

Analyse des risques et vulnérabilités aux changements climatiques

Portrait global et climatique
de la cité universitaire



UNIVERSITÉ
LAVAL

Sommaire exécutif

Ce rapport présente un portrait du campus de l'Université Laval et du climat historique et futur sur ce territoire. Cette analyse constitue la première étape de la démarche d'adaptation aux changements climatiques (CC), qui vise à renforcer la résilience de l'Université face aux aléas climatiques. Elle comprend l'identification des éléments essentiels dans les sphères administrative, physique, sociale, économique, légale et réglementaire, ainsi que les principaux événements climatiques historiques et futurs.

La démarche d'adaptation aux changements climatique que mène l'Université Laval permettra l'intégration des préoccupations liées aux répercussions des changements climatiques dans les pratiques et dans les processus existants. Grâce à une meilleure connaissance des risques associés à ces aléas, elle sera en mesure de réduire ou d'éviter des conséquences économiques, sociales et environnementales.

En s'engageant dans cette démarche proactive, l'Université Laval réaffirme son engagement en action climatique, ainsi que sa volonté de maintenir un environnement sécuritaire, inclusif et accueillant, tout en poursuivant ses missions d'enseignement, de recherche et de service à la communauté.

Étapes de la démarche d'adaptation aux changements climatiques à l'Université Laval



Élaboration du portrait global du campus et du portrait climatique historique et futur

(étape du présent document)



Analyse des risques, des vulnérabilités et des opportunités



Consultation de la communauté et définition des priorités



Prise en compte des enjeux d'adaptation dans les processus existants

Cette étape initiale permet de mieux comprendre les enjeux spécifiques au territoire grâce à des données scientifiques, et sert de fondation pour orienter les prochaines actions à entreprendre.

À la suite de ce travail, la deuxième étape portera sur l'analyse des risques, des vulnérabilités et des opportunités liés aux changements climatiques qui reflète la réalité spécifique du campus. Les risques seront d'abord identifiés, puis évalués à l'aide d'une matrice, qui combine la probabilité d'occurrence des aléas climatiques et la gravité de leurs impacts potentiels. Cet exercice permettra de repérer les dimensions du campus les plus exposés à des risques majeurs nécessitant une attention prioritaire.

Les différentes données associées aux tendances climatiques historiques et les projections accessibles pour le campus de Sainte-Foy ont été analysées. Il en ressort :

Tableau des projections climatiques pour les aléas susceptibles de toucher le campus

Hausse des températures		
Moyenne des températures minimales	Les températures augmenteront beaucoup, peu importe le scénario d'émissions, et particulièrement pour l'hiver	↑
Moyenne des températures maximales	Les températures augmenteront beaucoup, peu importe la saison et le scénario d'émissions	↑
Changements dans le régime de précipitation		
Précipitations liquides	Une augmentation marquée est attendue durant l'automne et le printemps, peu importe les scénarios d'émissions	↑
	Les précipitations liquides en hiver augmenteront beaucoup selon le scénario d'émissions élevées, mais moins selon le scénario d'émissions modérées	↑
	Les précipitations liquides d'été devraient demeurer stables.	=
Précipitations solides	Une diminution des précipitations solides est prévue pour l'automne et le printemps, indépendamment des scénarios d'émissions.	↓
	Les précipitations hivernales devraient rester relativement stables.	=
Précipitations maximales sur 5 jours consécutifs	Une augmentation est prévue, quel que soit le scénario d'émissions.	↑
Nombre de jours avec plus de 20 mm de précipitations	Le nombre de jours avec des précipitations de plus de 20 mm doublera pour le printemps et l'automne, surtout selon le scénario d'émissions élevées.	↑
	Le nombre de jours avec plus de 20 mm de précipitations augmentera un peu l'hiver	↑
	Le nombre de jours avec plus de 20 mm de précipitations l'été devrait rester stable.	=
Événements météorologiques extrêmes		
Nuits très froides, journée très chaude et nuit tropicale	Le nombre de nuits très froides diminuera, indépendamment du scénario d'émissions.	↓
	Le nombre de journées très chaudes et de nuits tropicales augmentera considérablement, surtout selon le scénario d'émissions élevées	↑
Vagues de chaleur et vagues de froid	Le nombre de jours de vagues de chaleur augmentera selon le scénario d'émissions élevées seulement, mais pas selon le scénario d'émissions modérées. Ce qui indique une forte incertitude dans les projections.	?
	Le nombre de jours de vagues de froid diminuera considérablement, peu importe le scénario d'émissions	↓
Redoux hivernaux (cycles de gel-dégel)	Tendance à la baisse pour les cycles gel-dégel au printemps et à l'automne, peu importe le scénario d'émissions.	↓
	Augmentation importante à l'hiver, peu importe le scénario d'émissions.	↑
Tempêtes hivernales, verglas, vent et orage*	L'état actuel des connaissances sur les tempêtes hivernales, le verglas et les vents ne permet pas encore de faire des projections précises.	?
	Le réchauffement des températures pourrait accroître l'instabilité atmosphérique, augmentant ainsi le nombre d'orages.	↑

Autres aléas climatiques		
Mauvaise qualité de l'air*	Les CC aggravent la pollution, ce qui entraînera une dégradation de la qualité de l'air.	↑
Présence de pollen allergène*	Les CC augmenteront les concentrations de pollens allergènes.	↑
Maladie de Lyme, maladies à transmission vectorielle zoonoses*	Une augmentation de l'incidence des maladies transmises par les tiques est prévue, ainsi qu'une hausse des cas de virus du Nil occidental (VNO).	↑
Biodiversité et espèces exotiques envahissantes (EEE)*	Les CC entraîneront un déclin de la biodiversité.	↓
	Une augmentation des EEE est prévue	↑

* Projections non issues de scénarios d'émissions.

■ Variation importante entre les observations actuelles et les projections en 2100

■ Faible variation entre les observations actuelles et les projections en 2100

■ Aucune variation ou incertitude quant à la variation



Table des matières

<u>Lexique</u>	8	Description des aléas climatiques historiques, actuels et projetés sélectionnés	34
Liste des acronymes	11	Hausse de température	35
<u>Introduction</u>	13	Changement des régimes de précipitation (solides et liquides)	38
Mise en contexte	14	Événements météorologiques extrêmes (ÉME)	43
<u>Démarche de l'Université Laval</u>	19	Températures en dehors des normales	43
Objectifs de la démarche	19	Vagues de chaleur	45
Étapes de la démarche	20	Vagues de froid	46
Comités	21	Redoux hivernaux (cycles de gel-dégel)	47
Cadres de référence et collecte de données	22	Tempêtes hivernales et verglas	49
Portée de la démarche	23	Vents et orages	50
Limite géographique	23	Autres aléas climatiques	51
Limite temporelle	23	Mauvaise qualité de l'air	51
<u>Portrait de l'Université Laval</u>	24	Présence de pollen allergène	51
Sphère administrative	24	Maladie de Lyme, maladies à transmission vectorielle et zoonoses	52
Sphère physique	25	Modifications à la biodiversité et espèces exotiques envahissantes	52
Sphère socio-économique	28	<u>Conclusion</u>	55
Structure législative et réglementaire	29	<u>Bibliographie</u>	59
<u>Portrait climatique historique et futur à l'Université Laval</u>	31	<u>Annexe 1</u>	64
Méthodologie	31	Tableau des aléas et indicateurs climatiques – Portraits climatiques Ouranos	64
Aléas climatiques observés sur le territoire et spécifiques au campus	31	<u>Annexe 2</u>	66
Horizons temporels et scénarios d'émissions	32	Tableau des aléas et indicateurs climatiques – Portail gouvernement fédéral	66
Modèles climatiques	32		
Justification des sources de données climatiques utilisées	33		
Limites de l'étude	33		

Lexique

Action climatique

L'action climatique cherche à transformer l'urgence climatique en une approche systémique, réfléchi et proactive, afin de comprendre la complexité des changements climatiques et d'y apporter des solutions adaptées. Elle englobe des perspectives sur les mécanismes d'adaptation et d'atténuation, le rôle des politiques publiques, les dynamiques de consommation collective et l'importance de changer les comportements individuels (Université Laval, 2024).

Adaptation aux changements climatiques

Ensemble d'actions et de stratégies visant à réduire la vulnérabilité et à accroître la résilience des systèmes naturels et humains aux effets présents ou futurs des changements climatiques (Ouranos, n.d).

Aléa climatique

Phénomène météorologique soit intermittent (tornado, verglas, vent, vague de chaleur, sécheresse, redoux), soit d'évolution à plus ou moins long terme (hausse des températures moyennes) qui peut avoir des conséquences négatives sur les systèmes naturels ou humains (Groupe Conseil Carbone, 2022).

Analyse et évaluation du risque climatique

Méthode d'évaluation du risque climatique qui consiste à analyser les probabilités d'occurrence des phénomènes climatiques extrêmes, la gravité de leurs conséquences potentielles, et à identifier les risques prioritaires nécessitant des actions pour en atténuer l'impact (AECOM, 2024).

Atténuation des changements climatiques

Intervention humaine destinée à réduire les sources et les émissions de gaz à effet de serre et/ou à augmenter les puits de carbone (Ouranos, n.d).

Capacité

La capacité fait référence à l'ensemble des forces, attributs et ressources disponibles au sein d'un individu, d'une communauté, d'une société ou d'une organisation, et qui peuvent être utilisés pour atteindre des objectifs définis (Barrette et al, 2018).

Capacité à faire face

La capacité à faire face désigne l'aptitude des individus, des institutions, des organisations et des systèmes à mobiliser leurs outils, valeurs, croyances, ressources et opportunités pour surmonter, gérer et résoudre des situations difficiles à court et moyen terme (Barrette et al, 2018).

Capacité d'adaptation

La capacité d'adaptation désigne la capacité des communautés, des écosystèmes, des systèmes et des individus à s'ajuster aux changements climatiques, afin de minimiser les effets négatifs, tirer parti des opportunités et répondre aux conséquences, tout en profitant des avantages (Ouranos, 2010 ; Barrette et al., 2018).

Co-avantages (co-bénéfiques)

Effets bénéfiques qu'une politique ou une mesure ciblée peut avoir sur d'autres objectifs, indépendamment de son impact net sur le bien-être social global. Ces co-avantages sont souvent incertains et varient selon les contextes locaux et les pratiques de mise en œuvre (GIEC, 2018).

CMIP (coupled model intercomparison)

Le Projet de comparaison de modèles couplés (CMIP) est une initiative internationale du Programme mondial de recherche sur le climat, regroupant des équipes de modélisation climatique de divers pays. CMIP définit les protocoles d'expériences standardisées pour comparer les modèles et améliorer la compréhension du climat. La sixième phase, CMIP6, fournit les données climatiques mondiales les plus récentes, essentielles aux rapports du GIEC (Données climatiques Canada, 2023).

Degré d'exposition

Cela fait référence aux caractéristiques, à l'intensité et au rythme du climat et des événements climatiques auxquels les communautés et les écosystèmes sont exposés (Ouranos, 2010).

Dimension (composante)

Une dimension d'un système susceptible d'être impacté par les changements climatiques, en particulier celles qui relèvent de la responsabilité de ce dernier (ici l'Université) ou sur lesquelles celui-ci peut imposer une réglementation ou exercer une influence directe, eu égard à ses pouvoirs et compétences. Certaines dimensions peuvent aller au-delà des limites administratives et territoriales de l'organisme. Dans ce cas, il est intéressant de collaborer avec les organismes municipaux voisins pour coordonner les efforts de gestion des risques, par exemple au regard des risques pour les écosystèmes (Ouranos et MELCCFP, 2024).

Exposition

La présence d'éléments tels que des personnes, des ressources, des infrastructures, des biens économiques et des écosystèmes dans un environnement susceptible de subir des dommages (GIEC, 2018).

Gestion adaptative

Processus de planification, d'exécution et de révision continue des stratégies de gestion des ressources, dans un contexte d'incertitude et de changement. Elle consiste à ajuster les approches selon les effets et les transformations observés d'un système, en prenant en compte les rétroactions des autres variables (GIEC, 2014).

Indicateur climatique

Un indicateur permet de dresser un portrait des variations climatiques sur une période donnée. Il fait référence à un événement météorologique ou à un ensemble de conditions météorologiques susceptibles d'avoir un impact négatif sur divers domaines d'analyse (AECOM, 2024).

Infrastructure grise

Structure bâtie résultant de techniques d'ingénierie (route, édifice, digue, usine de traitement de l'eau, etc.) dont la fonction est d'améliorer la résilience aux changements climatiques (Luedke, 2019 (traduction libre); Swanson et al., 2021).

Infrastructure naturelle

Surface ou système naturel ou humanisé (forêt, milieu humide, plaines inondable, etc.) étant intentionnellement gérés pour apporter de multiples bénéfices pour l'environnement ou le bien-être humain et dont la fonction est d'améliorer la résilience aux changements climatiques (Luedke, 2019 (traduction libre) ; Roy, 2018).

Infrastructure verte

L'infrastructure verte fait référence à un réseau interconnecté de systèmes écologiques naturels et artificiels, incluant des espaces verts et d'autres éléments paysagers tels que des arbres, des zones humides, des parcs, des prairies, et des boisés naturels, ainsi que l'aménagement de rues et de bâtiments intégrant des végétaux. Elle assure des services et des fonctions comparables à celles de l'infrastructure traditionnelle (GIEC, 2018).

Maladaptation

Mesures d'adaptation inadéquates pouvant conduire à une augmentation du risque de conséquences néfastes associées au climat, à une augmentation de la vulnérabilité aux changements climatiques ou à une dégradation des conditions de vie, à présent ou dans le futur (GIEC, 2014).

Matrice de risques

Outil permettant de classer et de visualiser des risques et définissant des catégories de conséquences et de leur vraisemblance (International Organization for Standardization, 2009).

Modèle climatique

Représentation numérique du système climatique fondée sur les propriétés physiques, chimiques et biologiques de ses composantes et leurs processus d'interaction et de rétroaction, et qui tient compte d'une partie de ses propriétés connues. Le système climatique peut être représenté par des modèles d'une complexité variable: autrement dit, pour une composante ou une combinaison de composantes données, on peut définir un spectre ou une hiérarchie de modèles différant par certains aspects tels que le nombre de dimensions spatiales, le degré de représentation explicite des processus physiques, chimiques ou biologiques ou le degré d'inclusion de paramétrages empiriques. Une évolution se dessine vers des modèles plus complexes à chimie et biologie interactives. Les modèles climatiques sont utilisés en recherche pour comprendre et simuler le climat; ils sont aussi utilisés en exploitation, pour prévoir le climat à échéance mensuelle, saisonnière et interannuelle, et plus (GIEC, 2018). Ils peuvent aussi servir d'interpolateur intelligent pour avoir des données climatiques sur une région sans station météorologique (Barrette et al, 2018).

Normales climatiques

La moyenne des conditions météorologiques calculée sur une période de référence de 30 ans, qui définit les conditions « typiques » d'une région donnée. Selon les directives de l'Organisation météorologique mondiale (OMM), ces périodes de référence sont révisées au début de chaque décennie (Donnesclimatiques.ca, 2024).

Projection (climatique)

Simulation de la réponse du système climatique à un scénario futur d'émissions ou de concentration de gaz à effet de serre et d'aérosols, obtenue généralement à l'aide de modèles. Les projections climatiques, contrairement aux prévisions, reposent sur des scénarios d'émissions, de concentrations ou de forçage radiatif. Ces scénarios intègrent des hypothèses concernant, par exemple, les évolutions socio-économiques et technologiques futures, qui pourraient se concrétiser ou non (GIEC, 2014).

Résilience climatique

Capacité des individus et des systèmes à faire face ou à se rétablir après une perturbation, une évolution ou un événement climatique dangereux, tout en préservant leurs structures, leurs fonctions et leur capacité d'adaptation (Gouvernement du Canada, 2022).

Risque (climatique)

Éventualité de conséquences néfastes, dont l'occurrence ou l'ampleur sont incertaines, liées à un enjeu auquel les êtres humains attachent de la valeur. Dans le contexte de l'évaluation des effets des changements climatiques, le terme risque fait souvent référence aux conséquences néfastes éventuelles d'aléas d'origine climatique ou des interventions d'adaptation ou d'atténuation mises en oeuvre pour faire face à de tels aléas sur la vie, la santé et le bien-être des personnes, les moyens de subsistance, les écosystèmes et les espèces, les biens économiques, sociaux et culturels, les services (y compris les services écosystémiques) et les éléments d'infrastructure. Les risques sont dus à l'interaction de la vulnérabilité (du système concerné), de la durée d'exposition (à l'aléa), de l'aléa (climatique) considéré et de sa probabilité d'occurrence (GIEC, 2018).

Sensibilité

Degré auquel un élément, une collectivité ou une organisation exposée est susceptible d'être affecté (positivement ou négativement) par la manifestation d'un aléa (événement climatique) (Ouranos, 2010). La sensibilité s'évalue par le niveau de fonctionnalité de chaque élément considéré, à la suite d'une exposition à un aléa. La sensibilité est influencée par de nombreux déterminants (statut socioéconomiques, disposition biologique, l'accès aux services essentiels, etc.): ceux-ci pouvant réduire ou augmenter la probabilité des dommages dus aux aléas (Barrette et al, 2018).

Scénario climatique ou scénario du changement climatique

Une estimation simplifiée et plausible du climat futur, fondée sur un ensemble cohérent de relations climatologiques. Elle vise à évaluer les effets potentiels des changements climatiques anthropiques et est souvent utilisée dans les modèles d'impact. Ces projections servent de base aux scénarios climatiques, bien que ceux-ci nécessitent souvent des données supplémentaires, comme celles du climat actuel. Un scénario de changement climatique représente alors la différence entre une projection climatique future et le climat observé aujourd'hui (GIEC, 2013).

Scénario d'émissions

Représentation plausible de l'évolution future des émissions de substances ayant des effets radiatifs (telles que les gaz à effet de serre et les aérosols). Cette représentation est fondée sur un ensemble cohérent d'hypothèses concernant des facteurs clés comme l'évolution démographique et socio-économique, ainsi que les progrès technologiques. Ces scénarios de concentration, dérivés des scénarios d'émissions, servent de données de base pour les modèles climatiques, utilisés pour générer des projections climatiques (RCP 8,5 (scénario d'émissions élevées), RCP 6,0 (scénario d'émissions modérées/élevées), RCP 4,5 (scénario d'émissions modérées) et RCP 2,6 (scénario d'émissions faibles) (GIEC, 2014).

Variable climatique

Il s'agit d'une variable qui se mesure directement sur le terrain (par exemple, via des stations météorologiques) ou simulée par un modèle climatique, sur laquelle des statistiques climatiques, comme la température ou les précipitations, ont été établies (Donnesclimatiques.ca, 2024).

Variation climatique (ou variabilité climatique)

Modifications des propriétés du climat et qui persistent pendant une longue période (adaptée du rapport de Groupe Conseil Carbone, 2022, définition tirée du GIEC)

Vulnérabilité

La vulnérabilité est définie comme la capacité de subir des dommages en raison de la manifestation d'un aléa. La vulnérabilité est fonction du caractère, de la magnitude ou du taux d'évolution des changements climatiques, autant que du degré auquel un système est exposé, de sa sensibilité et de sa capacité d'adaptation. Vulnérabilité = exposition, sensibilité, capacité d'adaptation (Barrette et al, 2018).

Liste des acronymes

BRSE

Bureau de la responsabilité sociale et environnementale

CC

Changements climatiques

CGD

Cycle de gel-dégel

CMIP

Projet de comparaison de modèles couplés

EEE

Espèces exotiques envahissantes

ÉME

Événements météorologiques extrêmes

GES

Gaz à effet de serre

GIEC

Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat

ICU

Îlots de chaleur urbains

OMM

Organisation météorologique mondiale

IPBES

Plateforme intergouvernementale scientifique et politique sur la biodiversité et les services écosystémiques

IQA

Indice de qualité de l'air

SSP

Trajectoires communes d'évolution socio-économique



01



Introduction

Les changements climatiques (CC) représentent un défi majeur de notre époque, bouleversant la vie quotidienne de millions de personnes à l'échelle planétaire. La région de Québec, y compris le campus de l'Université Laval, n'est pas à l'abri des effets des CC. Par exemple, la fréquence des canicules et des vagues de chaleur augmente, tout comme la fréquence et l'intensité des pluies, des tendances qui devraient se renforcer dans le sud du Québec au cours des prochaines décennies et prendre de l'ampleur vers le nord (MELCCFP, 2021). Les impacts des CC sont déjà perceptibles dans la région de Québec et devraient s'accroître dans les années à venir, même si les émissions mondiales de gaz à effet de serre (GES) diminuent (Quintin & Goudreault, 2024). Certains aléas climatiques sont plus susceptibles d'occasionner des effets directs sur les infrastructures, la santé, et la qualité de vie de la communauté universitaire.

En tant qu'institution d'enseignement supérieur, l'Université Laval doit déterminer les éléments auxquels s'adapter en priorité pour faire face aux CC et à leurs répercussions. Grâce à une meilleure connaissance des risques associés à ces aléas, elle sera en mesure de réduire ou d'éviter des conséquences économiques, sociales et environnementales et continuer d'assurer ses missions d'enseignement, de recherche et de service à la communauté.

Ce rapport représente la première étape de la démarche d'adaptation aux CC, visant à renforcer la résilience du campus. Cette étape est cruciale pour garantir l'adaptation des infrastructures, la continuité des activités académiques, et le bien-être des membres de la communauté universitaire, même face à des conditions climatiques changeantes.

