace et se retrouvent ensuite dans le canal.
- Les équipements d'arrosage, tels que le « Froster »², les pelles et les flexibles d'arrosage, doivent être facilement accessibles et stockés de façon sécuritaire.
- La glace doit être suffisamment stable pour supporter le poids de l'équipement.

Arrosage :

- Arroser aussi souvent que nécessaire et que le permettent les conditions météorologiques pour maintenir une surface de glace lisse et sécuritaire.
- Ne pas arroser la surface de glace s'il neige ou si de la neige est déjà présente. Cela peut produire des surfaces inégales et potentiellement dangereuses lors du gel.
- Effectuer des inspections de la glace et retirer tout débris ou neige avant l'arrosage.
- Ne pas arroser les jours de froid extrême (sous -20 °C) pour éviter les fissures de glace et les ébullitions.

Épaisseur et conditions de la glace :

- S'assurer que l'épaisseur minimale de la glace est de 30 cm et qu'elle est claire et de bonne qualité.
- Surveiller fréquemment l'épaisseur, la qualité et le mouvement vertical de la glace, principalement par temps chaud.
- Les inspections doivent être documentées, y compris les réparations ou l'entretien qui doivent être effectués.

Dangers

- Inspecter et réparer immédiatement toutes les sources de dangers, y compris :
 - Les fissures.
 - Les ventres de bœuf.
 - L'eau exposée.
 - Les surfaces de glace morcelées.
 - Les copeaux de glace.

Signalisation :

- Une signalisation doit être mise en place autour de la patinoire, comprenant des informations sur :
 - Les heures d'opération.
 - Le code de conduite.
 - Si la patinoire est ouverte ou fermée au public (signalé sur le canal par un drapeau vert ou rouge).
 - Les autorisations ou interdictions d'alcool.
 - Les recommandations en matière de casques.
 - La surveillance des enfants.
 - L'emplacement des stations médicales.
 - Tout autre avertissement.

5.5.3 RÉGIME DE LA GLACE

Le régime et les propriétés de la glace sur le canal Rideau sont influencés par de multiples facteurs, tant naturels qu'anthropiques, qui sont résumés dans le Tableau 5-1. Cette section décrit le régime de la glace et les conditions hydrauliques s'y rattachant sur le canal. L'analyse est basée sur les informations disponibles et une compréhension générale des processus de la glace.

² Le « Froster » est une surfaceuse de glace qui a révolutionné l'entretien de la PCR en 2011.

ANNEXE A

La glace se développe principalement de façon thermique au début de l'hiver, suivant l'arrosage du canal. Les premiers processus de gel sont principalement déterminés par les conditions naturelles. Lorsque le couvert de glace s'est formé sur le canal, l'échange de chaleur entre l'air et l'eau devient limité. Le bilan thermique de l'eau du canal est alors déterminé par les débits entrants et les drains des eaux pluviales, ainsi que par l'échange de chaleur avec le sol dans une moindre mesure. En hiver, l'eau qui pénètre dans le canal au niveau des écluses de Hogs Backs passe par des vannelles situées près du fond.

La variation du débit en hiver est limitée par les écluses en amont. Toutefois, le dégel et les pluies au milieu de l'hiver peuvent augmenter les débits entrants de la rivière Rideau et de ses affluents. Des eaux plus chaudes et plus salées peuvent pénétrer dans le canal pendant ces événements. Les événements survenant au milieu de l'hiver, comme la pluie et les températures moins basses, peuvent modifier le couvert de glace en faisant fondre et en inondant la surface de la glace. L'eau sur le dessus de la glace est bien évidemment non souhaitable pour le patinage, et peut également créer une surface irrégulière lorsqu'elle gèle à nouveau. La neige abondante ajoute du poids sur la glace, qui a tendance à s'enfoncer et à plier le couvert, créant ainsi des fractures de tension. Ces fractures peuvent à leur tour faire remonter l'eau à la surface. Les équipes d'entretien travaillent pour limiter l'impact des événements survenant au milieu de l'hiver. Toutefois, une fermeture temporaire pendant l'hiver est toujours possible.

L'importante activité de patinage et les opérations d'entretien génèrent des charges et des contraintes sur le couvert de glace. Par exemple, les rassemblements peuvent créer une charge ponctuelle ainsi que des fractures locales (Sinha, 1985). Les véhicules d'entretien peuvent également créer des tensions lorsqu'ils se déplacent ou s'immobilisent sur la glace.

La saison de patinage se termine lorsque l'état de la glace devient irrémédiablement non sécuritaire.

Tableau 5-1 : Facteurs influençant le régime de la glace sur le canal Rideau

Type	Critère
Naturel	<ul style="list-style-type: none">— Température de l'air— Précipitations (pluie et neige)— Énergie éolienne— Rayonnement solaire
Anthropique	<ul style="list-style-type: none">— Contrôle du niveau d'eau et du débit entrant aux écluses de Hogs Back et de Hartwells— Contrôle du niveau d'eau et du débit sortant aux écluses d'Ottawa— Affluents et débits entrants des drains d'eaux pluviales— Opérations d'entretien hivernal— Activités de patinage

5.5.4 CHRONOLOGIE

L'hiver glaciologique est la période pendant laquelle la glace est présente sur le canal Rideau. Il commence au gel et se termine lorsque la glace a complètement disparu.

L'entretien de la glace représente la période pendant laquelle la CCN travaille à maintenir ou à améliorer les conditions de glace de la PCR. Actuellement, cette période commence avec le premier arrosage de la glace et se termine lorsque les conditions de patinage deviennent irrémédiablement non sécuritaires. Les objectifs des opérations d'entretien de la glace sont les suivants :

- Lisser la surface de la glace pour garantir des conditions de patinage de haute qualité.
- Retirer la neige de la PCR pour réduire la charge morte sur le couvert, augmenter l'échange thermique eau/air, limiter le potentiel de fonte de la neige sur la glace et faciliter les opérations de lissage de la glace.
- Augmenter l'épaisseur de la glace en ajoutant et en gelant de l'eau sur le couvert de glace existant.

La saison de patinage correspond aux périodes pendant lesquelles la PCR est ouverte au public. C'est également la période pendant laquelle les conditions de patinage sont considérées comme adéquates et sécuritaires. Par définition, la saison de patinage est plus courte que l'hiver glaciologique et que la période d'entretien de la glace. Elle commence quand la glace devient épaisse et se termine quand elle devient trop fine, trop fracturée ou trop inondée. La PCR peut être fermée temporairement pendant la saison lorsque les conditions de patinage deviennent inadéquates ou non sécuritaires.

La Figure 5-4 illustre la chronologie d'une saison de patinage typique.

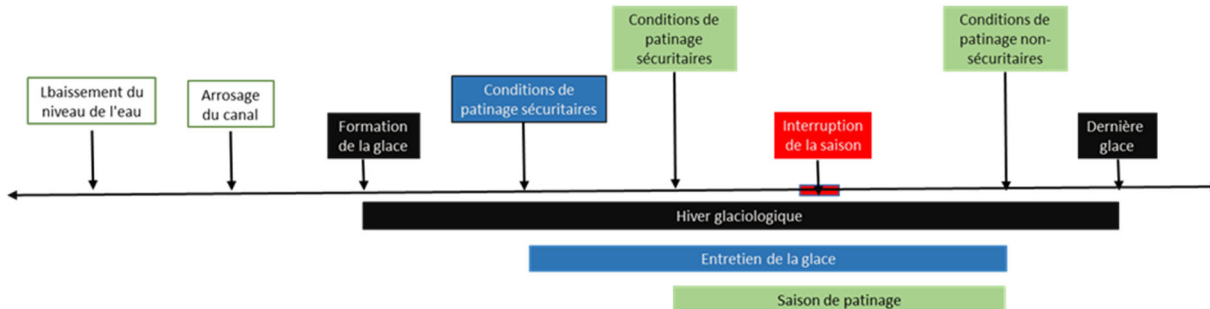


Figure 5-4 : Chronologie d'une saison de patinage typique sur le canal Rideau

5.6 TENDANCES LIÉES AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES

Les projections climatiques suivantes sont tirées des rapports « *Projections climatiques pour la région de la capitale nationale, Résumé* » (CCN et al., 2020a) et « *Projections climatiques pour la région de la capitale nationale Volume 1 : Résultats et interprétation des principaux indices climatiques* » (CCN et al., 2020 b, disponibles au <https://ccn-ncc.gc.ca/nos-plans/initiative-de-la-ccn-sur-ladaptation-aux-changements-climatiques>). Les projections générales sont présentées pour trois horizons temporels : les années 2030 (2011 à 2040), les années 2050 (2041 à 2070) et les années 2080 (2071 à 2100). Deux scénarios d'émissions de gaz à effet de serre (GES) ont été envisagés : un scénario d'émissions modérées (RCP4.5, diminution des émissions de GES d'ici les années 2040) et un scénario d'émissions élevées (RCP8.5, augmentation régulière des émissions de GES jusqu'à la fin du siècle, souvent appelé scénario « statu quo »). Ces projections seront présentées en comparaison avec les années de référence historiques de 1981 à 2010. Les paramètres climatiques présentés ci-dessous concernent les activités de patinage extérieur sur le canal Rideau.

Les chiffres présentés ci-dessous représentent des moyennes sur 30 ans. Toute année donnée peut présenter des valeurs supérieures ou inférieures en raison de la variabilité climatique d'une année sur l'autre.

Remarque : Dans les sections suivantes, les deux valeurs indiquées pour chaque indicateur climatique (par exemple [8,2, 9,3] °C) ne représentent pas des fourchettes, mais bien les valeurs moyennes pour les scénarios d'émissions modérées (RCP4.5) et élevées (RCP8.5) respectivement. Lorsqu'une diminution est prévue, par exemple pour la quantité de neige, la deuxième valeur sera inférieure à la première.

5.6.1 TEMPÉRATURE

Dans l'ensemble, on prévoit que les hivers dans la région de la capitale nationale deviendront plus courts et plus chauds selon les deux scénarios d'émissions prévus [RCP4.5, RCP8.5]. La température annuelle moyenne devrait passer d'un niveau de référence historique de 6,1 °C à [7,5, 7,9] °C dans les années 2030, [8,2, 9,3] °C dans les années 2050 et [8,8, 11,4] °C dans les années 2080. Bien que cela englobe une augmentation des températures élevées le jour et des températures plus basses la nuit, ces dernières devraient augmenter plus rapidement. Cela pourrait annoncer une diminution de la fréquence et de l'intensité des froids extrêmes, qui se produisent le plus souvent pendant la nuit.

La température historique mensuelle la plus basse pour le mois de janvier a été en moyenne de -30,0 °C. Selon les prévisions, elle devrait passer à [-26,2, -26,9] °C dans les années 2030, [-22,9, -25,2] °C dans les années 2050 et [-18,2, -23,4] °C dans les années 2080. Cela représente une augmentation d'environ 6,6 à 11,8 °C d'ici les années 2080 (Figure 5-5).

ANNEXE A

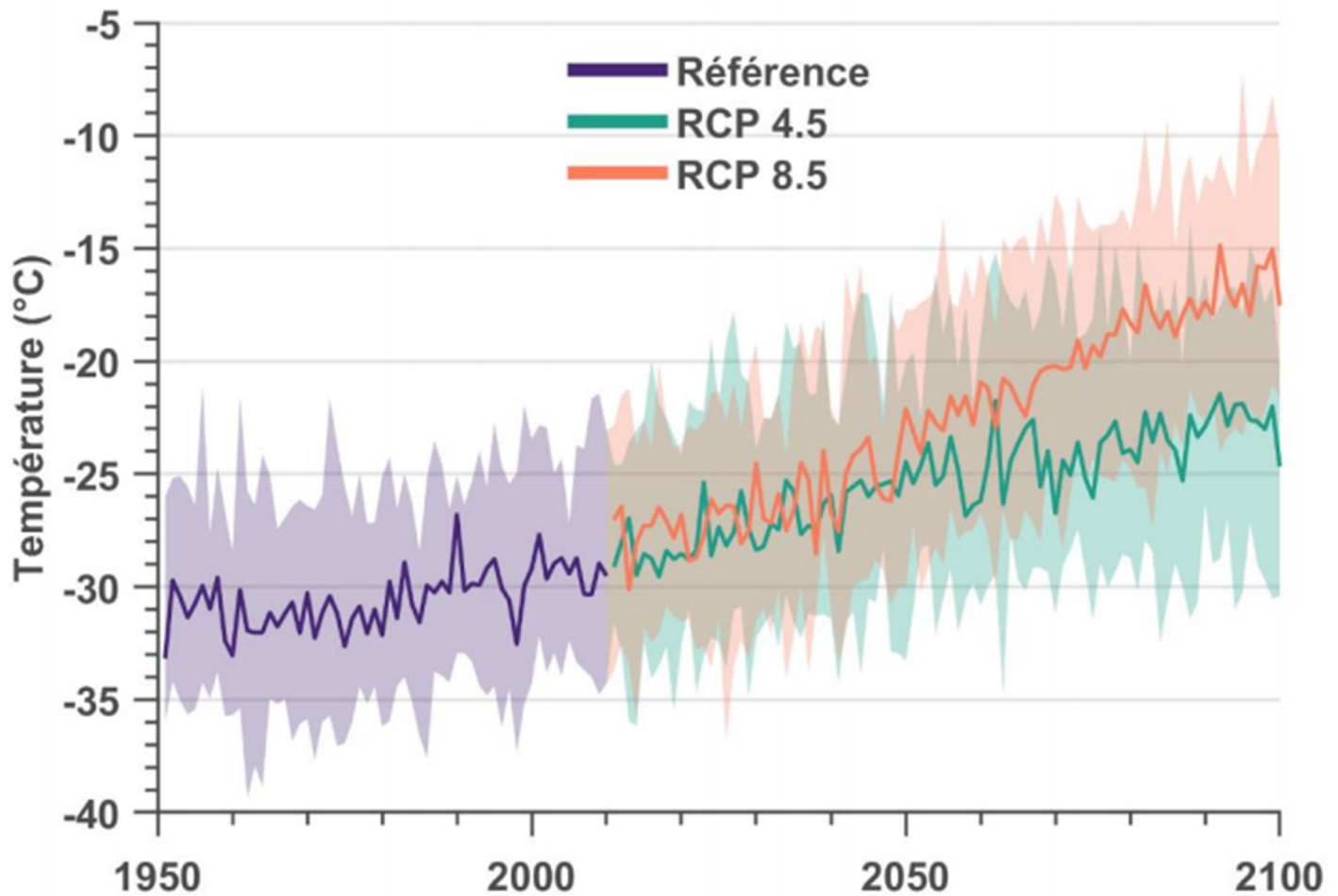


Figure 5-5 : Température mensuelle la plus basse – janvier (CCN et al., 2020)

Cette augmentation aura également un impact sur le nombre d'événements appelés « gel profond », c'est-à-dire le nombre de jours où la température minimale quotidienne est inférieure à -10 °C. Ces événements devraient passer d'environ 71 jours par an dans le scénario de référence à environ [57, 59] jours dans les années 2030, [46, 53] jours dans les années 2050 et [28, 48] jours dans les années 2080.

Les modèles prévoient que les températures hivernales futures seront autour de 0 °C plus fréquemment. En conséquence, le nombre de cycles de gel-dégel d'hiver devrait passer d'environ 24 jours dans le scénario de référence à environ [27, 28] jours dans les années 2030, [30, 32] jours dans les années 2050 et [32, 37] jours dans les années 2080.

5.6.2 CHANGEMENTS DANS LA DURÉE ET LA PÉRIODE DE L'HIVER

L'hiver, défini ici comme la période de décembre à février, devrait commencer plus tard et se terminer plus tôt. La date du premier gel à l'automne, qui représente le premier jour où les températures minimales journalières tomberont en dessous de 0 °C, passera de fin septembre/début octobre à mi-octobre, soit environ [1, 2] semaines plus tard dans les années 2030, [2, 3] semaines plus tard dans les années 2050 et [3, 4] semaines plus tard dans les années 2080. La date du dernier gel au printemps, qui représente le dernier jour où les températures minimales quotidiennes sont inférieures à 0 °C, devrait survenir plus tôt, soit environ [1, 2] semaines plus tôt dans les années 2030 et 2050, et [2, 4] semaines plus tôt dans les années 2080, par rapport à la période de référence.

5.6.3 PRÉCIPITATIONS ET CHUTES DE NEIGE

Les modèles illustrent une augmentation prévue des précipitations totales pour tous les mois, sauf l'été. Les précipitations annuelles totales dans la RCN devraient passer d'environ 921 mm dans la période de référence à environ [949, 968] mm dans les années 2030, [979, 993] mm dans les années 2050 et [983, 1 028] mm dans les années 2080. Aucun changement n'est prévu dans la fréquence des jours de pluie ou des précipitations, mais une augmentation de l'intensité des précipitations est prévue. Le nombre de jours avec des précipitations de plus de 20 mm devrait passer d'environ 6 jours dans la période de référence à 7 jours dans les années 2030, 8 jours dans les années 2050 et [8, 9] jours dans les années 2080.

Malgré une augmentation des précipitations totales, on prévoit une diminution des chutes de neige totales. Une diminution des chutes de neige annuelles totales est prévue dans la RCN, passant d'environ 223 cm dans la période de référence à [193, 201] cm dans les années 2030, [179, 184] cm dans les années 2050 et [124, 154] cm dans les années 2080. Cela représente une diminution de 31 à 44 % d'ici les années 2080 (Figure 5-6).

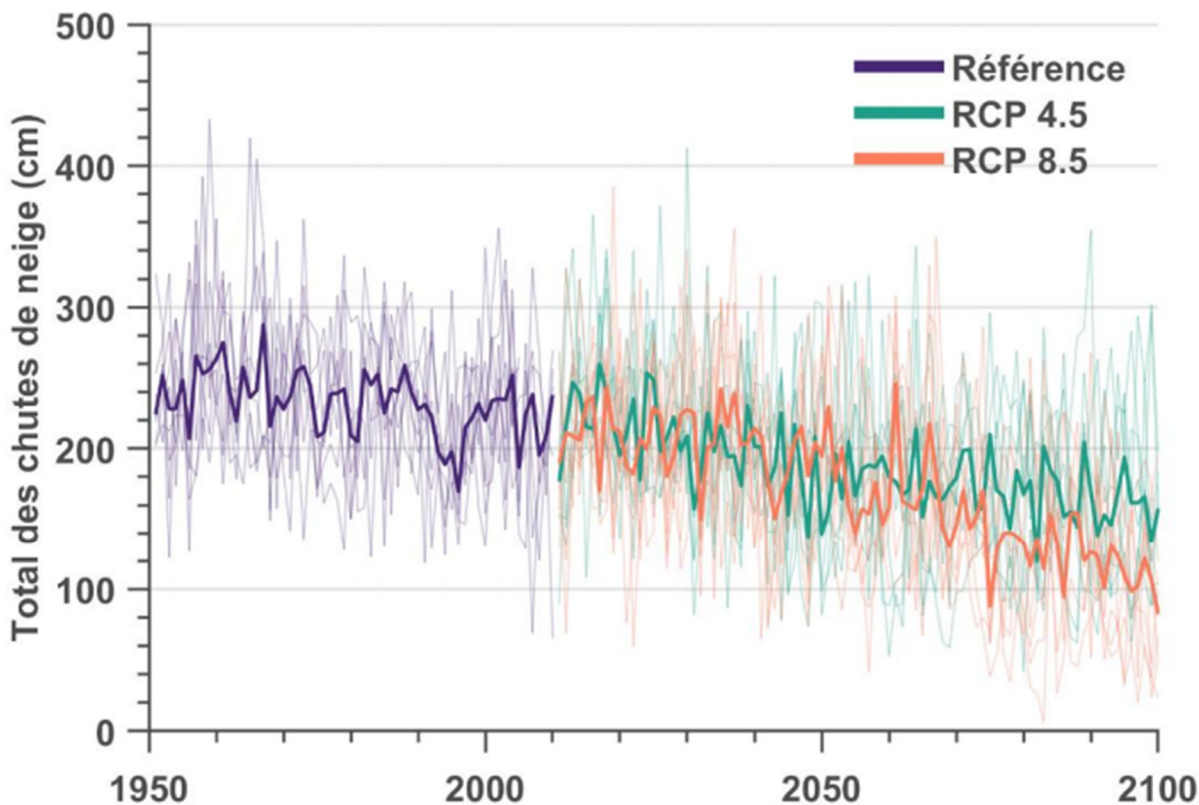


Figure 5-6 : Chutes de neige annuelles totales (CCN et al., 2020)

La première chute de neige (égale ou supérieure à 1 cm) devrait se produire environ une semaine plus tard dans les années 2030, deux dans les années 2050, et [2, 3] semaines plus tard dans les années 2080 par rapport à la période de référence. La dernière chute de neige (définie comme la dernière date du printemps où la chute de neige est égale ou supérieure à 1 cm) devrait se produire environ [0, 1] semaines plus tôt dans les années 2030, [0, 2] semaines plus tôt dans les années 2050 et [1, 3] semaines plus tôt dans les années 2080 par rapport à la période de référence. Le nombre de jours de chutes de neige (défini comme le nombre de jours où la chute est égale ou supérieure à 1 cm) devrait passer d'une diminution d'environ 41 jours dans la période de référence à environ 37 jours dans les années 2030, [32, 33] jours dans les années 2050 et [21, 31] jours dans les années 2080. Les projections moyennes suggèrent que les chutes de neige annuelles d'un jour maximum passeront d'environ 20 cm dans la période de référence à [20, 21] cm dans les années 2030, [20, 22] cm dans les années 2050 et [16, 20] cm dans les années 2080. L'épaisseur maximale annuelle de la neige devrait passer d'environ 59 cm dans la période de référence à [48, 50] cm dans les années 2030, [40, 45] cm dans les années 2050 et [29, 42] cm dans les années 2080.

ANNEXE A

Il convient de noter que les précipitations extrêmes ainsi que leur intensité sont difficiles à projeter et présentent un plus grand degré d'incertitude.

5.6.4 VENT ET REFROIDISSEMENT ÉOLIEN

Aucune tendance détectable dans les changements moyens pour la distribution annuelle des vitesses de vent n'est présente. Le refroidissement éolien, un calcul combinant les températures basses extrêmes et le vent et désigné ici comme le nombre de jours où le refroidissement éolien est compris entre -25 °C et -35 °C , devrait passer d'environ 17 jours dans la période de référence à [8, 11] jours dans les années 2030, [5, 6] jours dans les années 2050 et [1, 5] jours dans les années 2080. Il convient de noter que les régimes de vent sont difficiles à projeter et présentent un plus grand degré d'incertitude.

