

Numéro 2 – février 2025



LE JOURNAL ÉTUDIANT DES SCIENCES DE L'ATMOSPHÈRE

2024 était (pré) historique

PRÉVISIONS



**LIQUID CORE PELLETS AU
COURS D'UNE TEMPÊTE
HIVERNALE**

P3



**CULTURE ET MÉDIA:
SNOWPIERCER**

P4



**2024 ET SES FOLIES
MÉTÉOROLOGIQUES ET
CLIMATIQUES**

P5



**LE DÉVELOPPEMENT DE LA
PRÉVISION
MÉTÉOROLOGIQUE**

P10



**PLEIN FEU SUR LES RISQUES
MÉTÉOROLOGIQUES**

P12



**COMMENT PERFECTIONNER
NOS MODÈLES
CLIMATIQUES?**

P14



**COMMENT PRÉPARER UN BON
DOSSIER POUR UN STAGE EN
RECHERCHE?**

P16

L'atmosphère au souffle chaud

L'atmosphère est notre précieuse gardienne. Les vents y dansent, les nuages se bousculent, et les saisons tracent leur constante ronde, rythmées par le temps et la météo. Mais ces dernières décennies, le rythme s'emballé. Les changements, autrefois très lents, se produisent aujourd'hui trop rapidement : le climat change.

Notre planète a chaud et 2024 nous met en garde. Les phénomènes météorologiques sont devenus plus extrêmes, plus fréquents, très coûteux au Canada et ailleurs dans le monde. Prévoir la prochaine vague de chaleur ou la prochaine tempête ne suffit plus : il est devenu essentiel de comprendre quels seront les impacts de ces phénomènes dans le futur pour mieux s'y adapter. Malgré les progrès scientifiques réalisés, certains processus atmosphériques restent encore complexes à représenter dans les modèles.

C'est ici que la recherche joue un rôle clé, à travers les travaux de scientifiques chevronnés, mais aussi d'étudiants, qui, par leurs stages et projets, viennent également apporter leur contribution pour faire avancer la science.

Cette deuxième édition du Courrier Atmosphérique Participatif Étudiant vous invite à découvrir les passionnants textes partagés par Clémence, Elise, Ann-Sophie, Florian et Kim, que nous remercions.

- Florian Knoll

Caractéristiques de liquid core pellets observés en surface au cours d'une tempête hivernale

Ann-Sophie Hoff

En hiver, il peut être difficile de prévoir avec précision le type et la quantité de précipitations puisque celles-ci dépendent fortement des conditions atmosphériques et des processus microphysiques. La pluie verglaçante et le grésil sont deux types de précipitation hivernale qui se forment lorsqu'une couche de fonte ($T > 0^{\circ}\text{C}$) est située au-dessus d'une couche de regel ($T < 0^{\circ}\text{C}$) (e.g. Stewart et al., 2015). Dans la couche de regel, des précipitations peuvent être observées sous forme liquide ou mixte. Lorsque celles-ci subissent un regel partiel avant d'atteindre la surface, des liquid core pellets peuvent se former (ex. Thériault et Stewart, 2010).

Les liquid core pellets sont des particules composées d'une coquille de glace entourant un noyau d'eau liquide (Fig. 1). Si ce type de précipitation se fracture au contact de la surface, le liquide situé au centre de la particule peut contribuer à la formation d'une couche de glace au sol.

Au cours de l'été 2024, j'ai effectué un stage en recherche sur les liquid core pellets. L'objectif de ce stage était de caractériser des liquid core pellets observés en surface au cours d'une tempête hivernale. Pour ce faire, des données provenant d'une tempête ayant eu lieu à Sorel les 22 et 23 février 2022 ont été utilisées : radiosondages, observations manuelles et macrophotographies. Ces données proviennent de la campagne de terrain Winter Precipitation Type Research Multiscale Experiment (WINTRE-MIX) (Minder et al., 2023).

Plusieurs étapes ont été menées afin d'atteindre l'objectif de ce projet de recherche. Tout d'abord, des liquid core pellets ont été identifiés dans les macrophotographies. Leur diamètre et l'épaisseur de leur coquille de glace ont ensuite été mesurés manuellement à l'aide d'une application pour l'analyse d'images scientifiques (Schindelin et al., 2012). Des calculs théoriques ont également été effectués en utilisant l'équation du temps de gel (Pruppacher et Klett, 2010, p.678). Ces calculs ont permis d'obtenir l'épaisseur de la coquille de glace se formant lors du gel de gouttes d'eau surfondues.

