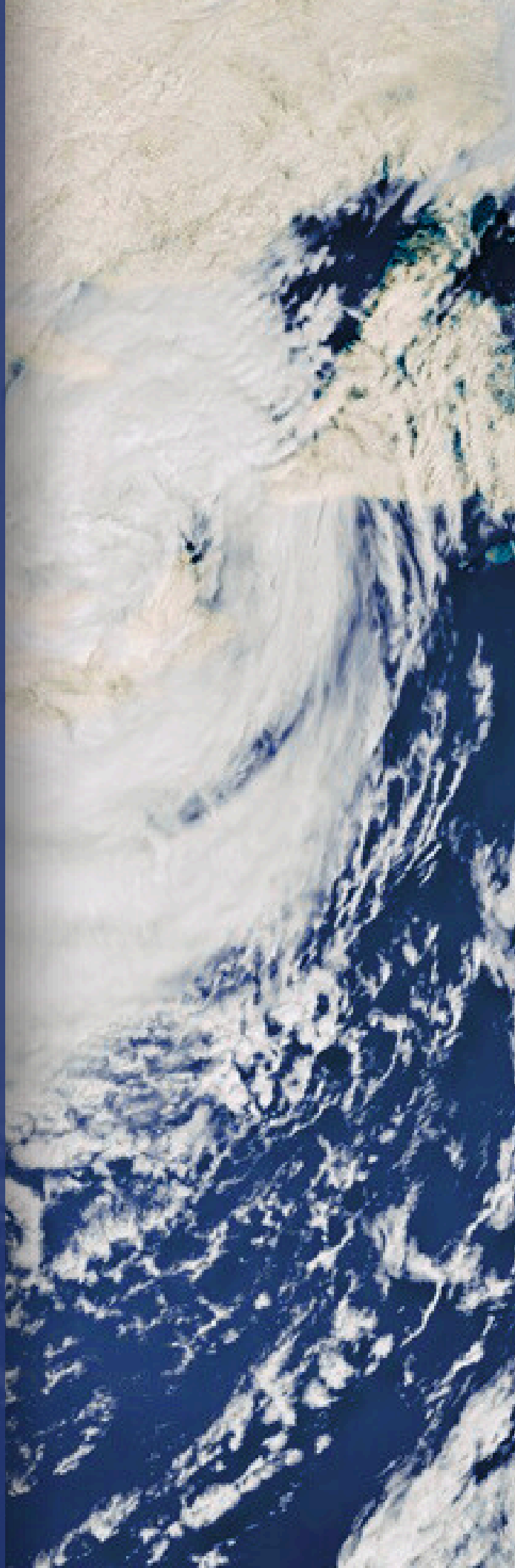
CCA | CAC

L'avenir des services hydrologiques et météorologiques au Canada

Rapport de comité d'experts



www.rapports-cac.ca

L'avenir des services hydrologiques et météorologiques au Canada

CCA | CAC

Conseil des académies canadiennes
180, rue Elgin, bureau 1401, Ottawa (Ontario) Canada K2P 2K3

Ce projet a été entrepris avec l'approbation du conseil d'administration du Conseil des académies canadiennes et fait suite à une demande d'évaluation indépendante formulée par le commanditaire, Environnement et Changement climatique Canada. Le commanditaire n'a participé ni à la sélection des membres du comité d'experts ni à l'élaboration du rapport. Les opinions, constatations et conclusions exprimées dans cette publication sont celles des auteurs, les membres du comité d'experts sur l'avenir des services hydrologiques et météorologiques au Canada, et ne représentent pas nécessairement le point de vue de leurs organisations d'affiliation ou d'emploi.

Ce rapport devrait être cité comme suit :

CAC – Conseil des académies canadiennes, 2025. *L'avenir des services hydrologiques et météorologiques au Canada,* Ottawa, ON, Comité d'experts sur l'avenir des services hydrologiques et météorologiques au Canada. https://doi.org/10.60870/hpsn-pa72.

ISBN : 978-1-990592-60-7 (livre électronique)

DOI : 10.60870/hpsn-pa72

Avec la participation de :

Traducteur, en-fr	François Abraham
Animateur de l'atelier	Erik Lockhart

Avis de non-responsabilité :

Les mentions faites dans le présent rapport à une entreprise, un produit commercial, un processus ou un service donné par le biais d'un nom commercial, d'une marque de commerce, d'un fabricant ou autre ne constituent pas l'approbation ou la recommandation de celui-ci ou une marque de favoritisme à son égard.

Sauf indication contraire, il s'agit d'une œuvre sous licence Creative Commons Attribution - Utilisation non commerciale - Pas d'œuvre dérivée 4.0 International.

Ce projet a été rendu possible grâce au soutien du gouvernement du Canada, par le biais d'un financement du ministère de l'Environnement et du Changement climatique Canada.

Les bureaux du Conseil des académies canadiennes (CAC) à Ottawa sont situés sur le territoire traditionnel non cédé du peuple algonquin Anishinaabe, qui veille sur ce territoire depuis des millénaires.

Le CAC participe à la réconciliation et s’engage à respecter la souveraineté autochtone. Dans le cadre de ses activités visant à fournir des données probantes pour la prise de décision, le CAC reconnaît qu’un large éventail de connaissances et d’expériences contribue à l’édification d’une société plus équitable et plus juste. Il encourage ceux et celles qui participent à son travail à mieux connaître et reconnaître le contexte passé et présent du territoire aujourd’hui appelé Canada et des nations et peuples autochtones qui en sont les gardiens.

Comité d'experts sur l'avenir des services hydrologiques et météorologiques au Canada

Les membres du comité d'experts agissent à titre personnel et ne représentent pas leur organisation d'affiliation ou d'emploi. Chacun des membres de ce comité a été choisi pour son expertise, son expérience et son leadership éprouvé dans des domaines pertinents pour le projet.

Jim Abraham (président), membre et ancien président, Société canadienne de météorologie et d'océanographie (Halifax, N.-É.)

Alain Bourque, directeur général, Ouranos (Montréal, Qc)

Laxmi Sushama, professeure et titulaire de la Chaire Trottier en ingénierie et conception durable, Département de génie civil, Université McGill (Montréal, Qc)

Roy Varghese, directeur, Azure HPC + AI, Microsoft Corporation (Redmond, WA)

Participants à l'atelier

Dans le cadre du recueil des données probantes, le comité d'experts a tenu un atelier qui a réuni dix autres experts.

Gilbert Brunet, ancien directeur, Environnement et Changement climatique Canada; ancien scientifique en chef, Bureau of Meteorology (Australie); ancien directeur adjoint, Met Office, Royaume-Uni (Blue Sea, Qc)

William J. Callahan, vice-président, Federal Programs, Synoptic Data PBC (Boston, MA)

Elise Legarth, hydrométéorologue, Northwest Hydraulic Consultants; assistante de recherche, Département des sciences terrestres, océaniques et atmosphériques, Université de la Colombie-Britannique (Vancouver, C.-B.)

Chandra Rupa Rajulapati, professeure adjointe, Département de génie civil, Université du Manitoba (Winnipeg, Man.)

Saman Razavi, professeur agrégé, École d'environnement et de développement durable, Université de la Saskatchewan et Département de génie civil et environnemental, Université de Nouvelle-Galles du Sud, Australie (Saskatoon, Sask.)

Raphaël Rousseau-Rizzi, chercheur, Institut de recherche d'Hydro-Québec (Varennes, Qc)

Chris Scott, vice-président, météorologie et contenu, Pelmorex (Oakville, Ont.)

Jennifer Spinney, professeure adjointe de gestion des catastrophes et des urgences, Université York (Toronto, Ont.)

Jordis S. Tradowsky, conseiller international, Institut norvégien de météorologie (Oslo, Norvège)

Laura Twidle, présidente et cheffe de la direction, Catastrophe Indices and Quantification Inc. (Burlington, Ont.)

Personnel du projet du CAC

Équipe d'évaluation :	**Becky Chapman,** directrice de projet
	Amanda Bennett, associée de recherche
	Adam Fortais, associé de recherche
	Ananda Fadila, coordinatrice de projet
Édition et communications :	**Andrea Hopkins,** gestionnaire, planification et production
	Kelly Loverock, webmestre et spécialiste des communications
Avec la participation de :	**Suzi Loney,** directrice de recherche

Examen par les pairs

La version préliminaire de ce rapport a été revue par des examinateurs choisis par le CAC pour la diversité de leurs points de vue et de leurs domaines d'expertise. Le comité a étudié intégralement leurs observations confidentielles. Le CAC ne leur a pas demandé de cautionner les conclusions du rapport et ils n'ont pas vu la version finale avant publication. La responsabilité du contenu final de ce rapport incombe au comité d'experts et au CAC.

Jean Andrey, professeure émérite de géographie et de gestion environnementale, Faculté de l'environnement, Université de Waterloo (Waterloo, Ont.)

Andrew Brown, directeur de recherche, Centre européen pour les prévisions météorologiques à moyen terme (Reading, Royaume-Uni)

Professeure Penelope Endersby, directrice générale, Met Office (Exeter, Royaume-Uni)

Neil Gordon, ancien météorologue en chef, MetService New Zealand (Ōtaki, Nouvelle-Zélande)

L'examen par les pairs a été supervisé, au nom du CAC, par **Madison Rilling**, directrice générale, Optonique.

Table des matières

Résumé **7**

1 Introduction **8**

1.1 Les services hydrométéorologiques publics au Canada 9

1.2 Atelier d'experts 12

1.3 Structure du rapport 15

2 Fonctions essentielles du service hydrométéorologique public du Canada **16**

2.1 Infrastructure essentielle 17

2.2 Protection de la population 19

2.3 Leadership 21

3 Fonctions essentielles et technologie **24**

3.1 Intégration de l'IA dans les prévisions numériques météorologiques et environnementales 25

3.2 L'IA dans les services météorologiques étrangers et internationaux 31

3.3 Facteurs favorables 33

4 Réponse aux besoins de la population canadienne **35**

4.1 Conditions environnementales actuelles et prévues 36

4.2 Avertissements fondés sur l'impact et exploitables 39

4.3 Aide à la décision 42

4.4 Évaluation continue des produits et services 44

5 Réflexions du comité d'experts : nécessité d'un leadership partagé **47**

Références **49**

Résumé

Les services hydrométéorologiques publics sont essentiels à la prospérité, à la souveraineté et au bien-être de la population canadienne. Ils jouent un rôle crucial dans la sécurité publique, ainsi que dans la défense nationale, les transports, l’agriculture et l’énergie — entre autres —, et promeuvent en fin de compte une économie forte et résiliente. Trois tendances transforment la façon de bâtir et de fournir ces services : (i) les avancées technologiques, en particulier l’intelligence artificielle et l’apprentissage machine; (ii) un environnement de l’information en expansion et une entreprise météorologique mondiale et (iii) les changements climatiques, qui provoquent des événements météorologiques extrêmes plus violents menaçant la prospérité du Canada et la vie de ses habitants.

Ces tendances, cumulées aux changements géopolitiques et aux contraintes financières, soulignent la nécessité de transformer stratégiquement les activités hydrométéorologiques du gouvernement du Canada afin d’en accroître leur valeur en améliorant leur efficacité et leur adaptabilité. Dans le même temps, les fonctions essentielles et fondamentales du Service météorologique du Canada (SMC), dont certaines ont été réduites au fil du temps, doivent être maintenues. Ces fonctions comprennent l’infrastructure essentielle — par exemple, un système d’observation et des capacités de modélisation à l’échelle du pays —, qui est cruciale pour l’entreprise météorologique canadienne et pour la stratégie d’adaptation aux changements climatiques. Un système d’avertissements efficace est également indispensable pour la sécurité publique. L’ensemble de la population canadienne doit connaître les conditions météorologiques et environnementales locales et être avertie des phénomènes météorologiques dangereux et des inondations. Il est également essentiel que le SMC prenne les devants en facilitant la collaboration avec tout l’écosystème hydrométéorologique — y compris avec les autres ordres de gouvernement, les entreprises privées, les ONG, les médias et le milieu universitaire — et qu’il continue à entretenir des relations étroites avec les organisations météorologiques internationales afin de favoriser l’amélioration des services fournis au Canada.

Un établissement réfléchi des priorités des activités du SMC, une intensification stratégique de la participation des partenaires et une bonne connaissance des besoins des utilisateurs sont primordiaux pour garantir un service de grande qualité tout en répondant aux menaces qui pèsent sur l’intégrité d’un écosystème hydrométéorologique mondial de plus en plus complexe. L’actualisation et la diversification des compétences du personnel du SMC et le renforcement des partenariats (tant nationaux qu’internationaux) permettront de résister à la fragmentation et d’améliorer la résilience de bout en bout. Enfin, les compétences en leadership, en communication et en coordination sont tout aussi importantes pour la prestation efficace des services hydrométéorologiques que les compétences en modélisation et en prévision. Toutefois, le SMC ne doit pas tout faire tout seul : en adoptant des normes, en établissant des partenariats et en jouant un plus grand rôle de leadership si nécessaire, il peut tirer parti de ses ressources pour maximiser son efficacité et le retour sur investissement tout en protégeant la souveraineté, la sécurité et la prospérité du Canada.

1 Introduction

Les conditions météorologiques et le climat touchent tout le monde et influencent une multitude de gouvernements, de secteurs d’activité et de décisions personnelles. Les *conditions météorologiques* correspondent aux conditions atmosphériques actuelles et prévues à court terme, par exemple la température et les précipitations, alors que le *climat* représente les conditions prévues à partir de tendances météorologiques à long terme (sur des décennies) (ECCC, 2020). Au Canada, les gens en sont venus à compter sur les services hydrométéorologiques publics et privés pour toutes sortes de données météorologiques, climatiques et hydrométriques (c.-à-d. niveau et débit d’eau), des observations et prévisions de base (dois-je mettre un imperméable aujourd’hui?) aux renseignements spécialisés sur la qualité de l’air, le rayonnement UV et la densité pollinique (ECCC, 2025a; Pelmorex Corp, 2025). Savoir à quoi s’attendre en ce qui concerne les conditions météorologiques et leurs conséquences (comme les feux de végétation ou les inondations) est essentiel à la sécurité individuelle et publique, par exemple pour prendre des décisions au sujet de la synchronisation du déploiement des chasse-neige, du détournement de la circulation sur les routes sujettes aux inondations ou de l’ouverture d’aires de rafraîchissement durant les vagues de chaleur. Les bienfaits des bulletins météorologiques et d’inondations précis et diffusés au moment opportun sont si généralisés qu’ils sont parfois négligés.

Le cadre dans lequel fonctionnent les services hydrométéorologiques se transforme à vue d’œil — que l’on parle de la façon dont le public accède aux renseignements et interagit avec eux, des répercussions des changements climatiques ou encore de l’adoption des technologies avancées — et le rôle du secteur public dans la surveillance et l’établissement des prévisions météorologiques et hydrométriques est en train de changer. Pour comprendre les fonctions essentielles d’un service hydrométéorologique public face à ces tendances, Environnement et Changement climatique Canada (ECCC), agissant pour le compte du Service météorologique du Canada (SMC, ci-après, « le commanditaire ») a demandé au Conseil des académies canadiennes (CAC) de constituer un groupe d’experts chargé de se pencher sur la question et les sous-questions suivantes :

Quelles sont les fonctions essentielles du service météorologique public canadien et en quoi sont-elles en train de se métamorphoser face, entre autres, aux changements climatiques, à l'arrivée des nouvelles technologies et à la transformation du paysage informationnel?

- En quoi les technologies émergentes ou l'évolution rapide des technologies actuelles (p. ex. observations de la Terre à partir de l'espace, intelligence artificielle et apprentissage machine) influencent-elles la prestation des services hydrométéorologiques?
- Comment le Service météorologique du Canada peut-il continuer à répondre aux besoins actuels et futurs de la population canadienne, notamment face à des événements climatiques violents de plus en plus fréquents et intenses et à la rapidité des progrès technologiques, lesquels remettent en question la façon dont les organisations hydrométéorologiques publiques surveillent les conditions météorologiques et environnementales, produisent leurs prévisions et proposent leurs produits et services essentiels?

Pour répondre à ce mandat, le CAC a formé un comité multidisciplinaire et multisectoriel de quatre experts[1] (le comité d'experts sur l'avenir des services hydrologiques et météorologiques au Canada) possédant de l'expérience et une expertise en sciences de l'atmosphère, en génie, en intelligence artificielle (IA)[2], en modélisation et en changements climatiques provenant du milieu universitaire et des secteurs public et privé. Au début de l'évaluation, le comité d'experts a rencontré le commanditaire[3] afin de comprendre son mandat et de confirmer les sujets inclus et exclus de celui-ci. Le commanditaire a confirmé que le service météorologique public du Canada englobait les acteurs autres que le SMC, à l'intérieur comme à l'extérieur de la fonction publique fédérale, et que les services hydrologiques devaient être inclus dans l'évaluation. Le comité d'experts s'est réuni virtuellement cinq fois en trois mois pour passer en revue les données probantes — notamment celles recueillies à l'occasion d'un atelier tenu en personne et réunissant un vaste groupe d'experts (section 1.2) — et pour délibérer sur son mandat.

1.1 Les services hydrométéorologiques publics au Canada

Le SMC, qui assure la vaste majorité des services hydrométéorologiques publics au Canada, a été fondé en 1871 et a diffusé son premier avertissement de tempête destiné à la navigation préparé au Canada en 1876; il a produit sa première prévision météorologique générale canadienne l'année d'après (ECCC,

[1] Afin de garantir l'intégrité du processus d'évaluation et la transparence des travaux du comité d'experts, ses membres ont dévoilé au CAC et à leurs collègues tout conflit d'intérêts — réel, prévisible ou perçu — touchant les questions examinées. Ils étaient également tenus par une entente de confidentialité et par un code de conduite conçus pour assurer un environnement encourageant les délibérations efficaces et respectueuses, propice au libre échange des connaissances et favorisant l'évaluation des données probantes.

[2] Dans ce rapport, le terme IA englobe à la fois l'intelligence artificielle et l'apprentissage machine, sauf indication contraire.

[3] Afin de préserver l'indépendance du comité d'experts, les commanditaires ne participent pas à la nomination des membres des comités ou des participants aux ateliers. Ils n'échangent pas non plus avec le comité durant l'évaluation, sauf lors de la première réunion du comité d'experts, au cours de laquelle le commanditaire est invité à présenter le mandat et à répondre aux questions des membres du comité.

2022). Les services météorologiques se sont étendus pour répondre aux besoins de l'aviation dans les années 1930 et ont encore été élargis pour répondre aux besoins militaires dans les années 1940. Ces services sont essentiels au fonctionnement de nombreux ministères fédéraux, notamment ceux chargés des transports, du commerce, de la défense nationale et de la sécurité publique. En 1971, le service météorologique canadien a été transféré au tout nouveau ministère de l'Environnement du Canada (maintenant Environnement et Changement climatique Canada), dont il dépend encore aujourd'hui (ECCC, 2022). Le mandat du SMC comporte quatre volets :

- « Fournir aux Canadiens des informations faisant autorité sur la météo, la quantité d'eau, le climat, la glace et la qualité de l'air 24 heures sur 24, 365 jours par année;
- Surveiller et prévoir les phénomènes météorologiques à fortes répercussions, la qualité de l'air et d'autres conditions environnementales, et en avertir les Canadiens, afin d'atténuer et de réduire les risques liés aux catastrophes;
- Soutenir les opérations essentielles à la mission des organisations fédérales, provinciales et territoriales, municipales et privées qui dépendent de l'infrastructure du SMC, de la capacité scientifique d'ECCC et qui s'acquittent de leur mandat (p. ex. aviation, gestion des urgences, gestion de l'eau, opérations militaires et maritimes);
- Assumer les responsabilités internationales liées à l'échange de données, à la modélisation atmosphérique (p. ex. les urgences liées aux substances en suspension dans l'air, aux cendres volcaniques, aux substances chimiques, biologiques, nucléaires et radioactives [CBNR]), ainsi qu'aux prévisions et avertissements maritimes pour des zones définies de l'océan Arctique. »

ECCC (2023a)

Le SMC fait partie de l'entreprise météorologique mondiale, « un partenariat public-privé mondial bien établi et efficace dans lequel les deux secteurs partagent des objectifs communs » (Thorpe, 2016). Partout dans le monde, les renseignements météorologiques et climatiques sont essentiels à la protection de la population et des biens, ainsi qu'à la croissance économique et à la prospérité (Thorpe et Rogers, 2021; Seitter *et al.*, 2025). Par exemple, le Service météorologique national des États-Unis (National Weather Service) estime que de 3 à 6 % de la variabilité du produit intérieur brut du pays est attribuable aux conditions météorologiques (NWS, 2017). De plus, les renseignements météorologiques qu'il fournit ont une valeur économique de plus de 13 milliards de dollars américains pour les entreprises et permettent à une industrie météorologique privée (évaluée à 7 milliards de dollars américains en 2017) d'exister, laquelle offre des produits et des services sur mesure aux entreprises et à d'autres clients (NWS, 2017). Les services hydrométéorologiques publics collaborent avec les acteurs des secteurs public, privé et des universités du monde entier pour rendre possible cette entreprise météorologique mondiale.

Comme l'illustre la figure 1.1, plusieurs responsabilités souvent considérées comme relevant d'un service hydrométéorologique public dépassent le mandat du SMC.