Pour atteindre ces objectifs, cette première étape comprenant les sections suivantes :

- › Identification des caractéristiques du campus qui seront analysées : Cette étape couvre les sphères administrative, physique, sociale, économique, légale et réglementaire afin de dresser un portrait des enjeux à prendre en compte dans la démarche d'adaptation. Cela permet de comprendre les interactions entre ces différentes sphères et les répercussions des CC sur chacune d'elles.

- › Portrait climatique historique et futur : Les principaux aléas climatiques ont été identifiés pour le campus. Cette analyse permet de mieux comprendre les défis climatiques à venir et de préparer des mesures d'adaptation répondant aux besoins spécifiques du campus. En anticipant ces changements, l'Université peut agir pour réduire les conséquences potentielles sur les infrastructures et la communauté.

Les tendances climatiques analysées dans ce présent rapport serviront de base pour les prochaines étapes, notamment l'analyse des risques et des vulnérabilités, la consultation de la communauté universitaire et la priorisation d'actions concrètes pour renforcer la résilience du campus et garantir la continuité des différentes activités. En s'engageant dans cette démarche proactive, l'Université Laval réaffirme son engagement en action climatique, ainsi que sa volonté de maintenir un environnement sécuritaire, inclusif et accueillant, tout en poursuivant ses missions d'enseignement, de recherche et de service à la communauté.

Définition de l'action climatique

L'action climatique cherche à transformer l'urgence climatique en une approche systémique, réfléchie et proactive, afin de comprendre la complexité des changements climatiques et d'y apporter des solutions adaptées. Elle englobe des perspectives sur les mécanismes d'adaptation et d'atténuation, le rôle des politiques publiques, les dynamiques de consommation collective et l'importance de changer les comportements individuels (Université Laval, 2024).

Mise en contexte

À travers sa démarche de responsabilité sociale et environnementale, l'Université Laval place l'action climatique au centre de ses priorités. Les engagements liés au climat qu'elle prend ont été établis avec, par et pour la communauté à la suite d'une vaste série de consultations (2019 à 2022). Ils reflètent donc la volonté de la communauté et se basent, entre autres, sur l'urgence d'agir, le pouvoir d'agir des universités et de leurs membres, les retombées réelles des actions et les forces internes. Cette priorité est intégrée dans sa gouvernance, à travers :

- › La Politique de développement durable qui inclut un énoncé visant à garantir que les actions sur le milieu de vie contribuent à l'action climatique : « Maintenir la carboneutralité de l'Université en misant, en premier lieu, sur la réduction constante des émissions de GES, puis en deuxième lieu, sur la compensation, l'adaptation et la mobilisation, dans le but d'inspirer, de sensibiliser et d'éduquer les acteurs de la société. » (article 5.3.4 a) (Vice-rectorat aux affaires externes, internationales et à la santé, 2023).
- › La Stratégie DD – Horizon 2030 qui présente 6 engagements directement liés à l'action climatique et 11 autres engagements qui contribuent également à l'action climatique. Pour atteindre les cibles ambitieuses qu'elle se fixe, la Stratégie mise sur les forces de la communauté en s'appuyant sur 21 plans et stratégies sectoriels (Université Laval, s.d.).

Fortement connecté aux engagements listés dans la Stratégie DD, Trajectoire 2030 en action climatique répertorie et centralise les cibles, les engagements, les initiatives et les projets de l'Université et de sa communauté en lien avec l'action climatique (Bureau de la responsabilité sociale et environnementale, 2024). Il vise ainsi à favoriser la cohésion et la cohérence de l'ensemble des actions en lien avec le climat, à accroître les synergies, à créer des effets multiplicateurs, à accélérer la transformation et à augmenter les retombées sociales positives. Ce document évoque de premières orientations pour s'adapter aux effets des CC sur son campus et ainsi renforcer sa résilience organisationnelle face au climat changeant.

1) Aménager le campus

L'aménagement du campus constitue l'une des stratégies clés pour amorcer l'adaptation aux changements climatiques. Dans cette optique, l'Université prévoit la mise en place d'aménagements visant à accroître le couvert végétal, notamment par l'agrandissement de certaines aires boisées. En effet, en partenariat avec la Ville de Québec et la Chaire de recherche sur l'arbre urbain et son milieu, 725 arbres d'alignement, issus d'espèces variées, ont déjà été plantés et 685 seront plantés d'ici 2028. Ces initiatives permettront de :

- › Augmenter la canopée du campus ;
- › Réduire les effets des îlots de chaleur ;
- › Minimiser les emprises minéralisées ;
- › Favoriser la biodiversité et la résilience des écosystèmes.

2) Prendre en compte les enjeux d'adaptation aux CC dans le Plan directeur immobilier

Consciente de l'urgence climatique et en s'appuyant sur diverses expertises internes et externes en adaptation aux changements climatiques, elle vise à identifier les défis à venir et à les intégrer dans les pratiques et dans les processus existants. Cette approche proactive lui permet d'anticiper les transformations climatiques futures en privilégiant des solutions qui minimisent les impacts sur les infrastructures et les bâtiments, tout en favorisant la conservation et l'intégration des écosystèmes naturels.

3) Accroître la résilience grâce à la biodiversité

La biodiversité, en assurant une grande variété d'espèces, contribue à la stabilité écologique et renforce la résilience des écosystèmes, leur permettant de mieux faire face aux perturbations et de s'adapter aux changements environnementaux. Les écosystèmes diversifiés rendent également des services essentiels au bien-être des sociétés : ils fournissent de la nourriture, purifient l'air, régulent le climat et assurent des fonctions clés comme la pollinisation, la filtration de l'eau ou encore la séquestration du carbone. Ainsi, une biodiversité saine accroît notre propre résilience face aux changements climatiques, en soutenant les systèmes naturels dont dépendent nos sociétés. L'Université reconnaît le rôle essentiel des établissements d'enseignement et de recherche dans la lutte contre le déclin de la biodiversité ainsi que pour la restauration et le rehaussement écologiques. Elle souhaite former un groupe de travail pour définir les orientations en matière de biodiversité, brosser un portrait de l'état de la biodiversité sur le campus, en suivre l'évolution au fil des ans et se fixer des cibles d'ici 2026¹. Actuellement, ce travail est fait de manière rigoureuse à la forêt Montmorency.

Crises climatique et biodiversité, des enjeux indissociables

En juin 2021, le GIEC et l'IPBES ont publié un rapport commun. Leur constat était sans équivoque : jusqu'à présent, les politiques visant à répondre aux crises climatiques et de biodiversité ont été traitées séparément, alors que ces deux crises sont interreliées (Pörtner et al., 2021 ; Guyon, 2022).

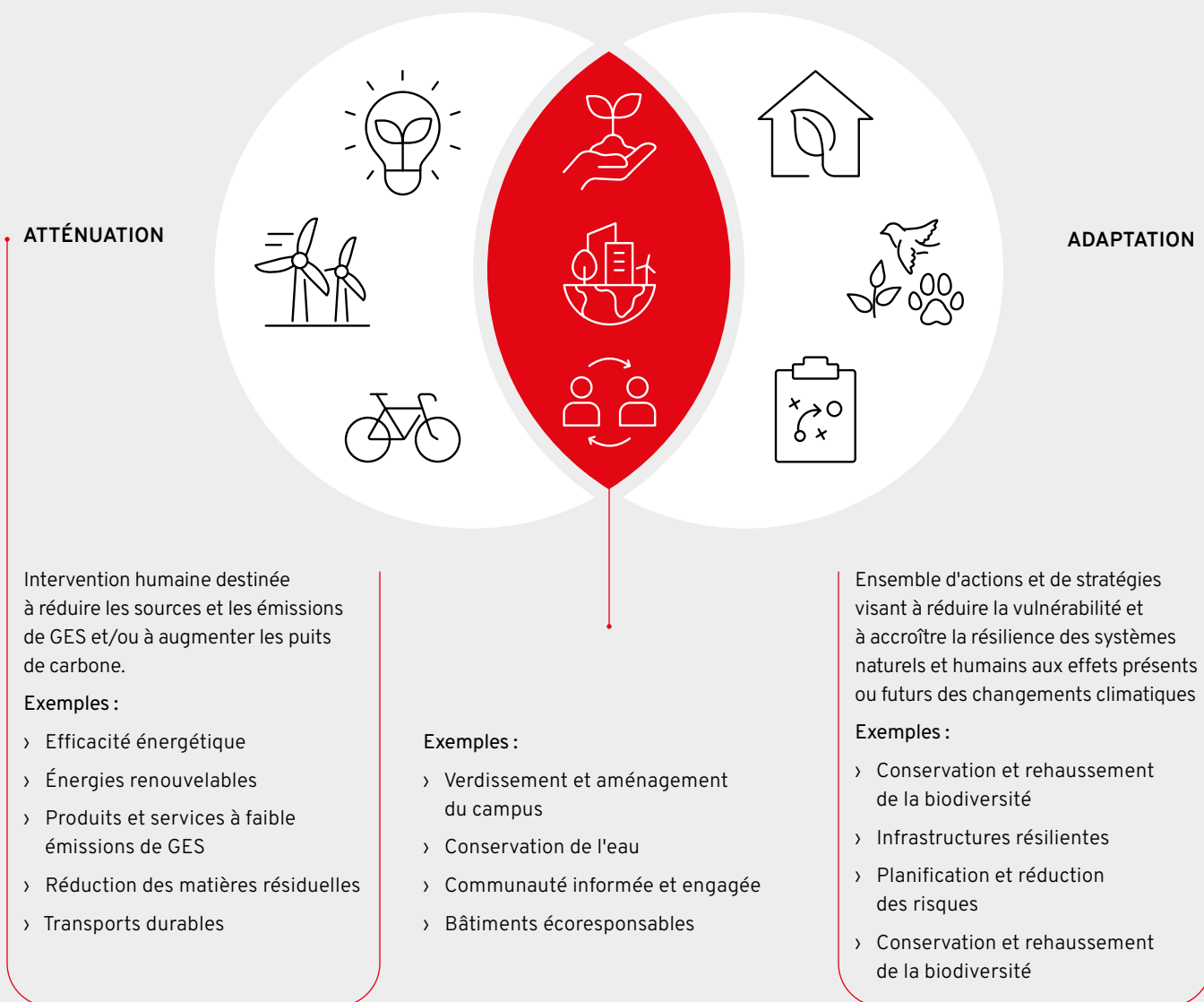
¹ Engagement 28 de la Stratégie DD et 13 de la Stratégie DD

En matière d'atténuation, l'Université Laval a une stratégie de décarbonation ambitieuse. Fortement investie en action climatique, elle s'engage à maintenir sa carboneutralité et à réduire, d'ici 2030, ses émissions de GES de portée 1 et 2 de 70 % par rapport à 2006. Pour cela, elle réalise un suivi précis de ses émissions de GES, met en place des stratégies de réduction centrées sur l'amélioration de son efficacité énergétique et l'utilisation d'énergies renouvelables, et compense les émissions de GES qu'elle ne peut éliminer.

L'adaptation, en complément des efforts d'atténuations, est essentielle et constitue une occasion pour s'ajuster à la nouvelle réalité climatique qui se profile, selon le dernier rapport du GIEC (GIEC, 2023).



Définitions atténuation et adaptation



02



DES
VIE

Démarche de l'Université Laval

La démarche d'adaptation aux CC spécifique à l'Université Laval a été conçue en tenant compte des enjeux propres à son contexte et en s'appuyant à la fois sur les meilleures pratiques en matière d'adaptation ainsi que sur l'expertise des acteurs et partenaires locaux. Structurée en quatre grandes étapes, cette démarche a été élaborée selon des lignes directrices identifiées par Ouranos et le

MELCCFP. Dans un esprit de co-construction, avec, par et pour la communauté, un comité de pilotage a été mis en place pour valider les étapes clés du processus.

Le Bureau de la responsabilité sociale et environnementale coordonne la démarche et ses étapes.

Objectifs de la démarche

Les principaux objectifs de la démarche d'adaptation aux CC de l'Université Laval visent à assurer la résilience de l'institution :



Étapes de la démarche

Afin de mener à bien la démarche, quatre étapes principales ont été établies pour le déroulement du projet.



Élaboration du portrait global du campus et du portrait climatique historique et futur

(explicitée dans ce document)



Analyse des risques, des vulnérabilités et des opportunités



Consultation de la communauté et définition des priorités



Prise en compte des enjeux d'adaptation

1. Élaboration du portrait climatique historique et futur de la cité universitaire

La première étape consiste à établir le contexte de la démarche en dressant un portrait du campus, incluant les sphères administrative, physique, sociale et économique, légale et réglementaire, en mettant en lumière les tendances climatiques historique et futures.

2. Analyse des risques, des vulnérabilités et des opportunités

La deuxième étape consiste à analyser les risques en identifiant et en évaluant chaque aléa climatique à l'aide d'une matrice croisant la probabilité d'occurrence et la gravité des impacts potentiels. Cet exercice permettra d'identifier les dimensions du campus présentant un niveau de risque majeur, nécessitant une attention particulière. L'analyse intégrera aussi les vulnérabilités pour évaluer les conséquences potentielles et identifier des opportunités visant à renforcer la résilience du campus.

3. Consultation de la communauté et définition des priorités

En impliquant activement la communauté, des informations précieuses peuvent être obtenues sur les préoccupations spécifiques et les vulnérabilités locales. La troisième étape permet également d'orienter les décideurs concernant des réalités locales, en alignant les actions d'adaptation sur les besoins et les attentes de la communauté. Ce processus assure une approche plus collaborative et inclusive.

4. Sélection et prise en compte des enjeux d'adaptation

La quatrième étape consiste à amorcer une discussion sur des axes d'intervention stratégique potentiels et à intégrer des préoccupations liées aux CC dans les pratiques et dans les processus existants.

Comités

Deux comités ont été mis sur pied afin de garantir l'avancement de la démarche :

Comité de pilotage

Mandat

- › Veiller à l'avancement du plan de travail et à la progression des étapes ;
- › Valider et conseiller les orientations prises dans le cadre du projet ;
- › Favoriser et faciliter la collaboration avec les divers intervenants concernés.

Membres

- **Éric Audet**, directeur adjoint – réseaux et voirie, Service des immeubles
- **Audrey Boivin**, agente de recherche et de planification, Bureau de la responsabilité sociale et environnementale
- **Louis Frenette-Nolin**, directeur adjoint – stratégies immobilières, Service des immeubles
- **Anne Gaboury**, responsable de l'adaptation aux changements climatique et de la biodiversité, Bureau de la responsabilité sociale et environnementale
- **Hazar Garbouj**, directrice adjointe – expertise technique, Service des immeubles
- **Pierre Lemay**, directeur du Bureau de la responsabilité sociale et environnementale et adjoint au vice-recteur aux affaires internationales et au développement durable

Comité aviséur

Mandat

- › Assumer une fonction consultative et offrir des conseils sur la progression du projet ;
- › Intégrer diverses perspectives et expertises dans les réflexions (interdisciplinarité) ;
- › Émettre des recommandations au comité de pilotage afin de répondre aux intentions et objectifs fixés par ce dernier ;
- › Appuyer la rédaction du portrait climatique de l'Université.

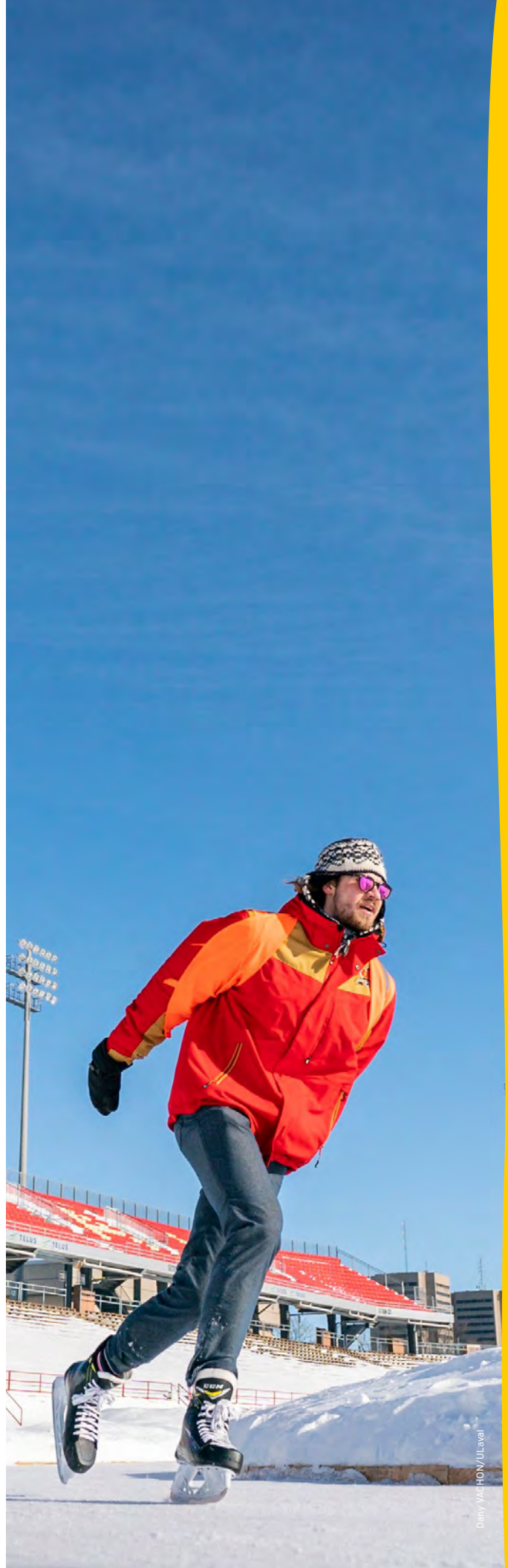
Membres pour l'étape 1

- **Nathalie Barette**, professeure titulaire et directrice du département de géographie
- **Anne Gaboury**, responsable de l'adaptation aux changements climatique et de la biodiversité, Bureau de la responsabilité sociale et environnementale
- **Hazar Garbouj**, directrice adjointe – expertise technique, Service des immeubles
- **Benoît Lalonde**, responsable des travaux pratiques, département de géographie
- **Béatrice Pearson**, étudiante et auxiliaire administrative, Bureau de la responsabilité sociale et environnementale
- **Stéphanie Piché**, professionnelle de recherche, département de géographie
- **Marie-Janick Robitaille**, professionnelle de recherche, département de géographie

Cadres de référence et collecte de données

Pour établir le portrait global et climatique, différentes études ont été consultées pour guider et nourrir la réflexion :

- Sources de données climatiques (Portraits climatiques d'Ouranos et Donneesclimatiques.ca);
- Guide pour les organismes municipaux : Élaborer un plan d'adaptation aux changements climatiques (Ouranos et MDELCCFP, 2024);
- Normes ISO 14090:2019, 14091:2021 et 31000:2018 sur les lignes directrices de l'adaptation aux changements climatiques et de la gestion du risque;
- Analyse de risques climatiques pour le territoire de l'agglomération de Québec, étape 1 et 2 (étude réalisée par Les Services EXP inc. et mandatée par l'agglomération de Québec, Quintin & Goudreault, 2024);
- Vulnérabilités et potentiels d'adaptabilité du territoire de la CMQuébec aux conséquences des changements climatiques, Étape 1 et 2 (étude réalisée par AECOM et mandatée par la Communauté métropolitaine de Québec, AECOM, 2023a & 2023b);
- McGill Climate Risk Assessment (étude réalisée par CCG et mandatée par l'Université McGill, Rodriguez & Hulin, 2023).



Portée de la démarche

La présente démarche s'inscrit dans un cadre d'analyse comportant la limite géographique, la limite temporelle et les sphères spécifiques à l'étude. Ce cadre permet de circonscrire l'analyse à des enjeux précis, rendant ainsi les conclusions pertinentes et adaptées au contexte établi.

Limite géographique

La démarche d'adaptation vise, dans un premier temps, le campus principal de l'Université Laval situé à Sainte-Foy (Figure 1).

Certaines propriétés de l'Université, en raison de leur vocation particulière ou de leur éloignement, ne sont pas incluses dans cette première démarche d'adaptation. Parmi ces sites, on retrouve les bâtiments au centre-ville, à Lévis, à Saint-Elzéar, à Havre St-Pierre, la Station agronomique de St-Augustin-de-Desmaures, ainsi que la Forêt Montmorency située à 75 km au nord de Québec. De plus, les centres d'études nordiques situés dans des régions plus éloignées, bien qu'importante pour la recherche et les activités spécifiques de l'Université, sont soumis à des conditions climatiques locales distinctes et pourraient nécessiter des stratégies d'adaptation spécifiques et adaptées à leurs environnements particuliers. Ainsi, la première étape de la démarche d'adaptation climatique se concentre sur les infrastructures et les espaces du campus principal. Les autres sites demanderont une démarche distincte et complémentaire.