ANNEXE

B

CONTENU ET BASE
DE DONNÉES DE
L'ANALYSE
DOCUMENTAIRE
COMPLÉMENTAIRE

6 NORMES RÉVISÉES

Les normes internationales et canadiennes adoptées dans le domaine de l'évaluation des risques sont pertinentes pour la PCR dans la mesure où elles fournissent des méthodologies, des outils et des conseils pour cerner et traiter les risques. Les normes de l'Organisation internationale de normalisation (ISO) 31 000 et de la Commission électrotechnique internationale (CEI)/ISO 31010 peuvent être adoptées par la CCN lors de l'évaluation et de la surveillance des risques pour la PCR. Les normes ISO 14090 et 14091 pour l'adaptation aux changements climatiques sont pertinentes pour les opérations de la PCR dans la mesure où elles fournissent des informations aux décideurs sur la façon d'évaluer les impacts des changements climatiques sur les opérations, de préparer un plan d'adaptation au climat, de mettre en œuvre les stratégies s'y rattachant et de suivre et évaluer le succès des projets d'adaptation au climat. Ces normes sont également utiles pour encadrer le projet d'évaluation des risques climatiques en présentant des concepts fondamentaux pour ce travail, notamment l'intégration de l'adaptation au climat dans l'ensemble de l'organisation et des opérations, l'incorporation de l'atténuation du climat aux côtés des mesures d'adaptation, l'application d'une perspective de pensée systémique à l'opération et à son interaction avec la communauté et les parties prenantes, la transparence et la responsabilisation (ISO, 2019). Utilisées de concert avec les données particulières au site et les pratiques exemplaires internationales pour l'évaluation des risques climatiques et les mesures d'adaptation des installations récréatives de patin sur glace, ces normes fourniront à la CCN une évaluation solide des risques de la PCR.

ISO prépare actuellement une norme pour l'évaluation des risques pour les installations et équipements sportifs et autres activités récréatives (ISO/WD 4980), qui pourrait fournir des informations pertinentes pour la CCN si elle inclut les installations de patinage extérieur et les changements climatiques. La recherche utilisée pour renseigner cette norme pourrait également constituer une ressource importante pour la CCN.

D'autres normes internationales et canadiennes sont pertinentes pour les activités de la PCR, mais ne sont pas directement liées au travail actuel d'évaluation des risques climatiques. Les normes relatives à l'exploitation des installations d'activités récréatives extérieures, à la mesure du débit d'eau sous la glace, à la gestion des structures patrimoniales, etc., pourraient devoir être citées en référence lorsque les changements d'exploitation commencent à se produire. Elles ne sont toutefois pas essentielles pour renseigner cette étape de l'évaluation des risques climatiques sur la patinoire. Cet examen comprenait une recherche de normes internationales relatives aux installations récréatives de patinage sur glace, qui a fourni quelques résultats aux États-Unis, en Chine et en Allemagne, dont aucun n'était en source ouverte au moment de cette étude. Au Canada, des normes d'exploitation, d'utilisation et d'entretien des routes de glace ont été préparées par les gouvernements provinciaux et territoriaux, l'Association des transports du Canada et autres organismes (Barrette, 2015). Ces documents fournissent de nombreux détails sur la formation, la qualité et les exigences des routes de glace, et proposent certaines mesures d'adaptation aux changements climatiques pour ces dernières qui pourraient être pertinentes pour la CCN.

6.1 PROCESSUS DE FORMATION DE LA GLACE

Cette section décrit les processus généraux de formation de la glace qui se produisent sur un lac ou un plan d'eau calme, comme le canal Rideau.

6.1.1 FORMATION

Les lacs se refroidissent de haut en bas par temps froid, lorsque l'eau de surface perd de la chaleur, devient plus dense et s'enfonce. Ce processus se poursuit jusqu'à ce que toute l'eau du lac atteigne 4 °C, lorsque la densité de l'eau est à son maximum. Avec un refroidissement supplémentaire (et sans mélange mécanique), une couche d'eau stable et plus légère se forme à la surface. Lorsque cette couche se refroidit jusqu'à son point de congélation, la glace commence à se former à la surface (Ashton, 1986).

La première glace peut apparaître dans un lac de deux façons. La première concerne l'eau à la surface d'une masse d'eau calme ou se déplaçant lentement qui passe de l'état liquide à l'état solide (c'est-à-dire la nucléation primaire). La seconde consiste à faire tomber des particules de neige ou de glace atmosphérique sur la surface de l'eau (nucléation secondaire).

L'une des façons les plus simples de créer un couvert de glace sur un plan d'eau est la nucléation secondaire, les particules de glace provenant de l'atmosphère lorsque l'eau est proche du point de congélation. Dans un lac ou un plan d'eau calme, une forte chute de neige engendre souvent la formation d'un couvert de glace lorsque les particules de neige flottantes regèlent à la surface, même si la température de l'eau de surface n'est pas au point de congélation pendant cette chute (Michel, 1978).

ANNEXE B

6.1.2 CROISSANCE

La formation de glace se poursuit lorsque les températures de l'air en surface deviennent suffisamment basses pour permettre la congélation de l'eau sous la couche de glace. Les cristaux se développent vers le bas dans la colonne d'eau par un processus appelé congélation et donnant lieu à la glace de congélation (Ashton, 1986).

Un couvert de glace typique se compose de glace de neige (secondaire) au-dessus d'une couche de glace de lac (primaire). L'eau s'infiltre dans la neige pour former la glace de neige de plusieurs façons. La neige déposée sur une mince couche de glace peut abaisser la glace, permettant à l'eau du lac de monter par les fissures et les trous dans la couverture de neige, qui devient alors de la neige fondante et forme de la glace de neige en gelant. La pluie et la neige fondante peuvent s'infiltrer vers le bas et geler à nouveau dans les niveaux inférieurs d'un manteau neigeux non consolidé.

6.1.3 DÉGRADATION

La dégradation de la glace de lac commence lorsque la couverture de neige sur la glace fond, formant des mares d'eau et diminuant l'albédo de la surface supérieure (Ashton, 1986). Pendant la dégradation, la glace fond généralement de façon simultanée sur les surfaces supérieure et inférieure. À un certain moment, le couvert de glace devient suffisamment faible pour être physiquement brisé par les forces du vent ou les courants d'eau.

6.1.4 REJET THERMIQUE

Le rejet thermique signifie l'eau chaude qui pénètre dans un plan d'eau. En hiver, les rejets thermiques augmentent non seulement la température de l'eau, mais modifient également la quantité de glace qui se formerait autrement, la plupart du temps de façon inférieure. L'eau chaude libérée dans un lac peut supprimer le couvert de glace en le faisant fondre ou en empêchant sa formation initiale.

6.2 CHANGEMENTS CLIMATIQUES ET FORMATION DE GLACE DANS DIFFÉRENTS CONTEXTES

6.2.1 LACS

De nombreuses recherches ont été menées à l'échelle nationale et internationale sur les impacts historiques et projetés des changements climatiques sur l'écologie et l'hydrologie, ainsi que les impacts socio-économiques sur les lacs et les systèmes lacustres. Les tendances projetées pour la température de l'air et la couverture de neige dans l'hémisphère Nord suggèrent que la durée du couvert de glace saisonnier continuera de diminuer (Shter et al., 2013, Yao et al., 2014, Magee et Wu, 2017, Hewitt et al., 2018, Sharma et al., 2019). Dans la région arctique, les principaux changements hydrologiques causés par les changements climatiques qui ont un impact sur la formation de la glace de lac comprennent des modifications des faibles débits, des régimes d'évaporation des lacs et des niveaux d'eau (Prowse, 2011).

6.2.2 RIVIÈRES

Les recherches sur les rivières arctiques ont révélé que les principaux impacts hydrologiques sur les rivières comprennent des modifications des faibles débits, des régimes d'évaporation des lacs et des niveaux d'eau, ainsi que de l'importance et du moment de la rupture de la glace. Ce dernier est particulièrement préoccupant en raison de ses impacts sur la géomorphologie des rivières (Prowse et al., 2011). La formation de la glace dans les rivières est compliquée par les effets de la vitesse et des turbulences de l'eau. Contrairement à l'eau relativement calme des lacs, le mélange turbulent des rivières entraîne un refroidissement uniforme de toute la profondeur de l'eau, même après que la température soit tombée en dessous de la densité maximale (4 °C). La formation de couches de glace plus larges sur les rivières est dictée par l'accélération de la gravité, les densités de l'eau et de la glace, l'épaisseur de l'accumulation de glace et la profondeur du débit juste en amont (Ashton, 2019).

ANNEXE B

Bien que ces informations puissent éclairer les impacts et les stratégies d'adaptation de la PCR, il est important de noter que les rivières diffèrent fondamentalement des canaux par leur structure, leur formation et le niveau de contrôle qui peut être imposé par les activités humaines.

6.2.3 ROUTES DE GLACE

Les routes de glace sont des routes hivernales qui circulent sur des surfaces d'eau naturellement gelées, comme des rivières ou des lacs dans les climats froids, et que l'on trouve de façon courante dans les régions nordiques. Elles se présentent généralement sous forme de fines couches de neige tombant sur des surfaces d'eau calme et formant des cristaux, qui progressent ensuite vers le bas. Ce processus peut être compliqué par tout type de dynamique de l'eau, comme le vent, les vagues ou les courants (Barrette, 2015).

Tout comme dans les systèmes de canaux, les routes de glace forment généralement deux types de glaces (Barrette, 2015) :

- 1 **Glace claire.** Également appelée glace noire ou glace naturelle, il s'agit d'une couche de glace transparente, généralement dépourvue de bulles d'air qui sont expulsées à la jonction de la glace et de l'eau. À noter que la glace construite (qui a été créée en pompant de l'eau directement sur la surface d'une couche de glace nue), si elle est construite selon de bonnes pratiques de fabrication, peut être considérée comme ayant une résistance similaire à celle de la glace claire (Gouvernement des Territoires du Nord-Ouest, 2015).
- 2 **Glace blanche.** Également connue sous le nom de glace de neige, elle prend souvent naissance lorsque la neige sur la glace est inondée par l'eau et que l'air dissous n'a aucun moyen de s'échapper. En raison de la teneur en air, la densité de la glace blanche est légèrement inférieure à celle de la glace claire et peut être mécaniquement beaucoup plus faible. L'arrosage de la glace par des pompes à eau (souvent utilisé pour augmenter l'épaisseur de la glace) entraînera également la formation de glace blanche. Toutefois, contrairement à la glace de neige, cette glace sera relativement solide, bien que moins dense que la glace claire. La glace de mauvaise qualité est généralement exclue des calculs de sécurité de la glace dans la plupart des guides de transport.

Les changements climatiques, et plus particulièrement la hausse des températures, sont considérés comme une menace pour l'intégrité et la sécurité de ces routes de glace et, par extension, pour la viabilité économique des régions qu'elles desservent. Un exemple récent de ces ramifications s'est produit dans les Territoires du Nord-Ouest en 2006, lorsqu'une fenêtre d'exploitation standard de 72 jours a été réduite à 49 jours pour les routes Tibbitt à Contwoyto, en raison des conditions météorologiques (McGregor et al., 2008, Rawlings et al., 2009). En conséquence, les matériaux ont dû être transportés par avion jusqu'à un site minier, entraînant des coûts de plus de 100 millions de dollars canadiens. Au Canada, plusieurs documents d'orientation décrivant la création, l'utilisation et l'exploitation sécuritaires des routes de glace ont été créés et sont inclus dans le résumé ci-joint.

6.3 FACTEURS ENVIRONNEMENTAUX AFFECTANT LA FORMATION DE LA GLACE

6.3.1 FACTEURS HYDROLOGIQUES ET NIVEAUX D'EAU

Dans les systèmes fluviaux et lacustres, où un flux dynamique de turbidité de l'eau est présent, les vagues et les courants entraveront la formation de la glace (Ashton, 2019). Les niveaux d'eau initiaux semblent être une considération principalement dans les lacs, où l'on a remarqué que les plus importants ont besoin de plus de temps pour geler. Dans tout système d'eau, la hausse et la baisse des niveaux d'eau peuvent entraîner une qualité ou une résistance de la glace plus faible. La baisse des niveaux d'eau peut avoir un impact sur la flottabilité de la glace, tandis que la hausse peut entraîner la formation de deux couches de glace comprenant une couche d'eau intermédiaire (Secrétariat du Conseil du Trésor du Canada, 2002). Les voies d'eau qui sont influencées par des barrages ou autres interactions humaines sont particulièrement vulnérables aux variations de niveau d'eau qui pourraient provoquer la fissuration de la glace. Les fissures peuvent se produire fréquemment dans les rivières et les lacs qui se trouvent en aval des structures de contrôle de l'eau, comme les barrages ou les déversoirs (Gouvernement des Territoires du Nord-Ouest, 2015).

6.3.2 TEMPÉRATURE

Plusieurs sources ont utilisé différents indicateurs de température pour déterminer la sécurité de l'interaction humaine avec la glace. Les organisateurs de la course sur glace Elfstedentocht de 200 km à travers des rivières et des canaux aux Pays-Bas exigent une

ANNEXE B

température moyenne inférieure à $-4,2$ °C sur 15 jours consécutifs avant d'annoncer une course (Visser, Petersen, 2009). Le document « Best Practice for Building and Working Safely on Ice Covers in Alberta » du gouvernement de l'Alberta recommande d'utiliser l'indice de gel atmosphérique (degrés-jours de gel accumulés) et d'en suivre le nombre pour une station au fur et à mesure qu'avance l'hiver, afin de fournir une indication de sa rigueur, qui est directement reliée au développement de la glace (Gouvernement de l'Alberta, 2013).

Sur une échelle annuelle, la date moyenne des saisons intermédiaires, soit l'automne et le printemps, aura un impact sur la durée de la saison de patinage en activité. Des facteurs tels que le premier et dernier gel d'automne et de printemps, ainsi qu'une vue d'ensemble du moment où la glace se brise et gèle (phénologie) peuvent indiquer les tendances en matière de formation de glace et de température.

Des chutes de température importantes peuvent causer un stress interne temporaire par la contraction thermique de la glace, et réduire la capacité de charge (Secrétariat du Conseil du Trésor du Canada, 2002, Gouvernement des Territoires du Nord-Ouest, 2015). À noter que le déneigement de la glace pendant les périodes de basse température aura un effet similaire et doit être traité avec prudence.

Il est important de considérer que la température n'est pas nécessairement un indicateur autonome suffisant. Des facteurs tels que les précipitations, notamment la neige, et le vent peuvent réduire ou augmenter les seuils de température.

6.3.3 SALINITÉ

Alors que le point de congélation de l'eau douce pure est de 0 °C, l'eau de mer avec une teneur en sel d'environ 35 ppm ne gèlera pas avant environ $-1,8$ °C et l'eau saumâtre légèrement en dessous de 0 °C (Ocean Networks Canada, 2020). En général, pour chaque augmentation de cinq unités de salinité pratique (psu) de l'eau, le point de congélation diminue de $0,28$ °C (National Snow and Ice Data Center).

6.3.4 RAYONNEMENT SOLAIRE

Le rayonnement solaire entrant introduit de l'énergie à la surface de la glace, qui la réchauffe et finit par la faire fondre. La quantité de rayonnement solaire atteignant la glace est un produit de la quantité de rayonnement atteignant la terre, qui fluctue d'environ 7 % au cours d'une année, et varie tout au long d'une journée en fonction des conditions locales de couverture nuageuse (Hock, 2005).

6.3.5 VITESSE ET TEMPÉRATURE DU VENT

Dans les cas extrêmes, des vents très forts peuvent aggraver les fissures existantes et causer de graves dommages au couvert de glace (Gouvernement des Territoires du Nord-Ouest, 2015). Les zones découvertes présentant une couverture limitée du vent sont les plus sensibles aux vents forts. À l'inverse, les zones complètement protégées du vent peuvent ne pas bénéficier de son effet rafraîchissant. Cela a été noté comme une cause présumée de la saison 2019-2020 raccourcie sur le canal Rideau (Montgomery, 2020).

6.3.6 COUVERTURE DE NEIGE

L'impact de la couverture de neige sur la glace dépend du moment et de la température des chutes de neige, de l'air de surface et du rayonnement solaire. La neige qui tombe lorsque la température de l'air est basse agit comme un isolant et garde la glace plus chaude, réduisant ainsi le gel. La neige humide proche de son point de fusion pourrait également geler sur la glace, créant une couche de glace blanche structurellement affaiblie. De plus, si la glace existante est trop fine, une couche de neige suffisante pourrait pousser la surface vers le bas et faire remonter l'eau se trouvant sous la glace par les fissures, ce qui augmenterait la fonte ou créerait une couche d'eau ou de glace blanche. À l'inverse, si la couverture de neige se produit pendant des températures plus élevées et des conditions plus ensoleillées, elle pourrait agir comme un isolant contre les températures et le rayonnement solaire, réduisant ainsi la fonte (Gouvernement des Territoires du Nord-Ouest, 2015).

Si une quantité suffisante de neige s'accumule à la surface de la glace, la charge statique risque également d'être suffisamment importante pour provoquer un affaissement et des fissures. La poudrière, bien qu'elle ne présente pas de danger pour la glace elle-même, pourrait masquer les marques physiques telles que les fissures et les affaissements et retarder l'entretien (Gouvernement des Territoires du Nord-Ouest, 2015).

6.4 MESURES D'ADAPTATION ET PRATIQUES EXEMPLAIRES

Dans la documentation traitant directement du patinage sur glace extérieur, un thème récurrent explique qu'il existe des études et des observations sur la façon dont le climat impacte les activités de patinage et la manière de prédire ce changement dans le futur.

Toutefois, peu de discussions sur ce qui peut être fait pour augmenter la résilience du patinage extérieur sont disponibles. Liu et al. ont constaté que peu de choses étaient mises en œuvre pour tenter d'allonger la saison de patinage extérieur, car les efforts seraient futiles ou irréalisables (Liu et al., 2017). La neige artificielle peut être fabriquée pour augmenter la saison de ski dans des zones restreintes ou concentrées (Sievanen et al., 2005), mais une mesure d'adaptation équivalente n'est pas utilisée pour le patinage sur glace. Des efforts ont plutôt été effectués en Chine pour augmenter le tourisme en lien avec le patinage lorsque la patinoire était disponible, afin de compenser la perte de revenus d'une saison plus courte (Liu et al., 2017). La prévision et l'analyse de l'évolution des installations de patinage extérieur peuvent éclairer la planification, les investissements et la prise de décision pour les exploitants du tourisme de patinage et les propriétaires d'entreprises, mais elles ne sont pas utiles pour prolonger la saison de patinage. Cet examen a révélé qu'une grande partie de la documentation traitant directement du patinage sur glace extérieur se concentre sur l'acceptation du risque d'une réduction des activités de patinage, plutôt que de prendre des mesures pour l'empêcher.

Toutefois, plusieurs mesures d'adaptation relatives au renforcement de la résistance de la glace, à la réduction des formations des fractures et à la sécurité des utilisateurs ont été trouvées dans des revues scientifiques et en relation avec l'entretien des routes de glace. Vous trouverez ci-dessous les mesures qui pourraient être pertinentes pour les activités de la patinoire du canal Rideau. Celles qui ne sont pas pertinentes pour un canal de patinage confiné ou qui se concentrent sur les opérations de transport à grande échelle ont été exclues de cette note.

- **Renforcement de la glace avec une géogrille.** Les couches de glace flottante d'eau douce peuvent être renforcées par une maille polymère à haute résistance (géogrille) gelée à l'intérieur. Les tests effectués en laboratoire ont révélé que la géogrille augmentait la capacité de charge de la glace mince (49 mm) jusqu'à 38 % et de la glace épaisse (96 mm) d'environ 10 à 15 %. Une défaillance avec une géogrille a également pu être constatée de façon locale et non dispersée (Haynes et al., 1992). Le coût pourrait être un inconvénient important de cette solution, mais elle pourrait être appliquée dans une zone problématique localisée.
- **Réduire les rejets des sources de traitement des eaux usées et des eaux d'égout.** Les eaux usées et les eaux d'égout, notamment celles provenant du refroidissement des centrales électriques, du traitement des eaux usées ou d'un réservoir, sont maintenues à une température plus élevée que les eaux naturelles, comme celles du canal. La libération de cette eau dans les rivières a déjà été utilisée comme méthode pour faire fondre des accumulations de glace localisées. L'affaiblissement de la glace pourrait être réduit en déterminant quels apports dans le canal Rideau sont à l'origine des problèmes de fonte localisés les plus importants, et en identifiant des stratégies d'atténuation supplémentaires pour gérer le débit de drainage (Ashton, 2019). On suppose que les eaux pluviales constituent le principal rejet, mais il serait important de confirmer auprès de la Ville d'Ottawa que les égouts unitaires ne se déversent pas dans le canal Rideau.
- **Inspecter régulièrement la glace pour signaler l'accumulation de saletés.** Les surfaces doivent être exemptes de saleté ou d'autres taches sombres, comme l'huile, qui absorbent le rayonnement solaire et fondent dans la glace (Secrétariat du Conseil du Trésor du Canada, 2002). Par exemple, les systèmes de drainage municipaux introduisent des sédiments dans l'eau, ce qui peut diminuer l'albédo de la glace et la rendre plus vulnérable à la fonte.
- **Limiter l'utilisation du canal à la nuit ou aux périodes de temps froid.** En réduisant l'utilisation du canal pendant les périodes plus chaudes pour éviter un stress supplémentaire (Barrette, 2015).
- **Améliorer la technologie permettant de réaliser des analyses de contraintes et d'estimer la capacité de charge de la glace** (Barrette, 2015) afin de mettre à jour les seuils élaborés pour la patinoire du canal Rideau (BMT Fleet Technology, 2011), si possible.
- **Améliorer le suivi de l'épaisseur de la glace** en optimisant la technologie du géoradar pour évaluer la température et la résistance. L'entrepreneur en glace (CPG) a commencé à utiliser un géoradar au cours des dernières années à cette fin.
- **Limiter la taille des andains et des amas de neige.** Les andains de neige ou tout autre amas de neige peuvent entraîner la formation de fissures au centre d'une route de glace, provoquant ainsi l'écaillage de la glace et la détérioration de la surface. La glace se comporte de manière élastique sous des charges mobiles et retrouvera sa position. La glace soumise à une charge stationnaire s'affaissera de façon continue et pourrait céder. Le Secrétariat du Conseil du Trésor du Canada (2002) recommande que la capacité de charge sécuritaire pour les charges stationnaires soit inférieure de 50 % à celle des charges mobiles. Les charges stationnaires, comme les amas importants de neige, doivent être déplacées si des fissures radiales se développent, un affaissement est observé, le taux d'affaissement augmente, des fissures continues sont entendues ou observées, ou si de l'eau apparaît à la surface. Les andains et les bancs de neige peuvent contribuer à ces signes, mais également les masquer. Il est

ANNEXE B

recommandé de niveler un amas de neige de plus d'un mètre de hauteur, ou si son épaisseur équivaut au deux tiers de celle de la glace, selon la plus grande de ces deux valeurs (Secrétariat du Conseil du Trésor du Canada, 2002).