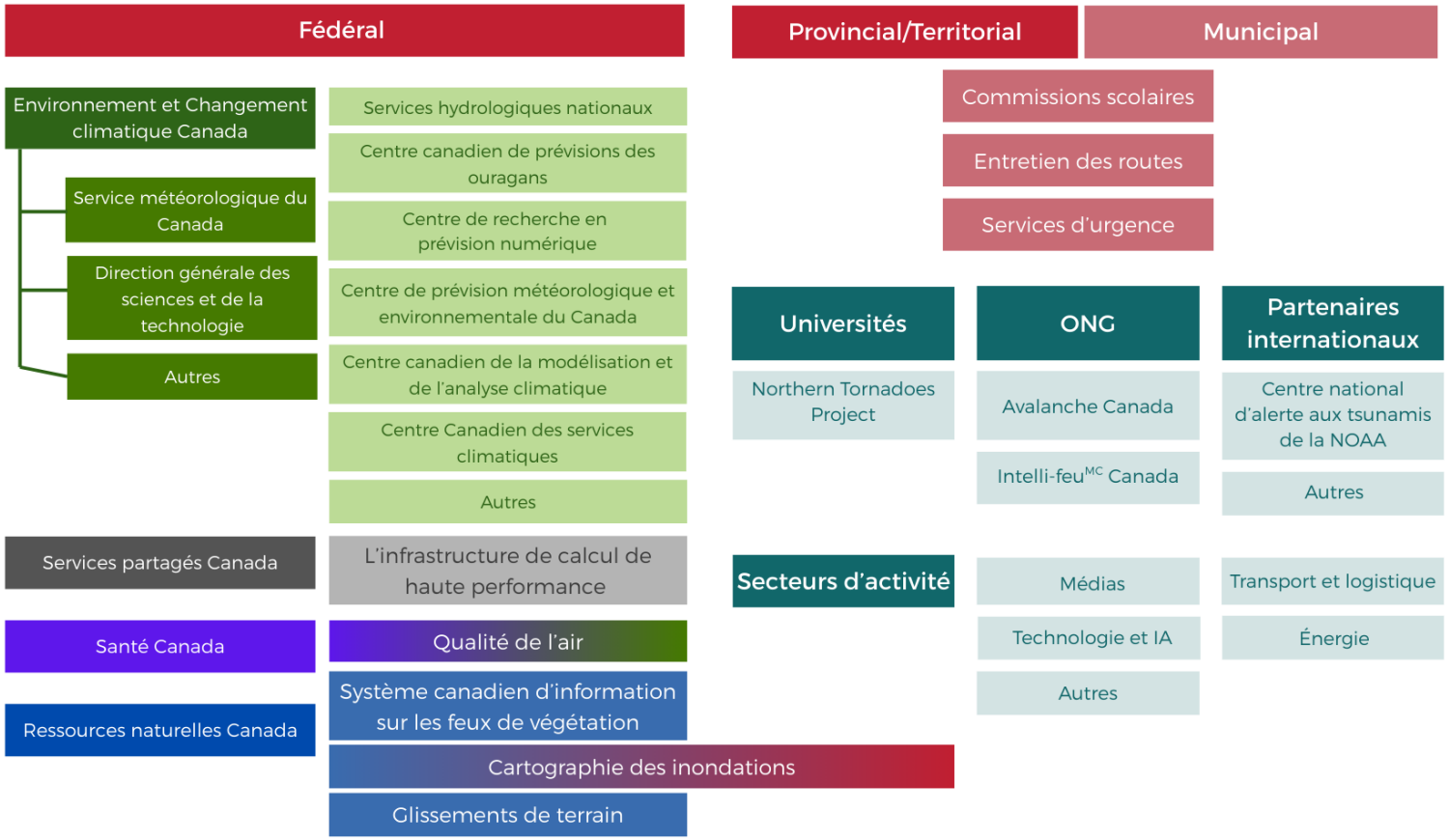


Figure 1.1 Schéma « simplifié » de l'écosystème des services hydrométéorologiques canadiens

Ce schéma ne présente pas tous les acteurs de l'écosystème; les ministères, projets et secteurs sont inclus à titre d'illustration. La figure vise à mettre en lumière une partie de la complexité et des interdépendances de l'entreprise météorologique du point de vue canadien. Le code de couleur a pour but de distinguer les différents types d'organisations, de gouvernements et de responsabilités. L'écosystème hydrométéorologique canadien comprend les acteurs fédéraux, provinciaux, territoriaux et municipaux, qui sont notamment chargés de la protection de la population et des biens et du soutien à l'activité économique. Les acteurs gouvernementaux travaillent avec des organisations industrielles privées, les universités et des ONG, ainsi qu'avec des partenaires internationaux; ces organisations fournissent des services spécialisés aux particuliers, aux entreprises et aux gouvernements au Canada. Le gouvernement fédéral compte plusieurs ministères, organismes et organisations qui contribuent aux services météorologiques et climatiques, notamment au SMC, ou les utilisent. Par exemple, RNCan se sert des renseignements météorologiques pour la surveillance et la prévision des feux de végétation, ainsi que pour la cartographie des inondations. Cette dernière est réalisée en partenariat avec les gouvernements provinciaux et territoriaux. Un autre organisme fédéral, Services partagés Canada, procure les systèmes informatisés à hautes performantes servant à la modélisation et aux analyses.

Au Canada, certaines d'entre elles sont assumées par d'autres entités d'ECCC. Par exemple, la Direction générale des sciences et de la technologie, qui comprend la Division de la recherche en météorologie, est responsable de la surveillance scientifique environnementale. Elle effectue des recherches sur le climat, les écosystèmes, la faune et la pollution, et guide l'application des politiques et règlements et des normes internationales fondés sur les données probantes (ECCC, 2023b).

D'autres ministères et des organismes extérieurs à ECCC assurent un soutien essentiel au service hydrométéorologique public ou utilisent les données qu'il produit. Par exemple, les superordinateurs nécessaires pour effectuer la modélisation numérique des prévisions météorologiques et des projections climatiques sont exploités par Services partagés Canada (SPC, 2025). De nombreux ministères (p. ex. Agriculture et Agroalimentaire Canada (AAC, 2020), Sécurité publique Canada (SP, 2020), Ressources naturelles Canada RNCan, 2020) utilisent les données météorologiques ou les produits des modèles climatiques pour éclairer la prise de décision dans le cadre de leur mandat.

Plusieurs services hydrométéorologiques ne sont pas de compétence fédérale. Par exemple, si le SMC abrite les Services hydrologiques nationaux, qui surveillent les niveaux et les débits d'eau à l'échelle nationale, en vertu de la *Loi constitutionnelle* (GC, 1982), l'eau est considérée comme une ressource provinciale. Dans la plupart des cas, sa gestion relève principalement des provinces (et du Yukon[4]), bien que sa responsabilité en soit en grande partie souvent déléguée aux municipalités ou à d'autres administrations locales (p. ex. gestion du bassin fluvial) (ECCC, 2016, 2024a). En Ontario, la diffusion locale des messages sur les inondations est du ressort des offices de protection de la nature, des organismes publics qui protègent les bassins versants (Gouv. de l'Ont., 2024, 2025). Au Québec, c'est un ministère provincial (le ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs) qui surveille les niveaux et des débits d'eau et les publie sur le Web (Vigilance – Surveillance de la crue des eaux) afin de permettre aux municipalités et aux autorités gouvernementales d'alerter et de mobiliser les intervenants en cas de situation d'urgence (Gouv. du Qc, 2023). La Nouvelle-Écosse ne possède pas de ressources consacrées spécifiquement à la surveillance ou à la prévision des inondations, mais le ministère provincial de l'Environnement et des Changements climatiques assure le suivi des tendances hydrométriques à long terme (Gouv. de la N.-É., s.d.). La *Loi sur les ressources en eau du Canada*, promulguée en 1970, a pour but de pourvoir à la gestion des ressources hydriques au Canada en favorisant la coopération entre les gouvernements fédéral, provinciaux et territoriaux en matière de conservation, de mise en valeur et d'utilisation de ces ressources (GC, 1985). La Loi est actuellement à l'examen par l'Agence de l'eau du Canada, qui est une composante d'ECCC (ACE, 2024, 2025).

1.2 Atelier d'experts

Dans le cadre de la collecte de données probantes effectuée pour cette évaluation, le comité d'experts a organisé en mai 2025 un atelier qui a réuni dix autres de domaines et d'horizons divers, spécialisés notamment en sciences atmosphériques et en hydrologie, et provenant des services hydrométéorologiques publics d'autres pays et groupes d'utilisateurs. Un animateur a facilité les

[4] Dans les Territoires du Nord-Ouest et au Nunavut, les ressources hydriques sont de compétence fédérale. La gestion de l'eau et des eaux usées dans les réserves des Premières Nations relève conjointement des gouvernements des Premières Nations et du gouvernement fédéral (ECCC, 2024a).

analyses, les discussions et les débats, au moyen d'une plateforme d'aide à la prise de décisions de groupe, qui a accéléré la production d'idées et l'atteinte d'un consensus. La majeure partie des données probantes présentées dans ce rapport s'appuient sur les idées partagées durant cette activité.

1.2.1 Principales tendances influençant les services hydrométéorologiques

Il était demandé aux participants à l'atelier (y compris aux membres du comité d'experts) de déterminer les principales tendances qui ont une incidence sur le fonctionnement du service hydrométéorologique public canadien. Trois tendances se sont démarquées : les changements climatiques, le développement technologique et l'évolution de l'écosystème de communication (dont l'augmentation du nombre d'acteurs dans les services hydrométéorologiques nationaux). Le financement limité et les préoccupations géopolitiques, en particulier en ce qui concerne la souveraineté du Canada dans l'Arctique et la concurrence dans cette région, ont également été cités comme des tendances notables.

Les changements climatiques intensifient la pression sur les ressources hydrométéorologiques

Les participants à l'atelier ont relevé que les conditions météorologiques extrêmes dues à l'évolution du climat influaient sur les services hydrométéorologiques et augmentaient la demande pour des services et des produits météorologiques de qualité, comme des avertissements et des alertes météorologiques et d'inondations diffusés au moment opportun, précis et exploitables. Les changements climatiques augmentent aussi la pression sur l'infrastructure physique et les ressources budgétaires, par exemple, en raison des dommages causés par les événements météorologiques extrêmes et du besoin accru de données météorologiques de qualité pour guider les modèles climatiques.

Les développements technologiques transforment le fonctionnement des services météorologiques

Les développements technologiques, comme les progrès en IA et les avancées en télédétection, peuvent donner le jour à de nouvelles méthodes et améliorer l'efficacité de la collecte, de l'assimilation de données et de la prévision, entre autres. Ces avancées peuvent fondamentalement modifier les ressources humaines et physiques nécessaires aux services hydrométéorologiques. De plus, l'utilisation responsable et équitable des technologies avancées peut exiger beaucoup de ressources et des compétences spécialisées.

La manière dont les gens et les organisations communiquent et comprennent les renseignements évolue

La complexité croissante de l'écosystème du service — qui regroupe des organismes publics et des ministères de tous les ordres de gouvernement, un nombre croissant d'entreprises et de services privés et des établissements universitaires et sans but lucratif, ainsi qu'un réseau évolutif d'organisations internationales — pose des défis de coordination et de concurrence, mais offre également des possibilités de collaboration et de partenariats stratégiques. Dans un même temps, l'accroissement de la complexité de l'écosystème de l'information, combiné l'intensification des événements météorologiques extrêmes, souligne le besoin d'une communication efficace, pertinente et équitable pour la protection de la population et des biens. Cependant, l'augmentation de la vulnérabilité sociale, la baisse de la confiance de la population dans les institutions gouvernementales et la fragmentation des canaux de communication

nuisent à la conception et à la diffusion des renseignements scientifiques et sur la santé (CAC, 2023). Dans le paysage médiatique diffus, il est de plus en plus difficile de positionner la crédibilité comme une source faisant autorité d'information. Le comité d'experts fait remarquer que c'est grâce à la communication et à l'éducation météorologiques et climatiques continues sur diverses plateformes que les avertissements d'événements extrêmes seront compris et susciteront les réactions appropriées.

Si les technologies avancées et l'expansion de l'écosystème de communication peuvent accroître et améliorer les produits et les données destinés à des publics plus larges et de niche, elles nécessitent également des compétences poussées et des collaborations stratégiques pour assurer leur utilisation équitable et efficace et leur accessibilité. Collectivement, ces tendances soulignent l'urgence de positionner avec soin et de façon stratégique les fonctions essentielles du SMC au sein du système canadien et mondial de services hydrométéorologiques collectifs.

1.2.2 Un contexte mondial en pleine mutation

Les participants à l'atelier ont souligné que les répercussions des tendances se matérialisaient dans une conjoncture où les systèmes financier et géopolitique sont en mutation. Les dépenses de programme dans les services hydrométéorologiques ont généralement plafonné ces cinq dernières années (figure 1.2), malgré l'augmentation des dommages causés par les événements extrêmes (section 2.2). Le financement limité restreint la capacité d'un seul organisme ou d'une seule organisation à offrir les services et les produits convenant aux besoins variés des utilisateurs. Si les partenariats entre les organismes privés et publics et les universités procurent des mécanismes permettant d'améliorer l'efficacité et de fournir des services malgré les contraintes financières, ils exigent également un leadership, des ressources et des compétences en coordination.

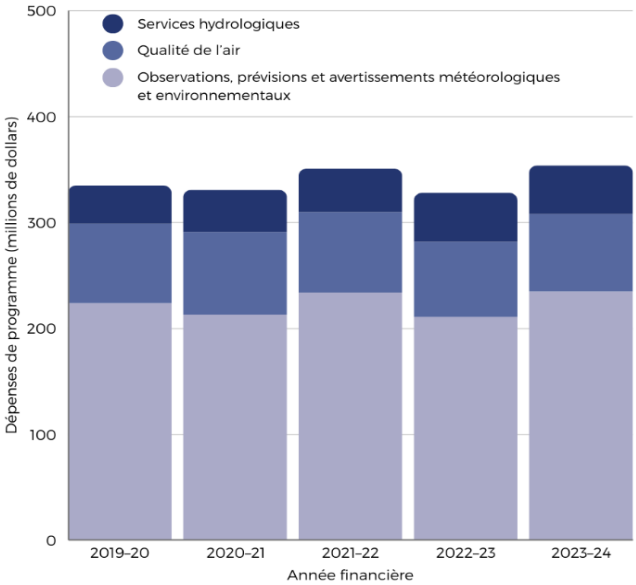


Figure 1.2

Dépenses de programme d'ECCC dans les services hydrométéorologiques, 2019–2024

Malgré la pression croissante sur les services hydrométéorologiques imposée par les changements climatiques, les dépenses de programme sont restées stables ces cinq dernières années. À noter que peu de renseignements sont fournis avec ces données pour contextualiser les dépenses, par exemple sur les investissements en informatique, dans les satellites ou dans l'infrastructure radar, qui pourraient ne pas apparaître dans les dépenses de programme.

Source des données : GC (2025a)

Les changements géopolitiques transforment les relations du Canada avec ses partenaires internationaux

Les risques géopolitiques et les menaces à la souveraineté du Canada ont modifié le contexte dans lequel le Canada interagit avec ses partenaires étrangers (CPM, 2025). Les transformations géopolitiques ont fait de l'Arctique une région cruciale pour l'économie, la stabilité environnementale et la souveraineté du Canada. Cette situation rend nécessaire la collecte de données, de prévisions et d'autres produits hydrométéorologiques propres aux régions peu densément peuplées du Nord. Sur un autre plan, les États-Unis sont depuis longtemps une des plus grandes sources au monde de renseignements météorologiques et un grand partenaire des services hydrométéorologiques du Canada, en raison de la frontière que partageant les deux pays, laquelle inclut les Grands Lacs. Cependant, les importantes coupes effectuées dans le financement et les effectifs de l'entreprise météorologique de ce pays menacent un vaste éventail d'activités de surveillance au Canada, de l'Arctique aux Grands Lacs, ainsi que l'accès aux données satellite sur les inondations, les ouragans et les conditions atmosphériques, entre autres (Boasiako, 2025).

1.3 Structure du rapport

S'appuyant sur les discussions durant l'atelier et au sein du comité d'experts, ainsi que sur les données probantes publiées qui les accompagnaient, le rapport souligne les rôles essentiels des services hydrométéorologiques canadiens dans le cadre des principales tendances définies plus haut (**chapitre 2**). Il étudie ensuite les possibilités d'adapter la manière d'assumer ces rôles essentiels qu'offrent les technologies avancées (**chapitre 3**). Le **chapitre 4** se penche sur la réponse aux besoins des utilisateurs par le prisme des stratégies et des produits de communication essentielle. Enfin, le **chapitre 5** propose un examen général du potentiel des services hydrométéorologiques canadiens à assumer un leadership et à assurer la coordination, au pays comme à l'échelle internationale, et se termine par les dernières réflexions du comité d'experts.

2 Fonctions essentielles du service hydrométéorologique public du Canada

Ainsi que le reconnaît la Convention de l'OMM [Organisation météorologique internationale], les SMHN [Services météorologiques et hydrologiques nationaux], éléments fondamentaux de l'infrastructure des pays, jouent un rôle important de soutien aux fonctions vitales assurées par les gouvernements.

(OMM, 2015)

Constatations du chapitre

- Une des responsabilités du SMC est de fournir et de maintenir l'infrastructure essentielle de surveillance météorologique et climatique du Canada, qui demeure cruciale malgré les avancées réalisées en IA et en modélisation. Au-delà de la technologie et des ressources de collecte de données, cette infrastructure englobe l'expertise des ressources informatiques requises pour la modélisation et la production de prévisions, qui évoluent rapidement sous l'effet de l'IA, ainsi que l'accès à ces ressources.
- Le SMC est le seul organisme chargé de diffuser les avertissements et alertes météorologiques au Canada afin de garantir la sécurité de la population et la protection des biens face aux événements météorologiques extrêmes. Les avertissements et les alertes sont cruciaux devant les menaces croissantes posées par les changements climatiques, qui accroissent la fréquence, la violence et la complexité des conditions météorologiques extrêmes. Si l'ensemble de la population canadienne est menacé, ces événements frappent de façon disproportionnée les populations marginalisées.
- L'importance du leadership fédéral par la coordination et la collaboration efficaces avec les autres acteurs de la complexe entreprise météorologique est croissante en raison de la hausse continue du nombre d'entités — entreprises privées, ONG et universités. La contribution aux initiatives internationales demeure également cruciale, car le Canada profite grandement de sa participation au partage de données et aux activités diplomatiques et de promotion au sein de la communauté hydrométéorologique mondiale.

Comme il est décrit au chapitre 1, le mandat du SMC est énorme et multidimensionnel, et comporte un vaste éventail de tâches et de responsabilités. Ces responsabilités évoluent face aux grandes tendances — principalement les changements climatiques et l'innovation technologique —, alors que les restrictions budgétaires gouvernementales créent simultanément la nécessité d'être plus efficace. Dans un même temps, dans sa plus récente stratégie scientifique, ECCC voit le renforcement et l'amélioration des capacités météorologiques comme une solution possible (ECCC, 2024b). Cette situation offre d'ailleurs une occasion bienvenue d'aborder stratégiquement les fonctions essentielles du SMC et la façon dont elles

peuvent servir au mieux les besoins de la population canadienne. Pour cette évaluation, les participants à l'atelier, dont les membres du comité d'experts, devaient définir ces fonctions essentielles et réfléchir à la façon dont elles se transforment sous l'effet des tendances principales (section 1.3.1). Ils ont tout d'abord étudié les services hydrométéorologiques publics en général, avant d'examiner le rôle et le mandat du SMC, car au Canada, certains services relèvent d'autres organismes. Les renseignements ainsi recueillis ont servi de base à l'analyse que le comité a ensuite effectuée, qui cerne les trois fonctions fondamentales : fournir l'infrastructure essentielle, assurer la protection de la population et assumer un leadership au sein de l'entreprise météorologique.

2.1 Infrastructure essentielle

Fournir l'infrastructure matérielle et humaine essentielle est un rôle crucial du SMC

Pour pouvoir comprendre les conditions météorologiques et le climat, il faut disposer d'une infrastructure matérielle et humaine fiable et le maintien de cette infrastructure est un rôle primordial du service hydrométéorologique public canadien. Quels que soient les utilisateurs des données d'observation, la collecte, l'assimilation et la diffusion de ces données sont des fonctions indispensables du secteur public, tout comme acquérir les compétences et l'accès à la puissance de calcul nécessaire pour modéliser les conditions météorologiques. Le secteur privé et les sociétés d'État (p. ex. les services publics) ont aussi un rôle à jouer en contribuant à la collecte de données et à la modélisation, qui renforcent l'entreprise météorologique; cependant, ils doivent être perçus comme des compléments (et non comme de possibles remplaçants) à un système public solide, qui assure une couverture minimale dans tout le pays, la continuité à long terme et le respect strict des normes internationales (Freebairn et Zillman, 2002a).

Un réseau pancanadien efficace d'observation en temps réel exige la collecte de divers paramètres à l'aide d'une multitude de capteurs terrestres, maritimes et spatiaux. Le réseau d'observation dont disposait le SMC en juillet 2023 est décrit dans l'encadré 2.1. Bien que l'IA soit en train de révolutionner l'établissement des prévisions et la modélisation météorologiques (section 3.1), il est peu probable qu'elle réduise la dépendance à la collecte de données et la nécessité de réseaux d'observation pour cette collecte. De plus, les progrès de l'IA reposent en grande partie sur la possession d'une riche source de données sur les événements météorologiques actuels et passés. L'infrastructure essentielle est également cruciale pour la fourniture de renseignements à la communauté météorologique mondiale. Le Canada profite grandement de son appartenance à cette communauté, car il compte sur les données recueillies par les autres services hydrométéorologiques publics dans le monde, en particulier aux États-Unis, pour bien comprendre les conditions météorologiques.

Encadré 2.1 Réseau d'observation physique du SMC (en juillet 2023)

« **Réseau de radars météorologiques** qui comprend 32 radars opérationnels;

Réseau d'observation météorologique maritime composé de 39 bouées amarrées, de 41 navires d'observation bénévole automatisée et de 19 bouées dérivantes;

Réseau d'observation météorologique et climatique de surface comprenant 589 stations météorologiques automatiques, 213 stations du Réseau coopératif sur le climat et de 29 stations de phares;

Réseau d'observation aérologique composé de plus de 30 stations à travers le Canada;

Des capteurs placés sur satellite transmettant des données à 8 stations de réception au sol;

82 **capteurs de détection de la foudre**;

~2 200 **stations de surveillance hydrométrique** (exploitées par le SMC selon un principe de partage des coûts avec les provinces et les territoires). »

(ECCC, 2023a)

Cependant ce réseau d'observation comporte des lacunes. Par exemple, la couverture inadéquate dans le Nord et les changements apportés à la façon de surveiller les conditions météorologiques et environnementales (p. ex. importance accrue accordée aux satellites et à l'automatisation) ont été critiqués pour ne pas fournir les renseignements dont les populations de cette région ont besoin (Hancock *et al.*, 2022; Sanders, 2023; Voosen, 2023). Dans certaines parties du Nord, les stations météorologiques sont distantes de centaines de kilomètres, ce qui signifie que de petites communautés n'ont pas accès à des renseignements météorologiques ou climatiques précis (Sanders, 2023). De plus, moins d'un tiers des stations situées au nord du 55e parallèle enregistrent au moins 3 des 5 variables météorologiques clés (pluviosité, épaisseur de neige, chutes de neige, température et vitesse et direction du vent) et la proportion a baissé au cours des 30 dernières années (Way, 2022).