Limite temporelle

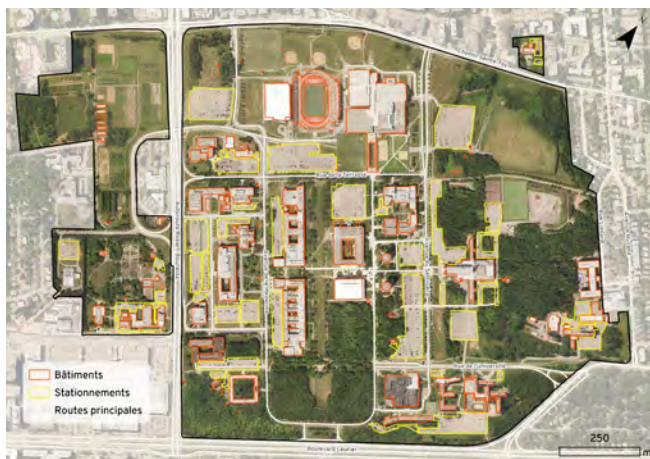


Figure 1 – Délimitation du campus de l'Université Laval selon les bâtiments, stationnements et routes principales

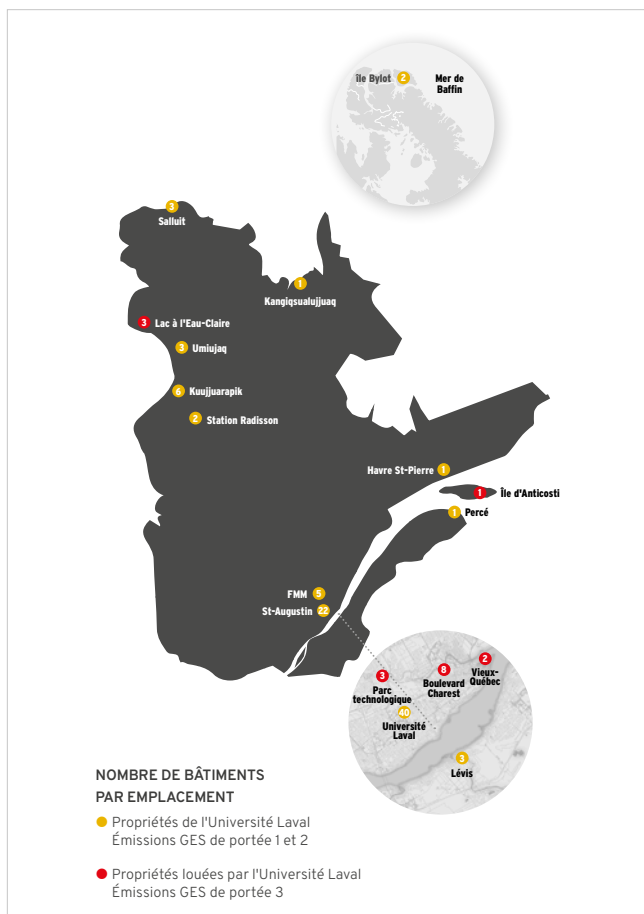


Figure 2 – Propriétés détenues ou louées par l'Université Laval au Québec (carte issue du Rapport des émissions de GES 2023-2024 de l'Université Laval).

La démarche d'adaptation s'inscrit dans une perspective à court, moyen et long terme. Elle devra être dynamique et réévaluée régulièrement, afin de la moduler aux besoins évolutifs de l'Université et d'intégrer les nouvelles connaissances de la science du climat, notamment en ce qui concerne les ajustements et changements dans les projections climatiques.

Portrait de l'Université Laval

Sphère administrative

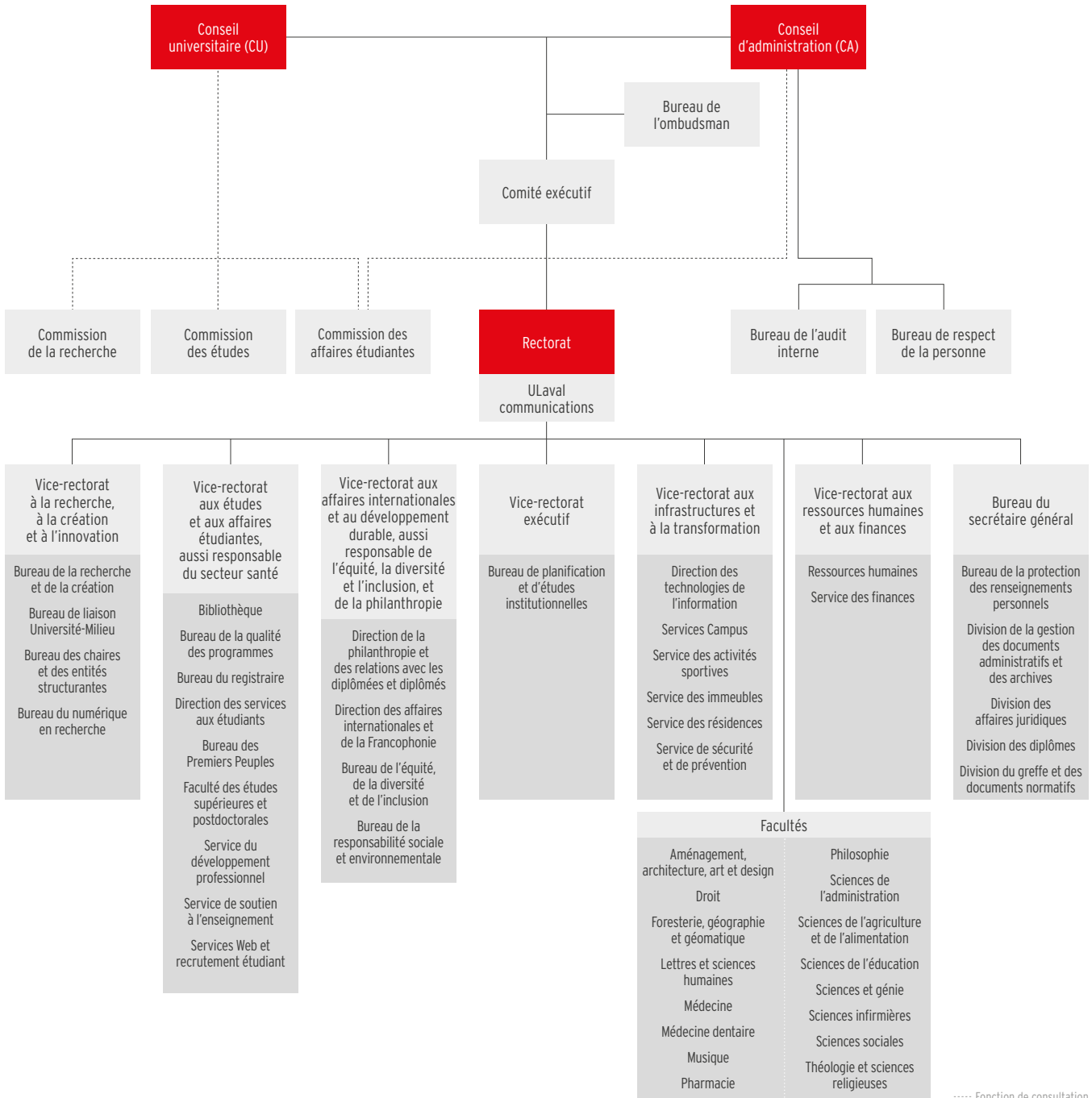


Figure 3 – Organigramme (Service des finances, s.d.).

Au sein de l'Université, plusieurs unités jouent un rôle essentiel en matière d'action climatique et collaboreront pour garantir une réponse cohérente et intégrée aux défis qu'ils posent. Ces unités pourront collaborer à la mise en œuvre de mesures, conçues avec, par et pour la communauté, en s'appuyant sur l'expertise scientifique des différents services, facultés, regroupement de recherche concerné, etc.

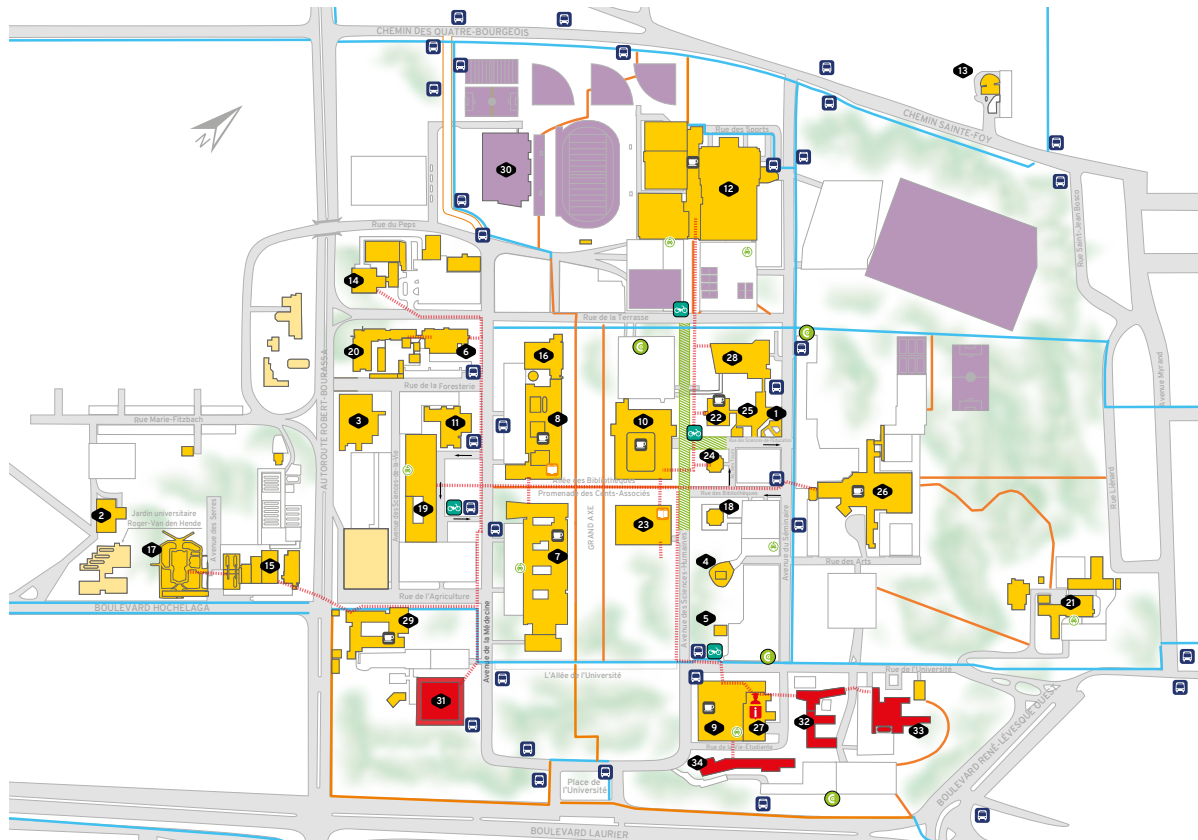
Sphère physique

Le campus s'étend sur 1,8 km² dont environ 57 % sont des espaces verts et boisés. 95 % du parc immobilier de l'Université, soit 49 815 m², est concentré sur le campus (Service des immeubles, 2024a). Le terrain géographique à l'étude se situe sur le territoire de la ville de Québec. La cité universitaire est approximativement délimitée au nord par le Chemin des Quatre-Bourgeois et le Chemin Sainte-Foy, au sud par le Boulevard Laurier, à l'est par l'avenue Myrand et à l'ouest par l'autoroute Robert-Bourassa. Cependant, le Pavillon des Services, l'Environnement,

le Jardin botanique Roger-Van den Hende et les terrains de la Ferme Campus se trouvent à l'ouest de l'autoroute. Le Pavillon de l'Est, quant à lui, est situé au nord du Chemin Sainte-Foy. Il est important de souligner que la Ferme Campus couvre une superficie de 12 hectares, principalement dédiée à la recherche. Le campus comprend 56 bâtiments reliés par un réseau de tunnels piétonniers de plus de 5 km et par 8 km de pistes cyclables (Service des finances, s.d.). Les quatre résidences étudiantes, certifiées «établissement vert Brundtland», offrent plus de 2 300 chambres. De nombreux espaces de stationnement sont disponibles près de la majorité des pavillons, et le campus est desservi par plusieurs lignes d'autobus. Il y a également un complexe sportif moderne, formé du pavillon de l'Éducation physique et des sports (PEPS), du Stade de soccer intérieur, de l'aréna et des multiples plateaux sportifs extérieurs.



PLAN DU CAMPUS



PAVILLONS ET BÂTIMENTS

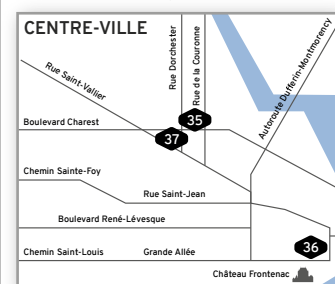
- | | | |
|--|--|-------------------------------------|
| 1. Carré des affaires FSA
ULaval-Banque Nationale | 10. Pavillon Charles-De Koninck | 20. Pavillon Gene-H. Kruger |
| 2. Complexe des serres
de haute performance | 11. Pavillon Charles-Eugène-Marchand | 21. Pavillon Gérard-Bisaillon |
| 3. Institut nordique du Québec | 12. Pavillon de l'Éducation physique
et des sports (PEPS) | 22. Pavillon J.-A.-DeSève |
| 4. Maison Eugène-Roberge | 13. Pavillon de l'Est | 23. Pavillon Jean-Charles-Bonenfant |
| 5. Maison Marie-Sirois | 14. Pavillon de la Médecine dentaire | 24. Pavillon Jeanne-Lapointe |
| 6. Pavillon Abitibi-Price | 15. Pavillon des Services | 25. Pavillon La Laurentienne |
| 7. Pavillon Adrien-Pouliot | 16. Pavillon d'Optique-photonique | 26. Pavillon Louis-Jacques-Casault |
| 8. Pavillon Alexandre-Vachon | 17. Pavillon Environtron | 27. Pavillon Maurice-Pollack |
| 9. Pavillon Alphonse-Desjardins | 18. Pavillon Félix-Antoine-Savard | 28. Pavillon Palasis-Prince |
| | 19. Pavillon Ferdinand-Vandry | 29. Pavillon Paul-Comtois |
| | | 30. Stade TELUS-Université Laval |

RÉSIDENCES

- 31. Pavillon Agathe-Lacerte
- 32. Pavillon H.-Biermans-L.-Moraud
- 33. Pavillon Alphonse-Marie-Parent
- 34. Pavillon Ernest-Lemieux

PAVILLONS HORS CAMPUS

- 35. Édifice du Boulevard
- 36. Édifice du
Vieux-Séminaire-de-Québec
- 37. Édifice La Fabrique



Des pavillons d'enseignement de la médecine sont situés à Lévis et à Rimouski.

- | | | |
|-----------------------------------|-----------------------------------|----------------------------|
| Arrêt d'autobus | Espace Futurs étudiants | Réseau de pistes cyclables |
| Bibliothèque | Installations sportives | Sentier cyclistes-piétons |
| Borne de recharge électrique | Le Point - Service et information | Zone de stationnement |
| Cafétéria ou comptoir alimentaire | Station àVélo | |
| Couloirs souterrains | Stationnement Communauto | |

Figure 4 - Plan de campus 2024

Le Service des immeubles, via la Centrale d'automatisation et contrôle des bâtiments (CACB) gère, à distance, les systèmes de chauffage, les systèmes de ventilation, les systèmes de climatisation, les roues thermiques, les systèmes de filtration, les thermopompes et les hottes de laboratoire qui sont localisés dans les bâtiments. La CACB contient près de 60 000 points de contrôle (Service des immeubles, 2022). L'Université possède un réseau d'échange thermique bidirectionnel qui récupère la chaleur d'un bâtiment pour en chauffer un autre à l'aide de thermopompes installées dans les salles mécaniques de certains pavillons. Ces thermopompes sont reliées au réseau d'eau refroidie et aux centrales de production d'eau refroidie. Le réseau urbain d'énergie produit de la chaleur et du froid de façon centralisée (Service des immeubles, 2022). Il réduit ainsi le nombre d'équipements à opérer et entretenir.

Chauffage

Pour chauffer le campus, l'Université utilise un système de vapeur d'eau. Cette vapeur est produite à deux sites présents sur le campus (Services des immeubles, 2024b) :

- › La centrale thermique du pavillon Gérard-Bisaillon contient 3 chaudières de production de vapeur de 15, 30 et 45 MW et 1 chaudière électrique de 6 MW. Les 3 premières chaudières sont alimentées principalement au gaz naturel, mais peuvent utiliser du mazout en cas d'interruption dans l'approvisionnement ;
- › La centrale thermique de relève est dans le bâtiment juxtaposé à la Centrale d'eau réfrigérée secteur Ouest (CERSO) : contient une chaudière de production de vapeur de 30 MW, alimentée uniquement en gaz naturel.

Il est important de noter que, selon les années, entre 8 % et 15 % du gaz naturel utilisé est de source renouvelable (GNR).

Eau réfrigérée

Pour refroidir le campus, l'Université utilise l'eau réfrigérée produite aux deux sites présents sur le campus (Services des immeubles, 2024) :

- › La CERSO contient 4 refroidisseurs d'eau d'une capacité qui varie entre 1000 et 2080 tonnes de refroidissement chacun. La capacité de refroidissement de cette centrale est de 4340 T.R. ;
- › La Centrale de l'Est (CTE) contient 4 refroidisseurs d'eau. La capacité de ces refroidisseurs varie entre 1000 à 2080 tonnes de refroidissement chacun. La capacité de refroidissement de cette centrale est de 5500 T.R.

Alimentation électrique

L'alimentation électrique du campus universitaire passe par le Chemin Sainte-Foy et rejoint l'entrée électrique principale située au PEPS. Une capacité maximale 34 MW est disponible avec l'infrastructure actuelle d'alimentation d'Hydro-Québec (Services des immeubles, 2024).

Gestion des matières résiduelles

La Ville de Québec assure la collecte des déchets en deux passages par semaine aux débarcadères de chaque pavillon. Pour faciliter la gestion des déchets sur le campus, cinq compacteurs sont à disposition, permettant une gestion plus efficace et optimisée des volumes de déchets produits.

Aménagement et biodiversité

Le site de la cité universitaire offre une mosaïque d'habitats variés, où coexistent bâtiments, espaces aménagés et petits boisés. Cette configuration favorise l'accueil d'une biodiversité riche, qui peut s'y réfugier lors des migrations ou s'y établir durablement. Lors des dernières caractérisations environnementales menées sur le terrain de la cité universitaire à l'été 2024, plusieurs observations marquantes ont été faites, notamment la présence de chiroptères (chauves-souris) à statut précaire, d'espèces végétales vulnérables, de milieux humides isolés et de cours d'eau intermittents avec des zones humides riveraines (Éco-pivot, 2024). La diversité des terrains de l'Université Laval permet d'accueillir de nombreux types d'habitats susceptibles de répondre aux besoins d'une vaste gamme d'organismes vivants.



Figure 5 – Occupation du sol sur le campus de l'Université Laval

Les CC favorisent l'expansion géographique des espèces exotiques envahissantes (EEE) telles que l'agrile du frêne, un insecte ravageur qui affecte la région de Québec depuis 2017. Cet insecte s'attaque aux frênes, une essence très abondante sur son territoire (Service des immeubles, 2021). La Ville de Québec a donc adopté en 2018 un règlement visant à lutter contre la propagation de cet insecte. Selon cette réglementation, l'Université Laval a la responsabilité de contenir l'infestation, car son campus renferme 371 frênes de rue et 2 696 frênes de boisé. Ces arbres, situés le long des rues principales et du Grand Axe, sont tous potentiellement menacés par cet insecte. L'infestation par l'agrile du frêne est maintenant présente sur le campus universitaire (Service des immeubles, 2021)

Sphère socio-économique

Le Service des finances publie annuellement plusieurs données socio-économiques. Dans le budget 2024-2025, il est précisé qu'à l'automne 2023, l'effectif étudiant s'élevait à environ 47 000, avec 66 % inscrits à temps complet et 29 % aux 2e et 3e cycles (Services des finances, s.d.). Près de 56 000 étudiants ont participé à au moins une des trois sessions de l'année 2022-2023. L'Université accueille également plus de 950 médecins résidents et 400 stagiaires post-doctoraux chaque année. En 2022-2023, environ 3 200 étudiants étaient inscrits à des activités de formation continue à Québec, à Montréal et dans d'autres régions, dont près de 2 100 à l'Université du 3e âge. L'Université Laval compte plus de 200 associations étudiantes et deux grands regroupements : la CADEUL (1er cycle) et l'AELIÉS (cycles supérieurs). Elle emploie plus de 10 440 personnes, dont 1 665 professeurs, 2 410 chargés de cours et autres membres du personnel enseignant et de recherche, 3 165 membres du personnel administratif et de soutien, et plus de 3 200 étudiants travaillant sur le campus chaque année. Elle collabore aussi avec plus de 930 professeurs associés et près de 7 400 personnes chargées de l'enseignement clinique dans le réseau de la santé et des services sociaux.