- **Pulvériser des cristaux de glace.** Dans certains endroits, cette méthode de pulvérisation de cristaux de glace, semblable aux dispositifs de fabrication de neige sur les pistes de ski, peut être utilisée pour aider à maintenir l'épaisseur de la glace. Cette technique a déjà été tentée sur la patinoire avec un succès limité, en raison de la proximité des routes et des sentiers de part et d'autre du canal. Il était difficile de limiter les opérations de pulvérisation de glace au canal avec l'équipement particulier utilisé, et cela provoquait la formation de glace sur les routes avoisinantes.
- **Renforcer la glace de façon microscopique.** L'utilisation de divers matériaux de petite taille ou à grain fin tels que la sciure, l'écorce ou le papier journal déchiqueté et l'alluvion a été testée en laboratoire et a permis de réduire l'épaisseur de glace requise et d'augmenter sa résistance à la rupture. Bien que ces matériaux puissent augmenter la résistance et atténuer certaines des contraintes de température, il existe des considérations externes de coût, de disponibilité des matériaux, de charge opérationnelle supplémentaire, d'obscurité du matériau par rapport au rayonnement solaire, de récupération environnementale et de déploiement du matériau sur le terrain (Nixon et Smith, 1987, Nixon et Weber, 1991, Coble et Kingery, 1963, Kuehn et Nixon, 1988, Vasiliev et al, 2014, Michael et al., 1974, Ohstrom et DenHartog, 1976, Haynes et al., 1992, Jarette et Biggar, 1980). Barrette (2015) a noté qu'avec l'avancement des nouvelles technologies et des nouveaux matériaux, il serait temps de se pencher sur l'idée de renforcer la glace à nouveau.
- **Renforcer la glace de façon macroscopique.** La capacité de charge de la glace pourrait potentiellement être augmentée par un renforcement utilisant des matériaux plus importants. Les options potentielles comprennent les rondins, les câbles d'acier, les branches d'arbre, les câbles d'avion, les goujons en bois, les tissus, les fils de fibre de verre, les tapis isolants en fibre de verre, les fibres de bois ou d'amiante, la purée de journaux ou de papier collant, les bandes de papier collant, l'amidon et les barres d'acier (Gold, 1971, Michel et al., 1974, Ohstrom et DenHartog, 1976, Jarrett et Biggar, 1980, Coble et Kingery, 1963, Cederwall, 1981).
- **Maintenir la neige sur les surfaces pendant les périodes d'ensoleillement et de température élevée.** La neige est un isolant thermique plus faible que la glace. Le Secrétariat du Conseil du Trésor du Canada (2002) recommande qu'une couverture de 7,5 à 10 cm de neige propre réduise considérablement la pénétration du rayonnement solaire dans la glace et prolongera la période d'utilisation. Ceci est confirmé par le gouvernement des Territoires du Nord-Ouest (2015), qui note que les effets de la température élevée sont plus importants sur la glace nue et réduits par l'augmentation de l'épaisseur de la couverture de neige.
- **Ajuster les lignes directrices relatives aux activités.** Des hivers plus chauds pourraient nécessiter un changement d'orientation opérationnelle. Par exemple, le gouvernement de l'Alberta a formulé une série de recommandations pour l'exploitation de ses routes de glace si la température est supérieure à 0 °C pendant plus de 48 heures, notamment en modifiant les horaires de prise de mesure et en réduisant le poids autorisé de 50 % (Gouvernement de l'Alberta, 2013).
- **Arroser la patinoire.** Le pompage manuel de l'eau sur une couche de glace existante est un moyen efficace et éprouvé d'augmenter l'épaisseur de la glace claire de bonne qualité pour les patinoires et les routes de glace. Le Secrétariat du Conseil du Trésor du Canada (2002) a créé un guide utile pour l'arrosage des routes et des ponts de glace qui pourrait être adapté aux patinoires extérieures. L'arrosage pourrait commencer lorsque la glace naturelle présente une épaisseur d'environ 7,5 cm et qu'elle est assez solide pour supporter le poids d'une personne et des pompes, et le premier devrait être limité à environ 2,5 cm d'eau. Les arrosages ultérieurs devraient être limités à la profondeur de l'eau qui gèlera en 12 heures. Le vent ou la neige en surface peuvent augmenter ou diminuer le taux de gel. La création de levées plus épaisses pourrait entraîner la formation d'une couche d'eau entre la vieille glace et la nouvelle glace, et ainsi réduire la résistance globale de la glace en plus de surcharger et de fissurer le couvert de glace existant (Secrétariat du Conseil du Trésor du Canada, 2002). La CCN et ses partenaires ont mis au point des pratiques de pointe en matière d'arrosage des glaces, compte tenu de l'aspect unique de la patinoire.
- **Réduire l'utilisation du sel de déneigement.** Le sel peut faire chuter la température de congélation de l'eau. Le sel utilisé sur les routes avoisinantes s'écoule dans le canal par les drains d'eaux pluviales et peut donc avoir un impact sur la qualité de la glace. Consulter les pratiques exemplaires de l'ATC en matière de gestion des sels de déglacage pour trouver des solutions de rechange aux produits à base de chlorure et étudier les options en partenariat avec la Ville d'Ottawa. <https://tac-atc.ca/sites/tac-atc.ca/files/site/doc/resources/roadsalt-10.pdf>
- **Réduire le débit et la turbidité de l'eau.** Le long de certaines sections du canal Rideau, notamment entre la rue Rideau et l'avenue Laurier, des conduites de drainage ont été installées pour capter et réduire le volume du débit des eaux pluviales, afin de protéger la glace fragile (Larocque et Pringle, 2020).

ANNEXE B

6.5 BASE DE DONNÉES DE L'ANALYSE DOCUMENTAIRE

N°	Référence	Date	Lieu	Type	Citation dans le texte	Lien	Résumé du contenu	Pertinence (1 à 3, 3 étant le plus pertinent)	
1	CSA ISO 31000:18 Gestion du risque – Lignes directrices	2018	Canada	Norme	(Groupe CSA, 2018)	so.org/fr/standard/65694.html	<ul style="list-style-type: none"> • Fournir des conseils sur l'identification et la gestion des risques pour une organisation • Établir un cadre pour la gestion des risques : définition du contexte et du champ d'application, évaluation des risques, traitement des risques, suivi et rapports 	<ul style="list-style-type: none"> • Méthodologie d'évaluation des risques qui pourrait être appliquée à l'évaluation des risques climatiques du canal Rideau • Ne traite pas des dangers, des risques ou des traitements qui s'appliquent spécifiquement à l'exploitation de la patinoire du canal Rideau 	2
2	IEC 31010:2019 Gestion du risque – Techniques d'évaluation du risque	2019	International	Norme	(IEC, ISO, 2019)	https://www.iso.org/fr/standard/72140.html?browse=tc	<ul style="list-style-type: none"> • Fournir des conseils sur la mise en œuvre des évaluations des risques : planification, collecte et analyse des informations, examen, prise de décision • Décrire les techniques d'évaluation des risques et fournir des conseils sur la sélection appropriée 	<ul style="list-style-type: none"> • Décrit les techniques d'évaluation du risque qui pourraient être appliquées à l'évaluation des risques climatiques du canal Rideau. • Ne traite pas des dangers, des risques ou des traitements qui s'appliquent spécifiquement à l'exploitation de la patinoire du canal Rideau 	2

ANNEXE B

N°	Référence	Date	Lieu	Type	Citation dans le texte	Lien	Résumé du contenu	Pertinence (1 à 3, 3 étant le plus pertinent)	
3	ISO 14090:2019 Adaptation au changement climatique – Principes, exigences et lignes directrices	2019	International	Norme	(ISO, 2019)	https://www.iso.org/fr/standard/68507.html	<ul style="list-style-type: none"> • Fournir un contexte et des principes pour le travail d'adaptation au climat : flexibilité, intégration, développement durable, incorporation de l'atténuation en parallèle avec l'adaptation, pensée systémique, transparence et responsabilisation • Conseils de haut niveau sur la création d'un plan d'adaptation 	<ul style="list-style-type: none"> • Fournit une base et un contexte pour le travail d'adaptation au climat • Ne comprend pas les mesures d'adaptation propres à l'exploitation de la patinoire du canal Rideau 	2
4	ISO/TS 14092:2020 Adaptation au changement climatique – Exigences et lignes directrices relatives à la planification de l'adaptation pour les gouvernements et les communautés locales	2020	International	Norme	(ISO, 2020)	https://www.iso.org/fr/standard/68509.html?browse=tc	<ul style="list-style-type: none"> • Fournit une méthodologie pour le travail d'adaptation au climat qui est similaire à l'ISO 31000; identifie la vulnérabilité, les impacts climatiques et les risques. • Comment développer un plan d'adaptation propre aux gouvernements ou aux communautés, y compris les structures de gouvernance, la planification, la mise en œuvre et le suivi du plan 	<ul style="list-style-type: none"> • Fournit une méthodologie pour la planification de l'adaptation au climat • Ne comprend pas de mesures d'adaptation propres à l'exploitation de la patinoire du canal Rideau 	2

ANNEXE B

N°	Référence	Date	Lieu	Type	Citation dans le texte	Lien	Résumé du contenu	Pertinence (1 à 3, 3 étant le plus pertinent)	
5	ISO/FDIS 14 091 Adaptation au changement climatique – Lignes directrices sur la vulnérabilité, les impacts et l'évaluation des risques	S. O.	International	Norme		ISO/FDIS 14 091 Adaptation au changement climatique – Lignes directrices sur la vulnérabilité, les impacts et l'évaluation des risques	<ul style="list-style-type: none"> • Fournir des lignes directrices pour l'évaluation des risques liés aux impacts potentiels des changements climatiques. • Indiquer de quelle façon évaluer la vulnérabilité et peut être utilisée pour les risques climatiques actuels ou futurs. 	<ul style="list-style-type: none"> • Méthodologie d'évaluation des risques qui pourrait être appliquée à l'évaluation des risques climatiques du canal Rideau • Aucune mention des dangers, des risques ou des traitements des risques qui s'appliquent particulièrement à l'exploitation de la patinoire du canal Rideau 	1
6	ISO/WD 4980 Évaluation des risques pour les installations et équipements sportifs et autres activités récréatives	S. O.	International	Norme		ISO/WD 4980 Évaluation des risques pour les installations et équipements sportifs et autres activités récréatives	Aucun accès		2

ANNEXE B

N°	Référence	Date	Lieu	Type	Citation dans le texte	Lien	Résumé du contenu	Pertinence (1 à 3, 3 étant le plus pertinent)	
7	ISO 13822:2010 Bases pour la conception des structures – Évaluation des structures existantes	2010	International	Norme	(ISO, 2010)	ISO 13822:2010 Bases pour la conception des structures – Évaluation des structures existantes	Aucun accès		1
8	ISO 9196:1992 Mesure de débit des liquides dans les canaux ouverts – Mesures de débit en présence de glace	1992	International	Norme	(ISO, 1992)	ISO 9196:1992 Mesure de débit des liquides dans les canaux ouverts – Mesures de débit en présence de glace	Aucun accès		1

ANNEXE B

N°	Référence	Date	Lieu	Type	Citation dans le texte	Lien	Résumé du contenu	Pertinence (1 à 3, 3 étant le plus pertinent)	
9	ISO/TR 11328:1994 Mesure de débit des liquides dans les canaux découverts — Équipement pour la mesure de débit en présence de glace	1994	International	Norme	(ISO, 1994)	ISO/TR 11328:1994 Mesure de débit des liquides dans les canaux découverts — Équipement pour la mesure de débit en présence de glace	Aucun accès		1
10	ISO 5667-4:2016 Qualité de l'eau – Échantillonnage – Partie 4 : Lignes directrices pour l'échantillonnage des eaux des lacs naturels et artificiels	2016	International	Norme	(ISO, 2016)	ISO 5667-4:2016 Qualité de l'eau – Échantillonnage – Partie 4 : Lignes directrices pour l'échantillonnage des eaux des lacs naturels et artificiels	Aucun accès		1

ANNEXE B

N°	Référence	Date	Lieu	Type	Citation dans le texte	Lien	Résumé du contenu	Pertinence (1 à 3, 3 étant le plus pertinent)	
11	DIN 18036 Installations de sports de glace – Installations de sports de glace avec glace artificielle – Règles de planification et de construction	2017	Allemagne	Norme	(DIN, 2017).	https://shop.snv.ch/Standard/Sports-equipment-and-facilities/DIN-18036/2017-10.html?listtype=search&searchparam=%22skating%22	Aucun accès		2
12	<i>Technical requirements and test methods for natural material sports field Part 3: Ice Rink</i>	2006	Chine	Norme	(SPC, 2006).	https://webstore.ansi.org/Standards/SPC/GB199952006	Aucun accès		2
13	ASTM F1703-13 Guide des normes pour les installations de patinage et de hockey sur glace	2013	États-Unis	Norme	(ASTM, 2013).	https://webstore.ansi.org/Standards/ASTM/ASTMF170313	Aucun accès		2

ANNEXE B

N°	Référence	Date	Lieu	Type	Citation dans le texte	Lien	Résumé du contenu	Pertinence (1 à 3, 3 étant le plus pertinent)
14	<i>Nature-based tourism, outdoor recreation and adaptation to climate change</i>	2005	Finlande	Document de recherche	(Sievänen et al, 2005)	https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/41057/SYKEmo_341.pdf?sequence=1&isAllowed=y	<ul style="list-style-type: none"> • Discussion sur les attitudes que présentait le public et les exploitants d'entreprises touristiques (en 2004) face à l'impact des changements climatiques sur les activités hivernales et estivales • Projection de la participation à venir aux activités touristiques estivales et hivernales sur la base des projections climatiques • Constatation du manque de préoccupation ou du déni (en 2004) des exploitants d'entreprises touristiques hivernales face à l'impact des changements climatiques, d'où la nécessité d'une enquête plus approfondie et de la diffusion des impacts potentiels sur le secteur du tourisme en Finlande 	<ul style="list-style-type: none"> • La modélisation de la participation récréative anticipée pourrait être appliquée à la patinoire du canal Rideau, mais les conclusions de cette étude ne sont pas applicables • Propose le patinage comme solution de rechange au ski de fond en l'absence de neige

ANNEXE B

N°	Référence	Date	Lieu	Type	Citation dans le texte	Lien	Résumé du contenu	Pertinence (1 à 3, 3 étant le plus pertinent)	
15	Estimations de la diminution de la disponibilité du patinage extérieur à Montréal en raison du réchauffement climatique	2020	Canada	Document de recherche	(Dickau et al, 2020)	https://iopscience.iop.org/article/10.1088/2515-7620/ab8ca8/pdf	<ul style="list-style-type: none"> • La recherche sur les conditions météorologiques requises pour maintenir une patinoire extérieure en bon état est limitée • Divers modèles ont été évalués pour prédire la disponibilité des patinoires extérieures. Il a été constaté que le meilleur indicateur était la moyenne des températures maximales des six jours précédents • Prévion que la saison de patinage extérieur à Montréal pourrait diminuer de 15 à 75 % d'ici 2090. Prévoit qu'à la fin du siècle (années 2090), la saison de patinage aura une moyenne de 41 jours sous RCP 2.6 et de 11 jours sous RCP 8.5 à Montréal 	<ul style="list-style-type: none"> • Résultats propres aux patinoires extérieures • Cette étude et ses méthodes peuvent être utilisées pour évaluer la méthode ou les résultats des projections climatiques et de l'évaluation des risques de la patinoire du canal Rideau 	3

ANNEXE B

16	Effects of climate change on outdoor skating in the Bei Hai Park of Beijing and related adaptive strategies	2017	Chine	Article de journal	(Liu et al, 2017)	https://www.mdpi.com/2071-1050/9/7/1147/htm	<ul style="list-style-type: none"> • L'article analyse les impacts des conditions météorologiques historiques sur les opérations de patinage à Beijing • Examine les changements dans le fonctionnement de la patinoire Ben Hai, y compris la réduction des zones de patinage disponibles, la réduction du nombre de patineurs en raison du manque d'épaisseur de la glace • L'exploitation le 1er janvier est importante pour les opérateurs, car c'est le jour le plus achalandé de l'année, mais certaines années, la glace n'était pas encore assez épaisse à cette date • Le gouvernement chinois exige une épaisseur de glace minimale de 15 cm pour une personne par 10 mètres carrés (comme indiqué dans ce document sans référence à une norme particulière) • Les mesures d'adaptation sont limitées. Certaines proposent d'organiser des événements sur la glace pour accroître le tourisme 	<ul style="list-style-type: none"> • Discuter des impacts climatiques sur les installations de patinage, sur les activités (sur la base de données historiques) et sur les propriétaires d'entreprises et les patineurs (sur la base d'entretiens) • Peu de mesures d'adaptation utiles ou de stratégies de gestion des risques autres que l'organisation d'événements touristiques lorsque la glace est suffisamment épaisse, afin de compenser les pertes de revenus résultant de saisons plus courtes 	3
----	---	------	-------	--------------------	-------------------	---	---	--	---

ANNEXE B

N°	Référence	Date	Lieu	Type	Citation dans le texte	Lien	Résumé du contenu	Pertinence (1 à 3, 3 étant le plus pertinent)
							pendant les périodes d'exploitation et d'inonder la patinoire pour ajouter des couches de glace.	
17	La probabilité d'organiser des marathons de patinage en plein air aux Pays-Bas en tant qu'indicateur pertinent des politiques en matière de changement climatique	2009	Pays-Bas	Article de journal	(Visser, Peterson, 2009)	https://link.springer.com/article/10.1007/s10584-008-9498-6	<ul style="list-style-type: none"> • Discuter de la probabilité d'accueillir des courses en patins comme moteur politique de l'action climatique et comme indicateur des changements climatiques aux Pays-Bas • Étudier les tendances en matière d'épaisseur de la glace et du processus décisionnel lié au choix de tenir ou non une course en patins 	<ul style="list-style-type: none"> • Discuter des indicateurs et tendances météorologiques et climatiques et de leurs impacts sur le patinage extérieur, ainsi que de la manière de les utiliser pour communiquer l'urgence climatique • Aucune mesure de gestion des risques ou d'adaptation pour les installations de patinage extérieur

ANNEXE B

N°	Référence	Date	Lieu	Type	Citation dans le texte	Lien	Résumé du contenu	Pertinence (1 à 3, 3 étant le plus pertinent)	
18	Projections of Climate Change Effects on Water Temperature Characteristics of Small Lakes in the Contiguous U.S.	1999	États-Unis	Article de journal	(Fang, Stefan, 1999)	https://link.springer.com/article/10.1023/A:1005431523281	<ul style="list-style-type: none"> • Modélisation des impacts des changements climatiques, à savoir la température, sur les caractéristiques de la température de l'eau de petits lacs afin de quantifier la sensibilité de l'eau des lacs à la latitude, à la longitude, à la géométrie du lac et au statut trophique. • Confirmation d'une modification importante des couverts de glace des lacs du nord des États-Unis. • Aucun accès à l'article complet 	<ul style="list-style-type: none"> • L'accent mis sur les caractéristiques particulières des lacs, telles que la profondeur et les couches trophiques, pourrait ne pas s'appliquer aux réseaux de canaux. • Ne traite pas des dangers, des risques ou des traitements des risques qui s'appliquent spécifiquement à l'exploitation de la patinoire du canal Rideau 	1

ANNEXE B

N°	Référence	Date	Lieu	Type	Citation dans le texte	Lien	Résumé du contenu	Pertinence (1 à 3, 3 étant le plus pertinent)	
19	<i>Simulated climate change effects on ice and snow covers on lakes in a temperate region</i>	1997	Minnesota, États-Unis	Article de journal	(Fang, Stefan, 1997)	https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0165232X96000237	<ul style="list-style-type: none"> • Modélisation du couvert de glace et de neige pour prédire les effets du réchauffement climatique sur la couverture de glace et de neige en utilisant une température. • Aucun accès à l'article complet 	<ul style="list-style-type: none"> • L'accent mis sur les caractéristiques particulières des lacs, telles que la profondeur et les couches trophiques, pourrait ne pas s'appliquer aux réseaux de canaux. • Ne traite pas des dangers, des risques ou des traitements des risques qui s'appliquent spécifiquement à l'exploitation de la patinoire du canal Rideau 	1

ANNEXE B

N°	Référence	Date	Lieu	Type	Citation dans le texte	Lien	Résumé du contenu	Pertinence (1 à 3, 3 étant le plus pertinent)
20	Effects of Changes in Arctic Lake and River Ice	2012	Arctique	Article de journal	(Prowse et al., 2012)	https://link.springer.com/article/10.1007/s13280-011-0217-6	<ul style="list-style-type: none"> • Analyse documentaire des effets des changements de la glace des lacs et des rivières d'eau douce de l'Arctique d'un point de vue écologique, hydrologique et socio-économique. • L'article conclut que les régimes hydrologiques sont particulièrement concernés par les modifications des faibles débits des rivières, de l'évaporation et des niveaux d'eau des lacs, ainsi que par l'importance et le moment de la rupture de la glace de rivière. Géomorphologie des rivières, régimes de végétation et flux de nutriments et de sédiments qui soutiennent les écosystèmes aquatiques. 	<ul style="list-style-type: none"> • Bien que les réseaux fluviaux et de canaux diffèrent en raison de la nature contrôlée de ces derniers, certains paramètres se recoupent et peuvent être utiles pour effectuer une évaluation.