L'infrastructure essentielle dépasse celle nécessaire à la simple observation. Elle comprend aussi les connaissances requises pour effectuer des analyses et des prévisions par la modélisation et l'intégration des données. Dans ces domaines, les avancées technologiques (p. ex. IA, précision des prévisions météorologiques numériques) sont révolutionnaires et ouvrent la voie à de nouvelles méthodes prévisionnelles (section 3.1). L'accès aux technologies performantes exigées pour l'analyse et la prévision — comme le calcul, le stockage de données et l'infrastructure de communication de haute performance — est lui aussi crucial. Cependant, la maintenance d'une telle infrastructure peut relever d'entités extérieures au service hydrométéorologique public.

Il y a plusieurs avantages à confier au secteur public la maintenance de l'infrastructure essentielle, comme le fait que l'étendue des services qui en découlent permet de prendre des décisions plus profitables (Freebairn et Zillman, 2002a, 2002b). Cela est vrai autant pour les individus que pour les

communautés, les gouvernements et le secteur privé, car « pratiquement tous les secteurs de l'économie dans pratiquement tous les pays utilisent directement ou indirectement les services météorologiques généraux ou spécifiques » (Freebairn et Zillman, 2002a). Toutefois, dresser un portrait exhaustif des avantages totaux ou marginaux de l'infrastructure essentielle est ardu, car le principe de bien public entre en jeu (Freebairn et Zillman, 2002b). Dans un même temps, Freebairn et Zillman (2002a) constatent qu'en vertu de ce même principe, « le financement gouvernemental direct et la provision gratuite à tout le monde sont favorisés » en raison de l'efficacité économique et d'un éventail de facteurs pratiques (p. ex. coût élevé d'exclusion, fréquents changements dans l'évaluation des utilisateurs).

Des mesures de qualité, cohérentes et à long terme sont nécessaires pour faciliter l'adaptation climatique exigée pour protéger la population du Canada et ses moyens de subsistance

Les données obtenues au moyen du réseau d'observation de base procurent les fondements d'une multitude d'analyses et de produits subséquents sur le climat, qui sont principalement réalisés par des entités extérieures au SMC. Les données d'observation recueillies de manière constante sur de longues périodes et sur l'ensemble de l'immense territoire canadien sont nécessaires pour surveiller les changements de régime majeurs, comme l'augmentation des rivières atmosphériques dans certaines régions. C'est particulièrement vrai dans l'Arctique, où la température de l'air augmente à un rythme plus rapide que dans les autres régions du Canada et où on a constaté des lacunes dans la capacité d'observation (Hansen *et al.*, 2010; Jung *et al.*, 2016; Joe *et al.*, 2020; Melo *et al.*, 2023). Si la continuité dans les banques de données peut être moins importante pour la surveillance météorologique à long terme, elle est cruciale pour les besoins et les services climatiques du Canada, notamment pour soutenir les efforts d'adaptation d'un vaste éventail de ministères dans tous les ordres de gouvernement. Bien que, dans la majorité des cas, les changements climatiques ne relèvent pas du mandat du SMC, il est important de tenir compte des conséquences sur la surveillance climatique des modifications apportées au réseau d'observation.

La recherche continue et le développement des compétences sont nécessaires pour maintenir la qualité de l'infrastructure essentielle

Le paysage technologique évolutif souligne l'importance d'une culture d'apprentissage continu au sein du service météorologique public, ainsi que de la collaboration avec l'ensemble de l'écosystème météorologique. De même, la recherche-développement (R-D) continue, qu'elle soit réalisée à l'interne ou par de proches collaborateurs, est primordiale pour exploiter les possibilités et maintenir l'infrastructure essentielle de modélisation et de prévision. À ce titre, les participants à l'atelier ont, par exemple, relevé le besoin de recherches sur l'appariement des systèmes prévisionnels numériques et des applications socioéconomiques.

2.2 Protection de la population

Le SMC est chargé de la diffusion des avertissements visant à garantir la sécurité de la population et la protection des biens face aux préjudices d'origine météorologique

Les changements climatiques, combinés à des facteurs tels que l'urbanisation et la croissance démographique, augmentent le besoin d'avertissements précis et diffusés au moment opportun face aux

risques météorologiques extrêmes. Il est bien connu que les changements climatiques accroissent la variabilité climatique et le nombre d'événements dangereux, y compris les vagues de chaleur extrême, les sécheresses, les feux de végétation et les inondations (GIEC, 2023). Non seulement ces événements sont-ils plus fréquents, mais ils sont également plus violents. Si de nombreuses personnes et organisations dans le secteur privé et dans les universités contribuent aux prévisions météorologiques, la responsabilité du système d'avertissement visant à assurer la sécurité de la population et la protection des biens relève exclusivement du service hydrométéorologique national (au Canada, le SMC) (OMM, 1999, 2015; Freebairn et Zillman, 2002b).

Les événements météorologiques extrêmes ont des effets dévastateurs partout au pays

Les événements météorologiques extrêmes mènent à des décès, plus de 40 personnes[5] ayant perdu la vie à cause des 10 événements météorologiques les plus intenses survenus au Canada en 2024 (ECCC, 2025b). En Colombie-Britannique, 36 décès ont été imputés au froid extrême, alors que les inondations ont tué en Nouvelle-Écosse, en Colombie-Britannique et au Québec (ECCC, 2025b). Les populations auxquelles les conditions météorologiques extrêmes font courir le plus de risques de préjudices sont les populations marginalisées ou désavantagées de quelconque manière. Il s'agit notamment des personnes âgées (plus de 65 ans), des enfants, des peuples autochtones, des populations racisées, des personnes souffrant de handicap ou de conditions médicales préexistantes, des personnes qui vivent dans des communautés nordiques ou éloignées et des personnes défavorisées sur le plan économique (Clark *et al.*, 2021; SC, 2022). Par exemple, on sait que la chaleur extrême accroît la mortalité par maladie cardiovasculaire ou respiratoire, en particulier chez les plus de 65 ans et dans les régions urbaines comptant une forte proportion de retraités (Quick, 2024)[6]. Les conséquences mortelles de la chaleur ont été démontrées par les plus de 600 décès qui lui ont été imputés en Colombie-Britannique à l'occasion du pic de chaleur qu'a connu l'Ouest canadien en 2021 (GC, 2022). Des avertissements clairs et exploitables, qui rejoignent les personnes touchées, quel que soit la province ou le territoire, sont donc nécessaires pour protéger la santé et la sécurité de la population canadienne. En plus d'aider les individus, ils permettent aussi aux communautés de se préparer à ces événements, par exemple, en aménageant des aires de rafraîchissement à la veille de vagues de chaleur ou en faisant en sorte que les chasse-neige soient fonctionnels pendant les tempêtes hivernales.

Les événements météorologiques extrêmes sont également coûteux. Selon Catastrophe Indices and Quantification Inc. (CatIQ), 2024 a été l'année la plus coûteuse jamais enregistrée en pertes assurées liées aux conditions météorologiques, avec un coût total de 8,5 milliards de dollars canadiens (BAC, 2025). L'ampleur des pertes découle des événements coûteux survenus partout au pays tout au long de l'année, comme les températures glaciales dans l'ouest du Canada, les inondations en Ontario, les tempêtes de grêle dans les Prairies, les feux de végétation à Jasper et les restes de l'ouragan Debby au Québec (BAC, 2025). Fait important, c'est l'adaptation climatique qui aura le plus d'effet en ce qui concerne la réduction des coûts des événements extrêmes, mais des communications claires et exploitables, comme les avertissements ou les alertes, peuvent aider les particuliers à prendre des décisions pour minimiser les impacts (p. ex. se garer à l'intérieur avant une tempête de grêle) et permettre aux entreprises et aux

[5] Ce nombre correspond aux décès imputés seulement et sont donc une sous-estimation du total des décès.
[6] Quick (2024) suggère que cela pourrait être dû au fait que les logements locatifs sont moins fréquemment climatisés.

gouvernements de prendre des décisions préventives afin d'éviter les problèmes (p. ex. interdiction de stationnement dans la rue avant de grosses chutes de neige, modification des calendriers et des routes de livraison).

Le SMC a l'occasion d'informer la population du Canada sur les changements climatiques et sur la nécessité de s'adapter

En plus des avertissements et des alertes face à des événements graves, l'adaptation climatique est nécessaire pour accroître la résilience des communautés et de l'infrastructure face aux conditions météorologiques extrêmes. L'adaptation climatique fait partie du mandat de plusieurs ministères fédéraux, comme le ministère dont dépend le SMC, ECCC. Même si les changements climatiques sont exclus du mandat du SMC proprement dit, à titre de fournisseur de renseignements météorologiques faisant autorité au Canada, le service est bien placé pour informer la population sur l'attribution climatique et sur la nécessité de s'adapter à la nouvelle réalité climatique, de réduire sa vulnérabilité et d'accroître sa résilience (section 4.3).

Les canaux de communication changent, mais la confiance demeure essentielle

Si les risques météorologiques et la nécessité de disposer d'avis clairs augmentent, la manière dont les gens obtiennent leurs renseignements change considérablement. Avec l'accroissement de la portée et de l'impact des médias sociaux, de moins en moins de gens vont chercher leurs prévisions météorologiques dans les médias traditionnels et davantage de gens que dans les années 2000 déclarent ne pas du tout s'intéresser aux prévisions (Lazo, 2024a, 2024b). Ce phénomène se manifeste en particulier chez les jeunes adultes, qui ont grandi à l'ère d'Internet et qui vont principalement chercher les renseignements météorologiques sur leur téléphone intelligent, au moyen d'applications (Phan *et al.*, 2018). De plus, auparavant, les gens obtenaient généralement leurs prévisions et avertissements d'un prévisionniste météorologique appartenant à un média de confiance, qui avait bâti une relation à long terme avec son public. Ce type de relation est bien moins courant à l'ère numérique et les médias sociaux permettent la prolifération de la mésinformation. Le volume de renseignements disponibles, parmi lesquels se trouvent des affirmations fausses ou trompeuses, souligne la nécessité constante de disposer d'une source de renseignements météorologiques de confiance (section 4.1). Il est donc essentiel que le service météorologique public renforce ses relations et maintienne la confiance avec la population, en particulier avec les personnes les plus menacées par les événements météorologiques.

2.3 Leadership

Il est de plus en plus important que le SMC assure le leadership par la coordination et la collaboration au sein de l'entreprise météorologique canadienne

Les participants à l'atelier ont souligné l'importance pour le service hydrométéorologique public d'assumer le leadership et d'assurer la coordination dans l'ensemble de l'écosystème. Le processus décisionnel collectif est de plus en plus essentiel devant l'augmentation du nombre d'acteurs et de la complexité de l'écosystème. Cette complexité est notamment due au fait que les différents éléments des services hydrométéorologiques publics, comme la R-D et les services climatiques (ou la prévision des inondations), s'effectuent de façon détachée par rapport au service météorologique principal (c.-à-d. le SMC). En plus des entités du secteur public et des ministères, l'importance du secteur privé, des ONG et

des universités dans l'entreprise météorologiques croît. Toutefois, la diversité des acteurs peut aussi être perçue comme une force. À une époque de financement fédéral restreint et d'incitation à réduire les budgets de fonctionnement (GC, 2025b), il y a des limites à la capacité d'un organisme hydrométéorologique public d'assumer à lui seul toutes les fonctions touchant l'hydrométéorologie. Les participants à l'atelier ont relevé que certaines fonctions pourraient être mieux assumées grâce à la collaboration avec le secteur privé, les ONG ou les universités. Par exemple, ces dernières peuvent soutenir l'entreprise météorologique en créant des produits ciblés, en menant des recherches de pointe dans diverses disciplines et en assurant la formation du personnel par ses programmes de formation continue, en plus de former la nouvelle génération de travailleurs.

Faciliter la collaboration effective au sein de l'éventail d'acteurs au Canada est une fonction essentielle du SMC

Le secteur privé contribue depuis longtemps à l'établissement des prévisions météorologiques et à l'offre de produits ciblés aux particuliers et aux organisations au Canada. Avec les progrès technologiques et la demande croissante de prévisions précises à des fins de génération de revenus, on a assisté à une hausse notable du nombre d'entreprises privées qui proposent des prévisions météorologiques ciblées à différentes échelles temporelles (Brunet *et al.*, 2023). Dans certains cas, c'est le secteur privé qui stimule les avancées. Par exemple, les entreprises privées, dynamisées par l'IA (et qui dépendent considérablement des observations et des activités d'assimilation de données menées par le gouvernement), ont accéléré le progrès dans le domaine des prévisions numériques (Bauer, 2024). En raison du nombre d'acteurs intervenant dans l'exécution des modèles prévisionnels, ou dans la conception et le déploiement des plateformes d'observation, il y a un grand besoin de coordination afin de garantir la maximisation des avantages pour le Canada.

Un service hydrométéorologique public fort garantit la souveraineté du Canada dans le domaine des capacités météorologiques et de la compréhension des impacts climatiques

Il est vital que le Canada maintienne sa capacité nationale d'assumer les fonctions hydrométéorologiques essentielles, en particulier devant l'instabilité géopolitique et le fait que nos frontières comprennent plusieurs plans d'eau, comme les Grands Lacs. La promotion de la souveraineté est également incroyablement pertinente pour le Nord, étant donné la concurrence économique et géopolitique croissante à laquelle se livrent des entités étrangères dans l'Arctique et l'impact disproportionné des changements climatiques sur les régions nordiques, notamment un réchauffement important et la fonte du pergélisol et de la glace de mer qui en résulte (Freebairn et Zillman, 2002a; Hansen *et al.*, 2010; GIEC, 2023; Austen, 2024; ECCC, 2025c). Cette situation donne au Canada l'occasion de tirer parti de ses points forts — selon l'expérience du comité d'experts, le pays est vu comme un chef de file mondial en ce qui concerne la connaissance du climat et des conditions météorologiques dans l'Arctique. En dépit de ce leadership, les lacunes connues dans la capacité d'observation dans le Nord créent d'importants défis pour la modélisation météorologique et climatique (section 2.1). Encourager une collaboration constructive avec les peuples autochtones du Nord, soutenir ces derniers et utiliser des données provenant des systèmes de connaissances autochtones pourrait avoir comme effet, entre autres avantages, de combler ces lacunes. Outre qu'elle permettrait de mieux comprendre les conditions météorologiques et le climat dans les régions nordiques du Canada, cette collaboration est nécessaire

pour s'assurer que le SMC effectue son travail de la bonne manière et répond aux besoins des gens qui vivent dans ces régions.

Le Canada profite de sa participation au partage de données, aux activités diplomatiques et de promotion au sein de la communauté mondiale

Si garantir la souveraineté sur les fonctions hydrométéorologiques est crucial, il en va de même de l'engagement au sein de la communauté mondiale, et notamment comme membre actif de l'Organisation météorologique mondiale (OMM). La collaboration du Canada avec les organisations météorologiques internationales et étrangères, et le leadership qu'il assure parmi elles, favorise la robustesse et l'avant-gardisme du service et en fait un outil plus efficace pour la population canadienne, tout en profitant aussi à la communauté météorologique mondiale. Le Canada profite considérablement de son accès aux données et à la modélisation d'autres services hydrométéorologiques nationaux et il lui incombe de partager ses données avec les autres d'une façon équitable. À ce titre, le pays a plusieurs engagements à respecter vis-à-vis de la communauté météorologique internationale et c'est au service météorologique public d'assumer ces obligations. Par exemple, plusieurs organismes internationaux, comme l'OMM et le Groupe sur l'observation de la Terre des Nations Unies, se servent des données du SMC, tandis que le Centre canadien de la modélisation et de l'analyse climatique est un des quatre centres de prévisions climatiques décennales (ECCC, 2023a). Le Canada a également signé un protocole d'entente avec les États-Unis, la Chine, la France et le Royaume-Uni, des ententes avec l'Australie, la Finlande et l'Allemagne et un accord de coopération avec le programme Copernicus de l'Union européenne (ECCC, 2023a).

3 Fonctions essentielles et technologie

Les avancées en matière de prévisions météorologiques et climatiques qui devraient être réalisées au cours de la présente décennie soutiendront des [objectifs de développement durable ambitieux] en rendant possible une nouvelle génération de services météorologiques et climatiques, qui aideront les gens, les entreprises et les gouvernements à mieux atténuer les risques, à réduire les pertes et à concrétiser les possibilités offertes par les nouvelles perspectives découlant de prévisions extrêmement précises et fiables.

(Brunet *et al.*, 2023)

Constatations du chapitre

- La technologie évolue rapidement et le SMC doit suivre le rythme. De nombreuses fonctions fondamentales seront touchées par l'IA et les nouvelles technologies numériques, en particulier dans les domaines de la collecte de données, de la télédétection, de la modélisation et des prévisions météorologiques et de la surveillance des conditions partout au pays.
- Certaines technologies numériques, comme la télédétection, la miniaturisation des capteurs et les réseaux de l'Internet des objets (IdO), ont des effets graduels, mais considérables sur les activités actuelles du SMC. L'IA semble mener à un changement de paradigme dans la façon de produire des prévisions météorologiques numériques.
- Les nouvelles technologies numériques entraînent une intensification de la participation au marché des entreprises privées. Ces entreprises pourraient compléter ou soutenir le service hydrométéorologique public, par exemple en fournissant des produits spécialisés destinés aux marchés de niche.
- L'adoption des nouvelles technologies numériques conduira probablement à une prolifération de données et nécessitera la modernisation de l'infrastructure clé, notamment de l'infrastructure de calcul de haute performance. Elle exigera également la formation et le développement des compétences du personnel, ainsi qu'une expertise difficile à trouver.

Les progrès technologiques réalisés ces 150 dernières années ont considérablement modifié l'évolution de l'observation, des prévisions et de la communication météorologiques (ECCC, 2021). Dans les années 1920, les prévisions météorologiques au Canada ont été révolutionnées par la radio sans fil, qui a permis la communication rapide des renseignements vers les régions éloignées et les navires. La technologie a évolué au point où, dans les années 1930, une petite équipe de Toronto pouvait diffuser deux fois par jour des prévisions pour pratiquement toutes les régions du Canada, à partir de données provenant de plus de 200 stations. Les bulletins radiophoniques ont commencé à inclure des prévisions

quotidiennes en 1935, et les prévisions météorologiques sont devenues un élément de base des nouvelles émissions (ECCC, 2021). Cette évolution se poursuit aujourd'hui, avec diverses innovations, comme la télédétection et l'IA, qui transforment la façon dont les services météorologiques accomplissent leurs tâches.

3.1 Intégration de l'IA dans les prévisions numériques météorologiques et environnementales

Dans sa feuille de route pour l'intégration de l'intelligence artificielle dans la prévision numérique du temps et de l'environnement, ECCC présente une chaîne de valeur qui s'étend des observations environnementales aux produits spécialisés, comme les prévisions météorologiques sur mesure et d'autres produits servant à mobiliser et à communiquer au public les renseignements météorologiques (ECCC, 2024c) (figure 3.1). Si la feuille de route cerne les défis et les possibilités de l'adoption et de l'utilisation de l'IA en particulier, de nombreuses autres technologies s'appuyant sur des innovations sont prometteuses pour l'amélioration de la chaîne de valeur. Nombre de ces innovations concernent les prévisions numériques météorologiques et environnementales (PNME), et une variété de compétences fondamentales et essentielles seront touchées par l'innovation technologique tout au long de cette chaîne de valeur.

©Tous droits réservés. Adapté de : ECCC (2024c)

Figure 3.1 Chaîne de production de prévisions numériques météorologiques et environnementales d'ECCC

Selon les participants à l'atelier, les innovations technologiques promettent de toucher presque toutes les étapes de la chaîne de valeur de la production de PNME, des observations aux produits spécialisés grâce à des prédictions numériques.

Les PNME reposent sur les observations de la Terre au moyen de multiples activités de surveillance météorologique et climatique menées à l'aide de capteurs terrestres, maritimes et spatiaux. Ces observations sont fusionnées avec les prévisions précédentes durant la phase d'assimilation de données afin de déterminer les états atmosphériques et environnementaux actuels, jetant ainsi les bases de prévisions fiables. S'ensuit une phase de post-traitement, qui est importante pour l'ajustement des extrants du modèle numérique afin de tenir compte des biais et de produire d'autres extrants, tels que la probabilité de phénomènes météorologiques violents (p. ex. foudre, grêle, tornades, poudrerie, brouillard). Ces extrants servent à fabriquer des produits spécialisés, comme des cartes de vigilance (c.-à-d. des cartes géographiques indiquant les régions à risque accru d'événements météorologiques à fort impact) (ECCC, 2024c).