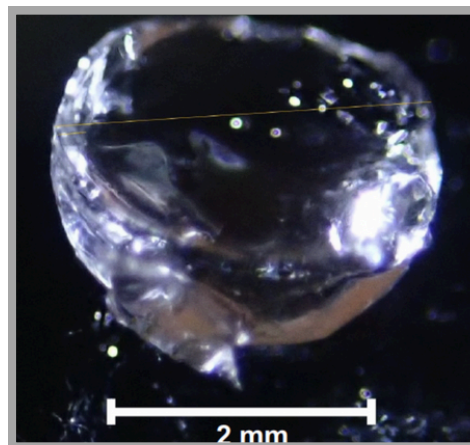


Fig. 1. Macrophotographie d'un possible liquid core pellet identifié au cours d'une tempête hivernale.

Ils ont été menés à l'aide des radiosondages provenant de la tempête hivernale et en amorçant le gel de gouttes d'eau à différentes hauteurs au-dessus de la surface.

Au cours de la tempête ayant eu lieu à Sorel les 22 et 23 février 2022, l'épaisseur de la couche de regel varie entre 448 m et 599 m, ce qui est inférieur à la climatologie de 770 m observée pour les précipitations mixtes (Stewart et al., 2015). Environ 175 liquid core pellets ont été identifiés dans les macrophotographies. Leur diamètre moyen est de 0.8 mm et varie entre 0.31 mm et 2.88 mm. Selon les épaisseurs des coquilles de glace mesurées sur les liquid core pellets, l'eau disponible pour contribuer à la formation de glace en surface correspond, en moyenne, à 48% du volume des particules.

Caractéristiques de liquid core pellets observés en surface au cours d'une tempête hivernale

Ann-Sophie Hoff

Les calculs théoriques basés sur l'équation du temps de gel ont permis d'obtenir des résultats qui suggèrent que l'initiation du gel de gouttes d'eau surfondues dans la couche de regel s'est effectuée à des hauteurs inférieures à 100 m au-dessus de la surface. Ces résultats soulignent l'importance de mesurer et modéliser avec précision la couche de regel et les paramètres microphysiques au cours d'une tempête hivernale afin d'améliorer la représentation des précipitations hivernales dans les modèles atmosphériques.

Ce stage m'a permis de m'initier au domaine de la recherche et d'approfondir mes connaissances sur les précipitations hivernales. Je tiens à remercier la professeure Julie Thériault et son étudiante au doctorat Margaux Girouard pour leur aide et leur soutien au cours de mon stage.

Les bons coups des étudiants !

Félicitations à Kim Lahaie pour l'obtention d'une bourse du Fonds pour les femmes en sciences!

Culture et médias

Matisse Larocque



► SNOWPIERCER (vf : LE TRANSPERCENEIGE)

Une excellente série, qui m'a coûté quelques heures de sommeil...

En tentant de sauver la Terre d'un réchauffement imminent, des scientifiques créent un composé censé refroidir l'atmosphère. L'efficacité de celui-ci est tel que la planète gèle entièrement, à des températures extrêmement froides. En amont de ce cataclysme, un rail planétaire est construit pour accueillir un train titanesque. Conçu pour parcourir éternellement le globe, avec un cycle de ressources calculé avec une précision infinie, le train porte à son bord les derniers humains.

Luttés pour les ressources, luttés de classes sociales, recherche de lieux propices à la vie, intrigues amoureuses, beaucoup de science, une ambiguïté bien mesurée sur le côté "bon" et "mauvais" des protagonistes, un univers singulier sans faille, la série «Snowpiercer» a tout pour plaire.

2024 et ses folies météorologiques et climatiques

Florian Knoll

Selon l'organisation météorologique mondiale, à l'échelle du globe, et par rapport à l'ère préindustrielle, 2024 présente une anomalie record de température avoisinant $+1,55\text{ °C}$ ($\pm 0,13\text{ °C}$). À l'échelle régionale, les anomalies les plus importantes en 2024 sur le globe ont été observées dans le nord du Québec (Copernicus, 2025) : à Montréal, par rapport à la période préindustrielle, l'anomalie annuelle de température est d'environ $+3,9\text{ °C}$ (voir figure 1). À l'échelle du globe, la quantité totale d'eau dans l'atmosphère a atteint des niveaux inédits, tout comme les concentrations de dioxyde de carbone, qui ont dépassé des seuils inégalés depuis au moins 2 millions d'années (Copernicus, 2025).