ANNEXE B

N°	Référence	Date	Lieu	Type	Citation dans le texte	Lien	Résumé du contenu	Pertinence (1 à 3, 3 étant le plus pertinent)	
21	Impact of Climate Change on River Ice Phenology in Lithuania	2008	Lituanie	Article de journal	(Šarauskienė, Jurgelėnaitė, 2008)	https://www.researchgate.net/profile/Diana_Sarauskiene/publication/265983287_Impact_of_Climate_Change_on_River_Ice_Phenology_in_Lithuania/links/551931f40cf273292e70d238/Impact-of-Climate-Change-on-River-Ice-Phenology-in-Lithuania.pdf	<ul style="list-style-type: none"> Étude des impacts historiques des différences de climat sur 8 rivières au cours de 13 périodes historiques. Le document comprend une discussion sur les conditions de formation de la glace dans les rivières et se concentre sur la durée et le moment de cette formation. Il a été noté que le plus grand impact sur la formation de la glace et sa diminution était la construction d'un barrage sur l'une des rivières. 	<ul style="list-style-type: none"> Les discussions sur le moment et la durée de gel en relation avec les changements de température pourraient être appliquées au système du canal. Bien que les réseaux fluviaux et de canaux diffèrent en raison de la nature contrôlée de ces derniers, certains paramètres se recoupent et peuvent être utiles pour effectuer une évaluation. 	2
22	Overview of ice roads in Canada: design, usage and climate change mitigation	2015	Canada	Rapport technique	(Barrett, 2015)	https://nrc-publications.canada.ca/eng/view/ft/?id=5984226f-bee8-48fe-a138-5a23c800f435	<ul style="list-style-type: none"> Examen complet des directives, des pratiques exemplaires et des mesures d'adaptation des routes de glace au Canada 	<ul style="list-style-type: none"> Les mesures d'adaptation et les risques climatiques cernés peuvent être directement appliqués au canal. Certaines informations ne pouvaient être pertinentes et ont été exclues de l'examen. 	3

ANNEXE B

N°	Référence	Date	Lieu	Type	Citation dans le texte	Lien	Résumé du contenu	Pertinence (1 à 3, 3 étant le plus pertinent)	
23	Climate change impacts and adaptation: Case studies of roads in Northern Canada	2008	Canada	Présentation lors d'une conférence	(McGregor et al., 2008)	S. O.	<ul style="list-style-type: none"> Présentation sur les options d'adaptation testées pour les routes du Nord canadien 	<ul style="list-style-type: none"> Pourrait servir de base pour les options d'adaptation potentielles 	2
24	<i>Safe Operating Procedures for Winter Roads Committee. Winter Roads Handbook</i>	2009	Saskatchewan, Canada	Guide	(Gouvernement de la Saskatchewan, 2009)	http://www.hiighways.gov.sk.ca/DoingBusinesswithMHI/MinistryManuals/WinterRoadsHandbook/WinterRoadsHandbook.pdf	<ul style="list-style-type: none"> Guide complet sur la création, l'entretien, la santé et la sécurité, et l'exploitation des routes de glace, y compris la détermination du rapport poids/épaisseur sécuritaire et la prise en compte des risques climatiques 	<ul style="list-style-type: none"> Pourrait servir de base pour une option d'adaptation potentielle Fournir des valeurs quantitatives pour l'épaisseur de la glace qui pourraient être utiles pour déterminer des projections climatiques pertinentes 	3
25	Guide de sécurité pour les opérations sur glace		Canada	Guide	(TBS, 2002).	https://www.collectionscanada.gc.ca/eppp-archive/100/201/301/tbs-sct/tb_manual.html	<ul style="list-style-type: none"> Guide complet sur la création, l'entretien, la santé et la sécurité, et l'exploitation des routes de glace et des ponts, y compris la détermination du rapport poids/épaisseur sécuritaire et la prise en compte des risques climatiques 	<ul style="list-style-type: none"> Pourrait servir de base pour une option d'adaptation potentielle Fournir des valeurs quantitatives pour l'épaisseur de la glace qui pourraient être utiles pour déterminer des projections climatiques pertinentes 	3

ANNEXE B

N°	Référence	Date	Lieu	Type	Citation dans le texte	Lien	Résumé du contenu	Pertinence (1 à 3, 3 étant le plus pertinent)	
26	Guidelines for Safe Ice construction	2015	Territoires du Nord-Ouest, Canada	Guide	(GTNO, 2015).	www.inf.gov.nt.ca/sites/inf/files/resources/0016-001_norex_ice_road_constr_web.pdf	<ul style="list-style-type: none"> • Guide complet sur la création, l'entretien, la santé et la sécurité, et l'exploitation des routes de glace, y compris la détermination du rapport poids/épaisseur sécuritaire et la prise en compte des risques climatiques • Fournir une vue d'ensemble des types de glace et de leur formation 	<ul style="list-style-type: none"> • Pourrait servir de base pour une option d'adaptation potentielle • Fournir des valeurs quantitatives pour l'épaisseur de la glace qui pourraient être utiles pour déterminer des projections climatiques pertinentes 	3
27	Best Practices for Building and Working Safety on Ice Covers in Alberta	2013	Alberta, Canada	Guide	(Gouvernement de l'Alberta, 2013)	open.alberta.ca/dataset/612530c3-9f41-41f3-ad45-4b62b47a0b06/resource/74decde6-8120-46be-b137-158bb63ee569/download/whs-pub-sh010.pdf	<ul style="list-style-type: none"> • Guide complet sur la création, l'entretien, la santé et la sécurité, et l'exploitation des routes de glace, y compris la détermination du rapport poids/épaisseur sécuritaire et la prise en compte des risques climatiques 	<ul style="list-style-type: none"> • Pourrait servir de base pour une option d'adaptation potentielle • Fournir des valeurs quantitatives pour l'épaisseur de la glace qui pourraient être utiles pour déterminer des projections climatiques pertinentes 	3

ANNEXE B

N°	Référence	Date	Lieu	Type	Citation dans le texte	Lien	Résumé du contenu	Pertinence (1 à 3, 3 étant le plus pertinent)	
28	Ice in Lakes and Rivers	1998	Généralités	Entrée de l'encyclopédie	(Ashton, 1998)	www.britannica.com/science/lake-ice/ice-in-rivers	<ul style="list-style-type: none"> • Aperçu de la formation et des caractéristiques de la glace dans les lacs et les eaux 	<ul style="list-style-type: none"> • Fournir des documents de référence et la science de base pour les considérations relatives à la formation de la glace, telles que la turbidité et la température 	2
29	A Laboratory Study on the Flexural Strength of White Ice and Clear Ice from the Rideau Canal Skateway	2011	Ottawa, Canada	Article de journal	(Barrett e, 2011)	S. O.	<ul style="list-style-type: none"> • Fournir une compréhension particulière au canal Rideau des impacts de la glace blanche et de sa résistance à la flexion 	<ul style="list-style-type: none"> • Fournir une base pour comprendre la relation entre la glace blanche et la glace claire dans le canal 	3
30	Ice Reinforcement	1963	Cambridge	Article de journal	(Coble, Kingery, 1963)	S. O.	<ul style="list-style-type: none"> • Enquête sur un certain nombre d'options pour renforcer la glace de façon macroscopique, notamment la fibre de verre, le fil, le matelas d'isolation en fibre de verre, la fibre de bois ou d'amiante, la purée de papier journal ou de papier collant, les bandes collantes et l'amidon, et sur l'augmentation de la résistance de la glace associée 	<ul style="list-style-type: none"> • Pourrait servir de base pour les options d'adaptation potentielles 	2

ANNEXE B

N°	Référence	Date	Lieu	Type	Citation dans le texte	Lien	Résumé du contenu	Pertinence (1 à 3, 3 étant le plus pertinent)	
31	Observed Decreases in the Canadian Outdoor Skating Season Due to Recent Winter Warming	2012	Canada	Article de journal	(Damyanov, 2012)	S. O.	<ul style="list-style-type: none"> • Décrire les tendances des saisons de patinage extérieur au Canada en raison du réchauffement de l'hiver. 	<ul style="list-style-type: none"> • Fournir un contexte et un soutien pour les projections climatiques et les risques 	3
32	<i>The State of Climate Change Adaptation in the Arctic</i>	2014	Arctique	Article de journal	(Ford, 2014)	S. O.	<ul style="list-style-type: none"> • Décrire 157 initiatives d'adaptation de l'Arctique aux changements climatiques 	<ul style="list-style-type: none"> • L'accent est mis sur l'agriculture de subsistance. Références mineures aux routes de glace. 	1
33	<i>Use of Ice Covers for Transportation</i>	1971	Canada	Article de journal	(Gold, 1971)	S. O.	<ul style="list-style-type: none"> • Fournir des informations sur les différences de formation et de structure entre la glace blanche et la glace transparente • Fournir la base du calcul de la résistance de la glace lorsqu'une combinaison de couches de glace est présente 	<ul style="list-style-type: none"> • Fournir un contexte et un soutien pour déterminer les seuils de glace et pourrait renseigner la sélection des projections climatiques. 	2
34	Bearing Capacity Tests on Ice Reinforced with Geogrid	1992	Généralités	Article de journal	(Hayne et al., 1992)	S. O.	<ul style="list-style-type: none"> • Enquête sur la capacité de charge de la glace renforcée par une géogrid 	<ul style="list-style-type: none"> • Pourrait servir de base pour les options d'adaptation potentielles 	2

ANNEXE B

N°	Référence	Date	Lieu	Type	Citation dans le texte	Lien	Résumé du contenu	Pertinence (1 à 3, 3 étant le plus pertinent)	
35	Reinforced Ice: Mechanical Properties and Cost Analysis for Its Use in Platforms and Roads	1988	Généralités	Actes de la conférence	(Kuehn, Nixon, 1988)	S. O.	<ul style="list-style-type: none"> Analyse des aspects économiques du renforcement microscopique de la glace 	<ul style="list-style-type: none"> Pourrait renseigner les options d'adaptation potentielles 	2
36	The NCC's Secret Weapon to Freeze the Downtown Section of the Rideau Canal Skateway This Winter	2020	Ottawa, Canada	Article de nouvelles	(Larocque, Pringle, 2020)	ottawa.ctvnews.ca/the-ncc-secret-weapon-to-freeze-the-downtown-section-of-the-rideau-canal-skateway-this-winter-1.5192844.	<ul style="list-style-type: none"> Reportage journalistique sur le projet d'ajouter une conduite supplémentaire au canal Rideau afin de réduire et d'absorber le volume d'eau sortant d'un drain 	<ul style="list-style-type: none"> Pourrait servir de base pour les options d'adaptation potentielles 	3
37	Ice Bridges in the James Project	1974	Alberta, Canada	Article de journal	(Michel et al., 1974)	S. O.	<ul style="list-style-type: none"> Référence au temps supplémentaire nécessaire au renforcement microscopique de la glace 	<ul style="list-style-type: none"> Pourrait renseigner les options d'adaptation potentielles 	2

ANNEXE B

N°	Référence	Date	Lieu	Type	Citation dans le texte	Lien	Résumé du contenu	Pertinence (1 à 3, 3 étant le plus pertinent)	
38	« It's Too Late: Short Ice-Skating Ends for the Season on Renowned Rideau Canal »	2020	Ottawa, Canada	Article de nouvelles	(Montgomery, 2020)	www.rcinet.ca/en/2020/03/02/its-too-late-short-ice-skating-ends-for-the-season-on-renowned-rideau-canal/	<ul style="list-style-type: none"> • Décrire les tendances de la saison de patinage pour le canal Rideau en raison du réchauffement de l'hiver. 	<ul style="list-style-type: none"> • Fournir un contexte et un soutien pour les projections climatiques et les risques 	3
39	Salinity and Brine	2020	Généralités	Site Web	(National Snow & Ice Data Center, 2020)	nsidc.org/cryosphere/seaice/characteristics/brine_salinity.html#:~:text=For every 5 psu increase, Celsius (28.8 degrees Fahrenheit).&text=This raises the salinity of the near-surface water.	<ul style="list-style-type: none"> • Aperçu des impacts du sel sur le point de fusion de l'eau 	<ul style="list-style-type: none"> • Pourrait renseigner les options d'adaptation potentielles • Pourrait renseigner les risques climatiques 	2

ANNEXE B

N°	Référence	Date	Lieu	Type	Citation dans le texte	Lien	Résumé du contenu	Pertinence (1 à 3, 3 étant le plus pertinent)	
40	<i>The Fracture Toughness of Some Wood-Ice Composites</i>	1987	Généralités	Article de journal	(Nixon, Smith, 1987)	S. O.	<ul style="list-style-type: none"> Enquête sur l'épaisseur et la résistance à la rupture de la glace renforcée par du bois résineux, de la sciure, de l'écorce déchiquetée et du papier journal déchiqueté 	<ul style="list-style-type: none"> Pourrait servir de base pour les options d'adaptation potentielles 	2
41	Ice Profiler	2020	Généralités	Site Web	(Ocean Networks Canada, 2020)	www.oceannetworks.ca/learning/ocean-sense/resources-lessons/ice-profiler#:~:text=Detailed explanation, freezes at 0°C.&text=If the water is brackish, little below 0°C.	<ul style="list-style-type: none"> Ressources générales et informations contextuelles sur les propriétés de la glace et les points de fusion 	<ul style="list-style-type: none"> Fournir un contexte et un soutien pour déterminer les seuils de glace et pourrait renseigner la sélection des projections climatiques. 	2
42	Cantilever Beam Tests on Reinforced Ice	1976	Généralités	Livre	(Ohstrom, DenHart of, 1976)	S. O.	<ul style="list-style-type: none"> Référence au temps supplémentaire nécessaire au renforcement microscopique de la glace 	<ul style="list-style-type: none"> Pourrait renseigner les options d'adaptation potentielles 	2

ANNEXE B

N°	Référence	Date	Lieu	Type	Citation dans le texte	Lien	Résumé du contenu	Pertinence (1 à 3, 3 étant le plus pertinent)	
43	<i>Winter Roads and Ice Bridges: Anomalies in Their Records of Seasonal Usage and What We Can Learn from Them</i>	2009	Canada	Actes de la conférence	(Rawlings et al., 2009)	S. O.	<ul style="list-style-type: none"> Présentation sur les anomalies saisonnières des routes d'hiver et des ponts de glace 	<ul style="list-style-type: none"> Pourrait renseigner les options d'adaptation potentielles Fournir un contexte et un soutien pour les projections climatiques et les risques 	2
44	Les hivers sont-ils trop chauds pour patiner? La science citoyenne fait état de la variabilité de la possibilité de patiner en plein air au Canada	2015	Canada	Article de journal	(Robertson et al., 2015)	S. O.	<ul style="list-style-type: none"> Analyse de deux années de rapports de la science citoyenne pour dix sites de patinage à travers le Canada, y compris Montréal 	<ul style="list-style-type: none"> Fournir un contexte et un soutien pour les projections climatiques et les risques 	2
45	A Review on Development of Reinforced Ice Structures and Dams	2014	Généralités	Actes de la conférence	(Vasiliev et al., 2014)	S. O.	<ul style="list-style-type: none"> Présentation sur le développement des structures de glace 	<ul style="list-style-type: none"> Pourrait renseigner les options d'adaptation potentielles 	2

ANNEXE B

N°	Référence	Date	Lieu	Type	Citation dans le texte	Lien	Résumé du contenu	Pertinence (1 à 3, 3 étant le plus pertinent)	
46	A Review on Processes and Their Modelling	2005	Généralités	Article de journal	(Hock, 2005)	http://www.atmos.albany.edu/daes/atmclasses/atm551/OtherReading/Materials/Hock_ProgPhysGeogr-2005.pdf	<ul style="list-style-type: none"> • Aperçu de la modélisation énergétique du rayonnement solaire et de son impact sur la fonte des glaciers 	<ul style="list-style-type: none"> • Fournir un contexte et un soutien pour les projections climatiques et les risques 	2

ANNEXE

C

RAPPORT SUR LE
PROGRAMME DE
SUIVI



NOTE TECHNIQUE

DESTINATAIRES : Bruce Devine, Commission de la capitale nationale
Kelly Symes, Commission de la capitale nationale

EXPÉDITEUR : Simon Nolin, WSP Canada inc.

COPIE
CONFORME : Jean-Philippe Martin, WSP Canada Inc.
Pierre Pelletier, WSP Canada inc.

DATE : Mardi 15 avril 2021

OBJET : **Patinoire du canal Rideau – campagne de surveillance de février 2021**
Réf. WSP : 201-10298-00

1.0 CONTEXTE ET OBJECTIFS

En février 2021, la Commission de la capitale nationale (CCN) a mandaté WSP Canada inc. (WSP) afin de mener une campagne de surveillance hivernale sur la patinoire du canal Rideau à Ottawa. Le programme de surveillance élaboré par WSP comportait des mesures de la température et de la conductivité de l'eau sous le couvert de glace à plusieurs endroits le long de la patinoire.

L'objectif principal de la campagne de surveillance était d'acquérir des données sur le régime thermique du canal Rideau en hiver. Les informations recueillies par WSP en février 2021 constituent une première étape dans la compréhension des processus environnementaux qui ont un impact sur l'étendue, la qualité et l'intégrité de la glace sur la patinoire.

La campagne 2021 a été réalisée dans le cadre d'un projet en cours de WSP intitulé « Évaluation des risques liés aux changements climatiques sur la patinoire du canal Rideau ». Les résultats permettront, nous l'espérons, de définir des solutions d'atténuation pour améliorer la sécurité des conditions de glace et prolonger la durée des futures saisons de patinage.

2.0 DESCRIPTION DU SITE

La patinoire est située sur le canal Rideau à Ottawa, entre les écluses de Hartwell et d'Ottawa (Figure 2.1). Il a une longueur totale de 7,8 kilomètres et comprend une boucle sur le lac Dow, et une plus petite sur le ruisseau Patterson.

Le canal Rideau est situé entre la rivière Rideau et la rivière des Outaouais (Figure 2.1). L'eau du canal Rideau passe par les écluses de Hogs Back (n° 11-12) et de Hartwell (n° 9-10) avant d'entrer dans le bief de la patinoire. L'eau quitte le bief de la patinoire par l'écluse n° 8 d'Ottawa. Ces écluses sont toutes entretenues et exploitées par Parcs Canada (PC).

1135 boul. Lebourgneuf
Québec, Québec G2K 0M5
Canada

Tél. : 1 418 623-2254
Télécopieur : 1 418 624-1857
wsp.com

À la fin de l'automne, Parcs Canada abaisse temporairement le niveau d'eau du canal pour permettre à l'équipe de la CCN d'installer les infrastructures de la patinoire. Après la période d'installation, Parcs Canada fait remonter le niveau d'eau dans le canal, mais à un niveau plus bas que celui de la saison de navigation. Parcs Canada installe des piquets en amont de l'écluse n° 8 pour contrôler le niveau d'eau en hiver.

Le canal Rideau traverse une zone urbaine. Plusieurs exutoires se déversent dans le canal, y compris de grands exutoires près de la rue Cooper (PK 0,7) et de l'avenue Laurier (PK 0,3).

Un mur vertical en béton court des deux côtés du canal sur toute sa longueur, à l'exception de la rive ouest du lac Dow. En aval du lac Dow (du PK 0,0 à 5,4), la largeur du canal varie entre 20 et 100 m environ.

Les cartes de navigation montrent que la profondeur minimale de l'eau ⁽¹⁾ au centre du canal est d'environ 1,5 m (5 pi). En hiver, la profondeur est d'environ 1,2 m plus faible que pendant la saison de navigation. La profondeur maximale du lac Dow ⁽¹⁾ est d'environ 6,4 m (21 pi).

La surface totale du canal ⁽¹⁾, entre les PK 0,0 et 7,8 et incluant le lac Dow, est de 0,5 km².

Sur le tronçon le plus en aval (PK 0,0 à 1,0), le canal est étroit (± 20 m de largeur) et peu profond (<1 m de profondeur d'eau en son centre).

¹ Pendant la saison de navigation.

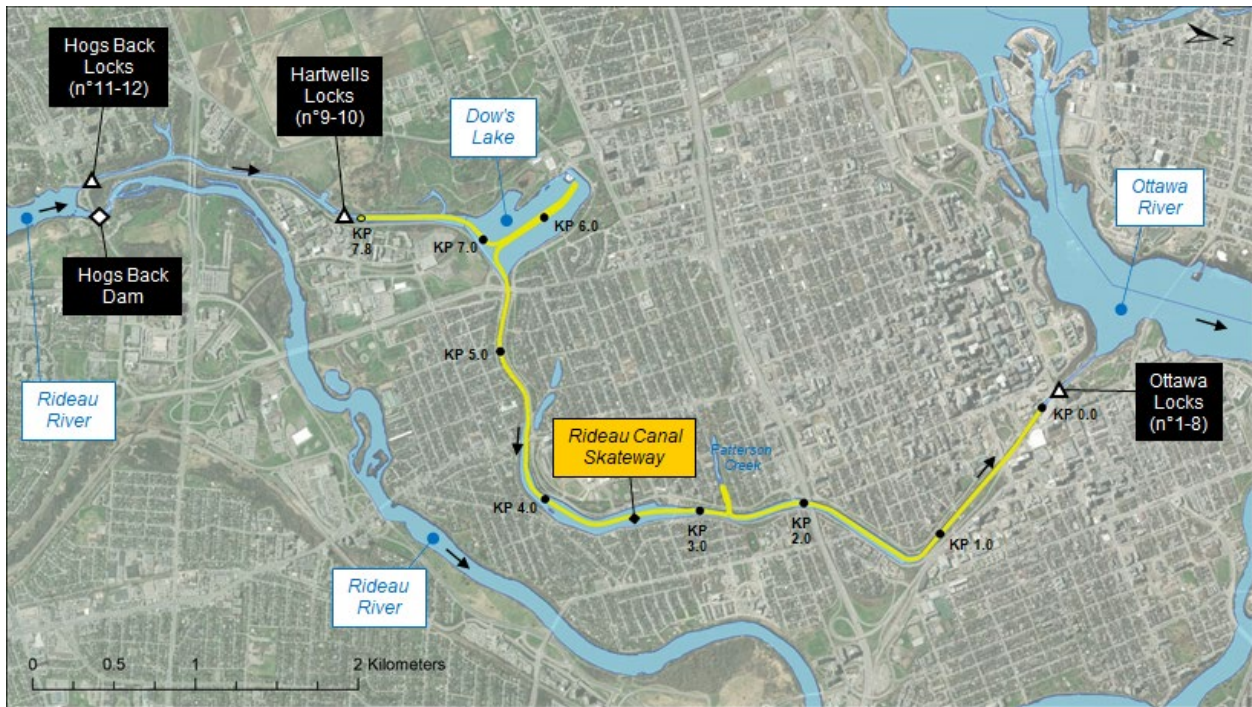


Figure 2.1 Carte de localisation de la patinoire du canal Rideau (les PK sont des « points kilométriques » le long de la patinoire)

3.0 SAISON DE PATINAGE HIVER 2021

La 51^e saison de patinage sur le canal Rideau a commencé le 28 janvier et s’est terminée le 23 février 2021 (26 jours de patinage).

En novembre 2020, la CCN a installé des tuyaux (Photo 3.1) à la sortie du drain de l’avenue Laurier pour dévier et transporter plus en aval le débit entrant.