Les technologies émergentes semblent sur le point d'influencer les activités du SMC dans toute la chaîne de production

L'IA est la technologie qui aura le plus d'incidence sur les services hydrométéorologiques de demain. Elle révolutionne les flux de tâches météorologiques, que ce soit l'assimilation de données, la modélisation reposant sur la physique, le post-traitement ou la fabrication de produits spécialisés, et permet de l'accélération de la production de prévisions, la modélisation à super-résolution et les prévisions explicables. Les modèles fondamentaux[7] et la communication d'impact basée sur l'IA transforment la manière dont les prévisions sont produites et partagées (Bodnar *et al.*, 2025). Les progrès en télédétection, la miniaturisation des capteurs et les capteurs reliés par l'IdO[8] sont d'autres avancées technologiques notables :

- **Télédétection** : Les nouvelles technologies de télédétection ont amélioré la résolution temporelle et spatiale de l'imagerie satellitaire, ainsi que le traitement et l'interprétation des données d'imagerie (Mitra, 2023; Richardson *et al.*, 2025). Le nouveau matériel et les nouvelles techniques d'imagerie repoussent les limites temporelles et spatiales de la résolution et permettent des prévisions plus précises et plus fines, tandis que les systèmes d'apprentissage machine s'avèrent prometteurs pour combler les lacunes dans les données dues à des obstacles techniques et environnementaux (p. ex. lignes de balayage d'imagerie, couverture nuageuse, inaccessibilité à partir du sol). Alors que la télédétection par satellite était jusqu'ici généralement utilisée pour observer les phénomènes atmosphériques, les progrès technologiques ont accru la précision des données au sol accessibles, comme la température superficielle de l'eau et la couverture terrestre et végétale (Mariani *et al.*, 2022; Mitra, 2023; Richardson *et al.*, 2025).
- **IdO** : Divers systèmes d'IA ont été étudiés dans le but de procurer aux réseaux de dispositifs la capacité de s'adapter à des conditions environnementales changeantes et de combiner et de corriger les données provenant de multiples capteurs. Comme les technologies d'IdO créent des liens entre les systèmes d'observation, elles peuvent être appliquées à tout l'éventail de capteurs et d'appareils que le SMC utilise pour mesurer diverses variables atmosphériques et hydrologiques.
- **Miniaturisation** : La miniaturisation des dispositifs satellitaires a également commencé à révolutionner la production de prévisions météorologiques (Stephens *et al.*, 2021). Les outils d'observation spatiale traditionnels sont coûteux et volumineux, et leur construction et leur lancement nécessitent d'importants investissements. Grâce à la miniaturisation, la taille de la charge utile qu'ils représentent a diminué ces dernières années, ce qui a permis de mettre en orbite des capteurs plus nombreux et plus variés (Stephens *et al.*, 2021). Cela pourrait rendre possible une couverture mondiale, interconnectée et abordable de la plupart des paramètres nécessaires à l'établissement de projections météorologiques et climatiques.

[7] Les modèles fondamentaux peuvent renvoyer à des modèles météorologiques d'IA, comme Aurora (Bodnar *et al.*, 2025), ou à de grands modèles de langue, comme Gemini 2.5 Pro. Le comité d'experts note que les modèles météorologiques d'IA sont plus susceptibles d'être utilisés pour les prévisions météorologiques, tandis que les grands modèles de langue semblent plus appropriés pour la communication et les produits spécialisés.

[8] L'IdO renvoie à des réseaux d'objets physiques intégrés avec des capteurs, des actionneurs et des technologies de communication (p. ex. WiFi, Bluetooth, LoRaWAN, 5G) (Albuali *et al.*, 2023). Ces réseaux permettent la collecte de données localisées, en temps réel et à haute résolution et, dans certains cas, le calcul et l'analyse de données sur le terrain, lesquels peuvent compléter les données provenant des stations météorologiques traditionnelles (Albuali *et al.*, 2023; Selvam et Al-Humairi, 2023).

Les avantages les plus importants découleront vraisemblablement de l'association des technologies de télédétection, d'IdO et de miniaturisation avec l'IA.

Les progrès technologiques augmenteront considérablement le volume de données disponibles et permettront des prévisions plus localisées

Les technologies de télédétection, de miniaturisation et d'IdO ont le potentiel d'améliorer la résolution spatiale et temporelle des observations. Selon les participants à l'atelier, les progrès généreront d'énormes quantités de données et s'appuieront sur l'informatique dans le nuage et des stratégies de stockage de données optimisé. Les capteurs compatibles avec l'IdO et les flux de données en temps réel permettent la mise à jour continue des modèles et pourraient mener à des dispositifs de détection autonomes, tels que des drones et des capteurs en réseau, capables de s'adapter à l'évolution des conditions. Cela permettrait de les utiliser, par exemple, pour la prévision des inondations et les services personnalisés, l'IA optimisant l'intégration des données en provenance de diverses sources.

Les participants à l'atelier ont également noté que les prévisions à haute résolution et l'augmentation de la puissance de calcul semblaient conduire à des prévisions à l'échelle des ménages, qui pourraient être proposées par des entreprises privées. En effet, l'amélioration de la résolution temporelle et spatiale, ainsi que les modèles basés sur les données, permettent d'affiner la précision. D'autres formes de prévisions météorologiques, qui s'écartent de la modélisation reposant sur la physique, sont également à l'étude. Par exemple, les systèmes hydrométéorologiques mettent désormais l'accent sur les répercussions socioéconomiques, en intégrant les facteurs environnementaux, économiques et sociaux. Les données d'impact en temps réel et les jumelages numériques (c.-à-d. des simulations très détaillées et réalistes de l'évolution du temps et des impacts) permettent des évaluations dynamiques des risques, qui peuvent améliorer les alertes précoces (Bauer *et al.*, 2021; CEPMMT, s.d.). La tendance à la décentralisation — comme l'informatique dans le nuage, la collaboration internationale et les partenariats public-privé — peut démocratiser l'accès aux outils prévisionnels et augmenter le volume de données à partir desquelles effectuer les prévisions. Toutefois, elle demande également de faire preuve d'une prudence accrue en matière de confidentialité et de sécurité des données.

Le Canada dépend des flux de données internationaux pour la qualité de ses prévisions

Aucune source de données d'observation n'est utilisée seule; de multiples sources sont nécessaires pour garantir la précision des prévisions et des modèles. Par exemple, les techniques de télédétection (comme l'imagerie satellitaire) sont utilisées depuis des décennies pour guider les modèles météorologiques et climatiques et étendent la gamme de paramètres mesurables par les systèmes au sol (RNCan, 2025a; NOAA, s.d.). On se sert couramment des résultats de la télédétection comme données d'entrée dans les modèles physiques, qui permettent d'établir des prévisions et des modèles pour l'avenir. Les satellites peuvent être géosynchrones (ils demeurent stationnaires par rapport à la rotation est-ouest de la Terre) ou en orbite polaire (orbite nord-sud), chaque type fournissant des mesures différentes (NOAA, s.d.). Le Canada dépend fortement des données de télédétection recueillies par les satellites géostationnaires d'observations environnementales (ou satellites GOES, qui observent l'Amérique du Nord et du Sud, et les océans Pacifique et Atlantique), les satellites Advanced TIROS (à orbite quasi polaire et couvrant l'ensemble de la planète) et le Defense Meteorological Satellite Program (qui assure une couverture à

grande échelle et quasi polaire), ainsi que de la couverture océanique de l'Agence américaine d'observation océanique et atmosphérique (National Oceanic and Atmospheric Administration) des États-Unis (NOAA) (IOOS News/Ocean Enterprise, 2024; RNCan, 2025a). Cependant, les récentes coupes budgétaires qui ont affligé la NOAA et les restrictions imposées aux collaborations internationales de ses scientifiques pourraient menacer l'accès du Canada à de riches données de télédétection. Les perturbations du flux de données entre les États-Unis et le Canada et, en particulier, les restrictions sur le partage des données satellitaires pourraient nuire à la capacité du Canada à produire des analyses météorologiques et climatiques exactes et précises. Mais les progrès de la télédétection, de l'IA et de la miniaturisation pourraient réduire sa dépendance à l'égard des satellites américains, tout comme l'établissement de liens avec d'autres collaborateurs internationaux (section 3.2).

3.1.1 Observations, assimilation de données et prévisions numériques

Les progrès technologiques peuvent améliorer la qualité des données et combler les lacunes en matière de mesure

La collecte de données permet de créer une représentation plus précise de l'état de l'atmosphère et de l'environnement, et donc de produire des prévisions météorologiques fiables. On ne saurait trop insister sur l'importance d'observations de qualité. Il est peu probable que l'IA réduise la dépendance à l'égard de la collecte; cependant, elle pourrait améliorer le contrôle de la qualité des observations, l'estimation des erreurs et l'estimation de divers paramètres qui ne sont pas immédiatement mesurables, comme les conditions locales dans les zones difficiles d'accès (ECCC, 2024c; Camps-Valls *et al.*, 2025). Les données d'observation sont vitales pour le SMC, et les innovations en matière de télédétection, d'IdO et de miniaturisation des capteurs permettent de recueillir des données plus détaillées et d'une meilleure résolution qu'autrefois. Toutefois, ces progrès vont accroître la nécessité de soigneusement gérer la collecte et l'utilisation des données.

Un plus grand pouvoir d'observation permet de recueillir des données plus nombreuses et plus variées. Les paramètres locaux, en particulier ceux concernant les communautés mal desservies et nordiques, sont de plus en plus accessibles à l'observation. L'expansion des observations de base pourrait répondre aux divers besoins de la population canadienne, notamment grâce à des mesures décrivant la qualité de l'air, l'eau (y compris les caractéristiques océaniques, les précipitations et les données sur les inondations), la surface terrestre (p. ex. la couverture végétale, les îlots de chaleur) et l'évolution de la couverture glaciaire dans le Nord. Ceci est particulièrement pertinent face aux changements climatiques, car la collecte et la gestion de données exhaustives sur un large éventail de variables et d'échelles temporelles permettent de mieux comprendre le phénomène. L'IA pourrait aider à combler les lacunes lorsque l'observation directe n'est pas possible (Lewis *et al.*, 2024). De même, il est possible de mettre au point des dispositifs d'observation en réseau (c.-à-d. l'IdO) pour accroître la résolution spatiale et temporelle des observations de multiples variables, ainsi que pour ajuster et analyser en temps réel les données en fonction de l'évolution des conditions (Selvam et Al-Humairi, 2023; Camps-Valls *et al.*, 2025). Les participants à l'atelier ont également relevé qu'il était possible d'intégrer des méthodes d'observation et des modes de connaissance propres aux peuples autochtones. Il sera important de veiller à l'accès éthique, non préjudiciable et équitable à ces connaissances, ainsi qu'à la protection de la vie privée et à la sécurité, afin que ces opérations soient menées de manière responsable.

La souveraineté et l'interopérabilité des données et l'accès à ces mêmes données influenceront les possibilités de collaboration

Un autre aspect des besoins du SMC en matière d'observation concerne la qualité, le contrôle (y compris la souveraineté), le stockage et le partage des données conformément à la Politique unifiée de l'OMM en matière de donnée (OMM, 2025a). La qualité des données est cruciale, mais elle ne se résume pas à améliorer l'exactitude, la précision et l'exhaustivité des observations. En effet, les participants à l'atelier ont insisté sur l'importance de données bien structurées, partageables et interopérables, qui sont accessibles aux partenaires et collaborateurs publics, privés et étrangers. Les données de haute qualité recueillies par le SMC constituent un atout à la fois stratégique et financier, que l'organisme pourrait exploiter pour établir davantage de partenariats, en particulier à l'étranger. À ce sujet, les participants ont relevé que, face à la réduction du financement de la NOAA et à l'incertitude entourant sa position comme partenaire actif de partage de renseignements, il était essentiel que le Canada renforce sa souveraineté en matière de données. Ils ont également noté qu'une partie de la solution pourrait résider dans l'intensification de la collaboration avec les fournisseurs de services européens. Dans le même ordre d'idées, les problèmes de stockage des données, notamment en raison de la quantité massive de données recueillies, et l'aptitude à utiliser les données d'observation dans les modèles d'autres fournisseurs de services, sont des questions à résoudre d'urgence. L'informatique dans le nuage devrait être une solution aux besoins en matière de stockage des données. Toutefois, en ce qui concerne le partage de ces dernières, les participants à l'atelier ont souligné la nécessité d'établir de bonnes politiques de confidentialité et de sécurité afin de protéger les communautés et de renforcer la souveraineté du Canada sur les données.

L'IA peut révolutionner l'assimilation de données et les prévisions numériques

Traditionnellement, les PNME reposent sur les modèles physiques et utilisent les données d'observation et les conditions initiales obtenues lors de l'assimilation de données. Ces modèles fournissent depuis longtemps des prévisions fiables; cependant, l'IA commence à modifier cette approche en générant des prévisions directement à partir des données à l'aide des algorithmes d'apprentissage machine, des réseaux neuronaux et de l'analyse des mégadonnées pour améliorer les capacités prédictives (Gruber et Prein, 2025). Les modèles d'IA n'utilisent qu'un petit sous-ensemble de calculs mathématiques, ce qui permet un traitement efficace et très majoritairement en parallèle au moyen de processeurs graphiques modernes[9]. Cet avantage sur le plan de la rapidité est bénéfique, car il permet d'étudier rapidement davantage de scénarios, ce qui repousse les limites de confiance et débouche sur une prise de décision plus fiable, surtout lors d'événements météorologiques violents. ECCC, SMC compris, et de grands centres prévisionnels explorent et évaluent actuellement des modèles reposant sur l'IA, par exemple GraphCast (Google DeepMind), FourCastNet (NVIDIA) et Aardvark Weather (Pathak *et al.*, 2022; Mulligan, 2024; Soliman, 2024; Hua *et al.*, 2025). Des modèles comme Pangu-Weather ont montré que l'IA pouvait surpasser les modèles traditionnels dans les prévisions à moyen terme, prouvant ainsi la valeur des solutions s'appuyant sur cette technologie. Pourtant, les modèles d'IA sont actuellement insuffisants dans des domaines essentiels, tels que la dynamique des océans, la modélisation des vagues, la chimie atmosphérique et la prévision des phénomènes météorologiques extrêmes (Bodnar *et al.*, 2025).

[9] Les processeurs graphiques sont des composants informatiques qui assurent le rendu des images et des vidéos. Ils excellent dans l'exécution simultanée de nombreuses petites tâches. Les principales fonctions d'un ordinateur sont, elles, assurées par l'unité centrale (CDW Expert, 2025).

De nouveaux modèles fondamentaux, comme Aurora, visent à remédier à ces limitations en prévoyant un large éventail de variables du système terrestre à différentes échelles, tandis qu'Aardvark tente de remplacer l'ensemble de la chaîne de prévisions météorologiques (Allen *et al.*, 2025; Bodnar *et al.*, 2025). Le comité d'experts constate que l'amélioration de l'exactitude et de la précision grâce à l'IA dépendra de l'amélioration de l'exactitude et de la précision des observations traditionnelles et devra être comparée aux modèles physiques.

Parallèlement à ces avancées, on assiste à l'augmentation de l'intérêt du secteur privé pour les prévisions reposant sur l'IA (Bi *et al.*, 2023; Han *et al.*, 2024; Wong, 2024). Jusqu'ici, la complexité et le coût de la modélisation numérique traditionnelle ont limité la participation du secteur. Mais avec la réduction du temps de calcul et des coûts que permet l'IA, de plus en plus d'acteurs privés se lancent dans ce domaine. Cependant, les participants à l'atelier ont avancé que c'était à la fin de la chaîne des prévisions que le secteur privé pouvait avoir le plus d'impact — grâce à la conception de produits prévisionnels spécialisés et axés sur l'utilisateur plutôt que par la création de modèles de base. Il est toutefois crucial de veiller à ce que la privatisation n'aboutisse pas à un accès inéquitable aux prévisions et aux alertes météorologiques (Wiedinmyer et Bowen, 2025).

L'IA viendra en complément, pas en remplacement, des modèles physiques

Malgré les promesses de l'IA, notamment en ce qui concerne l'amélioration de la précision des prévisions et la possibilité d'établir des prévisions à super-résolution, le comité d'experts affirme qu'elle ne devrait pas remplacera totalement les systèmes physiques. Les modèles d'IA peinent à être expliqués et à inspirer confiance, car leurs processus décisionnels sont opaques et souvent difficiles à comprendre (Gruber et Prein, 2025). En outre, ils peuvent échouer dans des situations jamais encore rencontrées, telles que celles produites par les changements climatiques, pour lesquelles les données passées peuvent ne plus être pertinentes. Par conséquent, les futurs systèmes prévisionnels intégrant l'IA et la modélisation physique traditionnelle contribueront à garantir des prévisions précises, fiables et plus fréquentes.

3.1.2 Post-traitement et produits spécialisés

Les dernières étapes de la chaîne de production d'ECCC sont le post-traitement et la production de produits spécialisés. Le post-traitement comprend une série d'activités, notamment la correction des biais systématiques introduits aux étapes précédentes et la réduction d'échelle des prévisions régionales ou mondiales. À l'instar des gains obtenus avec l'IA au stade des prévisions numériques, diverses techniques permettent désormais d'exploiter la capacité de l'IA à effectuer rapidement des tâches itératives et probabilistes, et donc d'obtenir une résolution et une précision plus élevées, des résultats plus rapides et un étalonnage statistique plus raffiné des modèles météorologiques.

L'IA peut améliorer les prévisions météorologiques à court terme et la communication des risques au public

La prévision immédiate fonctionne par extrapolation à partir de plusieurs sources de données, comme les résultats des prévisions numériques et les observations en temps réel (p. ex. les données radar) qui permettent de produire des prévisions à court terme à haute résolution et très précises (Schmid *et al.*, 2019). La prévision de phénomènes météorologiques, tels que la foudre, le brouillard et la grêle ne s'effectue généralement pas à l'étape des prévisions numériques (ECCC, 2024c). Elles sont habituellement

calculées à l'aide de modèles physiques ou semi-empiriques s'appuyant sur des algorithmes rudimentaires d'apprentissage machine, qui reposent sur beaucoup moins de données. Tout comme pour l'observation et l'assimilation de données, l'IA a le potentiel d'améliorer les prévisions avec des ensembles de données moins robustes, ou de contribuer à l'amélioration des ensembles de données en facilitant la détection d'événements météorologiques rares par la télédétection. Les participants à l'atelier ont noté que la traduction de ces prévisions en cartes de vigilance et autres produits destinés au public pourrait également profiter d'outils de conception et de diffusion reposant sur l'IA.

Le secteur privé a un rôle important à jouer dans la fourniture de produits destinés aux consommateurs.

Bien que les participants à l'atelier ne pensent pas que les opérations de post-traitement devraient être déléguées exclusivement à des entreprises privées, ils ont décelé certains avantages à la participation du secteur privé. En particulier, un traitement plus puissant des données grâce à l'IA permettra de créer des produits prévisionnels plus personnalisés et de niche, un marché que le secteur privé pourrait occuper (Thorpe, 2016; Wiedinmyer et Bowen, 2025). Les activités de prévision plus adaptées et plus ciblées, par exemple pour l'agriculture ou l'infrastructure, seront probablement plus efficacement réalisées par le secteur privé. Le chapitre 4 examine plus en détail les produits spécialisés touchant la communication.

3.2 L'IA dans les services météorologiques étrangers et internationaux

Les services météorologiques du monde entier commencent à intégrer l'IA dans leurs activités prévisionnelles et météorologiques et les prochaines sections présentent deux exemples récents d'adoption de l'IA dans d'autres juridictions.

3.2.1 Centre européen pour les prévisions météorologiques à moyen terme (CEPMMT)

Le CEPMMT a publié en décembre 2024 sa stratégie 2025-2034, dans laquelle il décrit ses plans pour améliorer les prévisions météorologiques, qui mettent fortement l'accent sur la collaboration, l'IA et l'innovation technologique (CEPMMT, 2025a; Gruber et Prein, 2025). Cette stratégie affirme que les partenariats étroits avec les services météorologiques nationaux et les organisations mondiales demeurent essentiels et insiste sur le partage des avancées au sein de l'infrastructure météorologique européenne pour améliorer les services publics et la résilience de la société (CEPMMT, 2025a).

En 2025, le CEPMMT a lancé son système de prévision par intelligence artificielle (AIFS) (Lang *et al.*, 2024; CEPMMT, 2025b). L'AIFS fonctionne en parallèle avec le système de prévision intégré (IFS) classique, qui s'appuie sur la physique pour améliorer les prévisions météorologiques. Selon le CEPMMT (2025b), l'AIFS peut générer des prévisions de haute précision et surpasser les modèles traditionnels de 20 % dans des domaines tels que le suivi des cyclones tropicaux. Il produit également des prévisions plus rapidement et réduit considérablement la consommation d'énergie. Le CEPMMT insiste sur le fait que l'AIFS et l'IFS sont complémentaires et visent à fournir divers outils en appui aux services météorologiques et aux industries nationaux.

En collaboration avec plusieurs services météorologiques nationaux européens, le CEPMMT a également lancé Anemoi, un cadre collaboratif de conception de systèmes de prévisions météorologiques par apprentissage machine sur mesure, qui tire parti de l'AIFS (CEPMMT, 2024). Anemoi a pour objectif de fournir des outils en source ouverte de formation et d'exécution de modèles météorologiques fonctionnant à partir des propres données des centres météorologiques. Il réduit l'échelle d'un modèle global pour accueillir des systèmes régionaux (p. ex. le modèle scandinave à haute résolution du Meteorologisk Institutt en Norvège ou le modèle allemand AICON). Anemoi est un cadre en source ouverte fonctionnant sous licence permissive afin de rendre possible la contribution de météorologues, de spécialistes de l'apprentissage machine et d'étudiants (CEPMMT, 2024).

3.2.2. National Institute of Weather and Atmospheric Research (NIWA, Aotearoa–Nouvelle-Zélande)

Fondé en 1992, le NIWA (l'institut national néo-zélandais de recherche météorologique et atmosphérique) est le principal organisme de recherche climatique et météorologique d'Aotearoa–Nouvelle-Zélande. En juillet 2025, il a fusionné avec un autre institut de recherche d'État néo-zélandais, GNS Science, pour former Earth Sciences New Zealand (ESNZ, 2025). MetService, l'autorité météorologique nationale d'Aotearoa–Nouvelle-Zélande et source officielle de prévisions et d'avertissements météorologiques, devrait être intégrée à ESNZ en 2025 (Collins, 2024; RNZ News, 2024), afin de regrouper l'expertise en sciences de l'eau, de l'atmosphère, de la géologie et de l'environnement au sein d'un seul et même organisme.