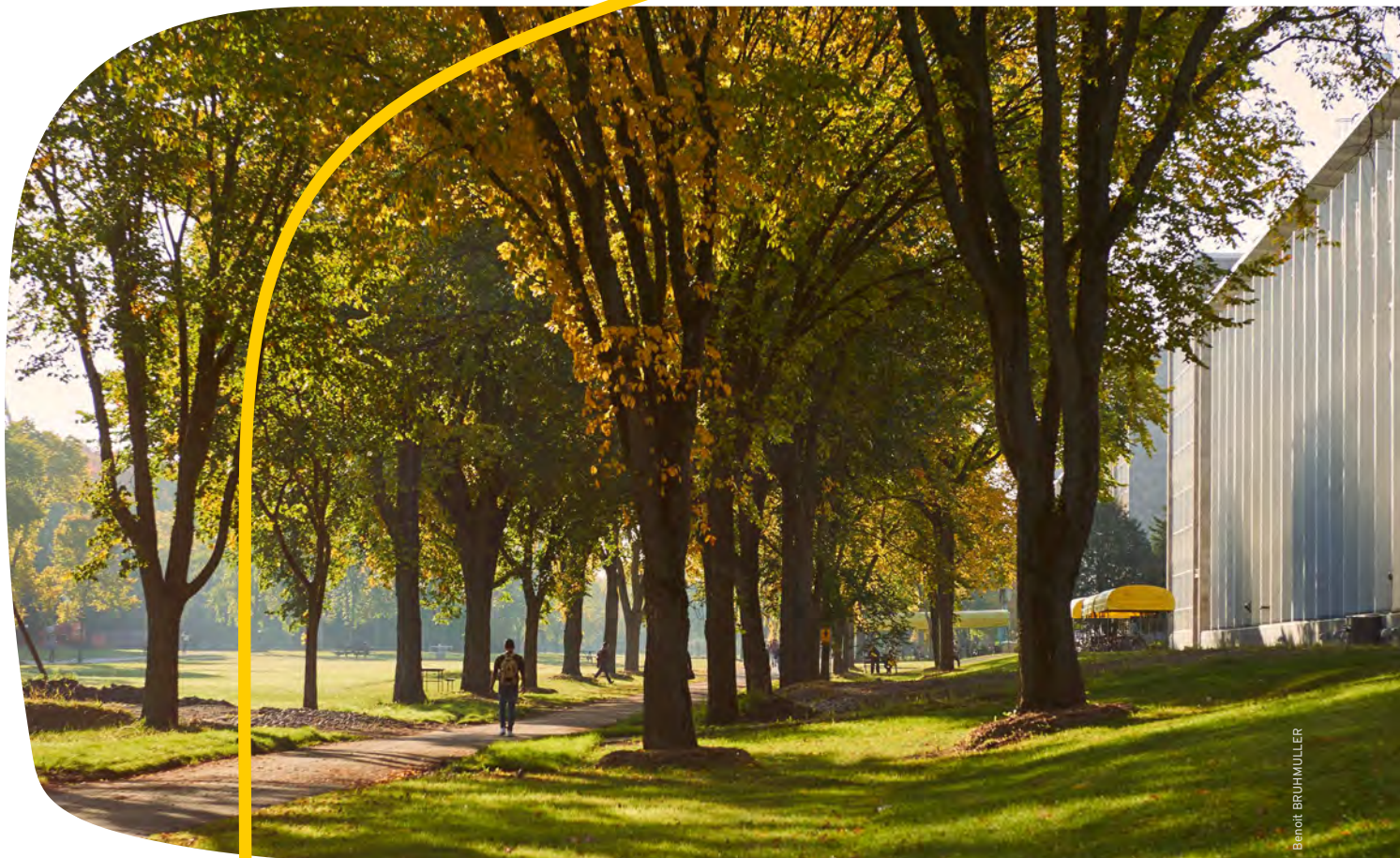
Le Rouge et Or désigne l'ensemble des équipes sportives d'élite de l'Université Laval. Les matchs et compétitions se déroulent principalement au PEPS. L'équipe de football du Rouge et Or est l'équipe la plus médiatisée du Rouge et Or, et qui peut attirer des foules de 18 000 personnes au Stade extérieur Telus (Rouge et Or, n.d.).

Les cégeps de Sainte-Foy, François-Xavier-Garneau et St. Lawrence, étant également localisés dans le quartier de la Cité-Universitaire, se trouvent à distance de marche de l'Université.

Structure législative et réglementaire

Les bâtiments sous la gouverne d'un établissement universitaire², qu'ils soient nouveaux ou non, sont assujettis à plusieurs lois, codes et plans d'action gouvernementaux, ainsi qu'à des politiques institutionnelles, notamment :

- › Le Plan directeur en transition, innovation et efficacité énergétiques (Secteur de l'innovation et de la transition énergétique, 2022) ;
- › Le Plan pour une économie verte 2030 (MELCCFP, 2020) ;
- › Le Plan de mise en œuvre 2022-2027 du Plan pour une économie verte 2030 (MELCCFP, 2022) ;
- › L'arrêté numéro 2020-01 de la présidente du Conseil du trésor en vigueur depuis le 1^{er} décembre 2020 ;
- › La Loi sur la qualité de l'environnement ;
- › La Politique de développement durable de l'Université ;
- › La Politique sur la gestion énergétique de l'Université.



Benoit BRUHULLER

² Services des immeubles. (2022)

03



Portrait climatique historique et futur à l'Université Laval

Méthodologie

Le portrait climatique s'appuie sur l'analyse des indicateurs climatiques historiques et futurs, en intégrant divers scénarios d'émissions et horizons temporels. L'utilisation de modèles climatiques et de données fiables permettra d'évaluer les impacts potentiels. Les sources de données sont rigoureusement choisies pour assurer leur pertinence, tout en tenant compte des limites inhérentes aux prévisions climatiques.

Aléas climatiques observés sur le territoire et spécifiques au campus

Avec le réchauffement de la planète causé par l'augmentation anthropogénique de GES dans l'atmosphère, l'intensité, la durée et la fréquence des aléas climatiques sont vouées à évoluer. Les aléas climatiques qui sont susceptibles d'affecter ou ayant affecté l'agglomération de Québec et plus spécifiquement le campus sont les suivants (Quintin & Goudreault, 2024) :

- › Hausse des températures ;
- › Changement des régimes de précipitation (solides et liquides) ;
- › Événements météorologiques extrêmes :
 - Températures en dehors des normales (nuits très froides, journées très chaudes et nuits tropicales) ;
 - Vagues de chaleur et vagues de froid ;
 - Cycles gel-dégel ;
 - Tempêtes hivernales et verglas ;
 - Vents et orages ;

- › Autres aléas climatiques, tels que :
 - Mauvaise qualité de l'air ;
 - Présence de pollen allergène ;
 - Maladie de Lyme, maladies à transmission vectorielle et zoonoses ;
 - Modifications à la biodiversité et aux EEE.

Indicateur climatique

Indicateur permettant de dresser un portrait des variations climatiques pour une période donnée. Un indicateur fait référence à un événement météorologique ou à un ensemble de circonstances météorologiques qui pourraient avoir une incidence négative sur différents domaines d'analyse (AECOM, 2023a).

Aléa climatique

Phénomène météorologique, soit intermittent (tornade, verglas, vent, vague de chaleur, sécheresse, redoux), soit d'évolution à plus ou moins long terme (hausse des températures moyennes) qui peut entraîner des conséquences négatives sur les systèmes naturels ou humains (AECOM, 2023a).

Horizons temporels et scénarios d'émissions

Comme recommandé par l'équipe du département de géographie, deux scénarios d'émissions ont été utilisés afin d'obtenir les projections climatiques applicables au campus. Les scénarios d'émissions de GES sélectionnés sont les scénarios d'émissions modérées, soit le « Milieu de route » (SSP2-4.5), et de fortes émissions, soit le « Développement basé sur les combustibles fossiles » (SSP5-8.5), conformément à la littérature scientifique. Cette approche permet de couvrir une plus large gamme de possibilités (Chow et al., 2024, Sobie et al., 2024). Le scénario de durabilité (SSP1) n'a pas été retenu en raison de son manque de réalisme. De même, les scénarios de « Rivalité régionale » (SSP3) et « Inégalités » (SSP4) ont été écartés, car d'ici le milieu du siècle, les écarts entre les projections les plus optimistes et les plus pessimistes sont négligeables.

En ce qui concerne les horizons temporels utilisés pour la présentation des observations et des projections des aléas climatiques qui se trouvent en annexes, l'OMM recommande qu'ils couvrent des périodes de 30 ans (Ouranos, 2024b). Les horizons ont été choisis à la lumière de la littérature et à la recommandation de l'équipe du département de géographie, et ce sont les suivants :

- › Période historique (1991-2020) présentant des données modélisées grâce aux scénarios d'émissions (SSP2-4,5 et SSP5-8,5) ou des données interpolées d'observation
- › Horizon proche (2031-2060) avec deux scénarios d'émissions :
 - Scénario (SSP2-4,5) suppose une stabilisation des émissions de GES d'ici la fin du siècle ;
 - Scénario (SSP5-8,5) suppose une augmentation des émissions de GES jusqu'à la fin du siècle (Ouranos, 2024b) ;
- › Horizon lointain (2071-2100) avec un scénario d'émissions (SSP5-8,5)

L'équipe a choisi de se concentrer sur les scénarios climatiques d'émissions modérées, soit le « Milieu de route » (SSP2-4.5), et de fortes émissions, soit le « Développement basé sur les combustibles fossiles » (SSP5-8.5), conformément à la littérature scientifique. Cette approche permet de couvrir une plus large gamme de possibilités (Chow et al., 2024, Sobie et al., 2024). Le scénario de durabilité (SSP1) n'a pas été retenu en raison de son manque de réalisme. De même, les scénarios de « Rivalité régionale » (SSP3) et « Inégalités » (SSP4) ont été écartés, car d'ici le milieu du siècle, les écarts entre les projections les plus optimistes et les plus pessimistes sont négligeables.

Modèles climatiques

Les projections du Coupled Model Intercomparison Project (CMIP6) ont été utilisées, car elles constituent la version la plus récente produite dans le cadre du sixième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) et fournies par Ouranos. Le CMIP6 utilise les trajectoires socio-économiques partagées (SSP) au lieu des trajectoires représentatives de concentration (RCP) (Quintin & Goudreault, 2024).

Où est l'horizon 2020 à 2031 ?

Dans les portraits climatiques, il est courant de ne pas inclure l'horizon 2020-2031, car il est trop proche de la période de référence 1991-2020 pour révéler des changements suffisamment significatifs. De plus, les projections climatiques nécessitent des périodes plus longues pour observer les effets des changements climatiques, car les variations annuelles peuvent masquer des tendances à court terme.

Justification des sources de données climatiques utilisées

Les indicateurs climatiques présentés dans le portrait sous forme de tableaux et de graphiques ont été sélectionnés en collaboration avec l'équipe du département de géographie en fonction de leur pertinence par rapport à la réalité territoriale et des événements climatiques qui ont affecté le territoire dans le passé. L'équipe a choisi d'utiliser deux sources de données disponibles pour projeter l'évolution des variables climatiques : le portail du gouvernement fédéral [Donneesclimatiques.ca](https://donneesclimatiques.ca) (tableau seulement, en annexe) et les Portraits climatiques du consortium de recherche Ouranos. Cette dernière source a servi à construire le tableau de l'annexe 1 ainsi que l'ensemble des graphiques présentant les projections des aléas climatiques du portrait climatique. Ces deux sources de données ont été sélectionnées pour différentes raisons.

La première réside dans la diversité et la qualité des indicateurs : les données téléchargeables permettent de représenter graphiquement ou sous forme de tableau des indicateurs portant sur le thème des précipitations, des hautes et des basses températures. De plus, celles-ci sont disponibles à une fine résolution spatiale (cellule d'environ 30 km² de superficie pour le portail fédéral et d'environ 200 km² dans le cas des Portraits climatiques) et temporelle (annuelle dans le cas du portail fédéral et décennal dans celui des Portraits climatiques.). Les données permettent de construire des séries chronologiques en fonction de différents scénarios d'émission futurs ainsi que sur des données historiques modélisées.

Limites de l'étude

Parmi les limites de ce portrait figurent la disponibilité et la précision des données et de l'incertitude envers les études du climat. En effet, l'ampleur des CC reste incertaine en raison de (Ouranos, s.d.-c) :

- › La variabilité naturelle du climat, où des variations interannuelles entraînent des périodes plus chaudes ou plus froides.
- › Les concentrations de GES, qui fluctuent en fonction des comportements humains, difficilement prévisibles sur le long terme.
- › Les modèles climatiques, qui, bien qu'avancés, demeurent des approximations imparfaites de la réalité climatique.

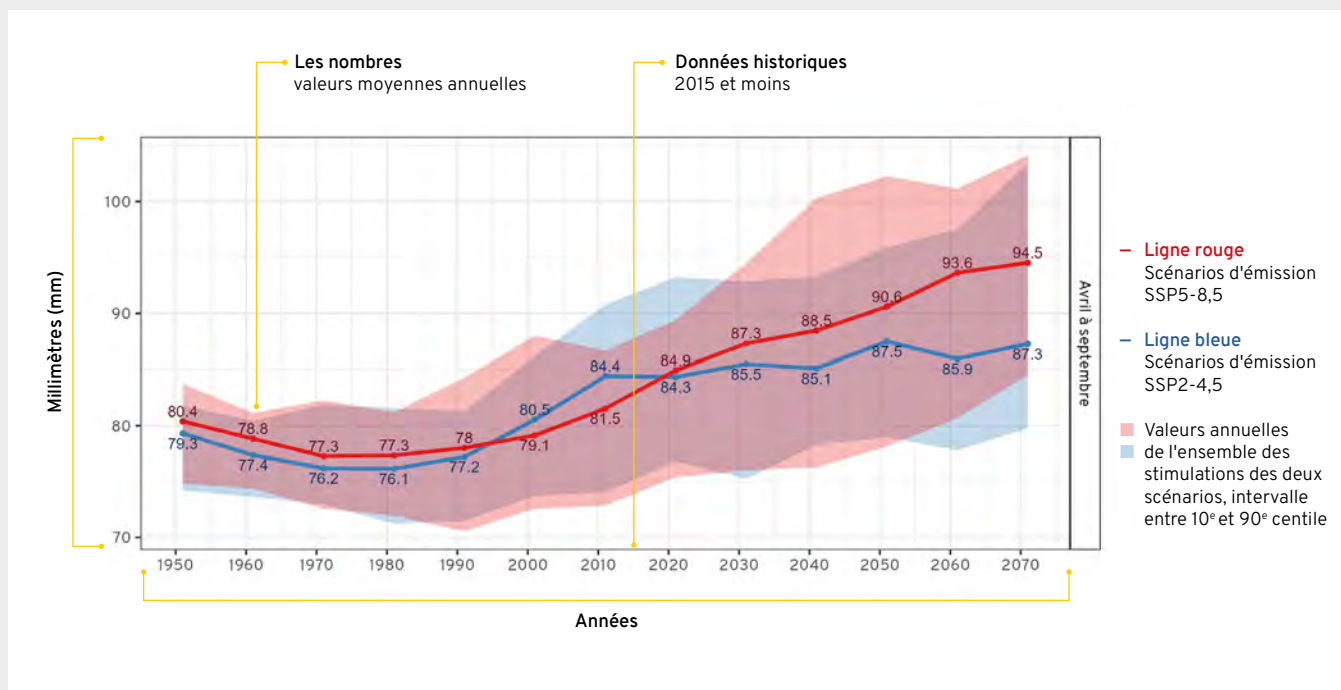
Compte tenu de l'évolution constante des connaissances scientifiques, il serait pertinent de mettre à jour certains aspects du portrait à mesure que les informations deviennent plus précises.

Description des aléas climatiques historiques, actuels et projetés sélectionnés

Le réchauffement généralisé entraîne et continuera d'entraîner des perturbations dans le système climatique, notamment une augmentation des extrêmes météorologiques et des changements dans les normales et la variabilité saisonnière (Alberti-Dufort et al., 2022).

Comprendre une représentation graphique

Les graphiques sont générés à partir des simulations climatiques du CMIP6 en utilisant le jeu de données ESPO-G6-R2 (Ensemble de simulations post-traitées d'Ouranos). Quatorze simulations ont été sélectionnées pour créer l'ensemble de données ESPO-G6-R2. Les données des graphiques proviennent d'Environnement et Changement climatique Canada ainsi que d'Ouranos (Ouranos, 2024d). Les valeurs historiques sont issues d'une reconstitution numérique du climat passé, réalisée à partir d'un modèle climatique intégrant des données d'observation pour garantir une représentation cohérente dans l'espace et le temps.



Pour mieux comprendre les indicateurs de températures

Des indicateurs de température primaires servent de base au développement d'indicateurs d'autres aléas climatiques, tels que le cycle gel-dégel et les nuits très froides. Ces indicateurs sont donc essentiels pour analyser les variations climatiques et anticiper leurs impacts. Voici cinq indicateurs de température :

- › La température minimale quotidienne (Tmin) : La température minimale quotidienne correspond à la température la plus basse enregistrée au cours d'une période de 24 heures. Elle se produit généralement la nuit et est donc souvent appelée « minimum nocturne » (Donneesclimatiques.ca, 2024) ;
 - › La température maximale quotidienne (Tmax) : La température maximale quotidienne correspond à la température la plus élevée enregistrée au cours d'une période de 24 heures. Elle se produit généralement pendant la journée et est donc souvent appelée « température maximale de journée » (Donneesclimatiques.ca, 2024) ;
 - › La température moyenne : La moyenne entre la température maximale quotidienne (Tmax) et la température minimale quotidienne (Tmin) correspond à la température moyenne sur une période de 24 heures (Donneesclimatiques.ca, 2024) ;
 - › La moyenne des températures minimales : La moyenne des températures minimales quotidiennes. Elle peut être calculée sur une base annuelle ou saisonnière (estivale, automnale, hivernale, printanière) (Ouranos, 2024d) ;
 - › La moyenne des températures maximales : La moyenne des températures maximales quotidiennes. Elle peut être calculée sur une base annuelle ou saisonnière (estivale, automnale, hivernale, printanière) (Ouranos, 2024d).
-

Hausse de température

La température est la variable climatique la plus utilisée pour décrire les changements climatiques, car elle est plus directement liée à l'effet de serre que d'autres variables comme les précipitations, le vent ou l'humidité (Ouranos, 2015). Les données de température sont souvent disponibles sur de longues périodes et relativement simples à collecter, ce qui renforce la fiabilité des analyses. En outre, la température est facile à comprendre et à visualiser, facilitant ainsi la communication autour des enjeux climatiques (Ouranos, 2015).

Les indicateurs liés à la hausse de température sélectionnés sont les suivants :

- › **Moyenne des températures maximales printanières, estivales, automnales et hivernales** : Ces indicateurs représentent la moyenne des températures minimales quotidiennes par saison.
- › **Moyenne des températures minimales** : Ces indicateurs représentent la moyenne des températures minimales quotidiennes par saison.

Données historiques et actuelles :

Dans la région de Québec, une hausse de température a été observée dans les dernières années, et cette tendance devrait se maintenir jusqu'à la fin du siècle (AECOM, 2023a). En effet, la période 2014-2023 a enregistré les années les plus chaudes jamais observées, marquant une accélération du réchauffement planétaire depuis 2014 (AECOM, 2023a). En été, les températures très chaudes ont augmenté, tant le jour que la nuit, tandis qu'en hiver, les températures froides se sont adoucies, de jour comme de nuit (Ouranos, 2024c).

La hausse des températures affecte l'économie et le bien-être des populations dans toutes les régions et tous les secteurs d'activité, notamment la santé (par exemple avec une prolongation de la saison des pollens et une augmentation des feux de forêt), la biodiversité (certaines espèces migrent vers le nord), la foresterie et l'agriculture (allongement de la saison de croissance), les espèces envahissantes nuisibles (prolifération accrue), ainsi que le secteur de l'énergie (baisse de la demande pour le chauffage et hausse pour la climatisation) (Ouranos, 2015).

Projections climatiques :

Les projections de température pour la région de Québec annoncent une augmentation notable des températures minimales, maximales et moyennes, et ce, pour toutes les saisons. Les hivers deviendront beaucoup plus doux, accompagnés d'une diminution annuelle des journées de gel-dégel, tandis que les étés seront marqués par une augmentation des journées très chaudes et des nuits tropicales (Atlas climatique du Canada, 2024a; Ouranos, s.d.-a). De plus, les vagues de chaleur devraient se multiplier, devenant plus fréquentes et intenses au fil du temps (Direction de santé publique du CIUSS de la Capitale-Nationale, 2023; Ouranos, 2024e).

Les graphiques suivants montrent les **températures minimales** hivernales, printanières, estivales et automnales, représentant la moyenne des températures quotidiennes les plus froides par saison en °C.

Les CC entraîneront une augmentation des températures minimales dans la région de la Capitale-Nationale, indépendamment de la saison ou du scénario d'émission. Toutefois, cette augmentation sera plus marquée dans le scénario pessimiste (ligne rouge).

- › **Printemps** : Les températures minimales passeront d'une médiane de -6,8 °C dans les années 1950 à une médiane de -0,1 °C ou -3,2 °C en 2100, selon le scénario d'émission. Par rapport aux températures actuelles (années 2020), cela représente une augmentation pouvant atteindre 5,3 °C de plus en 2100.
- › **Été** : Une hausse est prévue d'une médiane de 8,9 °C dans les années 1950 à une médiane de 12,6°C ou 15,2 °C d'ici 2100, selon le scénario d'émission. Par rapport aux températures actuelles (années 2020), cela représente une augmentation pouvant atteindre 4,9 °C de plus en 2100.
- › **Automne** : Les températures minimales augmenteront d'une médiane de 1,5 °C dans les années 1950 à une médiane de 2,1°C ou 4,7 °C d'ici 2100, selon le scénario d'émission. Par rapport aux températures actuelles (années 2020), cela représente une hausse pouvant atteindre 4,9°C de plus en 2100.
- › **Hiver** : Les températures minimales augmenteront d'une médiane de -19,2 °C dans les années 1950 à une médiane de -8,2 °C ou -12,1 °C d'ici 2100, selon le scénario d'émission. Par rapport aux températures actuelles (années 2020), cela représente une hausse pouvant atteindre 8,1 °C de plus en 2100.