Le premier bief à ouvrir le 28 janvier était celui situé entre le pont de Pretoria (PK 2) et le pont de la rue Bank (PK 4,4). Trois jours plus tard, le 31 janvier, le canal était ouvert sur toute sa longueur : entre les PK 0,0 et 7,8.

La Figure 3.1 illustre la température horaire de l’air enregistrée par Environnement Canada à la station Ottawa CDA RCS (N° 6105978). Cette station est située à environ 1,5 km au sud-ouest du lac Dow.

Le Tableau 3.1 présente un résumé des données climatiques enregistrées à Ottawa par Environnement Canada entre le 1^{er} décembre 2020 et le 23 février 2021 (fin de la saison de patinage).

Un événement pluvieux important s’est produit les 24 et 25 décembre 2020. La pluie totale enregistrée par Environnement Canada le 24 décembre à la station Ottawa CDA était de

56,2 mm. Cette pluie et le temps chaud ont altéré la glace et ont même ouvert des chenaux dans la couverture de glace (Photo 3.3).

La CCN a commencé à inonder la glace avec des pompes le 20 janvier 2021 au lac Dow (PK 5,8) et le même jour à Laurier (PK 0,2; Photo 3.2).

La patinoire a ouvert partiellement le 28 janvier après une période continue de 11 jours pendant lesquels la température horaire de l'air était inférieure à 0 °C. Ce jour-là, le nombre de degrés-jours de gel accumulés (AFDD²) était de 276 °C-d.

En comparaison avec les normales climatiques de la période 1981-2010 publiées par Environnement Canada, l'hiver 2021 a été plus doux que d'habitude. La valeur AFDD était de 323 °C-d à la fin du mois de janvier 2021, soit 36 % de moins que la normale 1981-2010 (508 °C-d).

La saison s'est terminée le 23 février 2021 après un fort épisode de neige. Les températures maximales quotidiennes des 22, 23 et 24 février étaient respectivement de 0,2, 3,0 et 2,2 °C et les précipitations totales étaient respectivement de 5,5, 0,7 et 14,5 mm.



Photo 3.1 Tuyaux installés par la CCN à la sortie de l'avenue Laurier Darin (CTV News, 2020)

² Somme des températures quotidiennes inférieures à 0 °C à partir du 1^{er} décembre.



Photo 3.2 Première inondation de la glace à Laurier (PK 0,2) le 21 janvier 2021



Photo 3.3 Ouvertures dans la couverture de glace à Laurier le 28 décembre 2020 après l'événement de pluie

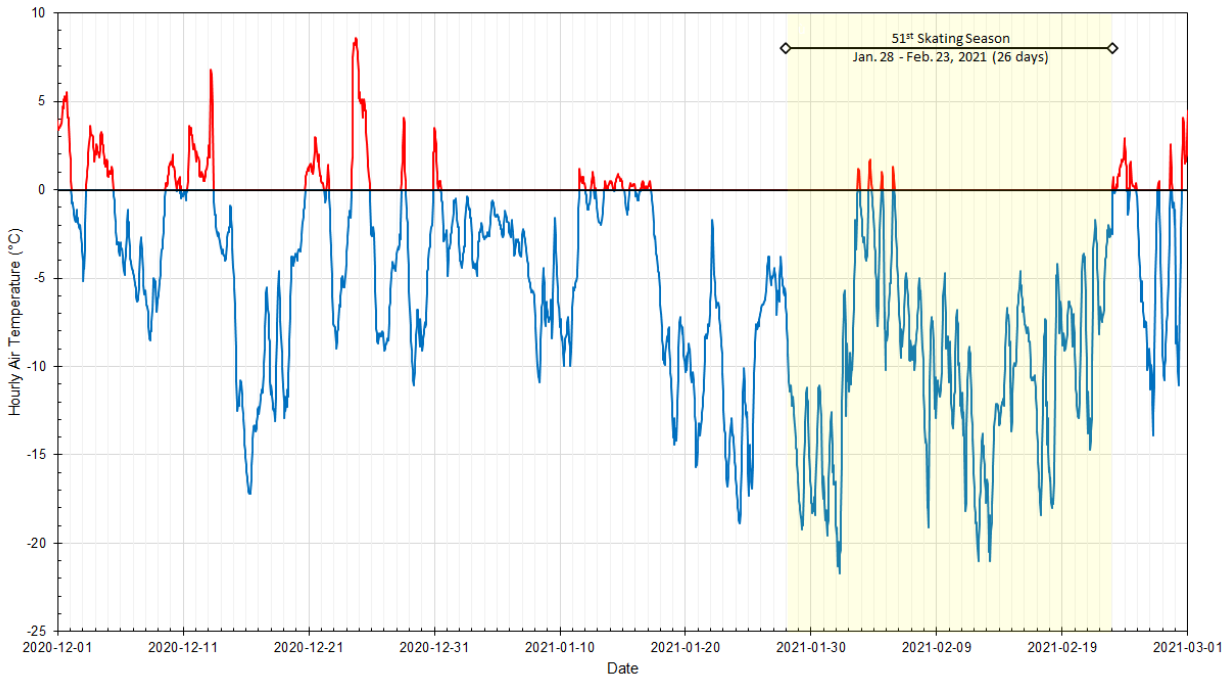


Figure 3.1 Température horaire de l’air en décembre-janvier-février 2021 – Station Ottawa CDA RCS (N° 6105978, Environnement Canada)

Tableau 3.1 Résumé des enregistrements climatiques à Ottawa entre le 1^{er} décembre 2020 et le 23 février 2021 – Station Ottawa CDA et Ottawa CDA RCS

PARAMÈTRE	DÉCEMBRE	JANVIER	FÉVRIER**
Températures moyennes mensuelles (°C)	-3,0	-6,8	-9,1
Température maximale journalière (°C)	3,0	0,4	1,4
Température minimale journalière (°C)	-14,8	-16,6	-17,7
Pluie maximale quotidienne (mm)	56,2***	5,6	S. O.
AFDD* maximum (°C-d)	111	323	534
AFDD normal 1981-2010†	190	509	739

* Cumul des degrés-jours de gel depuis le 1^{er} décembre.

** Du 1^{er} au 23 février (fin de la saison de patinage).

*** Le 24 décembre à la station Ottawa CDA.

† Normales climatiques de 1981 à 2010 (Environnement Canada, 2020)

4.0 RÉSEAU DE SURVEILLANCE

La Figure 4.1 illustre l'emplacement des jauges installées par WSP dans le cadre du réseau de surveillance de l'hiver 2021. Un total de huit (8) jauges a été installé le 9 février 2021 :

- Cinq (5) jauges de température (T) aux PK 0,3, 0,7, 1,4, 2,4 et 5,6;
- Trois (3) jauges de conductivité-température (CT) aux PK 0,0, 3,3 et 7,8.

Les jauges ont été placées à environ 0,15 m sous la face inférieure du couvert de glace à l'aide d'un support (Photo 4.1). La température et la conductivité de l'eau ont été mesurées en utilisant un intervalle constant de 5 minutes.

La jauge 0,3 a été placée près de la sortie du drain de sortie de l'avenue Laurier (Photo 4.2). À cet endroit, un conduit de dérivation a été installé par la CCN pour transporter en aval le débit du drain.

Toutes les jauges ont été récupérées le 1^{er} mars 2021, soit six (6) jours après la fin de la saison de patinage.

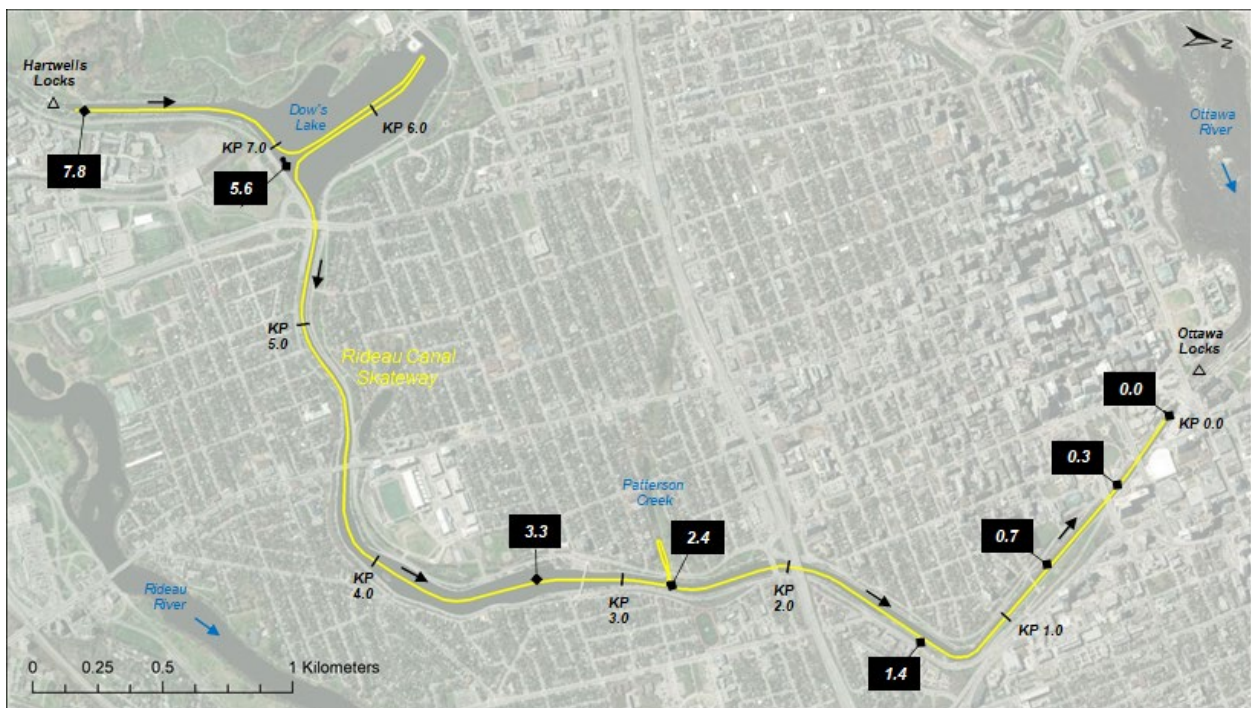


Figure 4.1 Réseau de surveillance de l'hiver 2021 – des jauges ont été installées aux points kilométriques (PK) 0,0, 0,3, 0,7, 1,4, 2,4, 3,3, 5,6 et 7,8



Photo 4.1 Support de jauge



Photo 4.2 Installation d'une jauge au PK 0,3 (sortie du drain de l'avenue Laurier)

5.0 RÉSULTATS

5.1 État des jauges

Le Tableau 5.1 résume l'état des jauges lorsqu'elles ont été récupérées le 1^{er} mars 2021.

Six (6) jauges (0,0, 0,3, 0,7, 1,4, 2,4 et 7,8) ont été récupérées avec succès. Les lectures de conductivité de la jauge 0,0 sont aberrantes et ne peuvent être utilisées dans l'analyse.

Les lectures de la jauge 0,7 montrent que l'instrument était gelé la plupart du temps (piégé dans la glace; lecture de température < 0 °C) et a été libéré le 28 février.

Les jauges 3,3 et 5,6 ont malheureusement été perdues et n'ont pas pu être récupérées par WSP. Il semble que le support de la jauge 5,6 ait été endommagé lors de l'entretien de la glace.

Tableau 5.1 État des jauges – campagne de surveillance de l'hiver 2021

JAUGE	TYPE*	ÉTAT	C	T
0,0	CT	La jauge a été récupérée, mais les lectures de conductivité sont aberrantes.	–	x
0,3	T	Jauge récupérée.		x
0,7	T	Jauge récupérée. Congélation temporaire.		x
1,4	T	Jauge récupérée.		x
2,4	T	Jauge récupérée.		x
3,3	CT	Jauge perdue.	–	–
5,6	T	Jauge perdue. Le support a été endommagé.		–
7,8	CT	Jauge récupérée.	x	x

* T = température, CT = conductivité et température

5.2 Température de l'eau

Les Figures 5.1 et Figure 5.2 illustrent les températures de l'eau enregistrées aux jauges 0,0, 0,3, 0,7, 1,4, 2,4 et 7,8. Le Tableau 5.2 présente, pour chaque jauge, la température horaire moyenne et maximale, ainsi que la variation maximale de température intrajournalière.

L'annexe A présente la relation entre la température horaire de l'air (à la station Ottawa CDA RCS) et la température de l'eau mesurée le long de la patinoire.

Les mesures montrent que la température de l'eau proche de la glace à l'entrée de la patinoire (PK 7,8) est souvent plus élevée (de l'ordre de 0,3 °C) que dans le canal en aval. Cela semble indiquer que l'eau se refroidit généralement lorsqu'elle s'écoule en aval dans le canal.

Les données montrent que l'eau proche de la glace est nettement plus chaude au PK 0,0, avec une température moyenne de 1,7 °C. La différence de température (par rapport au reste du canal) est généralement d'environ de 1 °C, augmente à 2 °C le 25 février et atteint 5 °C le 1^{er} mars. On soupçonne que cette température élevée pourrait s'expliquer par l'exutoire du drainage urbain, en particulier l'avenue Laurier, qui transporte de l'eau plus chaude dans le canal.

Les résultats montrent que la température de l'eau sur le tronçon aval du canal (PK 0,0, 0,3 et 0,7) était plus influencée par l'augmentation de la température de l'air au-dessus de 0 °C qu'en amont. Le 1^{er} mars, les enregistrements aux jauges des PK 0,0 et 0,7 montrent une augmentation importante de la température de l'eau, de l'ordre de 4 °C. L'augmentation de la température de l'eau au PK 0,3 (avenue Laurier) a été moins importante (0,7 °C), ce qui semble indiquer que les tuyaux installés par la CCN (Photo 3.1) ont été relativement efficaces pour transporter plus en aval l'eau plus chaude provenant du drain de l'avenue Laurier.

Une caractéristique intéressante a été observée certains jours à la jauge 0,3 : une augmentation de la température de l'eau d'environ 0,4 °C vers minuit. Cette augmentation coïncide avec le passage du véhicule d'entretien des glaces, qui peut plier localement la couverture de glace et pousser plus profondément la jauge dans la colonne d'eau.

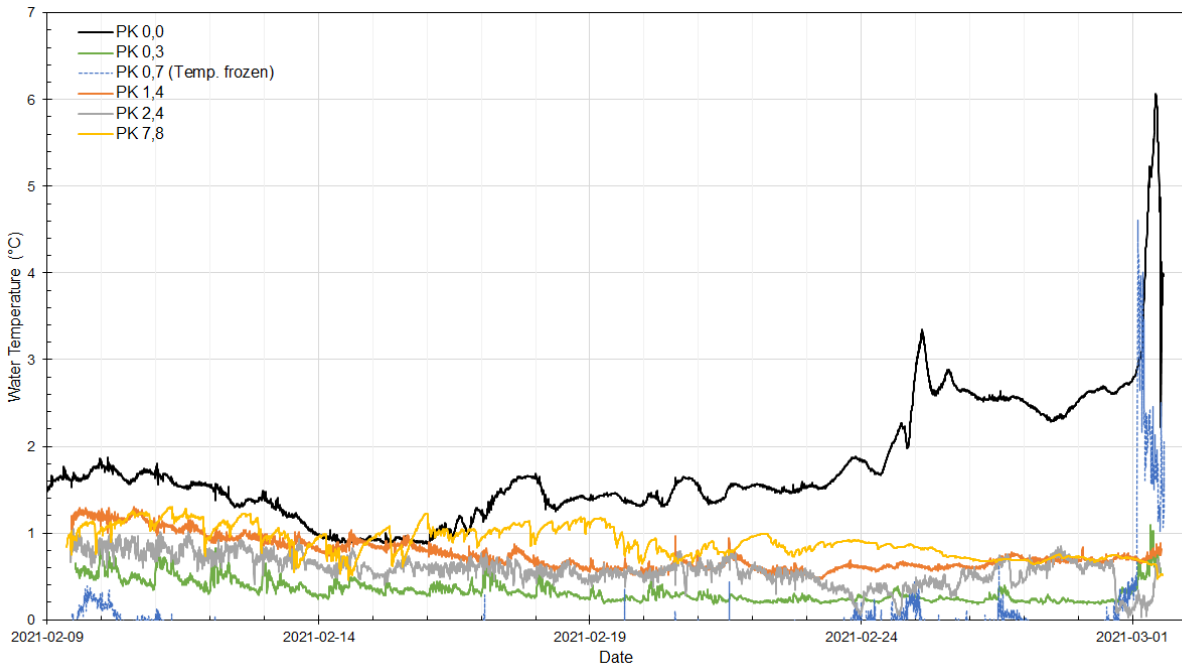


Figure 5.1 Températures de l'eau mesurées sur la patinoire du canal Rideau entre le 9 février et le 1^{er} mars 2021

Tableau 5.2 Enregistrements de la température de l'eau entre le 9 février et le 1^{er} mars 2021

JAUGE (PK)	DESCRIPTION	EAU TEMPÉRATURE (°C)		
		MOYENNE	MAXIMUM	ΔT_{MAX}^*
0,0	Extrémité aval de la patinoire	1,7	6,0	+3,8
0,3	Avenue Laurier (drain)	0,3	1,1	+0,8
0,7	Rue Cooper (drain)	S. O.	4,6	+4,4
1,4	Rue Concord	0,8	1,3	+0,5
2,4	Ruisseau Patterson	0,6	1,0	+0,7
7,8	Extrémité amont de la patinoire	0,9	1,3	+0,6

* Variation maximale intrajournalière.

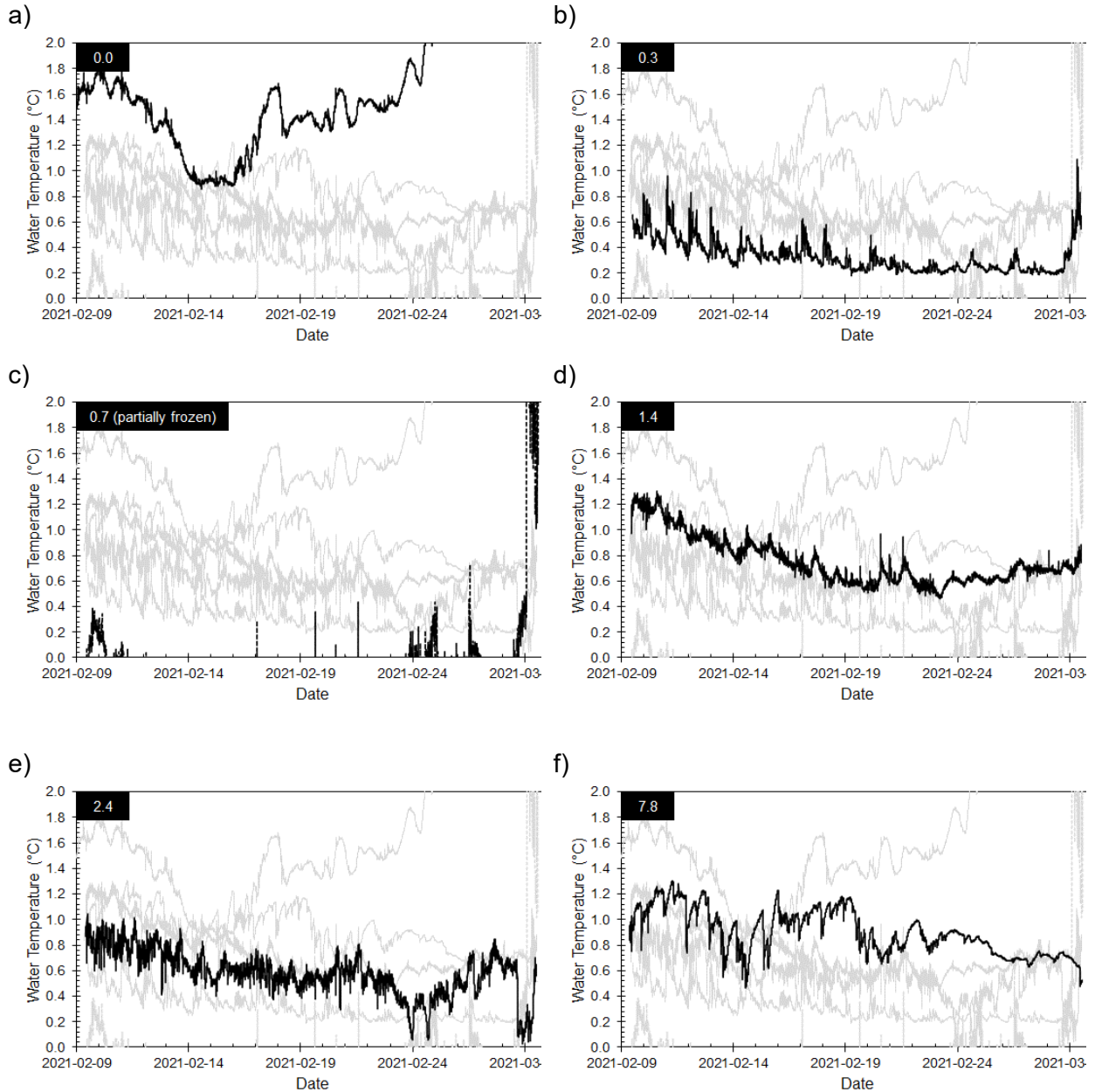


Figure 5.2 Températures de l'eau mesurées sur la patinoire du canal Rideau entre le 9 février et le 1^{er} mars 2021 – jauges aux points kilométriques (PK) le long de la patinoire : PK 0,0 (a), 0,3 (b), 0,7 (c), 1,4 (d), 2,4 (e) et 7,8 (f)

5.3 Conductivité

Les données de conductivité n'ont pu être extraites que de la jauge au PK 7,8. Par conséquent, aucune comparaison spatiale des mesures de conductivité n'est actuellement possible.

La Figure 5.3 illustre la variation de la conductivité au PK 7,8 entre le 9 février et le 1^{er} mars 2021. Les valeurs enregistrées se situent entre 641 et 1 637 $\mu\text{S}/\text{cm}$, ce qui est dans la fourchette typique des eaux de rivière. En comparaison, l'eau de mer a une conductivité de l'ordre de 50 000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Sensorex, 2021).

Comme la conductivité ne pouvait pas être surveillée par d'autres jauges, l'incidence des drains d'eaux pluviales a pu être analysée sur la base des données de février 2021. Cependant, on pense que ces drains apportent de l'eau plus salée dans le canal, ce qui entraînerait une conductivité plus élevée sur le tronçon en aval.