Le NIWA ne semble pas disposer d'une feuille de route explicite et publique de mise en œuvre de l'IA; toutefois, cette dernière a commencé à s'infiltrer dans ses activités. L'organisme a notamment entamé l'étude de l'utilisation de l'IA dans les projections climatiques à haute résolution, la prévision des sécheresses, la cartographie des plaines inondables et la prévision des événements météorologiques extrêmes (Cleland, 2024; NIWA, s.d.-a,-b,-c).

Le NIWA élabore actuellement un modèle d'IA reposant sur la physique pour les projections climatiques (NIWA, s.d.-b). Les modèles climatiques actuels nécessitent une puissance de calcul considérable; toutefois, l'organisme a constaté que les méthodes s'appuyant sur l'IA pouvaient accélérer les calculs et réduire les coûts de fonctionnement une fois le modèle entraîné. Ce modèle est conçu pour améliorer les modèles climatiques régionaux et faciliter la prévision des événements météorologiques extrêmes. Le projet prévoit une collaboration avec les iwi/hapū, les conseils régionaux, le gouvernement central et les chefs de file industriels afin de répondre aux besoins de tous les utilisateurs (NIWA, s.d.-b). En collaboration avec le ministère des Industries primaires (Ministry for Primary Industries), le NIWA a également lancé en 2023 un outil d'apprentissage machine pour la prévision des sécheresses (NIWA, s.d.-c). L'objectif de cet outil est d'aider les agriculteurs et les producteurs à se préparer aux sécheresses, à partir des services de prévision des précipitations actuels. Fait notable, la plateforme sur laquelle cet outil est bâti utilise les données générées quotidiennement par l'un des modèles de la NOAA (NIWA, s.d.-c).

Les inondations étant la catastrophe naturelle la plus courante et la plus coûteuse en Aotearoa–Nouvelle-Zélande, le NIWA a commencé à intégrer l'apprentissage machine dans ses cartes de prévision de ces phénomènes afin de permettre une préparation et une réponse plus efficaces (Cleland, 2024). Jusqu'à

présent, la prévision des inondations combine la prévision météorologique, les modèles océaniques pour prévoir le niveau de la mer et les simulations hydrologiques pour prévoir le débit des rivières, et peut prendre environ 24 heures. Mais un modèle d'apprentissage machine préentraîné (le préentraînement, comme d'autres techniques d'IA, peut être coûteux et prendre du temps) a permis d'obtenir des résultats similaires en quelques minutes, ce qui permet de mettre à jour rapidement les cartes d'inondations. Le NIWA s'efforce d'opérationnaliser ce projet afin qu'il puisse être utilisé dans la pratique (Cleland, 2024).

3.3 Facteurs favorables

L'infrastructure informatique devra être mise à jour pour soutenir l'innovation

L'actuelle infrastructure de calcul de haute performance est conçue pour la modélisation physique standard et nécessite une puissance de calcul parallèle massive de l'unité centrale. Cette exigence ne changera pas, mais la dépendance à l'égard du calcul de haute performance pourrait diminuer avec l'adoption de l'IA. En revanche, l'IA nécessite des calculs initiaux coûteux reposant sur le processeur graphique pour produire des ensembles de données d'entraînement et former des modèles initiaux, mais il est probable qu'elle réduise considérablement les besoins en puissance de calcul conventionnelle (ECCC, 2024c).

En 2022, l'ECCC a mis à jour ses superordinateurs avec plusieurs nœuds de processeurs graphiques prêts pour l'IA, qui sont suffisants pour adapter les modèles actuels développés ailleurs (GraphCast ou FourCastNet), appliquer les techniques de calcul des processeurs graphiques au système prévisionnel actuel et entraîner de petits modèles expérimentaux d'apprentissage machine à des fins de recherche et d'essais précoces (Lam *et al.*, 2023; ECCC, 2024c). Toutefois, les nœuds de processeurs graphiques acquis sont insuffisants pour permettre à ECCC de concevoir et d'entraîner ses propres modèles, ce qui limite la capacité du ministère à mener des activités de R-D avancées (ECCC, 2024c). L'une des options pour accroître la disponibilité des processeurs graphiques est de s'appuyer sur une infrastructure infonuagique partagée. Cela permettrait de décharger les ressources informatiques d'ECCC d'une partie du développement initial, de l'analyse comparative et du débogage des nouveaux systèmes. Comme nous l'avons vu plus haut, les grosses bases renfermant des types de données potentiellement nouveaux nécessiteront une infrastructure de stockage bien conçue qui, selon l'ampleur de la collaboration et du partage des données, devra également tenir compte des normes de protection de la vie privée et de partage. Les participants à l'atelier ont noté que l'informatique dans le nuage, bien que coûteuse, pouvait faciliter l'accessibilité des données aux collaborateurs du SMC. Avec l'aide de l'IdO et d'autres technologies de travail à distance, les météorologues seront probablement en mesure de réaliser des simulations et des modèles sur le terrain.

Pour améliorer son infrastructure logicielle, ECCC a commencé à recourir à des systèmes virtuels en conteneurs, qui permettent la mise au point d'outils et de techniques d'IA pouvant être ensuite intégrés dans les systèmes d'IA principaux (ECCC, 2024c). Les besoins en infrastructure de données nécessiteront de convertir l'important volume de données d'ECCC dans des formats prêts pour l'IA et d'offrir l'accès ouvert afin que les collaborations externes puissent s'en servir. À ce sujet, l'une des méthodes proposées pour les protocoles de formatage et de traitement des données est de suivre l'exemple du système

d'archivage et de récupération des données météorologiques du CEPMMT, ce qui, dans l'idéal, permettrait une étroite collaboration internationale (ECCC, 2024c).

Les progrès technologiques modifieront les compétences et la diversité de la main-d'œuvre nécessaires

Alors que la télédétection, l'IdO et la miniaturisation sont en grande partie des itérations de technologies existantes et exigent une requalification minimale, l'adoption de l'IA requiert d'importants changements. Le marché de l'expertise hautement spécialisée en IA est de plus en plus concurrentiel, en particulier dans le secteur privé, et le recrutement et la rétention de la main-d'œuvre qualifiée sont ardus (ECCC, 2024c). Une des façons d'accroître l'expertise interne en IA des scientifiques et du personnel informatique serait de recourir à des programmes de formation et de mentorat. À ce titre, le renforcement des partenariats avec les universités et le secteur privé pourrait accroître les possibilités de développement et d'acquisition de compétences du personnel, ce qui rejoint l'avis des participants à l'atelier selon lequel une main-d'œuvre diversifiée, reposant sur l'apprentissage continu, sera la clé de la réussite du SMC. De nombreuses activités essentielles, notamment dans le domaine de l'assimilation de données, des prévisions numériques et du post-traitement, n'ont pas encore démarré ou sont encore sous-développées en raison d'une insuffisance de ressources humaines (ECCC, 2024c). Par exemple, l'intégration de l'IA, la modélisation hybride et l'étalonnage des prévisions sont des lacunes qui nécessitent d'immenses ressources, bien que des progrès aient été réalisés dans le développement de modèles axés sur les données et d'outils en source ouverte pour les études atmosphériques et océaniques.

Le plan de mise en œuvre des avancées technologiques pourrait être clarifié au moyen d'une stratégie ou d'une feuille de route

Alors qu'ECCC a examiné l'intégration de l'IA dans ses activités en général (ECCC, 2024c), les participants à l'atelier ont déterminé la nécessité pour le SMC d'établir une feuille de route exhaustive, qui intégrerait d'autres sources d'innovation technologique, tout en tenant compte des contraintes budgétaires et des possibilités de faire évoluer le rôle de l'organisme au sein des services hydrométéorologiques du Canada. Dans tous les cas, l'adoption technologique et l'évolution des responsabilités fondamentales du SMC nécessiteront une planification réfléchie et l'établissement de priorités.

4 Réponse aux besoins de la population canadienne

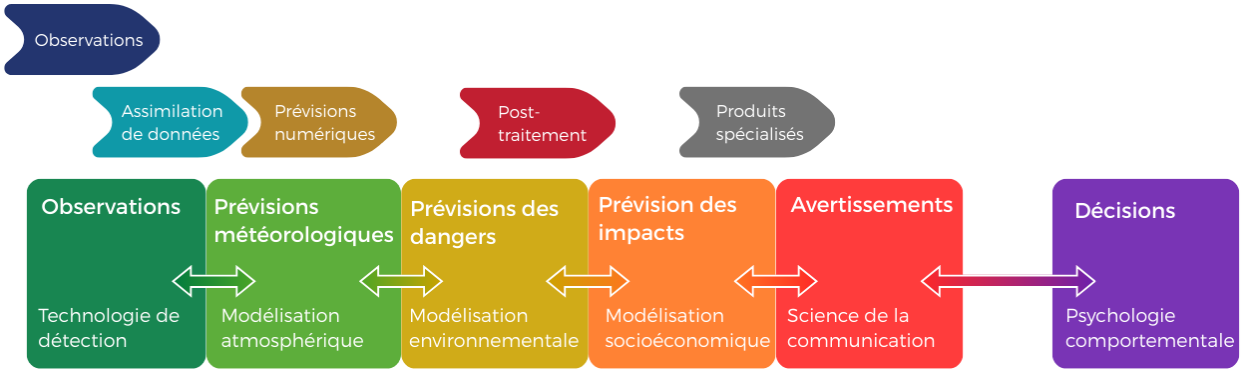
Il est important de garder à l'esprit que le développement des services météorologiques au public ne doit pas devenir un but en soi, mais bien correspondre à des besoins et à des exigences réels exprimés par les utilisateurs.

(OMM, 1999)

Constatations du chapitre

- Il est essentiel de comprendre les besoins et les exigences des utilisateurs pour maintenir et améliorer les services hydrométéorologiques publics. Tout le monde au Canada subit les effets des conditions météorologiques et environnementales locales et doit être averti des phénomènes météorologiques et des inondations potentiellement dangereux.
- Les personnes comme les organisations prennent les mesures nécessaires face à des prévisions et à des avertissements si elles ont confiance dans la source de ces avertissements. La confiance se bâtit au moyen de relations authentiques et transparentes; il est donc important d'inclure des mesures d'incertitude dans la communication des risques et de fournir les renseignements les plus précis et les plus à jour.
- Les partenariats, l'évaluation critique et la production conjointe avec les communautés d'utilisateurs, les universités et d'autres acteurs des publics et privés renforcent les services hydrométéorologiques publics. De leur côté, les compétences en leadership, en communication et en coordination sont tout aussi importantes pour la prestation efficace des services hydrométéorologiques que les compétences en modélisation et en prévision.

La chaîne de production des prévisions météorologiques et climatiques d'ECCC débute avec les observations et se termine par les produits spécialisés, parmi lesquels des alertes et des avertissements concernant les phénomènes météorologiques à fort impact. Golding (2022) présente une chaîne de valeur similaire pour les avertissements météorologiques, laquelle fait la distinction entre une *prévision*, qui « produit des renseignements sur l'état futur des conditions météorologiques ou d'autres éléments de l'environnement », et un *avertissement*, qui « fournit des renseignements sur une menace afin de permettre d'y répondre ». Cette chaîne de valeur englobe les produits et les données, renseignements et expertise sous-jacents nécessaires pour produire des avertissements auxquels l'utilisateur final réagira. Les participants à l'atelier ont souligné l'importance d'intervenir au-delà de la chaîne de production d'ECCC pour répondre aux besoins actuels et futurs de la population canadienne. En d'autres termes, ils ont insisté sur l'importance d'examiner la prise de décision face aux avertissements et de veiller à ce que les communications essentielles soient claires, précises, accessibles, utiles et utilisées par les publics ciblés (figure 4.1).



©Tous droits réservés. Source des données : Golding (2022); Adapté d'ECCC (2024c)

Figure 4.1 Chaîne de production des PNME d'ECCC superposée à la chaîne de valeur des avertissements

La chaîne de production des PNME d'ECCC s'étend des observations et de l'assimilation de données à la création de produits spécialisés. La chaîne de valeur des avertissements suit une trajectoire similaire, passant des observations aux avertissements, mais va au-delà des produits spécialisés pour se pencher sur la façon dont les avertissements influencent la prise de décision. Le comité d'experts souligne que, pour satisfaire les besoins essentiels des utilisateurs, il faut tenir compte de cette partie de la chaîne de valeur, tout en reconnaissant que des organisations extérieures à ECCC peuvent jouer un rôle de leadership. Les cinq premiers éléments de la chaîne de valeur des avertissements (observations, prévisions météorologiques, prévisions des dangers, prévisions des impacts et avertissement) s'alimentent les uns les autres. L'écart entre les avertissements et les décisions illustre le rôle des individus dans la prise de décision à partir des renseignements qui lui sont fournis.

Pour comprendre les fonctions essentielles du service hydrométéorologique public du Canada, il est essentiel de mieux connaître ses utilisateurs et la façon dont ils réagissent face aux produits et services. D'après les participants à l'atelier, les besoins prioritaires des utilisateurs actuels et futurs des services hydrométéorologiques du Canada sont les suivants :

- Vaste couverture des conditions environnementales actuelles et prévues, notamment de la température, du vent, des précipitations, de la qualité de l'air, du rayonnement UV, de l'état de l'eau et de l'état de la surface des océans et des terres, sur l'ensemble du pays;
- Avertissements extrêmement précis, fondés sur l'impact, exploitables et bien communiqués (p. ex. de temps violent, d'inondations), accompagnés de l'incertitude les concernant, qui raccourcissent le temps de réaction;
- Source centralisée et faisant autorité de données, de renseignements et d'éducation pour la population canadienne, les secteurs clés (p. ex. énergie, eau, gestion des urgences) et la planification à long terme (p. ex. climat, rétablissement, résilience).

4.1 Conditions environnementales actuelles et prévues

Les participants à l'atelier ont reconnu que de l'équipement fiable et bien entretenu et des prévisions de qualité sont fondamentaux pour des services hydrométéorologiques dignes de confiance et faisant autorité. L'infrastructure essentielle et les composants de la chaîne de production doivent donc être entretenus et améliorés pour fournir les meilleurs renseignements possibles.

Les services hydrométéorologiques publics sont nécessaires pour assurer la couverture de l'ensemble du territoire canadien

Les participants à l'atelier ont souligné l'importance de maintenir une couverture de base pour les observations météorologiques et hydrométriques partout au pays. Il est également essentiel de disposer de plusieurs canaux de communication — par exemple, la radio, la télévision et la téléphonie fixe et cellulaire — afin d'assurer la diffusion la plus large et la plus accessible possible. Cette base de renseignements météorologiques et hydrologiques, qui inclut les avertissements, doit être accessible et cohérente dans l'ensemble du pays afin d'éliminer les lacunes.

Les participants à l'atelier ont également noté que les Canadiens et les Canadiennes attendaient des services hydrométéorologiques qu'ils leur fournissent un large éventail de conditions environnementales actuelles et prévues. Les visiteurs du site Web météorologique du gouvernement du Canada peuvent notamment y trouver des renseignements sur le temps présent, la température, la pression, le point de rosée et l'humidité, ainsi que des prévisions sur sept jours et des liens vers des cartes satellitaires, des cartes de la foudre et des cartes radar, des prévisions horaires, des alertes, des renseignements sur la qualité de l'air et des données historiques (GC, 2025c). Sur le site de MétéoMédia, par exemple, il est possible d'obtenir, en plus de ces observations météorologiques détaillées, des renseignements sur les insectes et le pollen et d'autres produits spécialisés (Pelmorex Corp, 2025). Les partenariats public-privé, ainsi que le secteur privé de manière plus générale, apportent une valeur ajoutée considérable en fournissant des produits spécialisés et ciblés, et les participants à l'atelier ont souligné le rôle essentiel du SMC dans le maintien d'une norme de référence en matière de qualité et de couverture à l'échelle du pays.

Les prévisions et les avertissements n'ont de valeur que s'ils influencent la prise de décision

Comme le souligne Gruntfest (2018), le plus gros défi quand on cherche à réduire les pertes causées par les phénomènes météorologiques violents n'est pas d'améliorer les prévisions, mais de « prévoir le comportement humain face aux phénomènes et aux prévisions météorologiques ». Savoir si un danger, tel qu'un événement météorologique extrême, se transformera en une catastrophe réelle dépend de facteurs sociaux et comportementaux (NASEM, 2018). Shrader *et al.* (2023) affirment que les prévisions ne peuvent sauver des vies que si les gens agissent en fonction de ces prévisions. Il est toutefois difficile de mesurer la valeur de prévisions précises et diffusées au moment opportun, car cela nécessite des données sur les répercussions évitées (c.-à-d. ce qui ne s'est pas produit) (Göber *et al.*, 2023). Cela dit, les chercheurs se sont rendu compte que les gens réagissaient aux prévisions en modifiant leur comportement. Par exemple, Shrader *et al.* (2023) ont constaté que les gens modifiaient leur consommation d'électricité et leur emploi du temps[10] en fonction des prévisions, et dans une enquête réalisée auprès d'étudiants collégiaux, les personnes interrogées ont déclaré avoir modifié leur comportement en réaction aux prévisions. En outre, il a été démontré que les vagues de chaleur extrêmes prévues étaient moins meurtrières que les vagues inattendues, ce qui porte à croire que les gens adaptent leur comportement aux avertissements (Shrader *et al.*, 2023). Les avertissements météorologiques entraînent également des changements de comportement, tels que l'achat de fournitures, la protection des

[10] Le Bureau américain des statistiques du travail (U.S. Bureau of Labor Statistics; s.d.) définit l'emploi du temps comme « le temps que les gens consacrent à diverses activités, telles que le travail rémunéré, la garde d'enfants, le bénévolat et la vie sociale ».

meubles d'extérieur et la recharge des appareils électroniques lorsqu'un avertissement de tempête côtière intense est émis (Silver *et al.*, 2025).

Une stratégie médiatique diversifiée et réfléchie est un atout précieux pour maintenir la confiance du public

Les médias sont le visage de la météorologie, et la compréhension par le public du contexte, du risque et de l'incertitude sera améliorée par une concertation étroite entre le SMC, en tant que source d'avertissements et de prévisions, et les médias, y compris les créateurs de contenu sur médias sociaux, qui les retransmettent et les contextualisent. Les personnes qui déclarent faire confiance à leur source de prévisions et d'avertissements météorologiques sont également plus susceptibles de déclarer qu'elles prendront des mesures de protection en réponse à ces avertissements (Morss *et al.*, 2016).

La confiance dans le gouvernement et les médias s'est généralement dégradée au Canada ces dix dernières années (CAC, 2023). Cependant, Silver *et al.* (2022) ont constaté que 76 % des personnes interrogées lors d'un sondage réalisé au Canada atlantique estimaient que les renseignements sur l'ouragan Dorian publiés sur Twitter par des sources gouvernementales étaient plus dignes de confiance que ceux diffusés par des sources non gouvernementales. La confiance découle de la transparence et de l'authenticité, et la bienveillance perçue est plus importante que la crédibilité ou la compétence personnelle d'un communicateur (Lemyre *et al.*, 2017). Les répondants au sondage précédemment mentionné se sont déclarés « extrêmement satisfaits » des renseignements « constamment incohérents » qu'ils ont reçus au sujet de l'ouragan; en d'autres termes, ils ont aimé les mises à jour fréquentes qui ont amélioré la précision des renseignements, même si elles n'étaient pas cohérentes avec les prévisions précédentes, car ils comprenaient que la tempête était à la fois dangereuse et d'une trajectoire incertaine (Silver *et al.*, 2022).

En éduquant constamment le public grâce à des renseignements météorologiques et climatiques diffusés par les médias, le SMC peut contribuer à la crédibilité et à la compréhension des avertissements. Le comité d'experts souligne que l'amélioration et l'entretien de la confiance du public seront encore plus essentiels dans un écosystème médiatique diffus et face à un climat changeant dans lequel les événements météorologiques seront de plus en plus violents et inédits.

Le partage de renseignements et la coproduction avec les utilisateurs permettent de répondre aux besoins de ces derniers

Les progrès technologiques, qui permettent, par exemple, les prévisions hyperlocales et les prévisions immédiates, et l'intégration avec d'autres services, comme le déneigement, l'information routière et la gestion d'événements sportifs et de divertissement, pourraient accroître la variété des services spécialisés proposés aux utilisateurs. Avec la multiplication des services de prévision météorologique et hydrologique spécialisés, il sera important d'établir un lien direct avec les utilisateurs pour s'assurer que les besoins fondamentaux en matière d'observation sont satisfaits. Bien qu'il puisse être plus approprié que ces services spécialisés soient fournis par le secteur privé, le SMC sera mieux placé pour améliorer les relations et fournir des services spécialement destinés aux communautés sensibles aux conditions météorologiques. À ce sujet, Pennesi *et al.* (2012) ont constaté que les chasseurs inuits expérimentés étaient considérés comme une source de renseignements météorologiques plus fiable que le SMC par de

nombreux habitants d'Iqaluit. Ce constat est vrai pour d'autres communautés nordiques. Voosen (2023) raconte :

> *Brent Nakashook, un Inuk de Cambridge Bay, dans l'Arctique canadien, ne fait pas particulièrement confiance aux bulletins météorologiques locaux. À plusieurs reprises, il a annulé des voyages de fin de semaine pour aller pêcher l'omble ou chasser le bœuf musqué, après avoir vu des prévisions d'orage, alors qu'il a finalement fait beau. « J'ai sacrifié toute ma fin de semaine à cause des prévisions », déplore-t-il.*

Pennesi *et al.* (2012) appellent à accroître les échanges et la coproduction entre les communautés du Nunavut et le SMC afin d'améliorer la valeur des renseignements météorologiques. Un bon exemple de cette pratique est un atelier en ligne organisé en 2022 par une équipe de recherche multidisciplinaire, qui a rassemblé « des membres de la communauté, des organisations nordiques et inuites, des chercheurs et des fournisseurs de services vivant et œuvrant dans tout l'Inuit Nunangat » pour discuter de la manière dont les services environnementaux, y compris les services hydrométéorologiques, pourraient mieux répondre aux besoins des communautés inuites (Carter et Ljubicic, 2022). Comme le note Gruntfest (2018), ce type d'entreprise nécessite la diversification de la main-d'œuvre employée par les services hydrométéorologiques, par exemple par l'embauche de gens passionnés par les nouvelles avancées technologiques ou de personnes qui ont à cœur de répondre aux besoins exprimés par les utilisateurs.