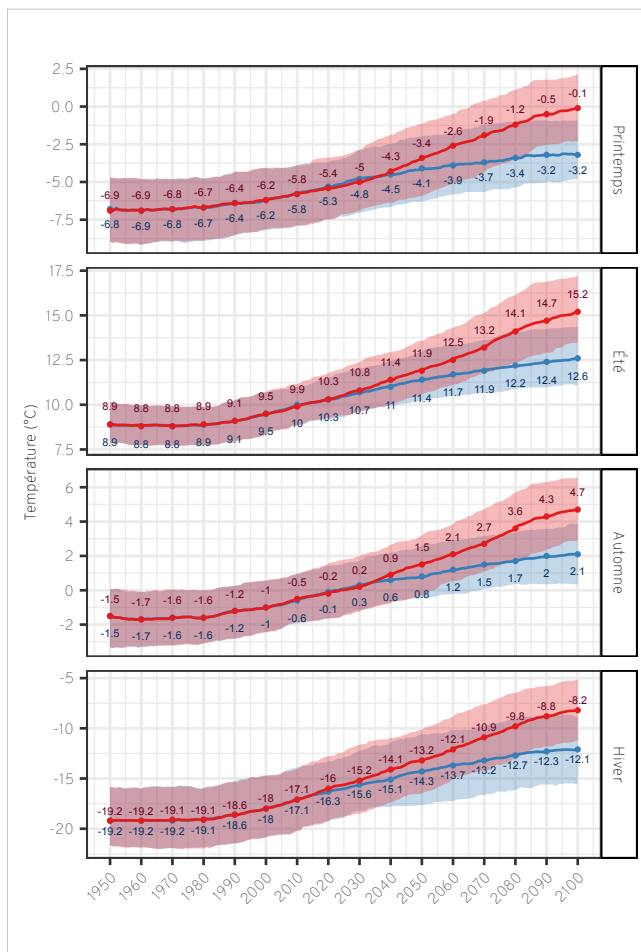


Figure 6 - Évolution des températures minimales pour la région de la Capitale-Nationale

Les graphiques suivants montrent les **températures maximales** hivernales, printanières, estivales et automnales, représentant la moyenne des températures quotidiennes les plus chaudes par saison en °C.

Les CC entraîneront une augmentation des températures maximales dans la région de la Capitale-Nationale, indépendamment de la saison ou du scénario d'émission. Toutefois, cette augmentation sera plus marquée dans le scénario pessimiste (ligne rouge).

- › **Printemps** : Les températures maximales passeront d'une médiane de 4°C dans les années 1950 à une médiane de 7,8 °C ou 10,5°C en 2100, selon le scénario d'émission. Par rapport aux températures actuelles (années 2020), cela représente une augmentation pouvant atteindre 5,1°C de plus en 2100.
- › **Été** : Une hausse est prévue d'une médiane de 19,4°C dans les années 1950 à une médiane de 23,6°C ou 26,6°C d'ici 2100, selon le scénario d'émission. Par rapport aux températures actuelles (années 2020), cela représente une augmentation pouvant atteindre 5,5°C de plus en 2100.
- › **Automne** : Les températures maximales augmenteront d'une médiane de 7,5°C dans les années 1950 à une médiane de 11,8 °C ou 14,5 °C d'ici 2100 selon le scénario d'émission. Par rapport aux températures actuelles (années 2020), cela représente une hausse pouvant atteindre 5,3°C de plus en 2100.
- › **Hiver** : Les températures maximales augmenteront progressivement d'une médiane de -7,9 °C dans les années 1950 à une médiane de -0,8°C ou 3,5°C d'ici 2070, selon le scénario d'émission. Par rapport aux températures actuelles (années 2020), cela représente une hausse pouvant atteindre 5,4°C de plus en 2100.

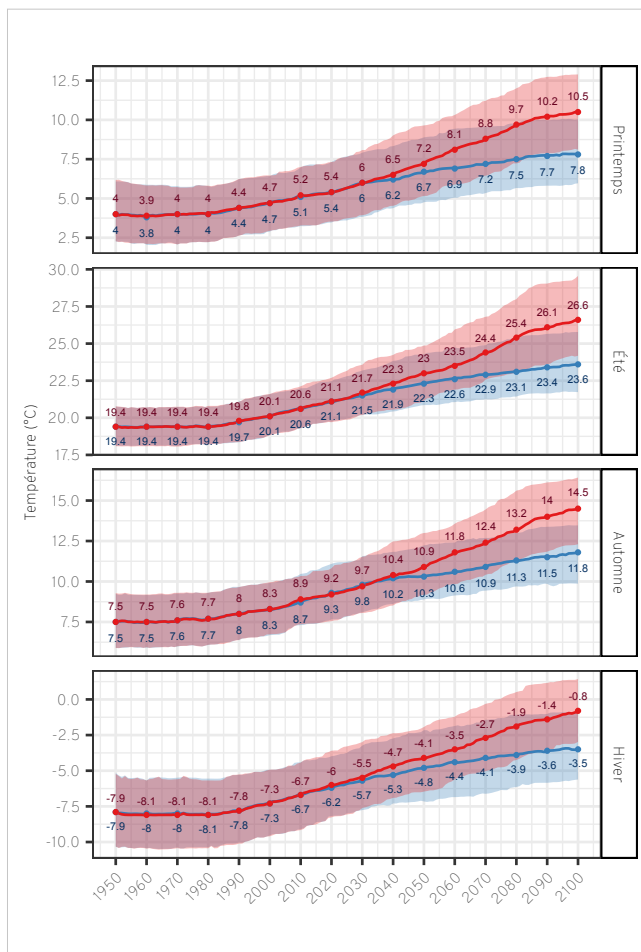


Figure 7 - Évolution des températures maximales pour la région de la Capitale-Nationale

Changement des régimes de précipitation (solides et liquides)

À Québec, les précipitations varient au fil des saisons, alternant majoritairement entre des précipitations liquides (la pluie) et solides (la neige). La neige représente 25 % des précipitations annuelles (AECOM, 2023a).

Les indicateurs liés aux précipitations sélectionnées sont les suivants :

- › **Précipitations liquides estivales, automnales, hivernales et printanières** : Ces indicateurs représentent la quantité de précipitations liquides par saison en millimètres.
- › **Précipitations solides automnales, hivernales et printanières** : Ces indicateurs représentent la quantité de précipitations solides par saison en millimètres.
- › **Précipitations maximales sur 5 jours consécutifs** : Les précipitations totales maximales (pluie et neige combinées) en millimètres correspondent à la plus grande quantité de précipitations enregistrées sur une période de cinq jours consécutifs (Donneesclimatiques.ca, 2024).
- › **Précipitations de plus de 20 mm par saison** : Ces indicateurs représentent le nombre de jours par saisons où les précipitations totales (solides et liquides) d'une journée sont supérieures à 20 millimètres.

Les précipitations extrêmes se caractérisent par des averses intenses sur une courte période, de 5 minutes à une journée (AECOM, 2023a). Dans les milieux urbains, l'augmentation de la fréquence et de l'intensité des pluies accroît les risques d'inondations localisées et de surverses, une tendance qui devrait s'aggraver avec les CC (Ouranos, 2015). De fortes précipitations peuvent également causer des dommages aux cultures et aux routes, tout en érodant les sols en surface (Donneesclimatiques.ca, 2024). En hiver, le couvert de neige amplifie l'impact des précipitations extrêmes, auquel s'ajoute le volume d'eau provenant de la fonte de la neige (AECOM, 2023a).

Données historiques et actuelles :

Dans le sud du Québec, les précipitations annuelles moyennes ont augmenté de 10,5 % au cours des dernières décennies (1950-2010) (Ouranos, 2024c). On observe également une hausse du nombre de jours de pluie intense dans la province (Ouranos, 2024c). Entre 1993 et 2022, juillet a été le mois le plus pluvieux dans la région de Québec, tandis que janvier et février sont les mois avec les plus fortes précipitations de neige (AECOM, 2023a). Sur une base saisonnière, les augmentations sont plus marquées au printemps et à l'automne, tandis qu'elles sont plus faibles en été et en hiver (Ouranos, 2024c). Par ailleurs, la proportion de précipitations tombant sous forme de neige a diminué au fil des ans, particulièrement au printemps et à l'automne, en raison du réchauffement climatique durant ces deux saisons (Ouranos, 2024c).

Projections climatiques :

Les CC modifieront les quantités de précipitations moyennes et extrêmes, ainsi que leur fréquence (Ouranos, 2024c). Contrairement aux tendances des températures, qui sont attendues à la hausse dans toutes les régions du Québec et pour toutes les saisons, les tendances des précipitations présentent une variabilité globale plus importante. En moyenne, des hausses annuelles sont attendues, particulièrement en hiver, tandis qu'en été, peu de changements sont prévus (Ouranos, s.d.-a). De plus, en raison du réchauffement des températures, le total des précipitations liquides devrait augmenter au printemps et à l'automne à travers le Québec, car la neige se transformera en pluie durant ces saisons (Ouranos, 2024c). Toutes les régions du Québec devraient également connaître des augmentations des précipitations abondantes et extrêmes, tant en quantité qu'en fréquence (Ouranos, 2024c).

Les inondations pluviales résultent de l'accumulation rapide de précipitations abondantes et/ou de l'incapacité des infrastructures à gérer de tels volumes d'eau, rendant leur projection complexe. Bien que les précipitations extrêmes soient prévues à la hausse, augmentant ainsi la fréquence des inondations pluviales, celles-ci sont rarement causées uniquement par les pluies dans la ville de Québec (AECOM, 2023a).

Les graphiques suivants montrent les **précipitations liquides** hivernales, printanières, estivales et automnales. Les CC entraîneront une augmentation des précipitations liquides dans la région de la Capitale-Nationale annuellement, en hiver, au printemps et à l'automne, indépendamment du scénario d'émission. Toutefois, cette augmentation sera plus marquée dans le scénario pessimiste (ligne rouge). En été, peu de changements sont prévus.

- › **Printemps** : Les précipitations liquides passeront d'une médiane de 155 mm dans les années 1950 à une médiane de 232,4 mm ou 288,5 mm en 2100, selon le scénario d'émission. Cela représente une augmentation jusqu'à 98,7 mm en 2100 par rapport aux précipitations liquides des années 2020.
- › **Été** : Les précipitations estivales varient moins, passant d'une médiane de 362 mm dans les années 1950 à 365 mm ou 367 mm en 2100, selon le scénario d'émission. Cela représente des changements peu importants, avec des différences limitées entre les scénarios d'émission.
- › **Automne** : Les précipitations liquides augmenteront d'une médiane de 247 mm dans les années 1950 à une médiane de 324 mm ou 375,8 mm d'ici 2070, selon le scénario d'émission. Par rapport aux précipitations actuelles (années 2020), cela représente une hausse pouvant atteindre 89,7 mm de plus en 2100.
- › **Hiver** : Les précipitations liquides augmenteront progressivement d'une médiane de 26,6 mm dans les années 1950 à 60,8 mm ou 119,7 mm d'ici 2100, selon le scénario d'émission. Par rapport aux précipitations actuelles (années 2020), cela représente une hausse pouvant atteindre 86,5 mm de plus en 2100.

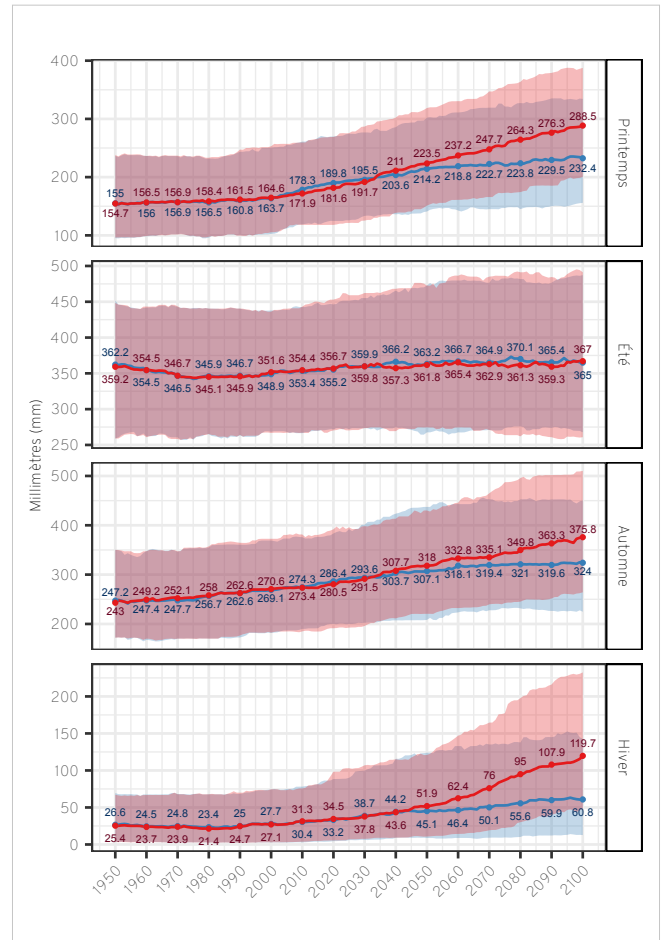


Figure 8 – Évolution des précipitations liquides pour la région de la Capitale-Nationale

Les graphiques suivants montrent les **précipitations solides** annuelles, hivernales, printanières et automnales. Les CC entraîneront une diminution des précipitations solides dans la région de la Capitale-Nationale annuellement, en hiver, au printemps et à l'automne, indépendamment du scénario d'émission. Toutefois, cette diminution sera plus marquée dans le scénario pessimiste (ligne rouge).

- › **Annuel** : Les précipitations solides annuelles diminuent progressivement d'une médiane de 413,8 mm dans les années 1950 à 348,3 mm ou 284,7 mm en 2100, selon le scénario d'émission. Cela représente une diminution jusqu'à 104 mm en 2100 par rapport aux précipitations solides actuelles (années 2020).
- › **Hiver** : Les précipitations solides diminueront progressivement d'une médiane de 227,5 mm dans les années 1950 à 232,6 mm ou 210,6 mm d'ici 2100, selon le scénario d'émission. Par rapport aux précipitations actuelles (années 2020), cela représente une diminution pouvant atteindre 21,5 mm en 2100.
- › **Printemps** : Les précipitations solides passeront d'une médiane de 100,1 mm dans les années 1950 à 73,1 mm ou 46,9 mm en 2070, selon le scénario d'émission. Par rapport aux précipitations actuelles (années 2020), cela représente une diminution pouvant atteindre 42,6 mm en 2100.
- › **Automne** : Les précipitations solides diminueront d'une médiane de 76,5 mm dans les années 1950 à une médiane de 38,5 mm ou 18,6 mm d'ici 2100, selon le scénario d'émission. Cela représente aussi une diminution des précipitations solides jusqu'à 42,6 mm en 2100 par rapport aux précipitations actuelles.

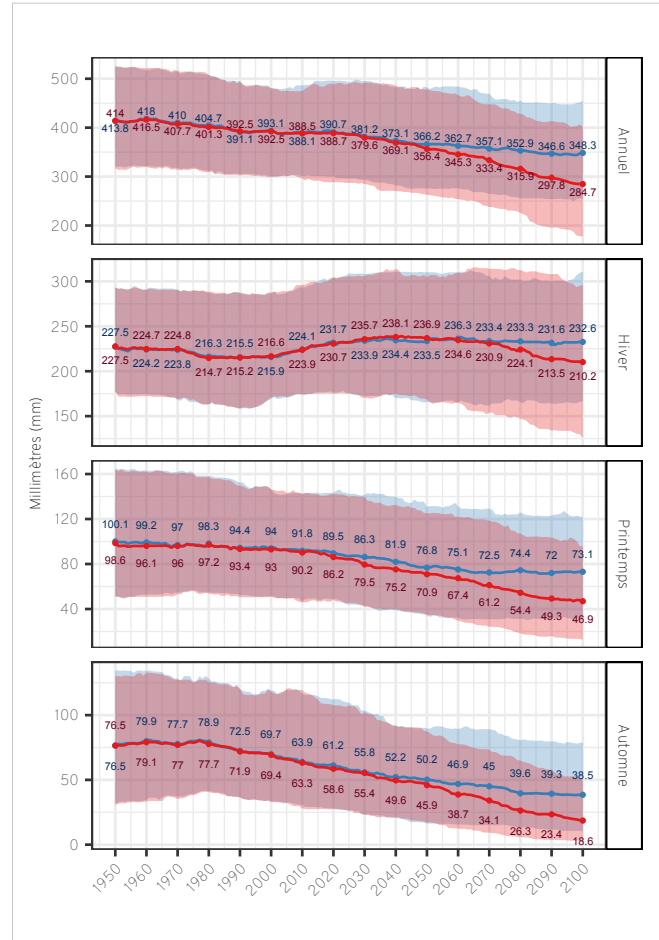


Figure 9 – Évolution des précipitations solides pour la région de la Capitale-Nationale

Le graphique suivant illustre les **précipitations totales sur une période de cinq jours consécutifs**. Les CC entraîneront une augmentation des précipitations maximales sur 5 jours consécutifs dans la région de la Capitale-Nationale, annuellement et pour la période d'avril à septembre. De plus, cette augmentation sera plus prononcée dans le scénario pessimiste (ligne rouge).

- › **Annuel** : Les précipitations maximales sur 5 jours augmenteront progressivement d'une médiane de 80,9 mm dans les années 1950 à 91,3 mm ou 102,8 mm d'ici 2070, selon le scénario d'émissions. Cela représente une augmentation des précipitations lors ces événements pouvant atteindre 19,3 mm par rapport au niveau actuel (années 2020).
- › **Avril à septembre** : Les précipitations maximales sur 5 jours passeront d'une médiane de 75,8 mm dans les années 1950 à 80,7 mm ou 89,4 mm d'ici 2070, en fonction du scénario d'émissions. Par rapport à ce qui est observé aujourd'hui (années 2020), cela représente une augmentation jusqu'à 14, mm en 2100.

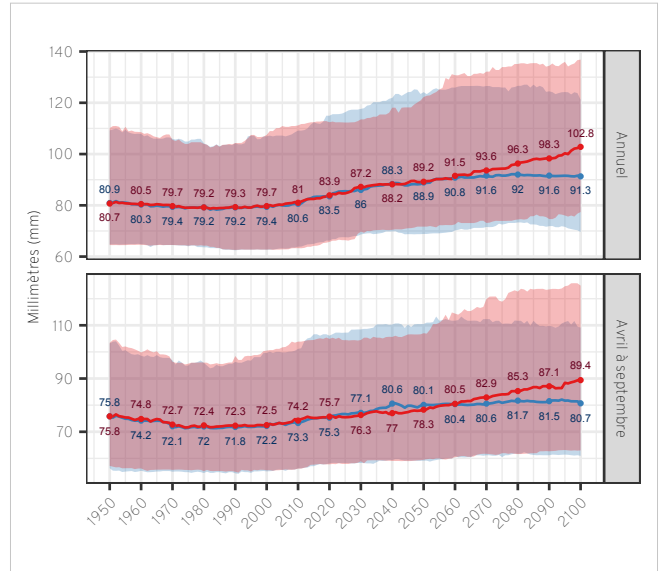


Figure 10 – Évolution du maximum annuel des précipitations cumulées sur 5 jours pour la région de la Capitale-Nationale

Le graphique suivant montre l'évolution du **nombre de jours avec plus de 20 mm de précipitations**. Il est possible d'observer la tendance est en augmentation pour toutes les saisons et que les différences entre les deux scénarios d'émissions ne sont pas très importantes, renforçant la certitude des effets des CC sur ces indicateurs. Pour ces indicateurs-ci aussi les différences entre les observations historiques et les projections climatiques sont moins importantes pour la saison estivale.

- › **Printemps** : Le nombre de jours avec plus de 20 mm de précipitations passeront d'une médiane de 2 jours dans les années 1950 à 2,9 ou 3,8 jours en 2100, selon le scénario d'émission. Cela représente une augmentation jusqu'à 1,8 jours en 2100 par rapport aux précipitations liquides des années 2020.
- › **Été** : Les nombre de jours avec de fortes précipitations varie moins en été, passant d'une médiane de 3,9 jours dans les années 1950 à une médiane de 4,2 ou 4,3 en 2100, selon le scénario d'émission.
- › **Automne** : Le nombre de jours avec des précipitations de plus de 20 mm passe d'une médiane de 3,5 jours dans les années 1950 à une médiane de 4,1 ou 5,2 jours d'ici 2070, selon le scénario d'émission. Par rapport aux niveaux actuels (années 2020), cela représente une hausse pouvant atteindre 1,7 jours de plus en 2100.
- › **Hiver** : Le nombre de jours avec plus de 20 mm de précipitations augmenteront progressivement d'une médiane de 1,8 jours dans les années 1950 à 2,6 jours ou 3,2 d'ici 2100, selon le scénario d'émission. Par rapport aux nombres de jour actuels (années 2020), cela représente une hausse pouvant atteindre 1,4 jours de plus en 2100.

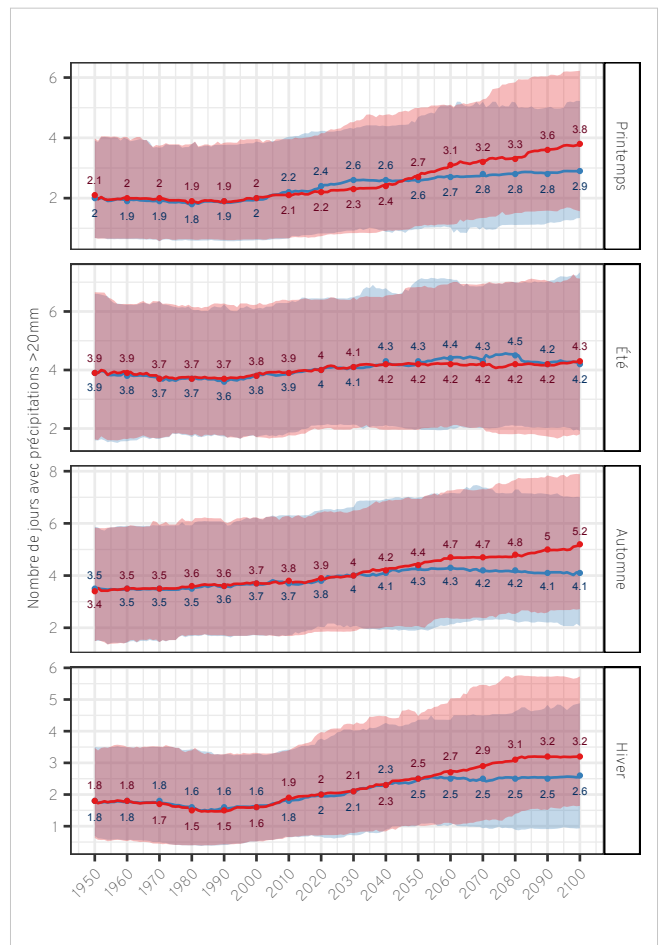


Figure 11 – Évolution du nombre de jours avec plus de 20 mm de précipitations dans la région de la Capitale-Nationale

Événements météorologiques extrêmes (ÉME)

Un ÉME se définit comme un phénomène qui dépasse les niveaux d'activité habituels ou moyens (Quintin & Goudreault, 2024).