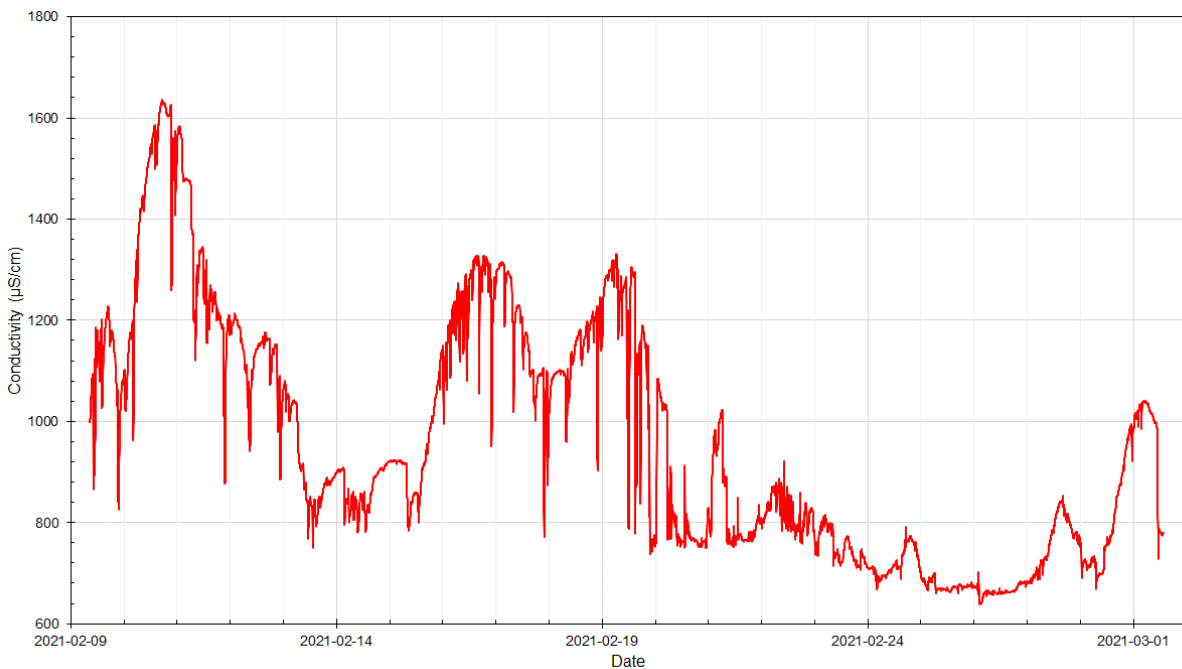


Figure 5.3 Conductivité mesurée au PK 7,8 entre le 9 février et le 1^{er} mars 2021

6.0 SOMMAIRE

En février 2021, le WSP a surveillé la température et la conductivité de l'eau sous la couverture de glace à plusieurs endroits le long de la patinoire du canal Rideau. L'objectif principal de la campagne de surveillance était d'acquérir des données sur le régime thermique du canal Rideau en hiver.

Les résultats montrent que l'eau qui entre dans le canal est relativement chaude (de l'ordre de 1 °C) et a tendance à se refroidir légèrement en descendant le courant.

Les résultats montrent également que le tronçon le plus en aval du canal (PK 0,0 à 0,7) est fortement influencé par le temps chaud, qui augmente le ruissellement de la fonte des neiges, du sel et du sable dans le canal. La température de l'eau sur ce bief a augmenté d'environ 4 °C le 1^{er} mars. La température maximale de l'air ce jour-là était de 4,5 °C.

Les informations recueillies par WSP en février 2021 constituent une première étape dans la compréhension des processus environnementaux qui ont une incidence sur l'étendue, la qualité et l'intégrité de la glace sur la patinoire.

7.0 RECOMMANDATIONS

WSP recommande de reprendre la campagne de surveillance sur la patinoire du canal Rideau pour l'hiver 2021-2022. Cette campagne pourrait être menée en collaboration avec l'Agence Parcs Canada (APC), qui s'intéresse également à la mesure de la qualité de l'eau dans le canal.

La campagne de surveillance doit commencer le plus tôt possible dans la saison, idéalement en octobre, afin de saisir les processus de refroidissement de l'eau avant le gel initial de la glace.

Comme prévu par WSP pour la campagne de février 2021, des jauges de température de l'air devraient être installées près du canal pour obtenir des informations locales, plutôt que de dépendre des stations météorologiques d'Environnement Canada situées à proximité.

Des jauges supplémentaires devraient être envisagées lors de la planification de la prochaine campagne de terrain. Par exemple, des jauges devraient être placées près des écluses de Hogs Back et de Hartwell pour surveiller la température de l'eau entrant dans le canal. La température de l'eau dans la rivière Rideau, directement en amont des écluses de Hogs Back, devrait être surveillée, en installant une nouvelle jauge dans la rivière ou en récupérant les données recueillies par l'APC à Mooney's Bay.

Des informations supplémentaires sur les drains d'eaux pluviales doivent également être collectées afin de mieux comprendre leur type, leur dimension, leur captage et leur emplacement spatial. Il convient aussi de recueillir des informations pour savoir s'ils servent de débordement au système d'égouts.

8.0 RÉFÉRENCES

- CTV NEWS. 2020. The NCC's secret weapon to freeze the downtown section of the Rideau Canal Skateway this winter. Publié le mardi 17 novembre 2020. <https://ottawa.ctvnews.ca/the-ncc-s-secret-weapon-to-freeze-the-downtown-section-of-the-rideau-canal-skateway-this-winter-1.5192844>
- ENVIRONNEMENT CANADA. 2020. Normales climatiques canadiennes 1981-2010 – Station Ottawa CDA N° 6105976. Site consulté le 18 mars 2021. https://climate.weather.gc.ca/climate_normals/results_1981_2010_e.html?stnID=4333&autofwd=1
- SENSOREX. 2021. Surveillance de la conductivité pour l'osmose inverse. Site consulté le 6 avril 2021. <https://sensorex.com/blog/2017/07/12/conductivity-monitoring-reverse-osmosis/>

Préparé par :

Simon Nolin, M.Sc., ing.
N° OIO : 100207535

Vérfié par :

Pierre Pelletier, M.Sc., ing.
N° OIO : 100552725

ANNEXE

D

BASE DE DONNÉES
SUR L'ÉVALUATION
DES RISQUES LIÉS
AUX CHANGEMENTS
CLIMATIQUES

Identifiant	Impact potentiel	Exposition			Vulnérabilité					Risque							
		Aléa(s) climatique(s) associé(s)	Exposition (2080)	Justification	Sensibilité		Capacité d'adaptation			Niveau de vulnérabilité	Probabilité de l'impact	Sévérité de l'impact			Niveau de sévérité	Justification de la gravité	Niveau de risque
					Niveau	Justification	Niveau	Justification	Économique			Santé, sécurité et communauté	Environnement				
1	Augmentation de la production d'eaux pluviales chaudes provenant de précipitations plus importantes fondant la glace du canal.	Température Précipitations	Élevée	On prévoit une augmentation des précipitations totales pendant les mois d'hiver, mais une diminution des chutes de neige totales prévues. Dans la RCN, on prévoit une diminution des chutes de neige totales annuelles, qui passeront d'environ 223 cm pour la période de référence à 193-201 cm dans les années 2030, 184-179 cm dans les années 2050 et 154-124 cm dans les années 2080. Il s'agit d'une diminution de 31 à 44 % d'ici les années 2080 (NCC et al., 2020a). Cela pourrait indiquer une augmentation des précipitations tombant sous forme de pluie, ce qui est cohérent avec d'autres résultats pour la province. Les précipitations hivernales devraient passer d'une base historique (1976-2005) de 199 mm à 169 mm-318 mm en 2051-2080 selon le scénario RCP8.5.	Élevée	Les eaux pluviales seront plus chaudes et plus polluées par des matériaux plus sombres et absorbant la lumière, ce qui peut augmenter le taux de fonte du canal.	Élevée	Il s'agit d'un problème existant et la patinoire possède déjà une capacité d'adaptation intégrée à ses opérations. Environ six semaines avant le début de la saison de patinage, un système personnalisé d'atténuation des eaux pluviales est installé pour détourner les eaux pluviales plus chaudes des zones de patinage. À l'automne 2020, un troisième tuyau a été ajouté pour détourner le trop-plein au centre du canal Rideau et favoriser l'épaississement de la glace dans les secteurs allant de la rue Rideau au pont Laurier.	Modérée	Élevée	Élevée	Modérée	Faible	Élevée	Une diminution du nombre de jours de patinage viables a réduit le potentiel économique pour les vendeurs locaux, le transport et l'hébergement. En outre, une saison plus courte augmente le coût d'exploitation par jour de patinage. La diminution du nombre de jours de patinage peut également avoir une incidence sur la communauté et les utilisateurs de la patinoire. Cette sévérité touche principalement deux groupes. Les premiers sont les utilisateurs réguliers qui empruntent la patinoire pour se rendre au travail ou pour leurs activités quotidiennes et qui ont toujours été contrariés lorsque ces activités sont entravées. Les seconds sont les visiteurs de l'extérieur de la ville qui doivent planifier, voyager et faire des sacrifices plus importants pour utiliser la patinoire.	Élevée	
2	Augmentation des eaux pluviales chaudes en raison d'une plus grande fonte des neiges due à des températures plus élevées faisant fondre la glace du canal.	Température Précipitations	Élevée	Les modèles globaux prévoient que les hivers dans la région de la capitale nationale seront plus courts et plus doux (CCN et al., 2020a). Selon le scénario RCP8.5, d'ici 2021-2050, les températures hivernales moyennes devraient passer d'une moyenne historique de -8,5 °C à -6,1 °C (+2,4 °C) (Atlas climatique, 2020). D'ici 2051-2080, selon le même scénario, la température hivernale moyenne devrait atteindre -3,4 °C (+5,1). Notamment, d'ici 2051-2080, les températures hivernales maximales devraient passer d'une moyenne historique de -2,4 °C à 0,1 °C, une température supérieure au point de fusion de la neige et de la glace. Ces tendances indiquent toutes une augmentation des conditions de réchauffement. On prévoit une augmentation des précipitations totales pendant les mois d'hiver, mais une diminution des chutes de neige totales prévues. Dans la RCN, on prévoit une diminution des chutes de neige totales annuelles, qui passeront d'environ 223 cm pour la période de référence à 193-201 cm dans les années 2030, 184-179 cm dans les années 2050 et 154-124 cm dans les années 2080. Il s'agit d'une diminution de 31 à 44 % d'ici les années 2080 (NCC et al., 2020a).	Élevée	La neige fondue sera plus chaude, plus polluée par des matières plus sombres qui absorbent la lumière et potentiellement par des agents de fonte de la glace supplémentaires tels que le sel, ce qui peut augmenter la vitesse de fonte du canal.	Élevée	Il s'agit d'un problème existant et la patinoire possède déjà une capacité d'adaptation intégrée à ses opérations. Environ six semaines avant le début de la saison de patinage, un système personnalisé d'atténuation des eaux pluviales est installé pour détourner les eaux pluviales plus chaudes des zones de patinage. À l'automne 2020, un troisième tuyau a été ajouté pour détourner le trop-plein au centre du canal Rideau et favoriser l'épaississement de la glace dans les secteurs allant de la rue Rideau au pont Laurier. En outre, la neige sur la patinoire elle-même est rapidement enlevée pendant l'entretien.	Modérée	Élevée	Élevée	Modérée	Faible	Élevée	Une diminution du nombre de jours de patinage viables a réduit le potentiel économique pour les vendeurs locaux, le transport et l'hébergement. En outre, une saison plus courte augmente le coût d'exploitation par jour de patinage. La diminution du nombre de jours de patinage peut également avoir une incidence sur la communauté et les utilisateurs de la patinoire. Cette sévérité touche principalement deux groupes. Les premiers sont les utilisateurs réguliers qui empruntent la patinoire pour se rendre au travail ou pour leurs activités quotidiennes et qui ont toujours été contrariés lorsque ces activités sont entravées. Les seconds sont les visiteurs de l'extérieur de la ville qui doivent planifier, voyager et faire des sacrifices plus importants pour utiliser la patinoire.	Élevée	
3	Des températures nocturnes plus élevées retardant le début des inondations et l'épaississement de la glace.	Température	Très élevée	Les modèles prévoient une diminution des épisodes de « gel profond », c'est-à-dire du nombre de jours où la température minimale journalière est inférieure à -10 °C. Ces épisodes devraient passer d'environ 71 jours par an pour la période de référence à environ 59-57 jours dans les années 2030, 53-46 jours dans les années 2050 et 48-28 jours dans les années 2080 (NCC et al., 2020a).	Très élevée	La formation de la glace a lieu pendant la deuxième phase de la présaison et nécessite une couverture de glace minimale et des températures inférieures à -10 °C la nuit et -5 °C le jour. Si cette température n'est pas constamment atteinte, la patinoire ne pourra pas être inondée et épaissie et la saison sera retardée.	Faible	Il existe plusieurs mesures d'adaptation potentielles, comme l'installation d'une grille ou le renforcement microscopique de la glace, mais ces mesures peuvent être coûteuses et nécessitent des températures minimales pour fonctionner.	Élevée	Très élevée	Élevée	Modérée	Faible	Élevée	Une diminution du nombre de jours de patinage viables a réduit le potentiel économique pour les vendeurs locaux, le transport et l'hébergement. En outre, une saison plus courte augmente le coût d'exploitation par jour de patinage. La diminution du nombre de jours de patinage peut également avoir une incidence sur la communauté et les utilisateurs de la patinoire. Cette sévérité touche principalement deux groupes. Les premiers sont les utilisateurs réguliers qui empruntent la patinoire pour se rendre au travail ou pour leurs activités quotidiennes et qui ont toujours été contrariés lorsque ces activités sont entravées. Les seconds sont les visiteurs de l'extérieur de la ville qui doivent planifier, voyager et faire des sacrifices plus importants pour utiliser la patinoire.	Très élevée	
4	La fréquence réduite des vagues de froid limite la capacité opérationnelle d'inonder le canal pendant la nuit.	Température	Très élevée	Les modèles prévoient une diminution des épisodes de « gel profond », c'est-à-dire du nombre de jours où la température minimale quotidienne est inférieure à -10 °C. Ces épisodes devraient passer d'environ 71 jours par an pour la période de référence à environ 59-57 jours dans les années 2030, 53-46 jours dans les années 2050 et 48-28 jours dans les années 2080 (NCC et al., 2020a).	Élevée	Dans le cadre de l'entretien de la patinoire, la glace est créée par des inondations intenses pendant les vagues de froid de la saison. L'absence de ces coups de froid réduit la capacité d'épaississement et de stabilisation de la glace.	Faible	Il existe plusieurs mesures d'adaptation potentielles, comme l'installation d'une grille ou le renforcement microscopique de la glace, mais ces mesures peuvent être coûteuses et nécessitent des températures minimales pour fonctionner.	Élevée	Très élevée	Élevée	Modérée	Faible	Élevée	Une diminution du nombre de jours de patinage viables a réduit le potentiel économique pour les vendeurs locaux, le transport et l'hébergement. En outre, une saison plus courte augmente le coût d'exploitation par jour de patinage. La diminution du nombre de jours de patinage peut également avoir une incidence sur la communauté et les utilisateurs de la patinoire. Cette sévérité touche principalement deux groupes. Les premiers sont les utilisateurs réguliers qui empruntent la patinoire pour se rendre au travail ou pour leurs activités quotidiennes et qui ont toujours été contrariés lorsque ces activités sont entravées. Les seconds sont les visiteurs de l'extérieur de la ville qui doivent planifier, voyager et faire des sacrifices plus importants pour utiliser la patinoire.	Très élevée	

5	La diminution du nombre de périodes de froid accroît le plaisir des patineurs et des visiteurs.	Température	Très élevée	<p>Il s'agit d'une occasion complexe, car elle n'est applicable que si les conditions de la glace conviennent aux patineurs. Diminuer le nombre de jours de patinage réduira les occasions de profiter davantage de ces jours de patinage.</p> <p>Les modèles globaux prévoient que les hivers dans la région de la capitale nationale deviendront plus doux (CCN et al., 2020a). Selon le scénario RCP8.5, d'ici 2021-2050, les températures hivernales moyennes devraient passer d'une moyenne historique de -8,5 °C (-11,0 °C à -5,9 °C) à -6,1 °C (-8,9 °C à -3,1 °C), soit une augmentation de 2,4 °C (Atlas climatique, 2020). D'ici 2051-2080, selon le même scénario, les températures hivernales moyennes devraient passer à -3,4 °C (-6,2 °C à -0,6 °C), soit une augmentation de 5,1 °C. En particulier, d'ici 2051-2080, les températures hivernales maximales devraient passer d'une moyenne historique de -2,4 °C (-6,5 °C à 1,7 °C) à 0,1 °C (-2,5 °C à -2,9 °C), soit une température supérieure au point de fusion de la neige et de la glace. Ces tendances indiquent toutes une augmentation des conditions de réchauffement (Atlas climatique, 2020).</p>	Modérée	Le patinage sur le canal est une activité presque exclusivement de plein air et, par extension, les conditions météorologiques de chaque jour de patinage disponible auront une incidence sur le plaisir des utilisateurs. Les utilisateurs les plus sensibles seront probablement ceux qui vivent localement et qui utilisent le canal quotidiennement ou hebdomadairement, tandis que ceux qui voyagent sont moins susceptibles d'être sélectifs quant à la météo des jours de patinage en raison de contraintes de temps.	Élevée	La météo et les annonces concernant l'ouverture de la patinoire sont déjà facilement et publiquement accessibles via les médias sociaux et Internet. Les choix vestimentaires sont laissés à l'appréciation de chacun et, comme la patinoire ne nécessite ni réservation ni billet, les utilisateurs peuvent profiter des beaux jours comme bon leur semble.	Faible	Faible	Modérée	Modérée	Faible	Modérée	Une augmentation du beau temps par temps viable peut accroître l'utilisation de la patinoire et par extension l'achalandage pour les vendeurs et les événements locaux. Les utilisateurs locaux seront probablement les plus touchés, car ceux qui viennent de l'extérieur de la ville ont moins de flexibilité pour choisir les jours de patinage.	Occasion
6	Augmentation de la fréquence des chutes de neige nécessitant un entretien et des opérations accrues.	Température Précipitations Vent	Faible	<p>On prévoit une augmentation des précipitations totales pendant les mois d'hiver, mais une diminution des chutes de neige totales prévues. Dans la RCN, on prévoit une diminution des chutes de neige totales annuelles, qui passeront d'environ 223 cm pour la période de référence à 193-201 cm dans les années 2030, 184-179 cm dans les années 2050 et 154-124 cm dans les années 2080. Il s'agit d'une diminution de 31 à 44 % d'ici les années 2080. Aucun changement n'est prévu dans la fréquence des jours humides, ou jours de précipitations. Le nombre de jours avec des chutes de neige (défini comme le nombre de jours où il y a des chutes de neige ≥ 1 cm) devrait diminuer d'environ 41 jours pour la période de référence à environ 37 jours dans les années 2030, 33-32 jours dans les années 2050 et 31-22 jours dans les années 2080. Les projections moyennes suggèrent que les chutes de neige maximales annuelles sur un jour passeront d'environ 20 cm pour la période de référence à 21-20 cm dans les années 2030, 22-20 cm dans les années 2050 et 20-16 cm dans les années 2080 (NCC et al., 2020a), ce qui suggère une faible exposition à une fréquence accrue des événements neigeux.</p>	Modérée	La pratique courante pour les pistes de patinage et les routes de glace ainsi que pour la patinoire du canal Rideau consiste à enlever et à gérer la neige. Il s'agit notamment d'enlever la neige à la pelle après chaque chute de neige pour garantir des conditions de surface sûres et uniformes, réduire le poids et l'effet isolant de la neige (en début de saison).	Élevée	Le déneigement et l'entretien sont déjà une composante de l'entretien de la patinoire avec le personnel et les matériaux existants.	Faible	Faible	Modérée	Faible	Faible	Modérée	<p>Une diminution du nombre de jours de patinage viables a réduit le potentiel économique pour les vendeurs locaux, le transport et l'hébergement. En outre, une saison plus courte augmente le coût d'exploitation par jour de patinage. Un entretien supplémentaire peut également entraîner des coûts supplémentaires. La diminution du nombre de jours de patinage peut également avoir une incidence sur la communauté et les utilisateurs de la patinoire. Cette sévérité touche principalement deux groupes. Les premiers sont les utilisateurs réguliers qui empruntent la patinoire pour se rendre au travail ou pour leurs activités quotidiennes et qui ont toujours été contrariés lorsque ces activités sont entravées. Les seconds sont les visiteurs de l'extérieur de la ville qui doivent planifier, voyager et faire des sacrifices plus importants pour utiliser la patinoire.</p>	Faible
7	L'ampleur croissante des épisodes neigeux exigeant une maintenance et une exploitation accrues.	Température Précipitations Vent	Faible	<p>On prévoit une augmentation des précipitations totales pendant les mois d'hiver, mais une diminution des chutes de neige totales prévues. Dans la RCN, on prévoit une diminution des chutes de neige totales annuelles, qui passeront d'environ 223 cm pour la période de référence à 193-201 cm dans les années 2030, 184-179 cm dans les années 2050 et 154-124 cm dans les années 2080. Il s'agit d'une diminution de 31 à 44 % d'ici les années 2080. Les projections moyennes suggèrent que les chutes de neige maximales annuelles sur un jour passeront d'environ 20 cm pour la période de référence à 21-20 cm dans les années 2030, 22-20 cm dans les années 2050 et 20-16 cm dans les années 2080, ce qui indique une légère augmentation puis une baisse (NCC et al., 2020a).</p>	Modérée	La pratique courante pour les pistes de patinage et les routes de glace ainsi que pour la patinoire du canal Rideau consiste à enlever et à gérer la neige. Il s'agit notamment d'enlever la neige à la pelle après chaque chute de neige pour garantir des conditions de surface sûres et uniformes, réduire le poids et l'effet isolant de la neige (en début de saison). Le déneigement est un problème existant, la charge de neige sur la glace pouvant affecter l'intégrité structurelle et la sûreté de la glace. Bien que l'on s'attende à ce que la quantité moyenne de chutes de neige diminue, il est possible de réduire les exigences en matière de gestion de la neige.	Élevée	Le déneigement et l'entretien sont déjà une composante de l'entretien de la patinoire avec le personnel et les matériaux existants.	Faible	Faible	Modérée	Modérée	Faible	Modérée	<p>Une diminution du nombre de jours de patinage viables a réduit le potentiel économique pour les vendeurs locaux, le transport et l'hébergement. En outre, une saison plus courte augmente le coût d'exploitation par jour de patinage. Un entretien supplémentaire peut également entraîner des coûts supplémentaires. La diminution du nombre de jours de patinage peut également avoir une incidence sur la communauté et les utilisateurs de la patinoire. Cette sévérité touche principalement deux groupes. Les premiers sont les utilisateurs réguliers qui empruntent la patinoire pour se rendre au travail ou pour leurs activités quotidiennes et qui ont toujours été contrariés lorsque ces activités sont entravées. Les seconds sont les visiteurs de l'extérieur de la ville qui doivent planifier, voyager et faire des sacrifices plus importants pour utiliser la patinoire.</p>	Faible
8	Augmentation de la fréquence des épisodes de neige réduisant la capacité d'inonder le canal Rideau pour créer de nouvelles glaces.	Température Précipitations Vent	Faible	<p>On prévoit une augmentation des précipitations totales pendant les mois d'hiver, mais une diminution des chutes de neige totales prévues. Dans la RCN, on prévoit une diminution des chutes de neige totales annuelles, qui passeront d'environ 223 cm pour la période de référence à 193-201 cm dans les années 2030, 184-179 cm dans les années 2050 et 154-124 cm dans les années 2080. Il s'agit d'une diminution de 31 à 44 % d'ici les années 2080. Aucun changement n'est prévu dans la fréquence des jours humides, ou jours de précipitations. Le nombre de jours avec des chutes de neige (défini comme le nombre de jours où il y a des chutes de neige ≥ 1 cm) devrait diminuer d'environ 41 jours pour la période de référence à environ 37 jours dans les années 2030, 33-32 jours dans les années 2050 et 31-22 jours dans les années 2080. Les projections moyennes suggèrent que les chutes de neige maximales annuelles sur un jour passeront d'environ 20 cm pour la période de référence à 21-20 cm dans les années 2030, 22-20 cm dans les années 2050 et 20-16 cm dans les années 2080 (NCC et al., 2020a), ce qui suggère une faible exposition à une fréquence accrue des événements neigeux.</p>	Modérée	La pratique courante veut que la neige soit enlevée des pistes de patinage avant d'inonder la surface afin de réduire les irrégularités. Si la neige est trop abondante et nécessite un déblaiement supplémentaire, l'inondation peut être retardée.	Élevée	Le déneigement et l'entretien sont déjà une composante de l'entretien de la patinoire avec le personnel et les matériaux existants.	Faible	Faible	Élevée	Modérée	Faible	Élevée	<p>Une diminution du nombre de jours de patinage viables a réduit le potentiel économique pour les vendeurs locaux, le transport et l'hébergement. En outre, une saison plus courte augmente le coût d'exploitation par jour de patinage. La diminution du nombre de jours de patinage peut également avoir une incidence sur la communauté et les utilisateurs de la patinoire. Cette sévérité touche principalement deux groupes. Les premiers sont les utilisateurs réguliers qui empruntent la patinoire pour se rendre au travail ou pour leurs activités quotidiennes et qui ont toujours été contrariés lorsque ces activités sont entravées. Les seconds sont les visiteurs de l'extérieur de la ville qui doivent planifier, voyager et faire des sacrifices plus importants pour utiliser la patinoire.</p>	Modérée
9	Perte de perspectives économiques directes en raison de la baisse de fréquentation de l'événement annuel du Bal de Neige.	Température	Très élevée	<p>Les modèles globaux prévoient que les hivers dans la région de la capitale nationale seront plus courts et plus doux (CCN et al., 2020a). Selon le scénario RCP8.5, d'ici 2021-2050, les températures hivernales moyennes devraient passer d'une moyenne historique de -8,5 °C (-11,0 °C à -5,9 °C) à -6,1 °C (-8,9 °C à -3,1 °C), soit une augmentation de 2,4 °C (Atlas climatique, 2020). D'ici 2051-2080, selon le même scénario, les températures hivernales moyennes devraient passer à -3,4 °C (-6,2 °C à -0,6 °C), soit une augmentation de 5,1 °C. En particulier, d'ici 2051-2080, les températures hivernales maximales devraient passer d'une moyenne historique de -2,4 °C (-6,5 °C à 1,7 °C) à 0,1 °C (-2,5 °C à -2,9 °C), soit une température supérieure au point de fusion de la neige et de la glace. Ces tendances indiquent toutes une augmentation des conditions de réchauffement (Atlas climatique, 2020).</p> <p>La date du premier gel d'automne, qui représente le premier jour où les températures minimales journalières descendent en dessous de 0 °C, passera de la fin septembre/début d'octobre à la mi-octobre : environ 1 à 2 semaines plus tard dans les années 2030, 2 à 3 semaines plus tard dans les années 2050 et 3 à 4 semaines plus tard dans les années 2080.</p> <p>Le moment du dernier gel printanier, qui représente le dernier jour où les températures minimales quotidiennes sont supérieures à 0 °C, devrait</p>	Élevée	Depuis des années, le canal Rideau est l'un des principaux attraits du Bal de neige annuel. Selon une étude réalisée en 2003, 75 % des visiteurs interrogés ont déclaré que la patinoire avait joué un rôle important dans leur décision de visiter la région de la capitale nationale (Fiche d'information sur la patinoire du canal Rideau, 2006). Il s'agit d'une composante importante du tourisme d'hiver dans la région. Les modifications de la disponibilité de la patinoire sont plus susceptibles d'avoir une incidence sur les visiteurs locaux qui se rendent spontanément au festival, plutôt que sur les visiteurs de l'extérieur qui doivent réserver leur hébergement plusieurs semaines à l'avance (CBC News, 2020).	Modérée	Ces dernières années, en réponse au temps variable, le festival a diversifié ses offres et déplacé des événements hors du canal (Jau, 2019). Des initiatives de ce type pourraient atténuer les dommages causés par une saison de patinage plus courte et variable, même si la patinoire reste l'attrait principal pour beaucoup.	Modérée	Élevée	Élevée	Élevée	Faible	Élevée	<p>Une diminution du nombre de jours de patinage viables a réduit le potentiel économique pour les vendeurs locaux, le transport et l'hébergement. En outre, la fermeture de la patinoire pourrait réduire la fréquentation du Bal de neige et les avantages économiques locaux qu'il procure. La diminution du nombre de jours de patinage peut également avoir une incidence sur la communauté et les utilisateurs de la patinoire. Cette sévérité touche principalement deux groupes. Les premiers sont les utilisateurs réguliers qui empruntent la patinoire pour se rendre au travail ou pour leurs activités quotidiennes et qui ont toujours été contrariés lorsque ces activités sont entravées. Les seconds sont les visiteurs de l'extérieur de la ville qui doivent planifier, voyager et faire des sacrifices plus importants pour utiliser la patinoire.</p>	Élevée