4.2 Avertissements fondés sur l'impact et exploitables

Outre les observations et les prévisions environnementales de base, il est nécessaire de tenir la population et les organisations canadiennes au courant des prévisions de phénomènes météorologiques violents, d'inondations et d'autres événements potentiellement catastrophiques, comme les avalanches, les feux de végétation et les tsunamis, afin qu'elles puissent se protéger et protéger leurs biens. Cependant, la communication des prévisions de tels événements est compliquée par plusieurs facteurs relevés par les participants à l'atelier, notamment la difficulté à communiquer l'incertitude, la prolifération des canaux de communication et la complexité de la répartition des compétences.

Des messages clairs et précis sur l'incertitude facilitent la prise de décision

Toutes les prévisions concernant les phénomènes météorologiques et hydrologiques violents s'accompagnent d'une certaine incertitude quant à leur ampleur et le moment et l'endroit où ils frapperont. Il est important de bien communiquer cette incertitude aux utilisateurs afin qu'ils puissent prendre les mesures appropriées pour atténuer les risques et pour bâtir et de maintenir la confiance dans les organismes de services hydrométéorologiques. Les experts ont tendance à penser que le public est incapable de traiter des renseignements probabilistes. Or, Ripberger *et al.* (2022) ont passé en revue les publications sur la communication de renseignements probabilistes dans les prévisions météorologiques et ont constaté que les gens « prennent de meilleures décisions et font davantage confiance à l'information ou comprennent mieux les informations prévisionnelles lorsque les prévisionnistes utilisent des renseignements probabilistes au lieu d'affirmations déterministes ».

Certaines recommandations tirées des publications permettent de s'assurer que les renseignements probabilistes véhiculent le message approprié. Par exemple, il est utile de fournir des informations sur l'événement prévu lui-même (c.-à-d. les caractéristiques d'un événement météorologique, comme une

tornade ou un ouragan), en plus d'indiquer la probabilité qu'il se produise (Ripberger *et al.*, 2022). Une information présentée de différentes manières, soit verbalement, numériquement et visuellement, maximise la proportion de la population qui la comprendra (Ripberger *et al.*, 2022). De plus, les participants à l'atelier ont noté que la terminologie du SMC en ce qui concerne les alertes (encadré 4.1) manquait de clarté et n'était pas largement comprise.

Encadré 4.1 Glossaire météorologique du SMC

Message pour alerter le public : « Un « signal » transmis pour attirer l'attention et/ou amorcer une préparation à l'action, le cas échéant. Les messages pour informer le public sont émis par le Service météorologique du Canada (SMC) pour les événements météorologiques ou environnementaux dangereux qui se produisent, sont imminents ou prévus. Les messages pour alerter le public sont actuellement émis sous forme de bulletins météorologiques spéciaux, d'avis, de veilles et d'avertissements/alertes. »

Avis : « Un type de message émis par le Service météorologique du Canada (SMC) d'Environnement et Changement climatique Canada visant à informer le public lorsqu'un phénomène météorologique ou environnemental dangereux (qualité de l'air, humidex ou tsunami, par exemple) se produit, est imminent ou prévu. ».

Bulletin météorologique spécial : « Message pour alerter le public émis par le Service météorologique du Canada (SMC) d'Environnement et Changement climatique Canada :
1. lorsqu'un avertissement ou une veille n'est pas requis(e) car les conditions attendues sont moins menaçantes que celles d'un avertissement;
2. lorsqu'il n'est pas encore utile d'émettre un avertissement ou une veille étant donné le niveau élevé d'incertitude concernant l'événement, les régions qui seront affectées et le moment où les conditions dangereuses potentielles se produiront.

Le bulletin météorologique spécial peut être utilisé pour décrire tout phénomène dangereux (contrairement à un avis). Un tel énoncé n'est pas officiellement "en vigueur" puisqu'il n'y a aucune exigence de le mettre à jour ou d'y mettre fin. »

Veille : « Message pour alerter le public émis par le Service météorologique du Canada (SMC) d'Environnement et Changement climatique Canada lorsque les conditions sont favorables au développement d'un phénomène météorologique ou environnemental dangereux représentant une menace considérable à la sécurité ou aux biens du public, mais pour lequel l'endroit, le moment et la matérialisation des conditions dangereuses potentielles sont encore trop imprécis pour émettre un avertissement. Elle a pour but de sensibiliser le public à l'impact potentiel de l'événement. Elle sert d'"entrée en matière" à un avertissement. »

Avertissement/alerte : « Un message pour alerter le public émis par le Service météorologique du Canada (SMC) lorsqu'il est certain ou imminent qu'un événement météorologique ou environnemental représentant une menace considérable à la sécurité ou aux biens du public va se produire. »

(ECCC, 2019)

Pour être efficaces, les avertissements doivent rejoindre les gens qui seront touchés

Ces deux dernières décennies, l'environnement de l'information a connu une expansion rapide. Avec l'avènement des téléphones intelligents, des médias sociaux, des applications de messagerie privée et des services de diffusion en continu, notamment, les canaux de communication et de divertissement se sont diversifiés et fragmentés. Comme seuls 86 % des ménages canadiens possèdent au moins un téléphone intelligent (Blair, 2025), une alerte d'urgence diffusée exclusivement sur les réseaux mobiles pourrait manquer 14 % des foyers, ce qui souligne l'importance de maintenir d'autres canaux de communication, tels que la radio et la télévision.

Par exemple, en 2022, un derecho avec rafales atteignant 147 km/h a balayé l'Ontario et le Québec, causant la mort de 16 personnes et plus de 1,2 milliard de dollars de pertes assurées (NTP, 2024). Certaines personnes ont déclaré ne pas en avoir été averties, comme l'a expliqué un résident cité par Bernstien (2022a) :

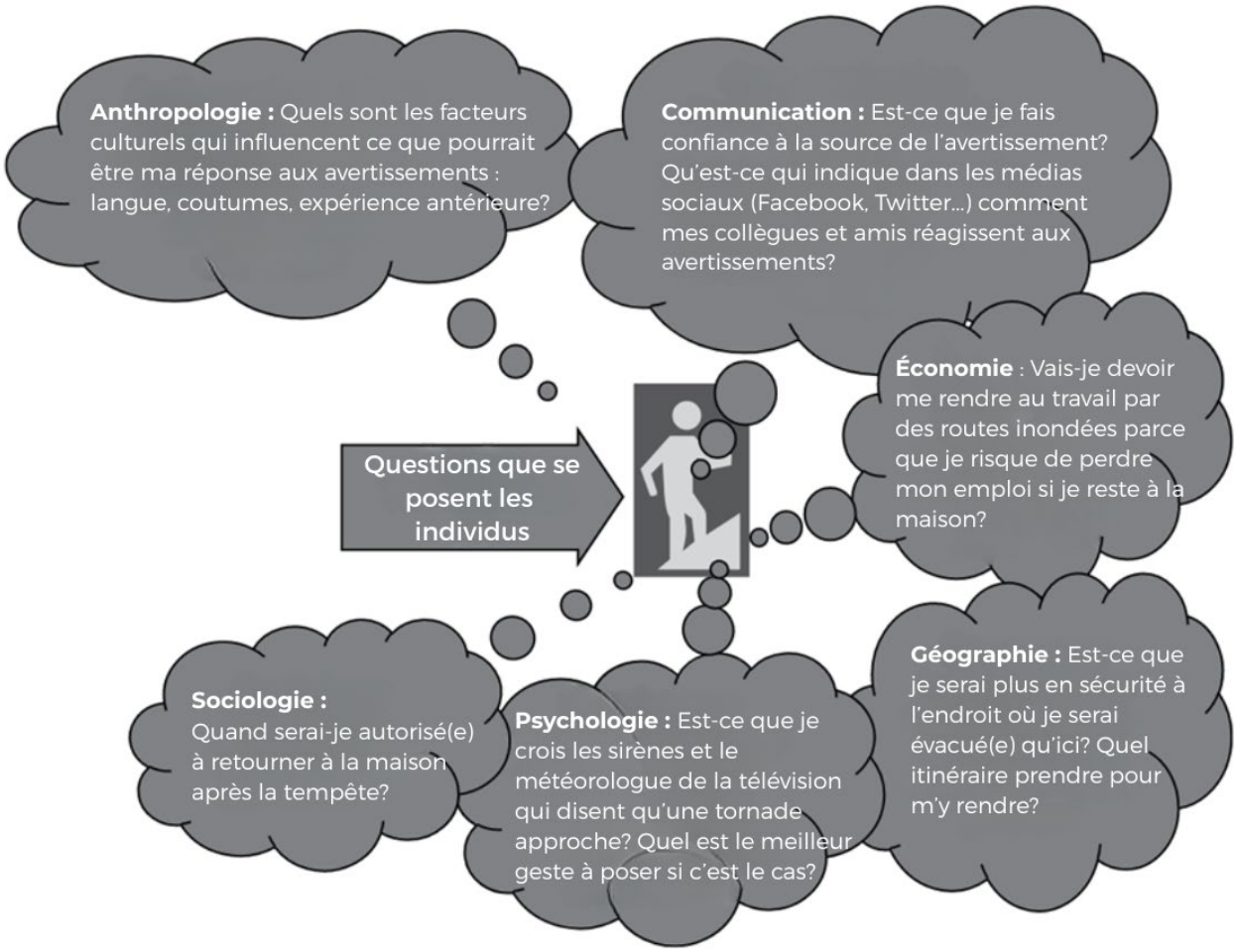
> *Le ciel s'est assombri, puis a viré au vert. Il y a ensuite eu un énorme grondement, et enfin un mur blanc de pluie s'est abattu sur nous. Je ne peux pas croire qu'avec la technologie d'aujourd'hui, je n'aie reçu aucune alerte sur mon téléphone, celui de ma femme ou celui de notre fille.*

Les avancées technologiques pourraient contribuer à maximiser la rapidité des alertes, tout en minimisant les fausses alarmes susceptibles de conduire le public à ignorer les futurs avertissements (Gruntfest, 2018).

Les stratégies de communication peuvent contribuer à maximiser les réactions comportementales aux avertissements

Les publications sur la communication peuvent aider à structurer les messages d'avertissement afin d'en maximiser l'efficacité. Par exemple, Ripberger *et al.* (2022) ont constaté que les affirmations positives (p. ex. il y a 10 % de risques qu'un tel endroit soit frappé par un événement météorologique violent) avaient plus de chances d'inciter les gens à prendre des mesures de protection que les affirmations négatives (p. ex. il y a 90 % de chances qu'un tel endroit ne soit pas touché par un événement météorologique violent). De plus, il semble plus efficace de mettre l'accent sur les avantages des mesures de protection que sur les conséquences possibles de l'inaction (Ripberger *et al.*, 2022).

Il est également essentiel de savoir que de multiples facteurs peuvent provoquer des changements de comportement face à des avertissements de conditions météorologiques extrêmes ou d'inondations, et la reconnaissance de ces facteurs peut aider à maximiser la valeur des communications (figure 4.2). Pour maximiser cette valeur, il ne suffit pas non plus de s'assurer que le public comprend, il faut également collaborer efficacement avec les services de sécurité publique et de gestion des urgences, les administrations locales, les médias et les autres acteurs concernés. Par exemple, les employeurs locaux pourraient être plus utiles que n'importe quelle communication des services météorologiques pour les décisions relatives aux voyages en cas d'avertissement météorologique (Gruntfest, 2018).



©Tous droits réservés. Reproduit avec l'autorisation de : Gruntfest (2018)

Figure 4.2 Diverses questions relevant des sciences sociales influencent la création d'avertissements hydrométéorologiques efficaces, fondés sur l'impact et exploitables.

L'évaluation de l'efficacité des avertissements météorologiques et hydrologiques dépend de la réponse à un large éventail de questions relevant des sciences sociales. Ces questions nécessiteront une expertise dans divers domaines, notamment en sociologie, en psychologie, en géographie, en économie, en communication et en anthropologie.

4.3 Aide à la décision

Outre le défi que représente un environnement de l'information fragmenté, la communication sur les événements météorologiques et hydrologiques est compliquée par la multiplicité des ordres de gouvernement et des fournisseurs de renseignements météorologiques crédibles. La responsabilité en matière de diffusion des avertissements et de fourniture de renseignements sur d'autres événements atmosphériques violents est répartie entre diverses organisations et agences gouvernementales. Par exemple, les informations sur les avalanches et les prévisions météorologiques en montagne sont fournies par Avalanche Canada (un organisme non gouvernemental sans but lucratif), avec l'aide des produits et services du SMC (Avalanche Canada, 2024, 2025). RNCan produit le Système canadien d'information sur les feux de végétation, bien que l'information locale et d'urgence sur les feux de végétation soit du ressort

des provinces et des territoires (GC, 2025d; RNCan, s.d.). Les messages relatifs aux tsunamis pour les régions côtières canadiennes sont diffusés par le Centre national d'alerte aux tsunamis (National Tsunami Warning Center) de la NOAA, en collaboration avec RNCan (RNCan, 2021). Enfin, la responsabilité de la gestion des urgences est partagée entre les gouvernements fédéral, provinciaux et territoriaux, et leurs partenaires, notamment les peuples autochtones, les municipalités et les communautés (SP, 2017).

Il est nécessaire de mettre en place un système coordonné de prévision des inondations, incluant des avertissements d'inondation soudaine

Les inondations sont la catastrophe naturelle la plus fréquente et la plus coûteuse à l'échelle nationale, et elles touchent les communautés urbaines comme isolées toute l'année (SP, 2024). Elles sont notamment causées par les débordements de rivières, les fortes pluies, la fonte des neiges, les embâcles, les ruptures de barrage et les tempêtes côtières. Si certaines parties de grandes villes, comme Toronto, la région du Grand Montréal, Calgary et Vancouver, sont situées dans des zones à haut risque d'inondation, les communautés côtières sont particulièrement vulnérables aux ondes de tempête, qui peuvent endommager l'infrastructure et perturber les chaînes d'approvisionnement. On prévoit que les coûts annuels des inondations augmenteront considérablement sous l'effet des changements climatiques (SP, 2024).

Le SMC est responsable des prévisions météorologiques, des avertissements pluviométriques et de la surveillance des inondations côtières (p. ex. les ondes de tempête). Cependant, la plupart des avertissements de risque d'inondation d'eau douce et les mesures d'atténuation correspondantes sont de compétence provinciale (ECCC, 2025d; RNCan, 2025b). Si certaines provinces, comme l'Ontario et le Québec, disposent de leurs propres programmes de prévision des inondations, toutes n'en ont pas (RNCan, 2025b). Dans le même temps, aucune province n'émet d'avertissement d'inondation *soudaine*, qui est une catégorie particulière d'inondation résultant de précipitations courtes et fortes (CBC News, 2023). De plus, la cartographie des inondations au Canada est un travail de collaboration entre les partenaires fédéraux, provinciaux et territoriaux, municipaux et autochtones, et les rôles fédéraux sont de plus répartis entre RNCan, Sécurité publique Canada, ECCC, Relations Couronne-Autochtones et Affaires du Nord Canada et Services aux Autochtones Canada (RNCan, 2025b). Le Système mondial d'indications relatives aux crues éclair de l'OMM est un exemple de projet pensé pour fournir aux prévisionnistes opérationnels et aux organismes de gestion des catastrophes du monde entier les produits nécessaires pour émettre des avertissements d'inondation provoquée par des chutes de pluie à l'aide de la télédétection et de modèles hydrologiques (OMM, 2025b). Il a été relevé[11] que le caractère distribué des programmes d'avertissement d'inondations et d'intervention était une faiblesse du système canadien de prévisions météorologiques. Les participants à l'atelier ont d'ailleurs souligné la nécessité d'un plus grand leadership de la part du gouvernement fédéral, par une approche collaborative, pour assurer la sécurité du public en cas d'inondation.

Le besoin d'aide à la décision va augmenter en raison des changements climatiques

Les progrès technologiques créeront une demande de leadership dans la gestion responsable des données et de l'information. À ce sujet, les participants à l'atelier ont souligné l'importance d'une source

[11] Par les participants à l'atelier, ainsi que par d'autres personnes, comme les membres de la Société canadienne de météorologie et d'océanographie (SCMO, 2022).

centralisée et faisant autorité de renseignements hydrométéorologiques; cependant, ils ont également reconnu qu'aucun organisme ne pouvait travailler seul. Le SMC assure une surveillance en temps réel qui comprend la collecte de données à l'échelle mondiale, ainsi que des services de modélisation, d'intégration des données et d'interprétation (ECCC, 2023b). Ces tâches font partie de l'infrastructure essentielle qui guide la fabrication des produits et services destinés à un large éventail de clients. Toutefois, comme pour les prévisions et les avertissements environnementaux, l'écosystème est également constitué de nombreux ministères et organismes fédéraux, ainsi que d'ONG et d'entreprises privées. Les données et informations météorologiques et hydriques historiques et actuelles sont essentielles aux modèles de planification et de projection climatiques à long terme (Voosen, 2023). Le SMC joue donc un rôle important dans la facilitation des activités de projection et de planification climatiques, car il est nécessaire de disposer de dépôts de données consolidés, bien documentés et faciles à trouver, ainsi que de collaborer avec des partenaires publics, privés et universitaires. Le SMC pourrait être bien placé pour assurer la liaison entre ces divers acteurs. Cependant, la facilitation, l'encadrement et la coordination exigent des compétences plus diversifiées que celles qui sont généralement réunies au sein des services hydrométéorologiques.

Les progrès technologiques créeront également une demande de leadership en gestion responsable des données et de l'information. Les participants à l'atelier ont fait état d'un autre rôle que le SMC pourrait jouer, soit éduquer le public à l'*attribution des événements extrêmes*, une méthode servant à « quantifier l'incidence des changements climatiques influencés par l'humain sur l'occurrence d'un type (ou d'une catégorie) donné d'événements extrêmes » (Zhang *et al.*, 2019). Cette méthode permet, par exemple, d'établir un lien entre les événements météorologiques extrêmes et les changements climatiques, contribuant ainsi à une prise de décision personnelle et politique éclairée, qui peut avoir des retombées sur la réduction de la vulnérabilité et la résilience climatique. De plus, la compréhension par le public des phénomènes dangereux — tels que le derecho, qui a causé des dégâts considérables en Ontario et au Québec en 2022 — sera de plus en plus cruciale pour les mesures de préparation au niveau sociétal et individuel (Bernstien, 2022b).

4.4 Évaluation continue des produits et services

Dans l'entreprise du SMC (qui comprend également des partenaires comme la Direction générale des sciences et de la technologie d'ECCC, la Direction générale des services ministériels et des finances d'ECCC et Services partagés Canada), l'accessibilité, l'actualité et l'exactitude sont régies par des normes de service météorologique (ECCC, 2025e). Le SMC vérifie ses modèles numériques du temps selon les normes de l'OMM (GC, 2025e) et les évaluations des performances réalisées par des acteurs extérieurs au gouvernement, comme les universitaires, sont également utiles pour cerner les points à améliorer (p. ex. Sills, 2022).

On dispose de peu de renseignements sur la satisfaction des clients à l'égard du Service météorologique du Canada

Pour réussir, les améliorations aux services hydrométéorologiques doivent répondre aux besoins exprimés par les utilisateurs eux-mêmes (OMM, 1999). Comme le souligne Rogers *et al.* (2021), « échanger avec les utilisateurs est essentiel dans tout projet de modernisation. Cependant, c'est un principe qui

manque souvent dans la stratégie de mobilisation [des services météorologiques et hydrologiques nationaux] ». Si le SMC a ouvert en 2022 une plateforme de consultation publique en ligne (*Parlons météo*), cette plateforme est aujourd'hui fermée, et les résultats de la consultation qui y a été menée n'ont pas été publiés (GC, 2024).

Les données disponibles sur la satisfaction des utilisateurs à l'égard des services météorologiques publics du Canada sont relativement rares et sont mélangées à d'autres indicateurs et mesures dans les résultats ministériels d'ECCC. Le *Rapport sur les résultats ministériels 2023-2024* d'Environnement et Changement climatique Canada présente deux indicateurs concernant les prévisions des conditions météorologiques et environnementales (ECCC, 2024d; GC, 2025a). Le premier est un indice de rapidité et de précision des avertissements de temps violent (sur une échelle de 0 à 10) et le second est le pourcentage de partenaires du programme[12] qui ont donné une note de satisfaction à l'égard des services hydrologiques d'ECCC supérieure ou égale à 80 %. ECCC utilise ces indicateurs ensemble pour évaluer si « [l]es Canadiens utilisent des renseignements météorologiques et des informations connexes faisant autorité pour prendre des décisions éclairées pour leur santé et leur sécurité » (ECCC, 2024d). Un seul indicateur mesure les services hydrologiques : le pourcentage de points de données en temps réel téléversés vers une ressource en ligne dans les deux heures, par rapport aux attentes (GC, 2025a). Les services météorologiques sont mesurés au moyen d'un sondage annuel sur la satisfaction des trois principaux clients payants du SMC — le ministère de la Défense nationale, NAV CANADA[13] et la Garde côtière canadienne —, du nombre d'utilisateurs mensuels actifs de l'application MétéoCAN et du nombre de visites sur la page Web https://meteo.gc.ca/index_f.html (GC, 2025a).

Aucun de ces indicateurs ne mesure la satisfaction ou n'évalue les besoins des utilisateurs autres que les partenaires clés du programme, ni n'évalue les paramètres relatifs à la santé et au bien-être. Des échanges réguliers et constructifs avec l'ensemble de la clientèle du SMC sont nécessaires pour comprendre les attentes et les perceptions et s'assurer que les besoins sont satisfaits. Les membres du comité d'experts font d'ailleurs remarquer qu'il existe des outils pour mesurer la satisfaction de l'ensemble de la clientèle — grand public compris — à l'égard des services hydrométéorologiques nationaux, comme l'American Customer Satisfaction Index utilisé par la NOAA (U.S. Department of Commerce, s.d.) ou le Net Promoter Score (Bunker, 2025).