Températures en dehors des normales

Les aléas liés aux températures en dehors des normales sélectionnées sont les suivants :

- › **Nuits très froides** : Le nombre de jours où la température minimale quotidienne (Tmin) est plus froide que $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$. Puisque la température minimale survient généralement la nuit, cet indicateur fournit une estimation du nombre de jours de froid extrême sur la période sélectionnée. Le froid est une partie intégrante de la vie au Québec, et la province est bien adaptée pour affronter des hivers rigoureux. Les basses températures influencent la santé et la sécurité, déterminent les espèces végétales et animales pouvant survivre localement, limitent les activités de plein air, influencent l'entretien des bâtiments et des véhicules, et affectent la consommation de transport et d'énergie (Donneesclimatiques.ca, 2024);
- › **Journées très froides** : Le nombre de jours avec une température minimale quotidienne (Tmin) plus froide que $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$. Cet indice fournit une estimation du nombre de jours de froid extrême sur la période sélectionnée. Le froid est une partie intégrante de la vie au Québec, et la province est bien adaptée pour affronter des hivers rigoureux. Les basses températures influencent la santé et la sécurité, déterminent les espèces végétales et animales pouvant survivre localement, limitent les activités de plein air, influencent l'entretien des bâtiments et des véhicules, et affectent l'utilisation des transports et de l'énergie (Donneesclimatiques.ca, 2024);
- › **Journées très chaudes** : Le nombre de jours où la température maximale quotidienne (Tmax) est supérieure à $30\text{ }^{\circ}\text{C}$. Cet indice donne une indication du nombre de jours très chauds au cours de la période sélectionnée (Donneesclimatiques.ca, 2024). Les températures élevées influencent la capacité des plantes et des animaux à prospérer, restreignent ou facilitent les activités de plein air, orientent la conception des bâtiments et véhicules, et affectent l'utilisation des transports et de l'énergie. Cependant, lorsque les températures atteignent des niveaux extrêmes, les risques pour la santé augmentent, en particulier pour les populations vulnérables, comme les personnes âgées, plus susceptibles de souffrir d'épuisement ou de coups de chaleur. Dans de telles conditions, de nombreuses activités extérieures deviennent risquées (Donneesclimatiques.ca, 2024);
- › **Nuits tropicales** : Il s'agit du nombre de jours où la température minimale quotidienne (Tmin) dépasse $20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Les journées chaudes d'été peuvent être physiquement éprouvantes, surtout lorsque les nuits ne procurent pas de fraîcheur et qu'elles persistent pendant plusieurs jours (Donneesclimatiques.ca, 2024).

Données historiques et actuelles :

Dans les dernières décennies, le nombre de journées très froides a diminué dans la région de Québec, tandis que le nombre de journées très chaudes et de nuits tropicales a augmenté. Ces projections montrent que le climat à Québec sera de plus en plus caractérisé par des hivers plus doux et des étés plus chauds. Dû à l'augmentation de la chaleur la nuit, de nombreuses personnes ne peuvent plus trouver de répit face à la chaleur, même durant la nuit (Atlas climatique du Canada, 2024a).

Projections climatiques :

Dans la région de la Capitale-Nationale, les CC continueront de provoquer une hausse du nombre de journées très chaudes et de nuits tropicales pendant l'été, ainsi qu'une diminution des nuits très froides en hiver.

Le graphique illustre l'évolution du nombre de **nuits très froides** < -25 °C dans la région de la Capitale-Nationale. En raison des CC, ce nombre d'événements annuellement passera d'une médiane de 24,7 en 1950 à seulement 3,2 ou 0 journée en 2100, selon le scénario d'émissions. Les projections indiquent donc que les nuits très froides pourraient ne plus survenir en 2100.

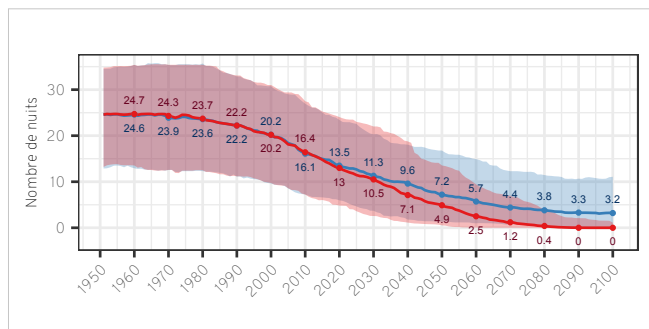


Figure 12 – Évolution du nombre de nuits d'hiver (<-25 °C) pour la région de la Capitale-Nationale

Les graphiques montrent l'évolution du nombre de **journées très chaudes** et le nombre de **nuits tropicales** dans la région de la Capitale-Nationale. Les CC entraîneront une augmentation des journées très chaudes (>30 °C) en été, passant d'une médiane de 0,1 journée très chaude en 1950 à 5,1 ou 22,1 journées très chaudes en 2100, selon le scénario d'émissions. Par rapport aux tendances actuelles (années 2020), il pourrait y avoir jusqu'à 21,4 journées très chaudes de plus en 2100. De plus, les CC entraîneront également une augmentation des nuits tropicales (>20 °C) en été, passant d'aucune nuit tropicale en 1950 à 3 ou 13,7 nuits tropicales en 2100, selon le scénario d'émissions. Par rapport à aujourd'hui (années 2020), il pourrait y avoir jusqu'à 13,4 nuits tropicales de plus en 2100.

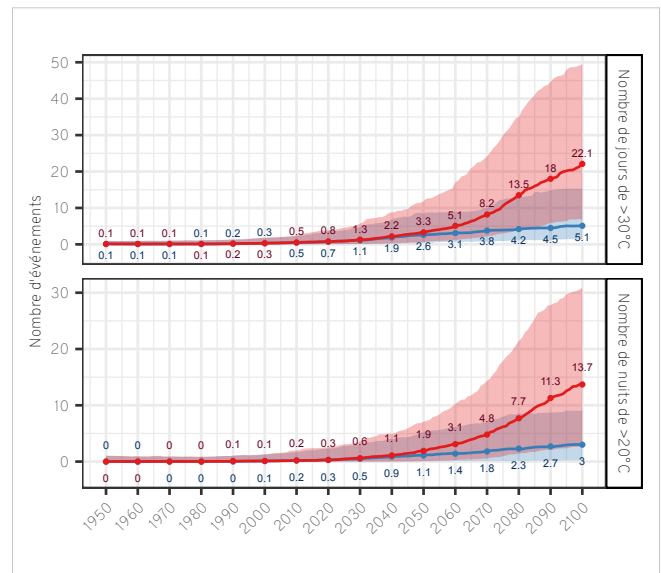


Figure 13 – Évolution du nombre de nuits et jours très chauds dans la région de la Capitale-Nationale

Vagues de chaleur

Au Québec, les activités humaines et les CC contribuent à intensifier les ÉME, tels que les vagues de chaleur (Ouranos, 2024e). Cet aléa climatique peut avoir de nombreux effets néfastes sur la santé de la population, tels que des coups de chaleur, des troubles cardiovasculaires ou respiratoires, des impacts sur la santé mentale et une augmentation de la mortalité (Ouranos, 2024e). Dans la région de la Capitale-Nationale, une vague de chaleur extrême se caractérise par une période d'au moins trois jours consécutifs où la moyenne des températures maximales (Tmax) observées atteint 31 °C, et celle des températures minimales (Tmin) atteint 18 °C (Direction de santé publique du CIUSSS de la Capitale-Nationale, 2023).

Données historiques et actuelles :

Entre 1980 et 2015, les vagues de chaleur au Québec ont augmenté en intensité et en fréquence. Durant cette période, le nombre de journées et de nuits chaudes a augmenté progressivement, en lien avec la tendance au réchauffement de la température moyenne (Ouranos, 2024e). Les vagues de chaleur extrême qui ont frappé le Québec en 2010, 2018 et 2020 ont entraîné une augmentation soudaine et temporaire de la mortalité dans la province (Ouranos, 2024e). En 2010, 291 décès liés aux vagues de chaleur ont été recensés au Québec, tandis qu'en 2018, une vague touchant neuf régions a provoqué 210 décès supplémentaires. En 2020, 149 décès ont été attribués aux vagues de chaleur ayant affecté huit régions (INSPQ, 2024b).

De plus, lors d'une vague de chaleur, les îlots de chaleur urbains (ICU) sont particulièrement dangereux parce qu'ils peuvent amplifier les enjeux liés à la chaleur, surtout pour les populations plus à risque (Santé Canada, 2020). Un ICU est une zone urbaine où la température est plus chaude que dans les régions rurales ou naturelles à proximité. Les ICU sont principalement causés par une grande densité de bâtiments, de grandes surfaces recouvertes de matériaux imperméables, foncés et non réfléchissants, et peu d'espaces verts (Santé Canada, 2020). La chaleur dégagée par les activités humaines comme les industries et l'automobile augmentent également l'effet d'ICU (Santé Canada, 2020).

La Figure 14 représente le phénomène des ICU sur le campus de l'Université Laval. Elle illustre de manière frappante les différences de température entre les zones urbaines et les zones végétalisées ayant une forte perméabilité lors d'une journée chaude. Dans les zones du campus avec une concentration d'infrastructures minéralisées importante comme les bâtiments et les stationnements, les

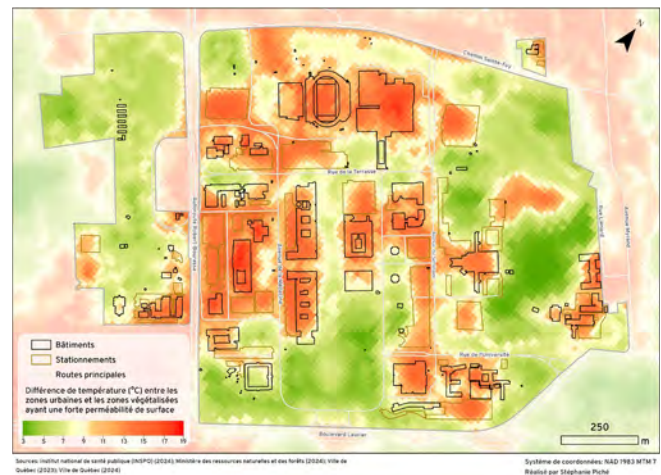


Figure 14 – Îlots de chaleur urbains sur le campus de l'Université Laval, 2020-2022

températures sont nettement plus élevées alors que ce genre de surfaces absorbent et retiennent davantage la chaleur pendant la journée. Ces matériaux ont un faible pouvoir réfléchissant et une capacité thermique élevée, créant un effet d'accumulation thermique. L'intensité du phénomène semble particulièrement élevée dans le secteur du pavillon Ferdinand Vandry et du PEPS. En revanche, les zones végétalisées, comme les boisés ou les espaces verts du campus, bénéficient de la présence de sols perméables et de végétation qui favorisent l'évapotranspiration, un processus naturel qui permet de rafraîchir l'air ambiant. Ces zones, grâce à leur capacité à retenir l'eau et à évaporer l'humidité, enregistrent des températures significativement plus basses, offrant ainsi un contraste marqué avec les différents bâtiments et stationnements. De plus, il est possible de voir l'effet de la toiture blanche du stade Telus qui, en réfléchissant la lumière du soleil, réduit l'accumulation de chaleur. Cela contribue à diminuer la température locale et contribue à atténuer le phénomène d'ICU dans ce secteur du campus qui est problématique. D'après les études scientifiques, les toitures blanches contribuent de manière significative à la réduction de l'intensité du phénomène d'îlots de chaleur urbain. Étant donné que leur albédo est beaucoup plus élevé que celui des toitures foncées, elles reflètent davantage la lumière du soleil, absorbant ainsi moins de chaleur. Cela faisant, elles contribuent à maintenir les bâtiments et leurs alentours à des températures plus confortables lors de journées chaudes. (Wang et al. 2020, Pisello 2015). La carte met ainsi en évidence cette disparité, soulignant l'importance de la végétalisation pour atténuer les effets du réchauffement urbain et améliorer la qualité de vie du campus.

Projections climatiques :

En raison des CC, les vagues de chaleur deviendront plus fréquentes et plus intenses, entraînant une augmentation du nombre de journées très chaudes et des températures toujours plus élevées (Direction de santé publique du CIUSS de la Capitale-Nationale, 2023 ; Ouranos, 2024e).

Les graphiques suivants montrent l'évolution du nombre de jours de **vague de chaleur extrême** dans la région de la Capitale-Nationale. Les CC entraîneront une augmentation du nombre de jours de vague de chaleur (Tmin > 18°C, Tmax > 31°C), quel que soit le scénario d'émission. Toutefois, l'augmentation sera plus prononcée dans le scénario pessimiste (ligne rouge). Le nombre de jours de vague de chaleur extrême passera d'aucune journée dans les années 1950 à 1 ou 12,1 jours en 2100, selon le scénario d'émission.

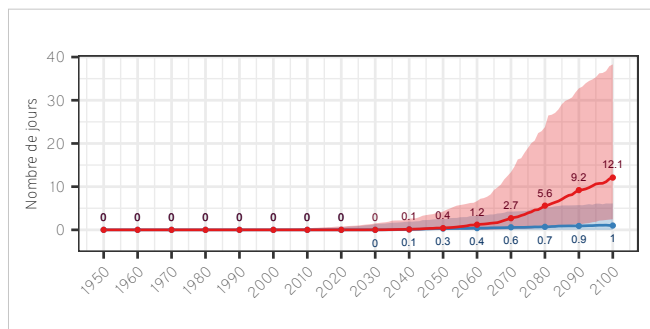


Figure 15 – Évolution du nombre de jours de vague de chaleur extrême dans la région de la Capitale-Nationale

Vagues de froid

Contrairement aux vagues de chaleur, il n'existe pas de consensus concernant la définition d'une vague de froid (INSPQ, 2020). Au Québec, Environnement et Changement climatique Canada (ECCC) émet des avertissements de froid extrême lorsque le refroidissement éolien est prévu d'atteindre -38 °C (INSPQ, 2020). Les températures froides augmentent le risque de mortalité et de maladies, en particulier celles affectant les systèmes cardiovasculaire, respiratoire et cérébrovasculaire. Elles peuvent également influencer les infections en modifiant la résistance de certains pathogènes aux conditions environnementales (INSPQ, 2024b). De plus, la vitesse du vent joue un rôle modulateur sur les impacts du froid sur la santé : plus le vent est fort, plus les effets négatifs du froid sur la santé sont accentués (INSPQ, 2020).

Données historiques et actuelles :

La Santé publique a analysé l'impact des températures froides sur les admissions aux urgences entre 1989 et 2006. Les températures les plus basses étaient associées à une augmentation des admissions en hiver, principalement en raison d'incidents cardiaques. Cependant, cette hausse diminuait au fil de la saison hivernale, suggérant un effet d'acclimatation à la fois physique et sociale (INSPQ, 2024b). Les effets du froid extrême peuvent se manifester jusqu'à deux semaines plus tard.

Les froids extrêmes entraînent également une consommation accrue d'électricité de même que l'utilisation de poêles à bois, de foyers et d'autres sources de chaleur. L'usage de ces appareils peut nuire à la qualité de l'air, tant à l'extérieur qu'à l'intérieur. Par ailleurs, les épisodes de smog hivernal, qui se produisent sous certaines conditions météorologiques, entraînent également des conséquences sur le système respiratoire des personnes vulnérables, notamment une augmentation des cas d'asthme (INSPQ, 2024b).

Projections climatiques :

Le réchauffement des températures lié aux CC devrait entraîner une augmentation de la moyenne des températures hivernales, cependant les effets du froid sur la santé ne disparaîtront pas pour autant. Des vagues de froid et une forte variabilité des températures persisteront. De plus, ces vagues de froid pourraient même constituer un risque plus élevé pour la santé en raison de la perte potentielle de l'acclimatation au froid au sein de la population (INSPQ, 2024b).

Dans ce cas-ci, l'indicateur d'une vague de froid qui a été choisi est le nombre de jours où la température minimale est en-dessous de -23°C et la température maximale est en-dessous de -15°C. Ce qui est observé est qu'il y a peu de différence entre les deux scénarios d'émission envisagés. Le nombre de vagues de froid passera d'une médiane de 18 jours dans les années 1950 à aucun jour de vague de froid en 2100 peu importe les scénarios d'émission. Cela représente une diminution par rapport aux niveaux actuels de 8 jours par année.

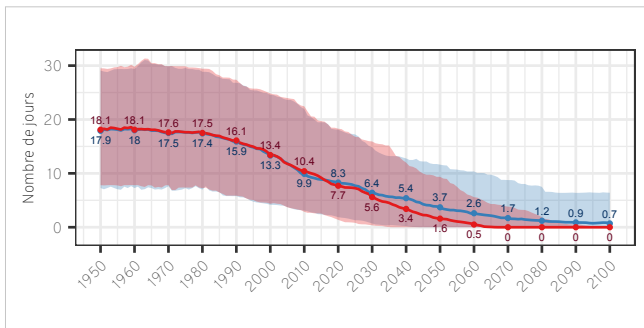


Figure 16 – Évolution du nombre de jours de vague de froid dans la région de la Capitale-Nationale

Redoux hivernaux (cycles de gel-dégel)

Un cycle de gel-dégel (CGD) se produit lorsque la température maximale quotidienne (Tmax) dépasse 0 °C et que la température minimale quotidienne (Tmin) est inférieure ou égale à -1 °C. Ce seuil de -1 °C, plutôt que 0 °C, est adopté comme critère de gel pour augmenter les chances que l'eau gèle réellement en surface (Donneesclimatiques.ca, 2024).

Les CGD peuvent avoir un impact significatif sur les infrastructures. En se transformant en glace, l'eau se dilate, et ces alternances répétées de gel, de dégel et de recongélation causent, avec le temps, des dommages notables aux routes, aux trottoirs, aux autres structures extérieures, ainsi qu'aux racines des plantes (Atlas climatique du Canada, 2024b; Ouranos, s.d.-a). Par exemple, les nids-de-poule qui apparaissent au printemps ou lors de redoux hivernaux illustrent bien les effets de ce phénomène (Atlas climatique du Canada, 2024b).

Données historiques et actuelles :

La fréquence des CGD varie au cours de l'année à Québec. En été, ces cycles sont inexistant, car les températures restent au-dessus du point de congélation. En hiver, le nombre de CGD atteint un minimum en janvier et février, lorsque les températures restent basses, souvent en dessous du point de congélation (Fortin, 2010). La fréquence des CGD augmente toutefois à l'automne (de septembre à novembre) et au printemps (de mars à mai), lorsque les températures se rapprochent du point de congélation (Fortin, 2010).

Projections climatiques :

Dans la région de la Capitale-Nationale, le réchauffement des températures hivernales lié aux CC devrait entraîner une augmentation du nombre de CGD en hiver (décembre à février), car les températures se maintiendront plus fréquemment autour de 0 °C (Ouranos, s.d.-a). Cependant, le nombre de CGD en automne (septembre à novembre) et au printemps (mars à mai) devrait diminuer avec le réchauffement des températures (Ouranos, s.d.-a). La période de gel-dégel sera également raccourcie : le premier gel automnal va survenir plus tard, tandis que le dernier gel printanier surviendra plus tôt. Dans l'ensemble, le nombre annuel d'événements de gel-dégel devrait diminuer à Québec (Ouranos, s.d.-a).

Le graphique suivant illustre l'évolution du nombre de CGD pour les périodes annuelle, hivernale, printanière et automnale. Les CC entraîneront une diminution du nombre de journées de gel (CGD) selon le scénario pessimiste (ligne rouge) et une évolution stable selon le scénario modéré (ligne bleue). En hiver, le nombre de CGD augmentera, tandis qu'au printemps et à l'automne, ce nombre diminuera, peu importe le scénario d'émission.

- › **Annuel** : Le nombre de CGD restera relativement stable, passant d'une médiane de 100,2 CGD en 1950 à 94,9 ou 92,3 CGD en 2100 selon le scénario d'émission. Par rapport à aujourd'hui (années 2020), il pourrait y avoir jusqu'à 6,3 CGD de moins en 2100.
- › **Hiver** : Le nombre de CGD augmentera, passant d'une médiane de 10,6 CGD en 1950 à 19,6 ou 28,5 CGD en 2100, selon le scénario d'émissions. Par rapport à aujourd'hui (années 2020), il pourrait y avoir jusqu'à 15,5 CGD de plus en 2100.
- › **Printemps** : Le nombre de CGD diminuera, passant d'une médiane de 49,7 CGD en 1950 à 44,9 ou 39,3 CGD en 2100, selon le scénario d'émissions. Par rapport aujourd'hui (années 2020), il pourrait y avoir jusqu'à 9,4 CGD de moins en 2100.
- › **Automne** : Le nombre de CGD diminuera, passant d'une médiane de 36,3 CGD en 1950 à 29,9 ou 23,6 CGD en 2100, selon le scénario d'émissions. Par rapport aujourd'hui (années 2020), il pourrait y avoir jusqu'à 11,3 CGD de moins en 2100.