10	Perte de perspectives économiques indirectes dues à la réduction du tourisme et aux dépenses associées, notamment dans les restaurants, les hôtels et les autres activités à proximité.	Température	Très élevée	<p>Les modèles globaux prévoient que les hivers dans la région de la capitale nationale seront plus courts et plus doux (CCN et al., 2020a). Selon le scénario RCP8.5, d'ici 2021-2050, les températures hivernales moyennes devraient passer d'une moyenne historique de -8,5 °C à -6,1 °C (+2,4 °C) (Atlas climatique, 2020). D'ici 2051-2080, selon le même scénario, la température hivernale moyenne devrait atteindre -3,4 °C (+5,1). Notamment, d'ici 2051-2080, les températures hivernales maximales devraient passer d'une moyenne historique de -2,4 °C à 0,1 °C, une température supérieure au point de fusion de la neige et de la glace. Ces tendances indiquent toutes une augmentation des conditions de réchauffement.</p> <p>La date du premier gel d'automne, qui représente le premier jour où les températures minimales journalières descendent en dessous de 0 °C, passera de la fin septembre/début d'octobre à la mi-octobre : environ 1 à 2 semaines plus tard dans les années 2030, 2 à 3 semaines plus tard dans les années 2050 et 3 à 4 semaines plus tard dans les années 2080.</p> <p>Le moment du dernier gel printanier, qui représente le dernier jour où les températures minimales quotidiennes sont supérieures à 0 °C, devrait survenir plus tôt : environ 1 à 2 semaines plus tôt dans les années 2030 et 2050, et 2 à 4 semaines plus tôt dans les années 2080, par rapport à la période de référence.</p>	Élevée	<p>Les visiteurs attirés par la patinoire procurent un élan économique important aux vendeurs locaux, qui rapportent une augmentation des ventes en matière de nourriture, d'hébergement, de transport et de souvenirs. En 2014, on a estimé que 650 000 visiteurs sont venus dans la région de la capitale nationale pour la patinoire et le Bal de neige (CTV News, 2010). La santé économique hivernale de la région est directement liée à la patinoire et au festival. Une étude économique réalisée en 2004 a estimé que les visiteurs du festival ont dépensé 152 millions de dollars en Ontario et au Québec, dont 82,5 millions de dollars à Ottawa (CTV News, 2010).</p>	Modérée	<p>Ces dernières années, en réponse au temps variable, le festival a diversifié ses offres et déplacé des événements hors du canal (Jau, 2019). Des initiatives de ce type pourraient atténuer les dommages causés par une saison de patinage plus courte et variable, même si la patinoire reste l'attrait principal pour beaucoup.</p>	Modérée	Élevée	Élevée	Modérée	Faible	Élevée	<p>Une diminution du nombre de jours de patinage viables a réduit le potentiel économique pour les vendeurs locaux, le transport et l'hébergement. La diminution du nombre de jours de patinage peut également avoir une incidence sur la communauté et les utilisateurs de la patinoire. La diminution du nombre de jours de patinage peut également avoir une incidence sur la communauté et les utilisateurs de la patinoire. Cette sévérité est plus susceptible d'avoir une incidence sur les dépenses et le tourisme à l'extérieur de la ville, car les résidents locaux sont plus flexibles dans leurs arrangements et leur capacité à visiter et à dépenser de l'argent.</p>	Élevée
11	Perte d'une icône culturelle canadienne.	Température Précipitations	Élevée	<p>Historiquement, on a déjà observé une tendance à la baisse de la durée de patinage entre 1971 et 2020, qui devrait se poursuivre en raison de l'augmentation prévue des températures. Les modèles globaux prévoient que les hivers dans la région de la capitale nationale seront plus courts et plus doux (CCN et al., 2020a). Selon le scénario RCP8.5, d'ici 2021-2050, les températures hivernales moyennes devraient passer d'une moyenne historique de -8,5 °C à -6,1 °C (+2,4 °C) (Atlas climatique, 2020). D'ici 2051-2080, selon le même scénario, la température hivernale moyenne devrait atteindre -3,4 °C (+5,1). Notamment, d'ici 2051-2080, les températures hivernales maximales devraient passer d'une moyenne historique de -2,4 °C à 0,1 °C, une température supérieure au point de fusion de la neige et de la glace. Ces tendances indiquent toutes une augmentation des conditions de réchauffement.</p> <p>La date du premier gel d'automne, qui représente le premier jour où les températures minimales journalières descendent en dessous de 0 °C, passera de la fin septembre/début d'octobre à la mi-octobre : environ 1 à 2 semaines plus tard dans les années 2030, 2 à 3 semaines plus tard dans les années 2050 et 3 à 4 semaines plus tard dans les années 2080.</p> <p>Le moment du dernier gel printanier, qui représente le dernier jour où les températures minimales quotidiennes sont supérieures à 0 °C, devrait survenir plus tôt : environ 1 à 2 semaines plus tôt dans les années 2030 et 2050, et 2 à 4 semaines plus tôt dans les années 2080, par rapport à la période de référence.</p>	Très élevée	<p>La patinoire revêt une importance culturelle considérable, tant au niveau local qu'au niveau international. Pendant des décennies, elle a été la plus longue piste de patinage en plein air du monde et est une icône canadienne bien-aimée visitée par des millions de personnes. C'est également une attraction clé du Bal de neige, un festival annuel d'importance culturelle.</p>	Faible	<p>Afin de mieux résister aux variations de température et aux hivers plus doux, le Bal de neige, qui est centré sur la patinoire, s'est adapté en déplaçant des événements hors glace. En revanche, la patinoire offre des possibilités plus limitées. Ces dernières années, le budget annuel pour l'entretien de la patinoire s'est élevé à environ 1,5 million de dollars (Tumilty, 2017). Quand la saison de patinage est raccourcie, les coûts par jour augmentent de façon spectaculaire, ce qui signifie qu'il y a moins de plaisir et plus de coûts. La nécessité d'un budget et d'une planification pour une attraction au succès variable réduit sa capacité d'adaptation. En outre, bien qu'il existe des techniques d'adaptation potentielles telles que l'installation de grilles et le renforcement microscopique de la glace, ces techniques peuvent être coûteuses sur le plan financier ou environnemental et dépendent toujours, dans une certaine mesure, de la coopération des températures.</p>	Élevée	Élevée	Élevée	Modérée	Faible	Élevée	<p>Une diminution du nombre de jours de patinage viables a réduit le potentiel économique pour les vendeurs locaux, le transport et l'hébergement. En outre, la perte d'une icône culturelle peut avoir une incidence négative sur l'image et l'esprit de la communauté. La diminution du nombre de jours de patinage peut également avoir une incidence sur la communauté et les utilisateurs de la patinoire. Cette sévérité touche principalement deux groupes. Les premiers sont les utilisateurs réguliers qui empruntent la patinoire pour se rendre au travail ou pour leurs activités quotidiennes et qui ont toujours été contrariés lorsque ces activités sont entravées. Les seconds sont les visiteurs de l'extérieur de la ville qui doivent planifier, voyager et faire des sacrifices plus importants pour utiliser la patinoire.</p>	Élevée
12	Le retard du début de la saison de patinage réduit le nombre viable de jours de patinage.	Température	Très élevée	<p>La date du premier gel d'automne, qui représente le premier jour où les températures minimales journalières descendent en dessous de 0 °C, passera de la fin septembre/début d'octobre à la mi-octobre : environ 1 à 2 semaines plus tard dans les années 2030, 2 à 3 semaines plus tard dans les années 2050 et 3 à 4 semaines plus tard dans les années 2080.</p> <p>Cela correspond aux tendances observées entre 1971 et 2020, qui montrent des retards croissants en début de saison.</p>	Très élevée	<p>En plus de déterminer le début de la saison de patinage, les conditions froides du début de saison définissent probablement la dynamique de la formation de la glace, ce qui a une incidence sur toute la saison. Un démarrage tardif peut signifier une saison de patinage réduite.</p>	Faible	<p>Il existe plusieurs mesures d'adaptation potentielles, comme l'installation d'une grille ou le renforcement microscopique de la glace, mais ces mesures peuvent être coûteuses et nécessitent des températures minimales pour fonctionner.</p>	Élevée	Très élevée	Élevée	Modérée	Faible	Élevée	<p>Une diminution du nombre de jours de patinage viables a réduit le potentiel économique pour les vendeurs locaux, le transport et l'hébergement. En outre, une saison plus courte augmente le coût d'exploitation par jour de patinage. La diminution du nombre de jours de patinage peut également avoir une incidence sur la communauté et les utilisateurs de la patinoire. Cette sévérité touche principalement deux groupes. Les premiers sont les utilisateurs réguliers qui empruntent la patinoire pour se rendre au travail ou pour leurs activités quotidiennes et qui ont toujours été contrariés lorsque ces activités sont entravées. Les seconds sont les visiteurs de l'extérieur de la ville qui doivent planifier, voyager et faire des sacrifices plus importants pour utiliser la patinoire.</p>	Très élevée
13	La fin précoce de la saison de patinage réduit le nombre viable de jours de patinage.	Température	Très élevée	<p>Le moment du dernier gel printanier, qui représente le dernier jour où les températures minimales quotidiennes sont supérieures à 0 °C, devrait survenir plus tôt : environ 1 à 2 semaines plus tôt dans les années 2030 et 2050, et 2 à 4 semaines plus tôt dans les années 2080, par rapport à la période de référence.</p>	Très élevée	<p>Une fin précoce peut signifier une saison de patinage réduite.</p>	Faible	<p>Il existe plusieurs mesures d'adaptation potentielles, comme l'installation d'une grille ou le renforcement microscopique de la glace, mais ces mesures peuvent être coûteuses et nécessitent des températures minimales pour fonctionner.</p>	Élevée	Très élevée	Élevée	Modérée	Faible	Élevée	<p>Une diminution du nombre de jours de patinage viables a réduit le potentiel économique pour les vendeurs locaux, le transport et l'hébergement. En outre, une saison plus courte augmente le coût d'exploitation par jour de patinage. La diminution du nombre de jours de patinage peut également avoir une incidence sur la communauté et les utilisateurs de la patinoire. Cette sévérité touche principalement deux groupes. Les premiers sont les utilisateurs réguliers qui empruntent la patinoire pour se rendre au travail ou pour leurs activités quotidiennes et qui ont toujours été contrariés lorsque ces activités sont entravées. Les seconds sont les visiteurs de l'extérieur de la ville qui doivent planifier, voyager et faire des sacrifices plus importants pour utiliser la patinoire.</p>	Très élevée

14	L'augmentation des périodes douces pendant la saison réduit la stabilité de la glace et réduit le nombre de jours de patinage viables.	Température	Très élevée	<p>Les modèles globaux prévoient que les hivers dans la région de la capitale nationale seront plus courts et plus doux (CCN et al., 2020a). Selon le scénario RCP8.5, d'ici 2021-2050, les températures hivernales moyennes devraient passer d'une moyenne historique de -8,5 °C à -6,1 °C (+2,4 °C) (Atlas climatique, 2020). D'ici 2051-2080, selon le même scénario, la température hivernale moyenne devrait atteindre -3,4 °C (+5,1).</p> <p>Notamment, d'ici 2051-2080, les températures hivernales maximales devraient passer d'une moyenne historique de -2,4 °C à 0,1 °C, une température supérieure au point de fusion de la neige et de la glace. Ces tendances indiquent toutes une augmentation des conditions de réchauffement.</p> <p>Historiquement, on a déjà observé une tendance à la baisse de la durée de la saison de patinage entre 1971 et 2020, ce qui indique une exposition élevée et déjà présente.</p>	Élevée	Les périodes de redoux au cours d'une saison peuvent réduire le nombre de jours de patinage viables et pourraient retarder le début ou accélérer la fin de la saison.	Faible	Il existe plusieurs mesures d'adaptation potentielles, comme l'installation d'une grille ou le renforcement microscopique de la glace, mais ces mesures peuvent être coûteuses et nécessitent des températures minimales pour fonctionner.	Élevée	Très élevée	Élevée	Modérée	Faible	Élevée	<p>Une diminution du nombre de jours de patinage viables a réduit le potentiel économique pour les vendeurs locaux, le transport et l'hébergement. En outre, une saison plus courte augmente le coût d'exploitation par jour de patinage. La diminution du nombre de jours de patinage peut également avoir une incidence sur la communauté et les utilisateurs de la patinoire. Cette sévérité touche principalement deux groupes. Les premiers sont les utilisateurs réguliers qui empruntent la patinoire pour se rendre au travail ou pour leurs activités quotidiennes et qui ont toujours été contrariés lorsque ces activités sont entravées. Les seconds sont les visiteurs de l'extérieur de la ville qui doivent planifier, voyager et faire des sacrifices plus importants pour utiliser la patinoire.</p>	Très élevée
15	Augmentation des cycles de gel-dégel réduisant la stabilité et la viabilité de la glace.	Température	Très élevée	<p>Les modèles prévoient que les températures hivernales avoisineront plus fréquemment 0 °C à l'avenir, ce qui entraînera une augmentation des cycles de gel et de dégel. Les cycles hivernaux de gel-dégel devraient passer d'environ 24 jours pour la période de référence à environ 28-27 jours (+3-4 jours) dans les années 2030, 30-32 jours (+6-8 jours) dans les années 2050 et 32-37 jours (+8-13 jours) dans les années 2080.</p>	Élevée	Selon certaines estimations, la glace qui a gelé, dégelé, puis gelé à nouveau est deux fois moins résistante que la nouvelle glace transparente (Patillo, 2017). Des épisodes répétés de gel et de dégel peuvent réduire l'intégrité, la stabilité et la sûreté de la glace et, par extension, le nombre de jours de patinage viables.	Faible	Il existe plusieurs mesures d'adaptation potentielles, comme l'installation d'une grille ou le renforcement microscopique de la glace, mais ces mesures peuvent être coûteuses et nécessitent des températures minimales pour fonctionner.	Élevée	Très élevée	Élevée	Modérée	Faible	Élevée	<p>Une diminution du nombre de jours de patinage viables a réduit le potentiel économique pour les vendeurs locaux, le transport et l'hébergement. En outre, une saison plus courte augmente le coût d'exploitation par jour de patinage. La diminution du nombre de jours de patinage peut également avoir une incidence sur la communauté et les utilisateurs de la patinoire. Cette sévérité touche principalement deux groupes. Les premiers sont les utilisateurs réguliers qui empruntent la patinoire pour se rendre au travail ou pour leurs activités quotidiennes et qui ont toujours été contrariés lorsque ces activités sont entravées. Les seconds sont les visiteurs de l'extérieur de la ville qui doivent planifier, voyager et faire des sacrifices plus importants pour utiliser la patinoire.</p>	Très élevée
16	Risque accru pour la santé et la sécurité des visiteurs du canal.	Température Précipitations Vent	Élevée	<p>Les modèles globaux prévoient que les hivers dans la région de la capitale nationale seront plus courts et plus doux (CCN et al., 2020a). Selon le scénario RCP8.5, d'ici 2021-2050, les températures hivernales moyennes devraient passer d'une moyenne historique de -8,5 °C à -6,1 °C (+2,4 °C) (Atlas climatique, 2020). D'ici 2051-2080, selon le même scénario, la température hivernale moyenne devrait atteindre -3,4 °C (+5,1).</p> <p>Notamment, d'ici 2051-2080, les températures hivernales maximales devraient passer d'une moyenne historique de -2,4 °C à 0,1 °C, une température supérieure au point de fusion de la neige et de la glace. Ces tendances indiquent toutes une augmentation des conditions de réchauffement.</p> <p>Historiquement, on a déjà observé une tendance à la baisse de la durée de la saison de patinage entre 1971 et 2020, ce qui indique une exposition élevée et déjà présente.</p>	Très faible	La qualité et l'épaisseur de la glace sont régulièrement contrôlées et les utilisateurs ne sont pas admis sur la glace si les paramètres de sécurité ne sont pas respectés.	Très élevée	La patinoire a mis en place des règles strictes concernant l'épaisseur minimale de la glace et l'état de la glace, ainsi que des systèmes comprenant des drapaux, des barrières et une communication via des médias pour inciter les patineurs à rester hors de la glace dangereuse. Les systèmes sont déjà en place pour éviter toute blessure ou tout décès accidentel.	Très faible	Faible	Modérée	Élevée	Faible	Élevée	<p>Les patineurs blessés peuvent coûter à la patinoire des frais supplémentaires ou des indemnités, et ternir l'image de l'institution.</p>	Modérée
17	Risque accru pour la santé et la sécurité du personnel du canal.	Température Précipitations Vent	Élevée	<p>Les modèles globaux prévoient que les hivers dans la région de la capitale nationale seront plus courts et plus doux (CCN et al., 2020a). Selon le scénario RCP8.5, d'ici 2021-2050, les températures hivernales moyennes devraient passer d'une moyenne historique de -8,5 °C à -6,1 °C (+2,4 °C) (Atlas climatique, 2020). D'ici 2051-2080, selon le même scénario, la température hivernale moyenne devrait atteindre -3,4 °C (+5,1).</p> <p>Notamment, d'ici 2051-2080, les températures hivernales maximales devraient passer d'une moyenne historique de -2,4 °C à 0,1 °C, une température supérieure au point de fusion de la neige et de la glace. Ces tendances indiquent toutes une augmentation des conditions de réchauffement.</p> <p>Historiquement, on a déjà observé une tendance à la baisse de la durée de la saison de patinage entre 1971 et 2020, ce qui indique une exposition élevée et déjà présente.</p>	Faible	La qualité et l'épaisseur de la glace sont régulièrement contrôlées et les utilisateurs ne sont pas admis sur la glace si les paramètres de sécurité ne sont pas respectés. Comme le personnel est chargé de vérifier ces niveaux, le risque d'incident est légèrement accru, mais il est atténué par le respect des procédures et protocoles de sécurité appropriés.	Très élevée	La patinoire a mis en place des règles strictes concernant l'épaisseur minimale de la glace et l'état de la glace, ainsi que des systèmes comprenant des drapaux, des barrières et une communication via des médias pour inciter les patineurs à rester hors de la glace dangereuse. Les systèmes sont déjà en place pour éviter toute blessure ou tout décès accidentel.	Très faible	Faible	Modérée	Élevée	Faible	Élevée	<p>Le personnel blessé peut coûter à la patinoire des frais supplémentaires ou des indemnités, ainsi que l'argent nécessaire pour engager un soutien supplémentaire.</p>	Modérée
18	La fréquence accrue des tempêtes hivernales réduit le nombre de jours de patinage viables.	Température Précipitations Vent	Modérée	<p>Bien que les chutes de neige soient globalement en baisse, de fortes tempêtes de neige sont toujours attendues (Ville d'Ottawa, 2019). Il n'y a pas de changement prévu dans la fréquence des jours humides, ou des jours où il y a des précipitations, mais il y a une augmentation prévue de l'intensité des événements de précipitation. (CCN et al., 2020a).</p>	Élevée	Les tempêtes peuvent endommager la glace ou l'infrastructure de soutien, charger la glace d'eau ou de neige supplémentaire et empêcher directement les patineurs de patiner.	Modérée	Les pratiques d'entretien existantes, mises en place après de grands événements neigeux, peuvent offrir une certaine flexibilité et une capacité d'adaptation aux événements futurs. La ville d'Ottawa subit également chaque année de grosses tempêtes de neige, ce qui augmente la capacité d'adaptation de la patinoire grâce à l'infrastructure déjà en place. Les options sont limitées en ce qui concerne les grands événements pluvieux hivernaux, à l'exception des systèmes de canalisation de gestion des tempêtes déjà établis, ou de la foudre. Les stratégies existantes en matière de communication, d'essai et d'entretien peuvent contribuer à réduire tout impact négatif sur la santé et la sécurité du personnel et des patineurs, ainsi qu'à réduire les délais d'ouverture.	Modérée	Modérée	Modérée	Faible	Modérée	<p>Une diminution du nombre de jours de patinage viables a réduit le potentiel économique pour les vendeurs locaux, le transport et l'hébergement. En outre, une saison plus courte augmente le coût d'exploitation par jour de patinage. Contrairement aux températures plus chaudes, les tempêtes sont plus susceptibles d'être des événements discrets causant des dommages et des perturbations à court terme, ce qui réduit l'impact économique. La diminution du nombre de jours de patinage peut également avoir une incidence sur la communauté et les utilisateurs de la patinoire. Cette sévérité touche principalement deux groupes. Les premiers sont les utilisateurs réguliers qui empruntent la patinoire pour se rendre au travail ou pour leurs activités quotidiennes et qui ont toujours été contrariés lorsque ces activités sont entravées. Les seconds sont les visiteurs de l'extérieur de la ville qui doivent planifier, voyager et faire des sacrifices plus importants pour utiliser la patinoire.</p>	Modérée	