L'établissement de relations et l'échange sont essentiels pour comprendre les besoins

Les participants à l'atelier ont fait état de leurs propres biais et limites dans la détermination des besoins actuels et futurs de la population canadienne. Ils ont fait remarquer que, pour répondre à ces besoins, les services publics d'hydrométéorologie du Canada devaient consulter la population. L'atelier a également permis de constater qu'outre le public, la consultation de trois grands types de clients permettrait d'améliorer la fourniture de produits et de services. Il s'agit des organisations industrielles et gouvernementales qui comptent sur les données brutes et les prévisions du SMC (p. ex. agriculture, énergie, défense), des acteurs du secteur public responsables de la prise de décision quotidienne et de

[12] Les partenaires du programme font ici référence à des organisations et non aux individus utilisateurs.
[13] NAV CANADA est l'organisme privé sans but lucratif qui assure la prestation des services de navigation aérienne au Canada (NAV CANADA, s.d.).

l’émission d’avertissements (p. ex. gestion des urgences, déneigement ou fermeture des écoles) et des organisations qui ont besoin de connaître les tendances à long terme (p. ex. assurances, infrastructures, planification). Comme pour le leadership et la coordination, l’établissement de liens et la mobilisation nécessiteront des compétences et des ressources différentes de celles que l’on retrouve généralement dans les services hydrométéorologiques; l’intégration de l’expertise et des méthodologies des sciences sociales sera essentielle pour garantir que ces activités sont productives et bénéfiques (Gruntfest, 2018).

5 Réflexions du comité d'experts : nécessité d'un leadership partagé

La surveillance et la prévision météorologiques, hydrologiques et climatiques sont parmi les services gouvernementaux les plus déterminants au Canada, car ils permettent de prendre des décisions éclairées dans tous les secteurs, toutes les communautés et toutes les industries. À l'échelle gouvernementale, ces services permettent de renforcer la planification de l'infrastructure et la préparation aux situations d'urgence, et guident les politiques d'adaptation climatique, entre autres fonctions essentielles. De plus, les services hydrométéorologiques jouent un rôle fondamental dans la défense nationale, en particulier en ce qui concerne le Nord et la sécurité des frontières. En plus d'aider à sauver des vies et à protéger les biens dans tout le Canada, ces services ont des retombées économiques considérables pour le secteur privé, car ils permettent de prendre des décisions plus rentables dans tout un éventail d'industries, notamment l'agriculture, la sylviculture, les transports et l'énergie.

Nous sommes à un moment critique pour les services hydrométéorologiques au Canada et dans le monde. Les changements climatiques entraînent une modification radicale des conditions météorologiques, le réchauffement le plus important se produisant dans le Nord, une région de plus en plus importante pour la souveraineté canadienne, où les lacunes actuelles en matière d'observation nuisent à la compréhension et à la satisfaction des besoins des communautés. Mais les changements climatiques provoquent également une augmentation des phénomènes météorologiques extrêmes dans l'ensemble du pays. La hausse de la fréquence des vagues de chaleur, des tempêtes violentes, des feux de végétation, des inondations et des journées de mauvaise qualité de l'air exige du service hydrométéorologique public qu'il évolue pour offrir des services efficaces et équitables à l'ensemble de la population, peu importe la province ou le territoire. Cela est particulièrement vrai pour les personnes les plus susceptibles d'être victimes d'inégalités, notamment les personnes racisées, les peuples autochtones, les personnes âgées dans une société vieillissante, les personnes vivant dans le Nord et les personnes défavorisées sur le plan économique, car ce sont elles qui risquent le plus de subir des préjudices en raison des conditions météorologiques. Dans certains cas, protéger les personnes demande de combler les lacunes, par exemple en veillant à ce que les prévisions hydrologiques et les alertes aux inondations soudaines soient fournies dans toutes les régions, ce qui peut être facilité par des modèles efficaces fondés sur des données. Au Canada, cette efficacité exige l'élimination des cloisonnements dans toutes les composantes du service hydrométéorologique public, que ce soit entre les différents ordres de gouvernement ou au sein des différents regroupements du gouvernement fédéral, comme les fonctions météorologiques et climatiques ainsi que la R-D et de technologie qui les soutiennent.

Alors que les populations sont davantage exposées aux risques découlant des phénomènes météorologiques extrêmes, les services hydrométéorologiques se trouvent au beau milieu de la révolution de l'IA et de la transformation numérique et comptent de plus en plus sur les données et les technologies de l'information, ce qui leur offre des possibilités considérables d'améliorer la qualité des prévisions et des services (Brunet *et al.*, 2023). Les progrès réalisés en IA créent, tout au long de la chaîne de valeur, des

occasions d'améliorer l'efficacité, la précision des prévisions et la qualité des services publics. La révolution de l'IA et la transformation numérique entraînent également une plus grande participation des entreprises privées, qui sont de plus en plus en concurrence avec le secteur public pour la fourniture de prévisions ciblées (Brunet *et al.*, 2023). Cela pourrait permettre d'accroître la diversité des services et des capacités mis à la disposition de la population partout au Canada. Les universités et les ONG jouent également un rôle croissant dans les avancées technologiques, tout en contribuant à la conception de produits météorologiques et climatiques plus intéressants et plus ciblés, qui répondent aux besoins d'une variété utilisateurs. Malgré ces évolutions, il est essentiel que certaines fonctions restent du ressort du service hydrométéorologique public, à savoir la fourniture d'une infrastructure essentielle solide, un système efficace de prévisions et d'avertissements à l'échelle du pays pour assurer la protection contre les dommages d'origine météorologique et le leadership au sein de l'entreprise météorologique nationale et mondiale.

En cette période de transition pour les services hydrométéorologiques publics, la coordination est essentielle, compte tenu notamment des limites des ressources fédérales et de la nécessité de travailler plus efficacement. À l'échelon gouvernemental, il s'agit d'une bonne occasion, car un service hydrométéorologique public solide assure des prévisions et une surveillance précises et actuelles, qui permettent une prise de décision plus efficace et efficiente dans tous les ministères, tout en favorisant la rentabilité des entreprises privées. À l'échelon opérationnel, les limitations budgétaires auxquelles font face les services hydrométéorologiques nécessitent un leadership caractérisé par une planification minutieuse et une collaboration efficace avec les partenaires de l'écosystème et de la communauté météorologique internationale. La Banque mondiale (2019) a constaté que la meilleure façon de garantir que les services météorologiques et hydrologiques nationaux répondent au besoin croissant de prévisions et de modélisation précises est de renforcer la coopération entre les secteurs public, privé et universitaire. Les participants à l'atelier sont d'accord avec cette analyse; ils ont également souligné l'importance et les avantages de la participation du Canada à la communauté météorologique mondiale comme collaborateur, et comme fournisseur et destinataire de données et de connaissances.

Une coopération efficace dans l'ensemble de l'entreprise météorologique nécessite un leadership et une orientation claire afin que l'écosystème hydrométéorologique réponde aux besoins de tous les utilisateurs au Canada. Toutefois, le leadership implique également une collaboration permanente avec les autres ordres de gouvernement, la communauté météorologique internationale, le secteur privé, les ONG et le milieu universitaire, ainsi qu'une consultation active et continue de la population canadienne afin de mieux comprendre ses besoins et leur évolution au fil du temps. En assumant un tel leadership, le SMC peut faire en sorte que l'écosystème hydrométéorologique du Canada suive le rythme des demandes croissantes et devienne un modèle d'inclusivité, d'innovation stratégique et de résilience face aux changements climatiques. Les membres du comité d'experts ont constaté que le SMC était bien placé pour soutenir les priorités actuelles du gouvernement canadien en matière de défense, de sécurité des frontières et de souveraineté dans l'Arctique, ainsi que celles relatives à l'utilisation de l'IA pour renforcer la productivité en mettant l'accent sur les résultats. Il permettra ainsi d'améliorer la sécurité de la population canadienne et d'effectuer des investissements substantiels dans l'infrastructure pour assurer la résilience face aux événements extrêmes.

Références

AAC – Agriculture et Agroalimentaire Canada, 2020. Impacts du changement climatique sur l'agriculture. Adresse : https://agriculture.canada.ca/fr/environnement/changements-climatiques/scenarios-climatiques-lagriculture.

AEC – Agence de l'eau du Canada, 2024. Description de la Loi sur les ressources en eau du Canada. Adresse : https://www.canada.ca/fr/agence-eau-canada/examen-loi-ressources-eau-canada/description-loi-ressources-eau-canada.html (consulté en mai 2025).

AEC – Agence de l'eau du Canada, 2025. Structure organisationnelle de l'Agence de l'eau du Canada. Adresse : https://www.canada.ca/fr/agence-eau-canada/organisation/structure-organisationnelle.html (consulté en juillet 2025).

Albuali, A., R. Srinivasagan, A. Aljughaiman, et F. Alderazi, 2023. « Scalable lightweight IoT-based smart weather measurement system », *Sensors*, vol. 23, nº12, 5569. https://doi.org/10.3390/s23125569.

Allen, A., S. Markou, W. Tebbutt, J. Requeima, W. P. Bruinsma, T. R. Andersson, … R. E. Turner, 2025. « End-to-end data-driven weather prediction », *Nature*, vol. 641, p. 1172-1179. https://doi.org/10.1038/s41586-025-08897-0.

Austen, I., 2024 (6 décembre). « Canada moves to protect Arctic from threats by Russia and China », *The New York Times*. Adresse : https://www.nytimes.com/2024/12/06/world/canada/canada-arctic-russia-china.html.

Avalanche Canada, 2024. *Rapport annuel 2023-24 d'Avalanche Canada*, Revelstoke, BC, Avalanche Canada. https://asset.cloudinary.com/avalanche-ca/6e4bf800f9657e8230a0525c17b4ad84.

Avalanche Canada, 2025. À propos. Adresse : https://avalanche.ca/fr/about (consulté en mai 2025).

BAC – Bureau d'assurance du Canada, 2025. À 8,5 milliards de dollars, l'année 2024 bat le record de l'année la plus coûteuse de l'histoire du Canada en pertes liées à des phénomènes météorologiques extrêmes. Adresse : https://fr.ibc.ca/news-insights/news/2024-shatters-record-for-costliest-year-for-severe-weather-related-losses-in-canadian-history-at-8-5-billion (consulté en mai 2025).

Bauer, P., 2024. « What if? Numerical weather prediction at the crossroads », *Journal of the European Meteorological Society*, vol. 1, p. 100002. https://doi.org/10.1016/j.jemets.2024.100002.

Bauer, P., B. Stevens, et W. Hazeleger, 2021. « A digital twin of Earth for the green transition », *Nature Climate Change*, vol. 11, p. 80-83. https://doi.org/10.1038/s41558-021-00986-y.

Bernstien, J., 2022a (26 mai). « These Ontario residents didn't receive a storm alert — and want to know why », *CBC News*. Adresse : https://www.cbc.ca/news/canada/canada-storm-alert-failed-peterborough-1.6467263 (consulté en mai 2025).

Bernstien, J., 2022b (25 mai). « What's a derecho and why is it so destructive? The science behind this powerful storm », *CBC News*. Adresse : https://www.cbc.ca/news/science/derecho-causes-havoc-in-canada-1.6464409 (consulté en mai 2025).

Bi, K., L. Xie, H. Zhang, X. Chen, X. Gu, et Q. Tian, 2023. « Accurate medium-range global weather forecasting with 3D neural networks », *Nature*, vol. 619, p. 533-538. https://doi.org/10.1038/s41586-023-06185-3.

Blair, N., 2025. Internet and cell phone plans and usage statistics in Canada. Adresse : https://madeinca.ca/internet-and-cell-phone-plans-and-usage-canada-statistics/ (consulté en mai 2025).

Boasiako, B. A., 2025. The NOAA freeze: How U.S. restrictions are chilling Canadian research. Adresse : https://gogeomatics.ca/the-noaa-freeze-how-u-s-restrictions-are-chilling-canadian-research/ (consulté en mai 2025).

Bodnar, C., W. P. Bruinsma, A. Lucic, M. Stanley, A. Allen, J. Brandstetter, … P. Perdikaris, 2025. « A foundation model for the Earth system », *Nature*, vol. 641, p. 1180-1187. https://doi.org/10.1038/s41586-025-09005-y.

Brunet, G., D. B. Parsons, D. Ivanov, B. Lee, P. Bauer, N. B. Bernier, … R. Yu, 2023. « Advancing weather and climate forecasting for our changing world », *Bulletin of the American Meteorological Society*, vol. 104, nº4, p. E909-E927. https://doi.org/10.1175/BAMS-D-21-0262.1.

Bunker, A., 2025. What is NPS? The ultimate guide to boosting your Net Promoter Score. Adresse : https://www.qualtrics.com/experience-management/customer/net-promoter-score/ (consulté en juillet 2025).

CAC – Conseil des académies canadiennes, 2023. *Lignes de faille*, Ottawa, ON, Comité d'experts sur les conséquences socio-économiques de la mésinformation en science et en santé, CAC. https://doi.org/10.60870/k8e3-yg29.

Camps-Valls, G., M.-Á. Fernández-Torres, K.-H. Cohrs, A. Höhl, A. Castelletti, A. Pacal, … T. Williams, 2025. « Artificial intelligence for modeling and understanding extreme weather and climate events », *Nature Communications*, vol. 16, p. 1919. https://doi.org/10.1038/s41467-025-56573-8.

Carter, N. et G. Ljubicic, 2022. *Weather and Society in Inuit Nunangat: User Needs, Service Provider Efforts, and Opportunities for the Future*, Hamilton, ON, StraightUpNorth. https://straightupnorth.ca/wp-content/uploads/2022/10/weather-society_oct2022-report.pdf.

CBC News, 2023 (29 juillet). « Meteorologist says national flash flood warning system would save lives », *CBC News*. Adresse : https://www.cbc.ca/news/canada/nova-scotia/flash-flood-warning-system-1.6922181 (consulté en mai 2025).

CEPMMT – Centre européen pour les prévisions météorologiques à moyen terme, 2024. Anemoi: A new framework for weather forecasting based on machine learning. Adresse : https://www.ecmwf.int/en/about/media-centre/news/2024/anemoi-new-framework-weather-forecasting-based-machine-learning (consulté en mars 2025).

CEPMMT – Centre européen pour les prévisions météorologiques à moyen terme, 2025a. *ECMWF Strategy 2025-2034*, Reading, United Kingdom, CEPMMT. https://www.ecmwf.int/sites/default/files/elibrary/2025/81641-ecmwf-strategy-2025-2034.pdf.

CEPMMT – Centre européen pour les prévisions météorologiques à moyen terme, 2025b. ECMWF's AI forecasts become operational. Adresse : https://www.ecmwf.int/en/about/media-centre/news/2025/ecmwfs-ai-forecasts-become-operational (consulté en avril 2025).

CEPMMT – Centre européen pour les prévisions météorologiques à moyen terme, s.d. The Digital Twins. Adresse : https://destine.ecmwf.int/digital-twins/ (consulté en juin 2025).

CPM – Cabinet du Premier Ministre du Canada, 2025. Lettre de mandat. Adresse : https://www.pm.gc.ca/fr/lettres-de-mandat/2025/05/21/lettre-de-mandat (consulté en juillet 2025).

ECCC – Environnement et Changement climatique Canada, 2016. Législation et gouvernance de l'eau : Une responsabilité partagée. Adresse : https://www.canada.ca/fr/environnement-changement-climatique/services/eau-apercu/legislation-gouvernance/responsabilite-partagee.html (consulté en mai 2025).

ECCC – Environnement et Changement climatique Canada, 2019. Conditions atmosphériques et météorologie - Glossaire. Adresse : https://www.canada.ca/fr/environnement-changement-climatique/services/conditions-meteorologiques-ressources-outils-generaux/glossaire.html (consulté en mai 2025).

ECCC – Environnement et Changement climatique Canada, 2020. Concepts relatifs aux changements climatiques. Adresse : https://www.canada.ca/fr/environnement-changement-climatique/services/changements-climatiques/centre-canadien-services-climatiques/essentiels/concepts.html (consulté en juin 2025).

ECCC – Environnement et Changement climatique Canada, 2021. Du télégraphe aux applications mobiles - 150 ans d'histoire des services météorologiques canadiens. Adresse : https://www.canada.ca/fr/environnement-changement-climatique/services/centre-ressources-meteorologiques/histoire.html (consulté en mai 2025).

ECCC – Environnement et Changement climatique Canada, 2022. Chronologie : Les grandes étapes du Service météorologique du Canada. Adresse : https://www.canada.ca/fr/environnement-changement-climatique/campagnes/smc-150/chronologie.html (consulté en avril 2025).

ECCC – Environnement et Changement climatique Canada, 2023a. Service météorologique du Canada : Aperçu des services de prévisions météorologiques et environnementales pour les Canadiens, Gatineau, QC, Gouvernement du Canada. https://www.canada.ca/fr/environnement-changement-climatique/organisation/transparence/cahiers-transition/sous-ministre-2023/service-meteorologique.html.

ECCC – Environnement et Changement climatique Canada, 2023b. *2023 DM Transition Booklet - Overview of the Department*, Gatineau, QC, Gouvernement du Canada. https://www.canada.ca/content/dam/eccc/documents/pdf/corporate-info/transitional-material/dm-transition-sept-2023/ECCC-1-transition-booklet-sept-2023.pdf.

ECCC – Environnement et Changement climatique Canada, 2024a. Gouvernance de l'eau : La législation et les politiques fédérales. Adresse : https://www.canada.ca/fr/environnement-changement-climatique/services/eau-apercu/legislation-gouvernance/politiques-federales.html (consulté en mai 2025).

ECCC – Environnement et Changement climatique Canada, 2024b. *Stratégie pour les sciences 2024 à 2029 d'Environnement et Changement climatique Canada*, Gatineau, QC, Gouvernement du Canada. https://www.canada.ca/fr/environnement-changement-climatique/services/sciences-technologies/strategie-science/2024-2029.html.

ECCC – Environnement et Changement climatique Canada, 2024c. *Feuille de route d'Environnement et Changement climatique Canada pour l'intégration de l'intelligence artificielle dans les prévisions numériques météorologiques et environnementales*, Gatineau, QC, Gouvernement du Canada. https://publications.gc.ca/site/eng/9.941569/publication.html.

ECCC – Environnement et Changement climatique Canada, 2024d. *Rapport sur les résultats ministériels 2023-2024 d'Environnement et Changement climatique Canada*, Gatineau, QC, Gouvernement du Canada. https://www.canada.ca/fr/environnement-changement-climatique/organisation/transparence/priorites-gestion/rapport-sur-les-resultats-ministeriels/2023-2024.html.

ECCC – Environnement et Changement climatique Canada, 2025a. Information météo. Adresse : https://meteo.gc.ca/index_f.html (consulté en mai 2025).

ECCC – Environnement et Changement climatique Canada, 2025b. Les 10 phénomènes météorologiques les plus marquants au Canada en 2024. Adresse : https://www.canada.ca/fr/environnement-changement-climatique/services/dix-phenomenes-meteorologiques-plus-marquants/2024.html (consulté en mai 2025).

ECCC – Environnement et Changement climatique Canada, 2025c. G*lace de mer au Canada : Indicateurs canadiens de durabilité de l'environnement*, Gatineau, QC, Gouvernement du Canada. https://www.canada.ca/content/dam/eccc/documents/pdf/cesindicators/sea-ice/2025/glace-de-mer-fr.pdf.

ECCC – Environnement et Changement climatique Canada, 2025d. Critères d'alertes météo publiques. Adresse : https://www.canada.ca/fr/environnement-changement-climatique/services/types-previsions-meteorologiques-utilisation/publiques/criteres-alertes-meteo.html (consulté en juin 2025).

ECCC – Environnement et Changement climatique Canada, 2025e. Normes de service du Service météorologique. Adresse : https://www.canada.ca/fr/environnement-changement-climatique/services/normes-service-meteorologique.html (consulté en juillet 2025).

ESNZ – Earth Sciences New Zealand, 2025. About us. Adresse : https://www.earthsciences.nz/about-us (consulté en août 2025).

Freebairn, J. W. et J. W. Zillman, 2002a. « Funding meteorological services », *Meteorological Applications*, vol. 9, p. 45-54. https://doi.org/10.1017/S1350482702001056.

Freebairn, J. W. et J. W. Zillman, 2002b. « Economic benefits of meteorological services », *Meteorological Applications*, vol. 9, p. 33-44. https://doi.org/10.1017/S1350482702001044.

GC – Gouvernement du Canada, 1982. *Loi constitutionnelle de 1982, Annexe B de la Loi de 1982 sur le Canada (R-U),* 1982, c 11, https://laws-lois.justice.gc.ca/PDF/Const_TRD.pdf.

GC – Gouvernement du Canada, 1985. *Loi sur les ressources en eau du Canada*, L.R.C (1985), ch. C-11, https://laws-lois.justice.gc.ca/PDF/C-11.pdf.

GC – Gouvernement du Canada, 2022. Survivre à la chaleur : les répercussions du « dôme de chaleur » dans l'Ouest canadien en 2021. Adresse : https://science.gc.ca/site/science/fr/blogues/science-sante/survivre-chaleur-repercussions-dome-chaleur-dans-louest-canadien-2021 (consulté en juillet 2025).

GC – Gouvernement du Canada, 2024. Participez à la discussion : Parlons météo. Adresse : https://www.canada.ca/fr/services/environnement/meteo/parlons-meteo-consultation.html (consulté en juillet 2025).

GC – Gouvernement du Canada, 2025a. Infographie pour Environnement et Changement climatique Canada [InfoBase du GC]. Adresse : https://www.tbs-sct.canada.ca/ems-sgd/edb-bdd/index-fra.html#infographic/dept/137/results (consulté en avril 2025).

GC – Gouvernement du Canada, 2025b. *Bâtir un Canada fort : un plan audacieux et ambitieux pour notre avenir, May 27, 2025*, Ottawa, ON, GC. https://www.canada.ca/content/dam/pco-bcp/documents/pm/STF2025_FR_Web.pdf.

GC – Gouvernement du Canada, 2025c. Météo au Canada. Adresse : https://meteo.gc.ca/canada_f.html (consulté en mai 2025).