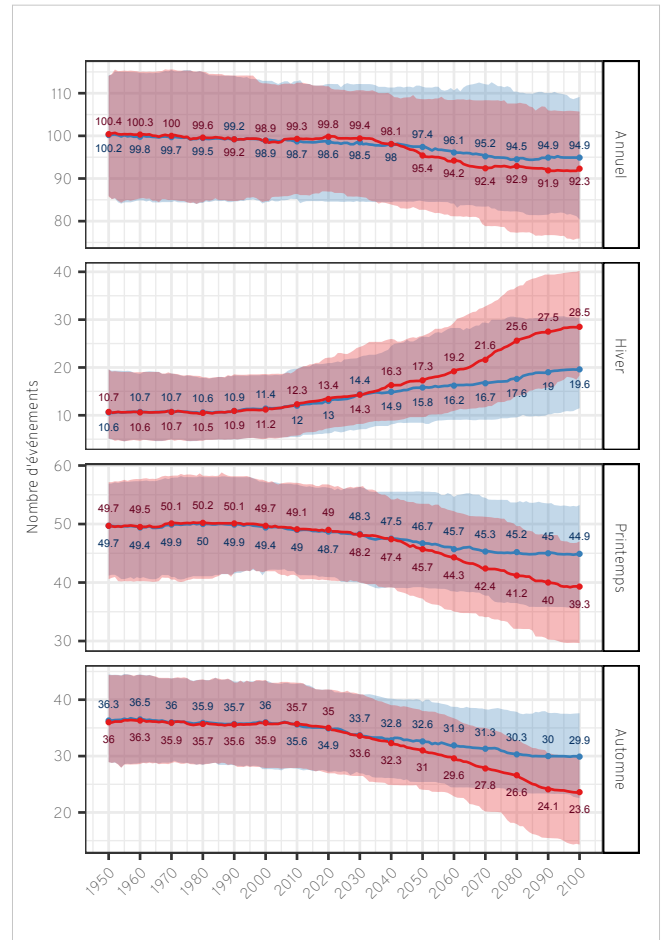


Figure 17 – Évolution du nombre d'événements gel-dégel à Sainte-Foy

Tempêtes hivernales et verglas

Un avis de tempête hivernale est émis par le gouvernement du Canada lorsqu'un phénomène combinant plusieurs conditions hivernales extrêmes est prévu, incluant des chutes de neige de 25 cm ou plus en moins de 24 heures (ECCC, 2017a). Une tempête hivernale peut aussi être déclarée lorsqu'un autre phénomène météorologique accompagne ces fortes chutes de neige, comme des vents violents, un froid intense, de la poudrière ou un mélange de précipitations (ECCC, 2017a). Ces tempêtes peuvent affecter les écosystèmes, notamment les forêts, où elles peuvent déraciner ou renverser des arbres (AECOM, 2023a).

Le verglas se forme par un dépôt de glace compact et lisse, résultant de la congélation de gouttes de pluie ou de bruine surfondues sur des objets (AECOM, 2023a). Les grands événements de verglas, appelés « tempêtes de verglas, » peuvent entraîner des répercussions importantes sur les plans économique, social et écologique (AECOM, 2023a).

Données historiques et actuelles :

La région de Québec a été marquée par plusieurs tempêtes hivernales significatives dont :

- › Tempête du 3 au 5 mars 1971 : surnommée la « tempête du siècle », elle a déversé 47 cm de neige sur la Ville de Québec, accompagnée de rafales atteignant 110 km/h (AECOM, 2023a).
- › Hiver 2008 : Cette saison a marqué un record de neige à Québec, avec plus de 558 cm accumulés. La tempête la plus intense depuis 1971 a eu lieu durant la nuit du 8 au 9 mars, déversant environ 40 cm de neige accompagnée de vents dépassant les 70 km/h. Cette tempête a causé des perturbations majeures, avec plusieurs routes fermées et des infrastructures endommagées (Pontbriand, 2018).
- › Hiver 2019 : Cet hiver a vu une accumulation de plus de 350 cm de neige, incluant des tempêtes importantes, le 20 janvier, le 13 février et le 14 mars, entraînant des coûts de près de 90 millions de dollars (AECOM, 2023a). L'Université Laval a fermé ses portes le 13 février (Lavoie, 2019).
- › Tempête du 23 au 25 décembre 2022 : Cette tempête a frappé plusieurs régions du Québec avec des vents violents de 110 km/h, privant 640 000 personnes d'électricité et engendrant des réparations totalisant 55 millions de dollars (Hydro-Québec, 2023 ; AECOM, 2023a). L'Université Laval a également annulé toutes les activités d'enseignement sur le campus le 23 décembre (Bordeleau, 2022).

La région de Québec a également subi des tempêtes de verglas notables dont :

- › Crise du verglas de janvier 1998 : Du 4 au 10 janvier, cette tempête a frappé l'est de l'Ontario, le Québec et l'ouest du Nouveau-Brunswick, devenant le deuxième événement climatique le plus coûteux pour le Canada (AECOM, 2023a). Jusqu'à 100 mm de pluie verglaçante ont causé la chute de millions d'arbres, la destruction de 1 000 pylônes de transmission et de 30 000 poteaux électriques, privant d'électricité à 3,2 millions de Québécois pendant plusieurs jours (ECCC, 2017b).
- › Tempête de verglas du 5 avril 2023 : Le sud-ouest du Québec a été touché, causant des dommages importants. À Québec, le verglas a nécessité des travaux de déglacage sur les câbles et suspentes du pont Pierre-Laporte (Bernier, 2023).

Projections climatiques :

Les effets des CC sur la fréquence et l'intensité des tempêtes au Québec restent incertains (INSPQ, 2024b). Bien que les modèles climatiques aient connu des améliorations au fil du temps, ils tendent toujours à sous-estimer la vitesse des vents violents et l'intensité des tempêtes affectant au Québec (Ouranos, 2024c). En conséquence, il est impossible d'établir des tendances fiables concernant les changements futurs liés aux tempêtes ou aux vents qui les accompagnent (Ouranos, 2024c).

Avec le réchauffement des températures, une proportion croissante des précipitations hivernales pourrait tomber sous forme de pluie plutôt que de neige, particulièrement durant les périodes de transition comme le printemps et l'automne (voir Figures 8 & 9 plus haut) (Ouranos, 2024c). Cependant, cette tendance globale s'accompagne d'une forte variabilité interannuelle, rendant les prévisions des événements hivernaux extrêmes complexes (Ouranos, 2024c). Des épisodes de neige abondante ou d'événements hivernaux inhabituels pourraient encore survenir, même si la tendance générale pointe vers une réduction de l'enneigement.

Les projections climatiques suggèrent une augmentation potentielle des épisodes de verglas dans certaines régions du Québec, notamment au nord, bien que des incertitudes importantes demeurent, particulièrement pour les ÉME. Ces incertitudes s'expliquent par la variabilité naturelle du climat et les divergences entre les méthodologies utilisées (Ouranos, 2024c).

Dans la région de la Capitale-Nationale, les épisodes de verglas intense ne subissent pas de variation significative. En effet, le nombre médian d'épisodes passe de 0,2 par an dans les années 1950 à 0,3 en 2100. De plus, il n'y a pas de différence significative entre les projections des deux scénarios d'émission envisagés.

Vents et orages

Le vent est le principal responsable du transport du pollen, des polluants, des précipitations et de la poudrierie en hiver. Il influence le confort en été et l'inconfort en hiver, en plus d'être un facteur majeur des tempêtes et de causer des dommages aux infrastructures. Les analyses des vents se concentrent sur ceux à moins de 10 mètres du sol, où la vitesse moyenne varie peu (Ouranos, 2015). Au Québec, des vents sont considérés violents lorsqu'ils atteignent une vitesse de 60 km/h ou plus pendant au moins une heure ou lorsqu'ils génèrent des rafales de 90 km/h et plus (Gouvernement du Québec, 2024a).

Un orage est une perturbation atmosphérique violente avec éclairs et tonnerre, se formant dans un nuage cumulonimbus, où les conditions sont propices à de fortes précipitations, parfois de la grêle, ainsi que de fortes rafales de vent (Ouranos, 2024c). Les orages surviennent en raison de l'instabilité atmosphérique causée par la rencontre d'une masse d'air chaud et humide avec une masse d'air froid (Ouranos, 2024c).

Données historiques et actuelles :

La majorité des stations météorologiques québécoises dans le sud du Québec ont enregistré une tendance à la baisse de la vitesse moyenne annuelle des vents durant la période 1953 à 2006 (Ouranos, 2015). Peu de données permettent de connaître les réelles tendances historiques en ce qui a trait au vent. En mai 2022, le Québec, dont la région de Québec a été touchée par une tempête connue sous le nom de derecho, un phénomène météorologique caractérisé par des

orages violents, des déplacements rapides et des vents extrêmement forts (AECOM, 2023a). Ce derecho a causé d'importants dommages, notamment en déracinant des arbres, en renversant des poteaux électriques et en endommageant des bâtiments. Plus de 550 000 personnes au Québec ont été privées d'électricité (AECOM, 2023a). Ce phénomène a également entraîné des conséquences sociales, entraînant la mort d'au moins neuf personnes (Potsou, 2022). Bien que ces phénomènes soient rares dans la province du Québec et se produisent généralement aux États-Unis, le derecho de 2022 a affecté le territoire de la ville de Québec avec des rafales de vent atteignant jusqu'à 100 km/h (AECOM, 2023a).

Projections :

Le réchauffement des températures lié aux CC prévu au Québec pourrait accentuer l'instabilité atmosphérique, entraînant une augmentation du nombre d'orages (Ouranos, 2024c). Concernant les projections des vents extrêmes, bien qu'il soit possible que la région de Québec connaisse davantage de rafales, les données et le consensus scientifique restent insuffisants pour le confirmer (Ouranos, 2024c).

Autres aléas climatiques

Mauvaise qualité de l'air

La qualité de l'air extérieur, aggravé par les activités humaines et les CC, constitue un enjeu majeur pour la santé publique et l'environnement (Atlas climatique du Canada, s.d.). La majorité des polluants proviennent des activités humaines, tel que la combustion de carburants, cependant, ils peuvent aussi provenir de sources naturelles comme des feux de forêt (ECCC, 2024).

Données historiques et actuelles :

Depuis les années 1970, le Réseau de surveillance de la qualité de l'air du Québec permet au MELCCFP de suivre la qualité de l'air ambiant au Québec à l'aide de l'indice de qualité de l'air (IQA) (MELCCFP, 2023a). L'IQA est calculé quotidiennement en se basant sur cinq principaux polluants atmosphériques suivants : les particules fines (PM_{2,5}), l'ozone troposphérique (O₃), le dioxyde d'azote (NO₂), le dioxyde de soufre (SO₂) et le monoxyde de carbone (CO) (MELCCFP, 2023a).

Au cours des 48 dernières années, de 1974 à 2021, la qualité de l'air s'est améliorée au Québec, y compris dans la région de Québec où une amélioration générale a également été observée dans les dernières années (MELCCFP, 2023a; Bisson & Busque, 2010). Cependant, des périodes de mauvaise qualité de l'air, dues à des facteurs locaux et externes, persistent et restent une réalité tangible à Québec (Bisson & Busque, 2010). Par exemple, le smog résulte de la mauvaise qualité de l'air et se manifeste sous la forme d'une brume jaunâtre provoquée par l'accumulation d'un mélange de contaminants atmosphériques. En été, le smog est surtout constitué d'ozone (O₃) et de particules fines (PM_{2,5}), tandis qu'en hiver, il se caractérise principalement par la présence de particules fines (PM_{2,5}) (MELCCFP, 2024b).

Le printemps et l'été 2023 ont été marqués par de nombreux feux de forêt ayant dévasté une vaste superficie du territoire canadien. Bien que les feux de forêt aient eu lieu dans des zones relativement éloignées des localités les plus peuplées, l'ensemble du Québec a ressenti les conséquences, avec une dégradation de la qualité de l'air extérieur (MELCCFP, 2023b). La dégradation de la qualité de l'air causée par les émissions des feux de forêt se traduit par une forte augmentation de la concentration de particules fines en suspension (PM_{2,5}). En raison de leur petite taille, ces particules peuvent pénétrer profondément dans le système respiratoire, ce qui peut avoir des impacts sur la santé à court et à long terme (MELCCFP, 2023b).

Projections :

Les CC contribuent à la pollution de l'air. Lorsque des GES sont libérés dans l'atmosphère (les oxydes d'azote (NO_x) et l'ozone (O₃)), ils s'accompagnent souvent d'autres polluants dangereux, telles les particules en suspension et les allergènes, qui peuvent affecter notre santé. Par ailleurs, les impacts des CC, comme l'intensification des vagues de chaleur et des feux de forêt, amplifient également cette pollution. (Atlas climatique du Canada, s.d.). En été, la qualité de l'air pourrait se dégrader en raison de l'augmentation des températures, de l'humidité spécifique, des vents plus faibles, des épisodes d'air stagnant causé par une inversion thermique, de l'augmentation du rayonnement solaire qui a un impact direct sur la production d'ozone troposphérique, de la fréquence accrue des vagues de chaleur et des ICU, ainsi que de l'assèchement des sols (Ouranos, 2011). De plus, une hausse des feux de forêt, liée aux CC, pourrait également dégrader la qualité de l'air (Atlas climatique du Canada, s.d.).

Présence de pollen allergène

Les pollens allergènes, exacerbés par l'activité humaine et les CC, représentent un enjeu majeur de santé publique (INSPQ, 2024b). Ils affectent un nombre croissant d'individus, altérant la qualité de vie et la santé mentale. Leur dispersion dépend de facteurs comme l'humidité, les précipitations liquides, le vent et la température, et leur saisonnalité varient selon les espèces. Par exemple, l'herbe à poux, très allergène, est un problème important au Québec (INSPQ, 2024b).

Données et tendances :

Historiquement, les pollens allergènes aggravent l'asthme, la rhinite allergique, et augmentent les risques cardiovasculaires et les impacts psychologiques (INSPQ, 2021). La saison des pollens, comme ceux des arbres et des graminées, fluctue en fonction des années et des lieux, influencée par les CC. Les arbres mâles, souvent privilégiés en milieu urbain, contribuent à la propagation des pollens.

Projections :

Les CC augmenteront les concentrations de pollens allergènes. L'élévation du C₀ favorisera la croissance des plantes allergènes, tandis que les périodes sèches intensifieront la libération du pollen (INSPQ, 2021). De plus, différents pollens allergènes affectent la population à divers moments. Par exemple, les pollens d'arbres comme le bouleau, l'orme et l'aulne apparaissent d'avril à juin, tandis que l'érable commence fin mars. Les pollens de graminées sont présents de mi-mai à fin juillet, et ceux d'herbacées, comme l'herbe à poux, d'août à mi-octobre. Cependant, ces périodes peuvent varier en fonction de l'année et du lieu et seront modifiées par les CC (INSPQ, 2024b). En effet, le réchauffement des températures peut lui aussi influencer la croissance des plantes alors que d'ici 2050, la saison de croissance devrait s'allonger d'environ 15 jours par an dans l'agglomération de Québec, augmentant l'exposition aux pollens allergènes (Direction de santé publique du CIUSS de la Capitale-Nationale, 2023). L'herbe à poux, principale source d'allergies saisonnières, affecte près de 75 % des Québécois qui vivent dans des zones où elle est présente. Cette proportion pourrait atteindre 95 % d'ici 2050 (INSPQ, 2021).

Maladie de Lyme, maladies à transmission vectorielle et zoonoses

Les CC accélèrent la modification de l'aire de répartition des espèces porteuses de maladies infectieuses. Le risque de contracter la maladie de Lyme après une piqûre de tique porteuse de la bactérie *Borrelia burgdorferi* est déjà présent dans la région de Lévis, et ce risque pourrait s'étendre à la Capitale-Nationale dans les années à venir (INSPQ, 2024a). D'ici 2050, une augmentation de l'incidence d'autres maladies transmises par les tiques, telles que l'anaplasmose, ainsi qu'une hausse des cas de virus du Nil occidental (VNO), est également anticipée dans la région de Québec. Effectivement, le virus a été détecté pour la première fois en 2002. Il est désormais présent dans plusieurs régions, principalement dans le sud de la province, et le nombre de cas signalés fluctue d'une année à l'autre (Gouvernement du Québec, 2024b). Les hausses de cas seraient liées aux changements de température, qui favorisent la prolifération des moustiques et augmentent le risque de transmission (Direction de santé publique du CIUSSS Capitale-Nationale, 2023).

Modifications à la biodiversité et espèces exotiques envahissantes

Les CC auront des effets majeurs sur l'environnement naturel et la biodiversité sur le territoire de l'agglomération de Québec, en perturbant les écosystèmes et les services qu'ils fournissent (Quintin & Goudreault, 2024). La perte de biodiversité, amplifiée par la destruction des habitats et l'invasion des EEE, est un des grands enjeux environnementaux du 21^e siècle (Quintin & Goudreault, 2024). Dans le même sens, l'apparition et l'augmentation des EEE sont grandement impactées par les CC, de façon directe et indirecte, et menacent les espèces indigènes et réduisent la diversité biologique (Quintin & Goudreault, 2024).

Données historiques et actuelles :

Il est important de souligner que la biodiversité au Québec est en déclin depuis plusieurs années. En 2019, des experts mondiaux ont rapporté que « la biodiversité de la planète s'appauvrit plus rapidement que jamais dans l'histoire de l'humanité » (Gouvernement du Québec, s.d.). En 2020, le gouvernement du Québec a publié un rapport mettant en lumière les défis actuels liés à la préservation de la biodiversité dans la province :

- › Tendances mondiales : la biodiversité mondiale diminue rapidement, avec 75 % de la surface terrestre significativement altérée et 1 million d'espèces menacées d'extinction (Gouvernement du Québec, s.d.) ;
- › Flore indigène au Québec : baisse de 13,6 % des espèces de plantes en situation précaire entre 2000 et 2020, avec environ 20 % des plantes des milieux humides et hydriques en situation précaire au Québec (Gouvernement du Québec, s.d.) ;
- › Faune indigène au Québec : sur 800 espèces de vertébrés, 153 sont en situation précaire. Tendances stables pour les mammifères et oiseaux, mais déclin pour les reptiles, amphibiens et certains poissons (Gouvernement du Québec, s.d.) ;

Les CC accentuent l'expansion géographique, l'accélération du cycle de vie et l'impact des EEE, qui forment rapidement des colonies denses, inhibant la croissance d'autres plantes, altérant la structure du sol et perturbant ainsi les écosystèmes et les paysages (MELCCFP, 2024a). L'infestation par l'agrile du frêne est maintenant présente sur le campus universitaire (Service des immeubles, 2021). Cette espèce exotique envahissante, détectée à Québec en 2017, a forcé la ville à procéder à l'abattage massif des frênes pour freiner sa propagation (Ville de Québec, 2024). La renouée du Japon est également présente sur le territoire du campus à Sainte-Foy (Girard et al., 2024). Les EEE ont un impact considérable sur la biodiversité locale, modifiant la composition et les fonctions des écosystèmes, déplaçant les espèces indigènes, réduisant la diversité génétique et spécifique, et menaçant les espèces rares ou vulnérables, avec des effets souvent irréversibles.

Projections :

Il est attendu que les CC auront un impact néfaste sur la biodiversité, comme l'indiquent les données d'espèces menacées et l'augmentation des EEE (Ouranos, 2024a).

Tout d'abord, l'interaction entre différentes conséquences des CC pourrait affecter différemment la biodiversité de la région de Québec. Par exemple, en cas de vents violents, de feux, de foudre ou de verglas, la végétation arboricole pourrait être portée au déracinement, à l'ignition, à la rupture ou à la mort (Ouranos, 2024a). Ouranos (2024a) a synthétisé les informations les plus récentes concernant les impacts des CC sur les écosystèmes, dont ceux-ci qui pourraient davantage affecter le campus :

- › Déplacement des aires de répartition des espèces vers le nord, à un rythme d'environ 100 km tous les 20 ans ;
- › Risque accru d'extinction pour certaines espèces vulnérables ;
- › Augmentation du nombre d'EEE sur le campus, modifiant les écosystèmes locaux.
- › ÉME (sécheresses, verglas) affectant négativement la végétation (Ouranos, 2024a).