19	Utilisation accrue de sel sur les routes avoisinantes en raison des mauvaises conditions hivernales qui font baisser le point de congélation de l'eau.	Température Précipitations Vent	Élevée	Plusieurs facteurs climatiques prévus peuvent contribuer à accroître la nécessité de saler les routes et les chemins près du canal, notamment le nombre de jours de gel et de dégel. Les modèles prévoient que les températures hivernales avoisineront plus fréquemment 0 °C à l'avenir. En conséquence, le nombre de cycles hiver de gel-dégel devrait passer d'environ 24 jours pour la période de référence à environ 28-27 jours dans les années 2030, 30-32 jours dans les années 2050 et 32-37 jours dans les années 2080. Les jours de gel-dégel, surtout s'ils sont combinés avec de la pluie ou de la neige nouvelle ou existante, peuvent provoquer un glissement continu des routes qui nécessite un salage supplémentaire.	Modérée	Plusieurs sections du canal sont directement adjacentes à des routes ou à des trottoirs, qui doivent parfois être salés en hiver. En plus de ses nombreux effets négatifs sur l'environnement, le sel de voirie peut diminuer le point de congélation de l'eau et réduire la stabilité et la viabilité de la glace.	Modérée	De nombreuses municipalités ont commencé à réduire ou à remplacer l'utilisation du sel de déneigement sur les routes situées à proximité de zones écologiques sensibles en utilisant différentes techniques qui peuvent être appliquées ici. Des barrières physiques peuvent également être appliquées pour réduire le ruissellement direct vers la patinoire.	Faible	Modérée	Modérée	Modérée	Modérée	Modérée	Modérée	<p>Une diminution du nombre de jours de patinage viables a réduit le potentiel économique pour les vendeurs locaux, le transport et l'hébergement. En outre, une saison plus courte augmente le coût d'exploitation par jour de patinage. La diminution du nombre de jours de patinage peut également avoir une incidence sur la communauté et les utilisateurs de la patinoire. Cette sévérité touche principalement deux groupes. Les premiers sont les utilisateurs réguliers qui empruntent la patinoire pour se rendre au travail ou pour leurs activités quotidiennes et qui ont toujours été contrariés lorsque ces activités sont entravées. Les seconds sont les visiteurs de l'extérieur de la ville qui doivent planifier, voyager et faire des sacrifices plus importants pour utiliser la patinoire.</p> <p>Après la fonte de la patinoire pour la saison, le sel présent dans le système du canal peut avoir une incidence sur la flore et la faune locales ou en aval, ainsi que sur la qualité de l'eau.</p>	Modérée
20	Augmentation des coûts d'exploitation pour maintenir le canal dans des conditions hivernales changeantes.	Température Précipitations Vent	Élevée	<p>Les augmentations prévues de la température, les pluies hivernales, les heures de début tardives et les fermetures précoces indiquent qu'un entretien accru sera nécessaire pour maintenir et exploiter la patinoire. On a déjà observé une tendance à la baisse de la durée des saisons de patinage entre 1971 et 2020, qui devrait se poursuivre en raison de l'augmentation prévue des températures. Les modèles globaux prévoient que les hivers dans la région de la capitale nationale seront plus courts et plus doux (CCN et al., 2020a). Selon le scénario RCP8.5, d'ici 2021-2050, les températures hivernales moyennes devraient passer d'une moyenne historique de -8,5 °C à -6,1 °C (+2,4 °C) (Atlas climatique, 2020). D'ici 2051-2080, selon le même scénario, la température hivernale moyenne devrait atteindre -3,4 °C (+5,1). Notamment, d'ici 2051-2080, les températures hivernales maximales devraient passer d'une moyenne historique de -2,4 °C à 0,1 °C, une température supérieure au point de fusion de la neige et de la glace. Ces tendances indiquent toutes une augmentation des conditions de réchauffement.</p> <p>La date du premier gel d'automne, qui représente le premier jour où les températures minimales journalières descendent en dessous de 0 °C, passera de la fin septembre/du début d'octobre à la mi-octobre : environ 1 à 2 semaines plus tard dans les années 2030, 2 à 3 semaines plus tard dans les années 2050 et 3 à 4 semaines plus tard dans les années 2080.</p> <p>Le moment du dernier gel printanier, qui représente le dernier jour où les températures minimales quotidiennes sont supérieures à 0 °C, devrait survenir plus tôt : environ 1 à 2 semaines plus tôt dans les années 2030 et 2050, et 2 à 4 semaines plus tôt dans les années 2080, par rapport à la période de référence.</p>	Élevée	Ces dernières années, le budget annuel pour l'entretien de la patinoire s'est élevé à environ 1,5 million de dollars (Tumilty, 2017). Quand la saison de patinage est raccourcie, les coûts par jour augmentent de façon spectaculaire, ce qui signifie qu'il y a moins de plaisir et plus de coûts. L'exploitation de la patinoire entraîne des coûts initiaux et de personnel importants, quelle que soit la variabilité de la saison. Les coûts supplémentaires, tels que les nouvelles techniques de glace ou les exigences opérationnelles supplémentaires, augmenteront le budget.	Faible	Les mesures d'adaptation varient en fonction de leur coût et il existe une certaine souplesse dans le choix des stratégies et des fournisseurs, mais la protection de la glace dans des conditions de réchauffement nécessitera probablement un budget supplémentaire.	Élevée	Élevée	Élevée	Faible	Faible	Élevée	De nouvelles opérations ou de nouveaux matériaux peuvent entraîner des frais supplémentaires pour l'entretien de la patinoire. En outre, une saison plus courte augmente le coût d'exploitation par jour de patinage.	Élevée	
21	Réduction de la jouissance du canal par les patineurs en raison de mauvaises conditions météorologiques.	Température Précipitations Vent	Très élevée	<p>Dans le passé, la patinoire a été fermée entièrement ou partiellement en raison des mauvaises conditions de glace causées par le réchauffement des températures. En outre, si la glace ne peut pas être entretenue et réglée pendant la saison, la qualité se détériorera. Des saisons plus courtes peuvent également réduire la disponibilité ou la jouissance du canal par les patineurs.</p> <p>Les augmentations prévues de la température, les pluies hivernales, les heures de début tardives et les fermetures précoces indiquent qu'un entretien accru sera nécessaire pour maintenir et exploiter la patinoire. On a déjà observé une tendance à la baisse de la durée des saisons de patinage entre 1971 et 2020, qui devrait se poursuivre en raison de l'augmentation prévue des températures. Les modèles globaux prévoient que les hivers dans la région de la capitale nationale seront plus courts et plus doux (CCN et al., 2020a). Selon le scénario RCP8.5, d'ici 2021-2050, les températures hivernales moyennes devraient passer d'une moyenne historique de -8,5 °C à -6,1 °C (+2,4 °C) (Atlas climatique, 2020). D'ici 2051-2080, selon le même scénario, la température hivernale moyenne devrait atteindre -3,4 °C (+5,1). Notamment, d'ici 2051-2080, les températures hivernales maximales devraient passer d'une moyenne historique de -2,4 °C à 0,1 °C, une température supérieure au point de fusion de la neige et de la glace. Ces tendances indiquent toutes une augmentation des conditions de réchauffement.</p> <p>La date du premier gel d'automne, qui représente le premier jour où les températures minimales journalières descendent en dessous de 0 °C, passera de la fin septembre/du début d'octobre à la mi-octobre : environ 1 à 2 semaines plus tard dans les années 2030, 2 à 3 semaines plus tard dans les années 2050 et 3 à 4 semaines plus tard dans les années 2080.</p> <p>Le moment du dernier gel printanier, qui représente le dernier jour où les températures minimales quotidiennes sont supérieures à 0 °C, devrait survenir plus tôt : environ 1 à 2 semaines plus tôt dans les années 2030 et 2050, et 2 à 4 semaines plus tôt dans les années 2080, par rapport à la période de référence.</p>	Élevée	Les jours de patinage écourtés et les mauvaises conditions de glace suscitent des réactions mitigées sur les forums des médias sociaux. Les utilisateurs généraux de loisirs sont souvent compréhensifs, mais ceux qui utilisent la patinoire pour leurs déplacements quotidiens ou les visiteurs venant de plus loin qui doivent voyager et investir pour utiliser la patinoire ont été et seront peut-être plus déçus et plus bruyants. En outre, des conditions telles que les épisodes de gel-dégel et la neige peuvent rendre la glace moins lisse.	Modérée	Il existe des procédures et des stratégies de communication et de maintenance pour atténuer les mauvaises expériences. De plus, le Bal de neige, le festival qui utilise la patinoire comme point central, a commencé à déplacer certaines activités hors glace pour réduire les impacts d'un temps incertain. Les possibilités d'assurer une qualification constante de la glace extérieure sont limitées.	Modérée	Élevée	Modérée	Modérée	Faible	Modérée	Une baisse du plaisir peut avoir une incidence sur l'utilisation de la patinoire ainsi que sur la perception culturelle de l'événement. La réduction des jours/conditions de patinage peut également avoir une incidence sur la communauté et les utilisateurs de la patinoire. Cette sévérité touche principalement deux groupes. Les premiers sont les utilisateurs réguliers qui empruntent la patinoire pour se rendre au travail ou pour leurs activités quotidiennes et qui ont toujours été contrariés lorsque ces activités sont entravées. Les seconds sont les visiteurs de l'extérieur de la ville qui doivent planifier, voyager et faire des sacrifices plus importants pour utiliser la patinoire.	Élevée	

22	Diminution de l'estime de l'opinion publique sur le patinoire.	Température Précipitations	Très élevée	<p>Dans le passé, le patinoire a été fermée entièrement ou partiellement en raison des mauvaises conditions de glace causées par le réchauffement des températures. En outre, si la glace ne peut pas être entretenue et regelée pendant la saison, la qualité se détériorera. Des saisons plus courtes peuvent également réduire la disponibilité ou la jouissance du canal par les patineurs.</p> <p>Les augmentations prévues de la température, les pluies hivernales, les heures de début tardives et les fermetures précoces indiquent qu'un entretien accru sera nécessaire pour maintenir et exploiter le patinoire.</p> <p>On a déjà observé une tendance à la baisse de la durée des saisons de patinage entre 1971 et 2020, qui devrait se poursuivre en raison de l'augmentation prévue des températures. Les modèles globaux prévoient que les hivers dans la région de la capitale nationale seront plus courts et plus doux (CCN et al., 2020a). Selon le scénario RCP8.5, d'ici 2021-2050, les températures hivernales moyennes devraient passer d'une moyenne historique de -8,5 °C à -6,1 °C (+2,4 °C) (Atlas climatique, 2020). D'ici 2051-2080, selon le même scénario, la température hivernale moyenne devrait atteindre -3,4 °C (+5,1). Notamment, d'ici 2051-2080, les températures hivernales maximales devraient passer d'une moyenne historique de -2,4 °C à 0,1 °C, une température supérieure au point de fusion de la neige et de la glace. Ces tendances indiquent toutes une augmentation des conditions de réchauffement.</p> <p>La date du premier gel d'automne, qui représente le premier jour où les températures minimales journalières descendent en dessous de 0 °C, passera de la fin septembre/du début d'octobre à la mi-octobre : environ 1 à 2 semaines plus tard dans les années 2030, 2 à 3 semaines plus tard dans les années 2050 et 3 à 4 semaines plus tard dans les années 2080.</p> <p>Le moment du dernier gel printanier, qui représente le dernier jour où les températures minimales quotidiennes sont supérieures à 0 °C, devrait</p>	Modérée	Les saisons de patinage écourtées, inégales et imprévisibles ont déjà suscité l'ire des navetteurs réguliers et la déception des visiteurs de l'extérieur de la ville, mais les utilisateurs de loisirs en général comprennent habituellement la situation.	Modérée	Il existe des procédures et des stratégies de communication et de maintenance pour atténuer les mauvaises expériences. De plus, le Bal de neige, le festival qui utilise le patinoire comme point central, a commencé à déplacer certaines activités hors glace pour réduire les impacts d'un temps incertain.	Faible	Modérée	Modérée	Modérée	Faible	Modérée	<p>Une baisse du plaisir peut avoir une incidence sur l'utilisation de la patinoire ainsi que sur la perception culturelle de l'événement. La diminution du nombre de jours de patinage peut également avoir une incidence sur la communauté et les utilisateurs de la patinoire. Cette sévérité touche principalement deux groupes. Les premiers sont les utilisateurs réguliers qui empruntent la patinoire pour se rendre au travail ou pour leurs activités quotidiennes et qui ont toujours été contrariés lorsque ces activités sont entravées. Les seconds sont les visiteurs de l'extérieur de la ville qui doivent planifier, voyager et faire des sacrifices plus importants pour utiliser la patinoire.</p>	Modérée
----	--	-------------------------------	-------------	---	---------	---	---------	--	--------	---------	---------	---------	--------	---------	--	---------

ANNEXE

E

MATRICES
D'ÉVALUATION DES
RISQUES

ÉCHELLE DE PROBABILITÉ D'OCCURRENCE DES ALÉAS

Niveau	Critère
Très faible	Les plages projetées dans le climat futur sont similaires aux plages historiques et aucune tendance ne peut être dégagée.
Faible	Les plages projetées dans le climat futur recouvrent complètement ou de manière significative les moyennes de référence historiques et les plages d'incertitude, ou ne dépassent pas les seuils historiques ou conceptuels.
Modérée	Les plages projetées dans le climat futur chevauchent les moyennes historiques de référence et les plages d'incertitude inférieures ou supérieures (selon que les tendances sont à la hausse ou à la baisse), ou elles atteignent ou dépassent légèrement les seuils historiques ou conceptuels.
Élevée	Les plages projetées du climat futur chevauchent les plages d'incertitude inférieures ou supérieures historiques (selon que les tendances sont à la hausse ou à la baisse), ou dépassent les seuils historiques ou conceptuels.
Très élevée	Les plages projetées dans le climat futur sont entièrement hors de la portée des moyennes de référence historiques et des plages d'incertitude, ou dépassent considérablement les seuils historiques ou conceptuels.

ÉCHELLE DE SÉVÉRITÉ

Évaluation des conséquences									
Critère	Milieu humain					Environnement	Aspect financier		
Niveau	Santé et sécurité	Aspects sociaux	Réputation	Qualité du service	Gouvernance	Physiques	Coûts de restauration	Juridique/litige	Économie
1– Très faible	Premiers soins	Aucune incidence tangible sur la société	Incidence temporaire localisée dans l'opinion publique	Aucune incidence tangible sur les services	Aucun changement dans la gestion n'est nécessaire	Aucun effet négatif sur l'environnement naturel. Localisé à une source ponctuelle. Pas de récupération nécessaire	Peu de pertes financières ou d'augmentation des frais d'exploitation	Aucun litige et/ou action judiciaire	Aucun effet sur l'économie en général
2– Faible	Blessure mineure, traitement médical et/ou travail restreint.	Impacts sociaux localisés et temporaires.	Incidence localisée et à court terme dans l'opinion publique.	Perturbation localisée ou temporaire des services.	Préoccupation générale soulevée par les régulateurs nécessitant une réponse.	Effets minimes sur l'environnement naturel. Localisé dans les limites du site. Récupération mesurable dans un délai d'un mois après l'incidence.	Coûts d'exploitation supplémentaires. Perte financière faible, < 10 % du chiffre d'affaires.	Un minimum d'actions juridiques individuelles.	Effet mineur sur l'économie en général en raison de l'interruption du service fourni par l'actif.
3 – Modérée	Blessures graves ou perte de travail.	Impacts sociaux localisés et à long terme.	Incidence locale et à long terme dans l'opinion publique avec une couverture médiatique locale défavorable.	Perturbation localisée à long terme des services.	Enquête des autorités de réglementation, modification des mesures de gestion requises.	Certains dommages à l'environnement, notamment aux écosystèmes locaux. Certaines mesures correctives peuvent être nécessaires. Récupération dans un (1) an.	Perte financière modérée, 10 à 50 % du chiffre d'affaires.	Multiples réclamations et/ou litiges.	Impact élevé sur l'économie locale, avec un certain effet sur l'économie au sens large.

ANNEXE

<p>4– Élevée</p>	<p>Blessures majeures ou multiples, blessure ou invalidité permanente.</p>	<p>Absence de protection des groupes défavorisés ou vulnérables. Impacts sociaux nationaux et à long terme.</p>	<p>Incidence nationale à court terme dans l'opinion publique; couverture médiatique nationale négative.</p>	<p>L'incapacité à fournir des services ayant des répercussions à long terme sur l'ensemble de la région.</p>	<p>Avis émis par les régulateurs pour des actions correctives. Changements requis dans la gestion. Responsabilité discutable de la haute direction.</p>	<p>Effet significatif sur l'environnement et les écosystèmes locaux. Des mesures correctives seront probablement nécessaires. Récupération supérieure à un (1) an. Non-respect des réglementations environnementales/autorisations .</p>	<p>Perte financière importante, 50 à 90 % du chiffre d'affaires.</p>	<p>Litige important et/ou action judiciaire par de multiples demandeurs.</p>	<p>Effet grave sur l'économie locale, qui se propage à l'ensemble de l'économie.</p>
<p>5– Très élevée</p>	<p>Mortalités uniques ou multiples.</p>	<p>Perte de la licence sociale d'exploitation. Manifestations communautaires.</p>	<p>Incidence nationale, à long terme, susceptible d'affecter la stabilité du gouvernement.</p>	<p>Perturbations permanentes et résiliation des services.</p>	<p>Changements majeurs de politique. Modification des exigences législatives. Changement complet du contrôle de gestion.</p>	<p>Pertes très importantes pour l'environnement. Peuvent inclure la perte localisée d'espèces, d'habitats ou d'écosystèmes. Une action corrective d'envergure est essentielle pour prévenir toute dégradation supplémentaire. Une restauration sera probablement nécessaire. Récupération supérieure à un (1) an. Perspective limitée de rétablissement complet.</p>	<p>Perte financière extrême > 90 % du chiffre d'affaires.</p>	<p>Recours collectif.</p>	<p>Effets majeurs sur l'économie locale, régionale et nationale.</p>