GC – Gouvernement du Canada, 2025d. Feux de forêt. Adresse : https://www.canada.ca/fr/securite-publique-canada/campagnes/feux-de-foret.html (consulté en mai 2025).

GC – Gouvernement du Canada, 2025e. Vérification des modèles numériques du temps (PNT). Adresse : https://meteo.gc.ca/verification/index_f.html (consulté en juillet 2025).

GFDRR – Global Facility for Disaster Reduction and Recovery, 2019. *The Power of Partnership*, Washington, D.C., La Banque mondiale. https://www.gfdrr.org/sites/default/files/publication/The%20Power%20of%20Partnership_WEB.pdf.

GIEC –Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2023. « Summary for Policymakers », dans Core Writing Team, H. Lee, et J. Romero (réd.), *Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Genève, Suisse, GIEC.

Göber, M., I. Christel, D. Hoffmann, C. J. Mooney, L. Rodriguez, N. Becker, … H. Williams, 2023. *Enhancing the value of weather and climate services in society: Identified gaps and needs as outcomes of the first WMO WWRP/SERA Weather and Society Conference*, Boston, MA, American Meteorological Society. https://journals.ametsoc.org/view/journals/bams/104/3/BAMS-D-22-0199.1.xml.

Golding, B., 2022. *Towards the « Perfect » Weather Warning*, Cham, Suisse, Springer Nature Switzerland AG.

Gouv. de la N.-É. – Gouvernement de la Nouvelle-Écosse, s.d. Surface water: Monitoring and reporting. Adresse : https://novascotia.ca/nse/surface.water/surfacewater.monitoring.reporting.asp (consulté en juillet 2025).

Gouv. de l'Ont. – Gouvernement de l'Ontario, 2024. Programme de prévision des crues et d'avertissement du public. Adresse : https://www.lioapplications.lrc.gov.on.ca/webapps/swmc/flood-forecasting-and-warning-program/fr/ (consulté en mai 2025).

Gouv. de l'Ont. – Gouvernement de l'Ontario, 2025. Les offices de protection de la nature. Adresse : https://www.ontario.ca/fr/page/les-offices-de-protection-de-la-nature (consulté en juillet 2025).

Gouv. du Qc – Gouvernement du Québec, 2023. Vigilance — Surveillance de la crue des eaux. Adresse : https://vigilance.geo.msp.gouv.qc.ca/ (consulté en juillet 2025).

Gruber, N. et A. Prein, 2025 (27 mai). « Is AI the future of weather and climate modelling? », *ETH Zurich*. Adresse : https://ethz.ch/en/news-and-events/eth-news/news/2025/05/is-ai-the-future-of-weather-and-climate-modelling.html (consulté en juin 2025).

Gruntfest, E., 2018. *Weather and Society: Toward Integrated Approaches*, Hoboken, NJ, John Wiley & Sons.

Han, T., S. Guo, F. Ling, K. Chen, J. Gong, J. Luo, … L. Bai, 2024. « FengWu-GHR: Learning the kilometer-scale medium-range global weather forecasting », *arXiv, Préimpression.* http://arxiv.org/abs/2402.00059.

Hancock, B., W. B. Andersen, F. Calmels, J. Collier, A. Cunsolo, J. Dawson, … C. Wong, 2022. « Northern Canada », dans Warren, F.J., N. Lulham, D.L. Dupuis, et D.S. Lemmen (réd.), *Canada in a Changing Climate: Regional Perspectives Report*. Ottawa, ON, Gouvernement du Canada.

Hansen, J., R. Ruedy, M. Sato, et K. Lo, 2010. « Global surface temperature change », *Reviews of Geophysics*, vol. 48, p. RG4004. https://doi.org/10.1029/2010RG000345.

Hua, Z., G. Hakim, et A. Anderson-Frey, 2025. « Performance of the Pangu-Weather deep learning model in forecasting tornadic environments », *Geophysical Research Letters*, vol. 52, p. e2024GL109611. https://doi.org/10.1029/2024GL109611.

IOOS News/Ocean Enterprise, 2024. NOS, Canada's Ocean Supercluster enter into Ocean Enterprise MOU. Adresse : https://ioos.noaa.gov/news/nos-canadas-ocean-supercluster-enter-into-ocean-enterprise-mou/ (consulté en juin 2025).

Joe, P., S. Melo, W. R. Burrows, B. Casati, R. W. Crawford, A. Deghan, … K. Strawbridge, 2020. « The Canadian Arctic Weather Science Project: Introduction to the Iqaluit site », *Bulletin of the American Meteorological Society*, vol. 101, nº2, p. E109-E128. https://doi.org/10.1175/BAMS-D-18-0291.1.

Jung, T., N. D. Gordon, P. Bauer, D. H. Bromwich, M. Chevallier, J. J. Day, … Q. Yang, 2016. « Advancing polar prediction capabilities on daily to seasonal time scales », *Bulletin of the American Meteorological Society*, vol. 97, nº9, p. 1631-1647. https://doi.org/10.1175/BAMS-D-14-00246.1.

Lam, R., A. Sanchez-Gonzalez, M. Willson, P. Wirnsberger, M. Fortunato, F. Alet, … P. Battaglia, 2023. « GraphCast: Learning skillful medium-range global weather forecasting », *arXiv, Préimpression.* http://arxiv.org/abs/2212.12794.

Lang, S., M. Alexe, M. Chantry, J. Dramsch, F. Pinault, B. Raoult, … F. Rabier, 2024. « AIFS - CEPMMT's data-driven forecasting system », *arXiv, Préimpression.* http://arxiv.org/abs/2406.01465.

Lazo, J. K., 2024a (16 décembre). « How does the U.S. public get its weather forecasts? », *The Front Page | The American Meteorological Society*. Adresse : https://blog.ametsoc.org/2024/12/16/how-does-the-u-s-public-get-its-weather-forecasts/ (consulté en juin 2025).

Lazo, J. K., 2024b. *Communicating Forecast Uncertainty (CoFU) 2: Replication and Extension of a Survey of the US Public's Sources, Perceptions, Uses, and Values for Weather Information*, Washington, D.C., American Meteorological Society. https://www.ametsoc.org/index.cfm/ams/policy/studies-analysis/communicating-forecast-uncertainty-cofu-2/.

Lemyre, L., M. Beaudry, et A. G. Yong, 2017. « Psychosocial aspects of risk perception and communication », dans Motulsky, B., J.B. Guindon, et F. Tanguay-Hébert (réd.), *Weather and Climate Risk Communication*. Québec, QC, Presses de l'Université du Québec.

Lewis, J. I., A. Toney, et X. Shi, 2024. « Climate change and artificial intelligence: Assessing the global research landscape », *Discover Artificial Intelligence*, vol. 4, p. 64. https://doi.org/10.1007/s44163-024-00170-z.

Mariani, Z., L. Huang, R. Crawford, J.-P. Blanchet, S. Hicks-Jalali, E. Mekis, … K. Strawbridge, 2022. « Enhanced automated meteorological observations at the Canadian Arctic Weather Science (CAWS) supersites », *Earth System Science Data*, vol. 14, nº11, p. 4995-5017. https://doi.org/10.5194/essd-14-4995-2022.

Melo, S., M. Chaput-Dyer, et P. Joe, 2023 (3 août). « The evolution of Canada's weather enterprise: 150 years anniversary symposium », *CMOS BULLETIN SCMO*. Adresse : https://bulletin.cmos.ca/the-evolution-of-canadas-weather-enterprise-150-years-anniversary-symposium/ (consulté en février 2025).

Mitra, A. K., 2023. « Use of remote sensing in weather and climate forecasts », dans Gahalaut, V.K. et M. Rajeevan (réd.), *Social and Economic Impact of Earth Sciences*. Singapour, Springer Singapour.

Morss, R. E., K. J. Mulder, J. K. Lazo, et J. L. Demuth, 2016. « How do people perceive, understand, and anticipate responding to flash flood risks and warnings? Results from a public survey in Boulder, Colorado, É.-U. », *Journal of Hydrology*, vol. 541, p. 649-664. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.11.047.

Mulligan, S. J., 2024. « Google DeepMind's new AI model is the best yet at weather forecasting », *MIT Technology Review*. Adresse : https://www.technologyreview.com/2024/12/04/1107892/google-deepminds-new-ai-model-is-the-best-yet-at-weather-forecasting/ (consulté en février 2025).

NASEM – National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, 2018. *Integrating Social and Behavioral Sciences Within the Weather Enterprise*, Washington, D.C., The National Academies Press. https://nap.nationalacademies.org/catalog/24865/integrating-social-and-behavioral-sciences-within-the-weather-enterprise.

NAV CANADA, s.d. Ce que nous faisons. Adresse : https://www.navcanada.ca/fr/la-societe/a-propos-de-nous/ce-que-nous-faisons-.aspx (consulté en juillet 2025).

NIWA – National Institute of Water and Atmospheric Research, s.d.-a. Forecasting impacts from extreme weather. Adresse : https://niwa.co.nz/climate-and-weather/forecasting-impacts-extreme-weather (consulté en avril 2025).

NIWA – National Institute of Water and Atmospheric Research, s.d.-b. High-resolution climate projections using physics and AI. Adresse : https://niwa.co.nz/climate-and-weather/high-resolution-climate-projections-using-physics-and-ai (consulté en avril 2025).

NIWA – National Institute of Water and Atmospheric Research, s.d.-c. High resolution drought forecasting. Adresse : https://niwa.co.nz/climate-and-weather/high-resolution-drought-forecasting (consulté en avril 2025).

NOAA – National Oceanic and Atmospheric Administration, s.d. Satellites. Adresse : https://www.weather.gov/about/satellites (consulté en mai 2025).

NTP – Northern Tornadoes Project, 2024. Some updates on the 2022 ON-QC derecho. Adresse : https://www.uwo.ca/ntp/blog/2024/some_updates_on_the_2022_onqc_derecho.html (consulté en juin 2025).

NWS – National Weather Service, 2017. *National Weather Service Enterprise Analysis Report*, Sterling, VA, NWS. https://www.weather.gov/media/about/Final_NWS%20Enterprise%20Analysis%20Report_June%202017.pdf.

OMM – Organisation météorologique mondiale, 1999. *Guide des pratiques concernant les services météorologiques destinés au public*, Genève, Suisse, OMM. https://digitallibrary.un.org/record/241081?ln=en&v=pdf.

OMM – Organisation météorologique mondiale, 2015. *Rôle et fonctionnement des services météorologiques et hydrologiques nationaux*, Genève, Suisse, OMM. https://library.wmo.int/records/item/54344-role-et-fonctionnement-des-services-meteorologiques-et-hydrologiques-nationaux?language_id=13&back=&offset=.

OMM – Organisation météorologique mondiale, 2025a. WMO Unified Data Policy Resolution (Res.1). Adresse : https://wmo.int/wmo-unified-data-policy-resolution-res1 (consulté en juin 2025).

OMM – Organisation météorologique mondiale, 2025b. Flash Flood Guidance System with Global Coverage (FFGS). Adresse : https://wmo.int/projects/ffgs (consulté en juillet 2025).

SP – Sécurité publique Canada, 2017. *Un cadre de sécurité civile pour le Canada - Troisième édition*, Ottawa, ON, Gouvernement du Canada. https://www.securitepublique.gc.ca/cnt/rsrcs/pblctns/2017-mrgnc-mngmnt-frmwrk/index-fr.aspx.

SP – Sécurité publique Canada, 2023. Gestion des urgences. Adresse : https://www.securitepublique.gc.ca/cnt/trnsprnc/brfng-mtrls/trnstn-bndrs/20231123/02-fr.aspx (consulté en mai 2025).

SP – Sécurité publique Canada, 2024. Document d'information : Inondations. Adresse : https://www.securitepublique.gc.ca/cnt/mrgnc-mngmnt/ntnl-rsk-prfl/bckgrndr-flds-fr.aspx (consulté en mai 2025).

Quick, M., 2024. *Les répercussions des événements de chaleur extrême sur la mortalité dont les causes sont d'origine non accidentelle, cardiovasculaire et respiratoire : Une analyse de 12 villes canadiennes, de 2000 à 2020*, Ottawa, ON, Statistique Canada. https://www150.statcan.gc.ca/n1/pub/82-003-x/2024006/article/00001-fra.htm.

Richardson, G., A. Knudby, M. A. Crowley, M. Sawada, et W. Chen, 2025. « Machine learning approaches to Landsat change detection analysis », *Canadian Journal of Remote Sensing*, vol. 51, nº1, p. 2448169. https://doi.org/10.1080/07038992.2024.2448169.

Ripberger, J., A. Bell, A. Fox, A. Forney, W. Livingston, C. Gaddie, … H. Jenkins-Smith, 2022. « Communicating probability information in weather forecasts: Findings and recommendations from a living systematic review of the research literature », *Weather, Climate, and Society*, vol. 14, nº2, p. 481-498. https://doi.org/10.1175/WCAS-D-21-0034.1.

RNCan – Ressources naturelles Canada, 2020. Modélisation du climat à l'échelle régionale, nationale et internationale. Adresse : https://cfs.nrcan.gc.ca/projets/3 (consulté en mai 2025).

RNCan – Ressources naturelles Canada, 2021. Information sur les tsunamis. Adresse : https://www.earthquakescanada.nrcan.gc.ca/info-gen/tsunami-fr.php (consulté en mai 2025).

RNCan – Ressources naturelles Canada, 2025a. Satellites et capteurs météorologiques. Adresse : https://ressources-naturelles.canada.ca/carte-outils-publications/imagerie-satellitaire-donnees-elevation-photos-aeriennes/satellites-capteurs-meteorologiques?_gl=1*jyaa5u*_ga*NTAzOTY1MTkyLjE3NDU0MTUzMTc.*_ga_C2N57Y7DX5*czE3NTQwODQxNzQkbzMkZzAkdDE3NTQwODQxNzQkajYwJGwwJGgw (consulté en mai 2025).

RNCan – Ressources naturelles Canada, 2025b. Les rôles et les ressources pour la cartographie des zones inondables. Adresse : https://ressources-naturelles.canada.ca/science-donnees/science-recherche/dangers-naturels/cartographie-inondations/roles-ressources-cartographie-zones-inondables?_gl=1*1w87aey*_ga*NTAzOTY1MTkyLjE3NDU0MTUzMTc.*_ga_C2N57Y7DX5*czE3NTQwODQxNzQkbzMkZzEkdDE3NTQwODQyNDgkajYwJGwwJGgw (consulté en mai 2025).

RNCan – Ressources naturelles Canada, s.d. Système canadien d'information sur les feux de végétation. Adresse : https://cwfis.cfs.nrcan.gc.ca/accueil (consulté en mai 2025).

RNZ News, 2024. NIWA to take over MetService in forecaster merger. Adresse : https://web.archive.org/web/20241009214030/https://www.rnz.co.nz/news/political/529112/niwa-to-take-over-metservice-in-forecaster-merger (consulté en avril 2025).

Rogers, D. P., V. Tsirkunov, A.-M. Bogdanova, H. Kootval, et M. Suwa, 2021. *Innovation in Public and Private Weather Services*, Washington, D.C., Global Facility for Disaster Reduction and Recovery, La Banque mondiale. https://documents.worldbank.org/en/publication/documents-reports/documentdetail/756191614351406589/innovation-in-public-and-private-weather-services.

Sanders, R., 2023 (19 février). « Weather stations are sparse in Labrador. The gaps can be a matter of 'life or death' », *CBC Radio*. Adresse : https://www.cbc.ca/radio/whatonearth/weather-data-gaps-life-or-death-1.6751883 (consulté en juillet 2025).

SC – Santé Canada, 2022. Personnes les plus affectées par les changements climatiques. Adresse : https://www.canada.ca/fr/sante-canada/services/changements-climatiques-sante/population-risque.html (consulté en mai 2025).

Schmid, F., Y. Wang, et A. Harou, 2019. « Directives sur les techniques de prévision immédiate – Résumé ». *Organisation météorologique mondiale* (27 novembre). Adresse :

https://wmo.int/fr/media/magazine-article/directives-sur-les-techniques-de-prevision-immediate-resume (consulté en juillet 2025).

SCMO – Société canadienne de météorologie et d'océanographie, 2022. Comment les Canadiens peuvent-ils être protégés contre des phénomènes météorologiques extrêmes qu'ils n'ont jamais connus auparavant? Adresse : https://www.cmos.ca/site/publications/pos_statements/extreme_weather?language=fr_FR& (consulté en mai 2025).

Seitter, K. L., E. Tipton, et P. A. T. Higgins, 2025. *Without a Strong Weather Enterprise, America's Economic Leadership Is at Risk*, Washington, D.C., The American Meteorological Society. https://www.ametsoc.org/sites/ams/assets/File/policy/Wx_Special_Report_2025.pdf.

Selvam, A. P. et S. N. S. Al-Humairi, 2023. « The impact of IoT and sensor integration on real-time weather monitoring systems: A systematic review », *Research Square, Préimpression.* https://www.researchsquare.com/article/rs-3579172/v1.

Shrader, J. G., L. Bakkensen, et D. Lemoine, 2023. *Fatal Errors: The Mortality Value of Accurate Weather Forecasts*, Cambridge, MA, National Bureau of Economic Research. http://www.nber.org/papers/w31361.

Sills, D., 2022. NTP Tornado Warning Performance Assessment. Adresse : https://www.uwo.ca/projects/ntp//blog/2022/ntp_national_tornado_warning_performance_assessment.html (consulté en juillet 2025).

Silver, A., N. Cohen, T. Wilson, et B. Behlendorf, 2025. *Exploring the interplay between threat appraisal, efficacy appraisal, and behavior change during a « once-in-a-lifetime » storm*, communication présentée dans le cadre du 22e Congrès international de l'ISCRAM, Halifax, N.-É.

Silver, A., J. Finnis, B. Behlendorf, et E. Reid-Musson, 2022. « End-user satisfaction with Hurricane Dorian information in Atlantic Canada », *Meteorological Applications*, vol. 29, no3, p. e2078. https://doi.org/10.1002/met.2078.

Soliman, A., 2024. « DeepMind AI weather forecaster beats world-class system », *Nature*, vol. 636, p. 282-283. https://doi.org/10.1038/d41586-024-03957-3.

SP – Sécurité publique Canada, 2017. *Un cadre de sécurité civile pour le Canada - Troisième édition*, Ottawa, ON, Gouvernement du Canada. https://www.securitepublique.gc.ca/cnt/rsrcs/pblctns/2017-mrgnc-mngmnt-frmwrk/index-fr.aspx.

SP – Sécurité publique Canada, 2023. Gestion des urgences. Adresse : https://www.securitepublique.gc.ca/cnt/trnsprnc/brfng-mtrls/trnstn-bndrs/20231123/02-fr.aspx (consulté en mai 2025).

SP – Sécurité publique Canada, 2024. Document d'information : Inondations. Adresse : https://www.securitepublique.gc.ca/cnt/mrgnc-mngmnt/ntnl-rsk-prfl/bckgrndr-flds-fr.aspx (consulté en mai 2025).

Thorpe, A. et D. P. Rogers, 2021. *Creating Value in the Global Weather Enterprise*, Washington, D.C., Global Facility for Disaster Reduction and Recovery, La Banque mondiale. https://zerogeoengineering.com/wp-content/uploads/2025/05/Creating-Value-in-the-Global-Weather-Enterprise.pdf.

U.S. Bureau of Labor Statistics, s.d. American Time Use Survey. Adresse : https://www.bls.gov/tus/ (consulté en avril 2025).

U.S. Department of Commerce, s.d. NOAA - Customer satisfaction with NWS services, as measured by the American Customer Satisfaction Index. Adresse : https://performance.commerce.gov/KPI-NOAA/NOAA-Customer-satisfaction-with-NWS-services-as-me/rkvb-9sbv (consulté en juillet 2025).

Voosen, P., 2023. « Canadians left in the cold by dwindling weather data », *Science*, vol. 379, nº6636, p. 968-969. https://doi.org/10.1126/science.adh4962.

Way, R., 2022. « Climate services in Canada's North: Are we doing enough? », *YouTube*. Adresse : https://www.youtube.com/watch?v=AsLV6he6gMs (consulté en juillet 2025).

Wiedinmyer, C. et K. Bowen, 2025 (11 février). « NOAA's vast public weather data powers the local forecasts on your phone and TV – a private company alone couldn't match it », *The Conversation*. Adresse : http://theconversation.com/noaas-vast-public-weather-data-powers-the-local-forecasts-on-your-phone-and-tv-a-private-company-alone-couldnt-match-it-249451 (consulté en mai 2025).

Wong, W., 2024 (15 novembre). « A meteorological arms race is shaping up about privatizing the weather », *NPR*. Adresse : https://www.npr.org/2024/11/15/nx-s1-5188571/a-meteorological-arms-race-is-shaping-up-about-privatizing-the-weather (consulté en mai 2025).

Zhang, X., G. Flato, M. Kirchmeier-Young, L. Vincent, H. Wan, X. Wang, … V. Kharin, 2019. « Les changements de température et de précipitations au Canada », dans Bush, E. et D.S. Lemmen (réd.), *Rapport sur le climat changeant du Canada*. Ottawa, ON, Gouvernement du Canada.

Des données probantes pour le bien public.

Le Conseil des académies canadiennes (CAC) est une voix de confiance à l'intersection de la recherche, des enjeux sociaux et des politiques publiques. Il rassemble l'expertise et évalue les connaissances afin de faire progresser la prise de décision fondée sur des données probantes au Canada comme à l'étranger.

Grâce à des évaluations multidisciplinaires menées par des experts s'appuyant sur des données probantes en provenance de différents secteurs et communautés, le CAC apporte clarté, rigueur et équilibre dans la compréhension de sujets de politiques complexes dans divers domaines comme la santé, l'environnement, la sécurité publique, l'innovation et l'économie.

Organisation à but non lucratif, le CAC est guidé par les principes d'indépendance, d'excellence et d'intégrité dans tous ses travaux, offrant ainsi une valeur constante à ceux qui utilisent ses rapports pour éclairer les politiques et le débat public.

www.rapports-cac.ca

CCA | CAC