04



Conclusion

Les différentes données associées aux tendances historiques et les projections climatiques accessibles pour le campus de Sainte-Foy ont été analysées. Il en ressort :

Hausse des températures		
Moyenne des températures minimales	Les températures augmenteront beaucoup, peu importe le scénario d'émissions, et particulièrement pour l'hiver	↑
Moyenne des températures maximales	Les températures augmenteront beaucoup, peu importe la saison et le scénario d'émissions	↑
Changements dans le régime de précipitation		
Précipitations liquides	Une augmentation marquée est attendue durant l'automne et le printemps, peu importe les scénarios d'émissions	↑
	Les précipitations liquides en hiver augmenteront beaucoup selon le scénario d'émissions élevées, mais moins selon le scénario d'émissions modérées	↑
	Les précipitations liquides d'été devraient demeurer stables.	=
Précipitations solides	Une diminution des précipitations solides est prévue pour l'automne et le printemps, indépendamment des scénarios d'émissions.	↓
	Les précipitations hivernales devraient rester relativement stables.	=
Précipitations maximales sur 5 jours consécutifs	Une augmentation est prévue, quel que soit le scénario d'émissions.	↑
Nombre de jours avec plus de 20 mm de précipitations	Le nombre de jours avec des précipitations de plus de 20 mm doublera pour le printemps et l'automne, surtout selon le scénario d'émissions élevées.	↑
	Le nombre de jours avec plus de 20 mm de précipitations augmentera un peu l'hiver	↑
	Le nombre de jours avec plus de 20 mm de précipitations l'été devrait rester stable.	=
Événements météorologiques extrêmes		
Nuits très froides, journée très chaude et nuit tropicale	Le nombre de nuits très froides diminuera, indépendamment du scénario d'émissions.	↓
	Le nombre de journées très chaudes et de nuits tropicales augmentera considérablement, surtout selon le scénario d'émissions élevées	↑
Vagues de chaleur et vagues de froid	Le nombre de jours de vagues de chaleur augmentera selon le scénario d'émissions élevées seulement, mais pas selon le scénario d'émissions modérées. Ce qui indique une forte incertitude dans les projections.	?
	Le nombre de jours de vagues de froid diminuera considérablement, peu importe le scénario d'émissions	↓
Redoux hivernaux (cycles de gel-dégel)	Tendance à la baisse pour les cycles gel-dégel au printemps et à l'automne, peu importe le scénario d'émissions.	↓
	Augmentation importante à l'hiver, peu importe le scénario d'émissions.	↑
Tempêtes hivernales, verglas, vent et orage*	L'état actuel des connaissances sur les tempêtes hivernales, le verglas et les vents ne permet pas encore de faire des projections précises.	?
	Le réchauffement des températures pourrait accroître l'instabilité atmosphérique, augmentant ainsi le nombre d'orages.	↑

Autres aléas climatiques

Mauvaise qualité de l'air*	Les CC aggravent la pollution, ce qui entraînera une dégradation de la qualité de l'air.	↑
Présence de pollen allergène*	Les CC augmenteront les concentrations de pollens allergènes.	↑
Maladie de Lyme, maladies à transmission vectorielle zoonoses*	Une augmentation de l'incidence des maladies transmises par les tiques est prévue, ainsi qu'une hausse des cas de virus du Nil occidental (VNO).	↑
Biodiversité et espèces exotiques envahissantes (EEE)*	Les CC entraîneront un déclin de la biodiversité.	↓
	Une augmentation des EEE est prévue	↑

* Projections non issues de scénarios d'émissions.

■ Variation importante entre les observations actuelles et les projections en 2100

■ Faible variation entre les observations actuelles et les projections en 2100

■ Aucune variation ou incertitude quant à la variation



Ce rapport représente la première étape de la démarche d'adaptation aux CC de l'Université Laval. Il a pour but d'établir le contexte de démarche en dressant un portrait du campus et en présentant les tendances climatiques historiques et futures. Cette étape initiale permet de mieux comprendre les enjeux spécifiques au territoire grâce à des données scientifiques, et sert de fondation pour orienter les prochaines actions à entreprendre. L'objectif pour l'Université Laval est d'intégrer les préoccupations liées aux impacts des CC afin de renforcer la résilience de son campus face aux défis qu'ils posent.

À la suite de ce travail, la deuxième étape portera sur l'analyse des risques, des vulnérabilités et des opportunités liés aux CC qui reflète la réalité spécifique du campus. Les risques seront d'abord identifiés, puis évalués à l'aide d'une matrice, qui combine la probabilité d'occurrence des aléas climatiques et la gravité de leurs impacts potentiels. Cet exercice permettra de repérer les dimensions du campus les plus exposés à des risques majeurs nécessitant une attention prioritaire.

Durant cette étape, des ateliers de consultation seront organisés avec des équipes expertes dans les domaines à l'étude.

05



Bibliographie

AECOM. (2023a). [Vulnérabilités et potentiels d'adaptabilité du territoire de la CMQuébec aux conséquences des changements climatiques. Étape 1 : Établissement du portrait](#) (p. 107).

AECOM. (2023b). [Vulnérabilités et potentiels d'adaptabilité du territoire de la CMQuébec aux conséquences des changements climatiques. Étape 2 : Analyse des vulnérabilités](#) (p. 80).

Alberti-Dufort, A., Bourduas-Crouhen, V., Demers-Bouffard, D., Hennigs, R., Legault, S., Cunningham, J., Larrivée, C., & Ouranos. (2022). Québec ; Chapitre 2 dans *Le Canada dans un climat en changement : Le rapport sur les Perspectives régionales* (p. 127). F.J. Warren, N. Lulham, D.L. Dupuis et D.S. Lemmen ; Gouvernement du Canada, Ottawa (Ontario).

Atlas climatique du Canada. (s. d.). [Changements climatiques, qualité de l'air et santé publique](#).

Atlas climatique du Canada. (2024a). [Changements climatiques et villes canadiennes](#). Atlas climatique du Canada.

Atlas climatique du Canada. (2024b). [Variables climatiques](#). Atlas climatique du Canada.

Barrette, N., Vandersmissen, M.-H., Roy, F., Mercier, G., Brousseau, Y., Berthold, É., Guilbert, É., Lalonde, B., Beaudoin, Y., Genois, A., Bustinza, R., Thibault, M., Bleau, N., Lalonde, B., Tanguay, L.-P., Dionne, M., Aubin, L., Chartrand, M., Déry, J.-S., ... Tedone, J.-L. (2018). [Atlas web de la vulnérabilité de la population québécoise aux aléas climatiques](#) (p. 278). Université Laval.

Bernier, J. (2023). [Le verglas force une opération de déglçage sur le pont Pierre-Laporte](#). TVA Nouvelles.

Bisson, M., & Busque, D. (2010). La qualité de l'air à Québec de 1994 à 2008 (p. 12 + 1 annexe). Québec, ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, [Direction du suivi de l'état de l'environnement](#).

Bordeleau, J.-L. (2022). [Noël débute en avance pour bien des écoles](#). Le Devoir.

Boutin, R. (2024). [Le Rouge et Or établira, dimanche, un record de foule pour l'ensemble de la saison](#). Le Journal de Québec.

Bureau de la responsabilité sociale et environnementale (BRSE). (2024). [Trajectoire 2030 en Action Climatique](#) (p. 58). Université Laval.

Côté, J., Levac, E., Germain, M. et Lavigne, E. (2024). [Projected risk and vulnerability to heat waves for Montreal, Quebec, using Gaussian processes](#). Sustainable Cities and Society. Volume 116.

Direction de santé publique du CIUSS de la Capitale-Nationale. (2023). [Portrait de la vulnérabilité aux changements climatiques et de l'action climatique de l'agglomération de Québec](#) (p. 56).

Donnesclimatiques.ca. (s.d.) Comprendre les trajectoires communes d'évolution socio-économique (SSP), en ligne : [Comprendre les trajectoires communes d'évolution socio-économique \(SSP\) – DonneesClimatiques.ca](#)

Donnesclimatiques.ca. (2023). [Nouvelle version majeure : Présentation de CMIP6](#). DonneesClimatiques.ca.

Donnesclimatiques.ca. (2024). [Toutes les variables](#). DonneesClimatiques.ca.

Environnement et Changement climatique Canada (ECCC). (2017a). [Alertes de temps violent d'hiver](#).

Environnement et Changement climatique Canada (ECCC). (2017b). Environnement et Changement climatique Canada—Conditions atmosphériques et météorologie—[Les dix principaux événements météorologiques canadiens de 1998](#). Bibliothèques et Archives Canada.

Environnement et Changement climatique Canada (ECCC). (2024). [Indicateurs canadiens de durabilité de l'environnement : Qualité de l'air](#).

Fortin, G. (2010). [Variabilité et fréquence des cycles de gel-dégel dans la région de Québec, 1977–2006](#). Canadian Geographies / Géographies canadiennes, 54(2), 196–208.

Éco-pivot* (2024). Bilan des travaux – Soutien à la biodiversité et aux services écosystémiques sur les espaces végétalisés de l'Université Laval, à Québec et à la Station agronomique de Saint-Augustin. Montréal. 135 pages. * Auteurs : * Girard, A., Auclair, V., Ortaaslan, S., Lecours Tessier, D.

Gouvernement du Canada. (2022). [Stratégie nationale d'adaptation pour le Canada](#). Partie II : La voie vers un Canada résilient au climat. Environnement et ressources naturelles.

Gouvernement du Québec. (s. d.). [Survol de la situation de la biodiversité du Québec](#) (p. 2).

Gouvernement du Québec. (2024a). [Vent violent, tornade et ouragan](#).

Gouvernement du Québec. (2024b). [Virus du Nil occidental \(VNO\)](#). Gouvernement du Québec.

Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC). (2013). [Glossaire](#) [Planton, S. (coord.)]. Dans : Changements climatiques 2013 : Les éléments scientifiques. Contribution du Groupe de travail I au cinquième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (Publié sous la direction de Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex et P.M. Midgley, p. 185 204). Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York, NY, USA.

Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC). (2014). Annexe II : [Glossaire](#) [Agard, J., E.L.F. Schipper, J. Birkmann, M. Campos, C. Dubeux, Y. Nojiri, L. Olsson, B. Osman-Elasha, M. Pelling, M.J. Prather, M.G. Rivera-Ferre, O.C. Ruppel, A. Sallenger, K.R. Smith, A.L. St. Clair, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, and T.E. Bilir (eds.)]. Dans : Climate Change 2014 : Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B : Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (Publié sous la direction de Barros, V.R., C.B. Field, D.J. Dokken, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White, p. 1757 1776). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC). (2018). Annexe I : [Glossaire](#) [Matthews, J.B.R. (éd.)]. Dans : Réchauffement planétaire de 1,5 °C, Rapport spécial du GIEC sur les conséquences d'un réchauffement planétaire de 1,5 °C par rapport aux niveaux préindustriels et les trajectoires associées d'émissions mondiales de gaz à effet de serre, dans le contexte du renforcement de la parade mondiale au changement climatique, du développement durable et de la lutte contre la pauvreté. (Publié sous la direction de V. Masson-Delmotte, P. Zhai, H. O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor et T. Waterfield, p. 73 94). Sous presse.

Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC). (2023). [AR6 Synthesis Report : Climate Change 2023](#). Intergovernmental Panel on Climate Change.

Guyon, A.-C. (2022). [Crise climatique et perte de biodiversité, un même combat pour le vivant!](#) Nature Québec.

Hydro-Québec. (2023). [Bilan des pannes qui ont frappé le Québec durant la période des Fêtes 2022](#).

Institut national de santé publique du Québec (INSPQ). (2020). [Indicateurs en lien avec le froid et la santé de la population : Mise à jour](#) (p. 56) [Rapport synthèse]. Direction de la santé environnementale et de la toxicologie.

Institut national de santé publique du Québec (INSPQ). (2021). [Les aléas affectés par les changements climatiques : Effets sur la santé, vulnérabilités et mesures d'adaptation](#). Synthèse des connaissances (p. 346). Direction de la santé environnementale et de la toxicologie.

Institut national de santé publique du Québec (INSPQ). (2024a). [Maladies transmises par les tiques](#). Institut national de santé publique du Québec.

Institut national de santé publique du Québec (INSPQ). (2024b). [Menaces climatiques](#). Institut national de santé publique du Québec.

Lavoie, R. (2019). [L'Université Laval ferme et tout le monde capote](#). Le Journal de Québec.

Luedke, H. (2019). [Fact Sheet | Nature as Resilient Infrastructure – An Overview of Nature-Based Solutions](#). Environmental and Energy Study Institute (EESI).

Ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs (MELCCFP). (2020). [Plan pour une économie verte 2030](#). Politique-cadre d'électrification et de lutte contre les changements climatiques (p. 116). Gouvernement du Québec.

Ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs (MELCCFP). (2021). [Les changements climatiques et l'évaluation environnementale](#)—Guide à l'intention de l'initiateur de projet (p. 80). Gouvernement du Québec.

Ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs (MELCCFP). (2022). [Plan de mise en œuvre 2022-2027 du Plan pour une économie verte 2030](#) (p. 71). Gouvernement du Québec.

Ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs (MELCCFP). (2023a). [Bilan de la qualité de l'air au Québec 2021](#) (p. 66 + 25 annexes). Direction de la qualité de l'air et du climat. Gouvernement du Québec.

Ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs (MELCCFP). (2023b). [Influence des feux de forêt de l'été 2023 sur la qualité de l'air au Québec](#) (p. 10). Gouvernement du Québec.

Ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs (MELCCFP). (2024a). [Espèces exotiques envahissantes \(EEE\)](#). Gouvernement du Québec.

Ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs (MELCCFP). (2024b). [Smog](#). Gouvernement du Québec.

Organisation internationale de normalisation (ISO). (2009). [ISO Guide 73:2009\(fr\), Management du risque—Vocabulaire](#).

Ouranos. (s.d.-a). [Adaptation aux changements climatiques : Défis et perspectives pour la région de la Capitale-Nationale](#) (p. 10). Consulté 28 octobre 2024, à l'adresse

Ouranos. (s.d.-b). [Qu'est-ce que l'adaptation—Atténuation et adaptation](#). Ouranos. Consulté 13 novembre 2024

Ouranos. (s.d.-c). Comprendre la science du climat, les incertitudes. Consulté le 14 novembre 2024, en ligne : [Comprendre la science du climat - modélisation climatique](#) | Ouranos

Ouranos. (2010). [Élaborer un plan d'adaptation aux changements climatiques](#). Guide destiné au milieu municipal québécois. (p. 48).

Ouranos. (2011). [L'influence des changements climatiques sur la qualité de l'air](#) (p. 42). Le ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec.

Ouranos. (2015). [Vers l'adaptation. Synthèse des connaissances sur les changements climatiques au Québec](#). Édition 2015 (p. 415).

Ouranos. (2024a). [Écosystèmes—Impacts](#). Ouranos.

Ouranos. (2024b). [Guide de recommandations scientifiques visant à faciliter l'utilisation de projections climatiques](#) (p. 21).

Ouranos. (2024c). [Phénomènes climatiques](#). Ouranos.

Ouranos. (2024d). [Portraits climatiques](#).

Ouranos. (2024e). [Vagues de chaleur et impacts sur la santé : Comment s'y préparer](#). Ouranos.

Ouranos & MELCCFP. (2024). [Élaborer un plan d'adaptation aux changements climatiques—Guide pour les organismes municipaux](#) (p. 138).

Pisello, A. L. (2015). High-albedo roof coatings for reducing building cooling needs. Dans *Eco-efficient materials for mitigating building cooling needs* (pp. 243-268). Woodhead Publishing.

Pontbriand, M. M. (2018). [Une tempête mémorable, dix ans après](#). Radio-Canada

Pörtner, H.-O., Scholes, R. J., Agard, J., Archer, E., Bai, X., Barnes, D., Burrows, M., Chan, L., Cheung, W. L. (William), Diamond, S., Donatti, C., Duarte, C., Eisenhauer, N., Foden, W., Gasalla, M. A., Handa, C., Hickler, T., Hoegh-Guldberg, O., Ichii, K., ... Ngo, H. (2021). [IPBES-IPCC co-sponsored workshop report on biodiversity and climate change](#) (Version 2, p. 24). Zenodo.

Potsou, J. (2022). [Un rare phénomène météorologique a frappé le Québec](#). TVA Nouvelles.

Quintin, L., & Goudreault, T. (2024). Villes de Québec, de L'Ancienne-Lorette et de Saint-Augustin-de-Desmaures. Analyse de risques climatiques pour le territoire de l'agglomération de Québec Étape 1 – Élaboration du portrait de l'agglomération de Québec (p. 184). Les Services EXP inc.

Rodriguez, E., & Hulin, C. (2023). McGill University Climate Risk Assessment (p. 80). Carbon Consult Group (CCG).

Rouge et Or. (n.d.). [Informations sur les installations](#). Université Laval.

Roy, D. (2018). [The Multiple Benefits of Natural Infrastructure](#). International Institute for Sustainable Development (IISD).

Santé Canada. (2020). [Réduire les îlots de chaleur urbains pour protéger la santé au Canada : Introduction pour les professionnels de la santé publique](#) (p. 49).

Secteur de l'innovation et de la transition énergétiques. (2022). [Plan directeur en transition, innovation et efficacité énergétiques. Mise à niveau 2026](#). (p. 115). Ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles (MERN). Gouvernement du Québec.

Service des finances. (s.d.). [Budget 2024-2025](#) (p. 128). Université Laval. Consulté 13 novembre 2024

Service des immeubles. (2013). [La biodiversité sur le campus universitaire : Portrait des connaissances](#) (p. 28). Université Laval.

Service des immeubles. (2021). [Plan d'action pour lutter contre la propagation de l'agrile du frêne 2020-2025](#) (p. 8). Université Laval.

Service des immeubles. (2022). [Stratégie énergétique](#) (p. 26). Université Laval.

Service des immeubles (2024a). [Plan directeur immobilier](#). Université Laval.

Service des immeubles. (2024b). [Réseau d'énergie](#). Université Laval.

Swanson, D., Murphy, D., Temmer, J., & Scaletta, T. (2021). [Advancing the Climate Resilience of Canadian Infrastructure. A review of literature to inform the way forward](#). (p. 105). International Institute for Sustainable Development (IISD).

Université Laval. (2023). [Stratégie de développement durable—Horizon 2030](#) (p. 68).

Université Laval. (2024). [Chantier d'avenir en action climatique](#).

Université Laval. (2022). [Politique de développement durable](#) (p. 12). Université Laval.

Wang, L., Huang, M., & Li, D. (2020). Where are white roofs more effective in cooling the surface?. *Geophysical Research Letters*, 47(15), e2020GL087853.



Annexe 1

Tableau des aléas et indicateurs climatiques – Portraits climatiques Ouranos

Aléas climatiques	Description	1991-2020	Scénario d'émissions SSP2-4,5		Scénario d'émissions SSP5-8,5	
			2031-2060	2071-2100	2031-2060	2071-2100
Hausse des températures	Température minimale hivernale	-17,4	-14,6	-12,7	-13,6	-9,3
	Température minimale printanière	La moyenne des températures quotidiennes les plus froides par saison en °C.	-6,0	-4,4	-3,3	-3,8
	Température minimale estivale		9,7	11,1	12,1	11,7
	Température minimale automnale		-0,7	0,7	1,6	0,9
	Température maximale hivernale		-7,0	-4,9	-3,6	-4,3
	Température maximale printanière	La moyenne des températures quotidiennes les plus chaudes par saison en °C.	4,9	6,8	7,6	7,0
	Température maximale estivale		20,4	22,1	23,2	22,7
	Température maximale automnale		8,6	10,4	11,4	10,5
Température maximale automnale	8,6		10,4	11,4	10,5	
Changements dans les régimes de précipitations	Total annuel des précipitations sur 5 jours	Les précipitations totales qui tombent lors de période de cinq jours consécutifs.	83	93	94	94
	Total entre avril et septembre des précipitations sur 5 jours		76	82	85	86
	Précipitations solides hivernales	La quantité de précipitations solides par saison en mm.	224	238	238	243
	Précipitations solides printanières		96	86	72	78
	Précipitations solides automnales		68	50	43	51
	Précipitations liquides hivernales	La quantité de précipitations liquides par saison en mm.	35	52	62	56
	Précipitations liquides printanières		177	211	233	219
	Précipitations liquides estivales		354	367	271	366
	Précipitations liquides automnales		280	310	326	316
	Jours d'hiver >20mm de précipitations	Le nombre de jours par saison où les précipitations quotidiennes sont de plus de 20 mm.	2	3	3	3
	Jours de printemps >20mm de précipitations		2	3	3	3
	Jours d'été >20mm de précipitations		4	4	4	4
Jours d'automne >20mm de précipitations	4		4	4	5	

Aléas climatiques	Description	1991-2020	Scénario d'émissions SSP2-4,5		Scénario d'émissions SSP5-8,5	
			2031-2060	2071-2100	2031-2060	2071-2100
Événements météorologiques extrêmes	Cycles de gel-dégel hivernaux	12,0	15,6	19,5	17,2	27,2
	Cycles de gel-dégel printaniers	50,2	47,1	44,9	45,9	39,7
	Cycles de gel-dégel automnaux	35,2	33,2	28,4	31,8	24,8
	Nuit très froide	18,6	7,9	3,9	6,1	0,5
	Journée très chaude	0,8	2,5	4,6	3,2	18,4
	Nuit tropicale	1,8	5,3	10,3	7,5	23,7
	Vague de chaleur	0,1	0,5	1,3	0,7	10,6
Vague de froid	12,7	5,0	2,1	3,4	0,2	

Annexe 2

Tableau des aléas et indicateurs climatiques – Portail gouvernement fédéral

Aléas climatiques	Description	Scénario d'émissions SSP2-4,5			Scénario d'émissions SSP5-8,5	
		1981-2010	2031-2060	2070-2100	2031-2060	2070-2100
Température	Température minimale	0,4	2,9	4,3	3,5	6,9
	Température maximale	9,9	12,3	13,6	12,7	16,0
	Température moyenne	5,1	7,6	8,9	8,1	11,5
Froid	Cycles de gel-dégel	59,2	54,2	52,8	54,3	48,2
	Journée très froide	5,9	0,5	0,0	0,4	0,0
Chaleur extrême	Journée très chaude	5,5	18,3	29,6	22,1	59,5
	Nuit tropicale	1,5	7,5	14,7	9,8	39,9
Précipitations	Précipitation totale	1132,7	1222,0	1267,4	1246,6	1335,3
	Précipitations maximales sur 5 jours consécutifs	79,2	86,2	88,6	86,7	96,7



**Bureau de la responsabilité sociale
et environnementale**

Pavillon Jeanne-Lapointe
2320, rue des Bibliothèques
Québec (Québec) G1V 0A6
CANADA

brse@ulaval.ca
ulaval.ca/dd