Aux États-Unis, on a enregistré 27 catastrophes d'origine météorologique, chacune ayant causé plus d'un milliard de dollars de dégâts, plaçant 2024 derrière les 28 événements de 2023, qui détient actuellement le record (NOAA, 2025). Au Canada, 2024 a aussi été marquée par des intempéries destructrices et est devenue l'année la plus coûteuse de l'histoire du pays avec des pertes estimées à 8,5 milliards de dollars, selon CatIQ (Portail de l'assurance, 2025). Ce montant dépasse largement le précédent record de 2016, qui s'élevait à 6,2 milliards de dollars.

De plus, au cours des neuf dernières années, les coûts liés aux intempéries au Canada ont dépassé 30 milliards de dollars, soit davantage que les pertes enregistrées sur les 22 années précédentes, entre 1994 et 2015 (IBC, 2024 et 2025). Sur ces 8,5 milliards de dollars dépensés, quatre catastrophes majeures ont causé à elles seules environ 7,7 milliards de dollars de dommages entre la mi-juillet et la mi-août (Portail assurance, 2025) :

- Inondations à Toronto le 16 juillet (990 millions CAD)
- Feux de forêt à Jasper du 22 juillet au 17 août (1,1 milliard CAD)
- Orage de grêle à Calgary le 5 août 2024 (3 milliards CAD)
- Inondations dans la région métropolitaine de Montréal dues à la suite de l'extratropicalisation de l'ouragan Debby

- (suite) (2,7 milliards CAD : événement devenant le plus coûteux de l'histoire du Québec, relayant en seconde position l'épisode de pluies verglaçantes de 1998).

À Montréal, en s'intéressant aux données des stations météorologiques de McGill (1872-1993) et Mc Tavish (1994-2025), l'anomalie thermique annuelle de 2024 cache évidemment des disparités mensuelles (voir figure 2). Les trois premiers mois de l'année avaient été les plus excédentaires, avec un mois de février particulièrement « doux ». Les mois d'août et de décembre ont été les plus normaux.

À l'échelle journalière, 2024 se démarque par la récurrence de jours présentant une anomalie positive par rapport à la normale climatique la plus récente (1991-2020). Pas moins de 238 jours ont été au-dessus des normales contre 126 jours en dessous (voir figure 3).

Certains événements sur le plan thermique ressortent du lot :

- Les épisodes intenses de douceur en février (vers le 10) et mars (vers le 5)
- Le pic de chaleur du 19 juin, qui est aussi la journée la plus chaude de l'année à Montréal. À la station de Mc Tavish, une température minimale de $25,4\text{ °C}$ (record mensuel) et une température maximale de $33,1\text{ °C}$ (record journalier) avaient été observées

- Plus récemment, la soirée d'Halloween s'est faite sous des températures inédites, après une journée déjà impressionnante avec une température maximale de 24,4° C l'après-midi (record journalier) et une température minimale digne du cœur de l'été à 18,9° C (record mensuel)
- La fin d'année a aussi été marquée par un impressionnant redoux, en particulier le 30 décembre.

La pluviométrie de 2024 a été proche des normales, mais avec de grandes disparités d'un mois à l'autre dans les accumulations de précipitations observées (voir figure 4). Seulement 1/3 de l'année présente un cumul de précipitations mensuelles excédentaires ! Les 8 autres mois présentent des quantités de pluies normales ou déficitaires. L'été 2024 figure dans le top 5 des étés les plus humides (en 1re position à l'aéroport international Montréal-Trudeau, en 4e position dans le centre-ville : McGill + Mc Tavish).

Le cumul saisonnier de l'été a notamment été gonflé par un mois d'août inédit et marqué par des records de précipitations journalières au passage du système dépressionnaire associé à l'extratropicalisation de l'ouragan Debby (voir figure 4). L'automne qui a suivi a au contraire été l'un des plus secs (en 2de position à l'aéroport international Montréal-Trudeau, en 1re position dans le centre-ville : McGill + Mc Tavish) !

Et 2025 ? À l'échelle du globe, selon les projections établies par ECCC, il y a plus de 99 % de chances que cette année soit plus chaude que toutes celles enregistrées avant 2023 (climate data, 2025). Face à ces constats, 2024 vient encore rappeler l'urgence d'agir et de s'adapter à cette nouvelle réalité climatique qui façonne et impacte déjà notre présent.

► CONCOURS – RÉSULTATS (2 gagnant.e.s)

Les résultats du concours organisé par l'équipe CAPE sont les suivants : la température la plus basse enregistrée entre le 1er novembre et le 31 décembre a été de -16,4° C, le 22 décembre. Sur cette même période, 34 jours de gel ont été observés (température minimale égale ou inférieure à 0° C).

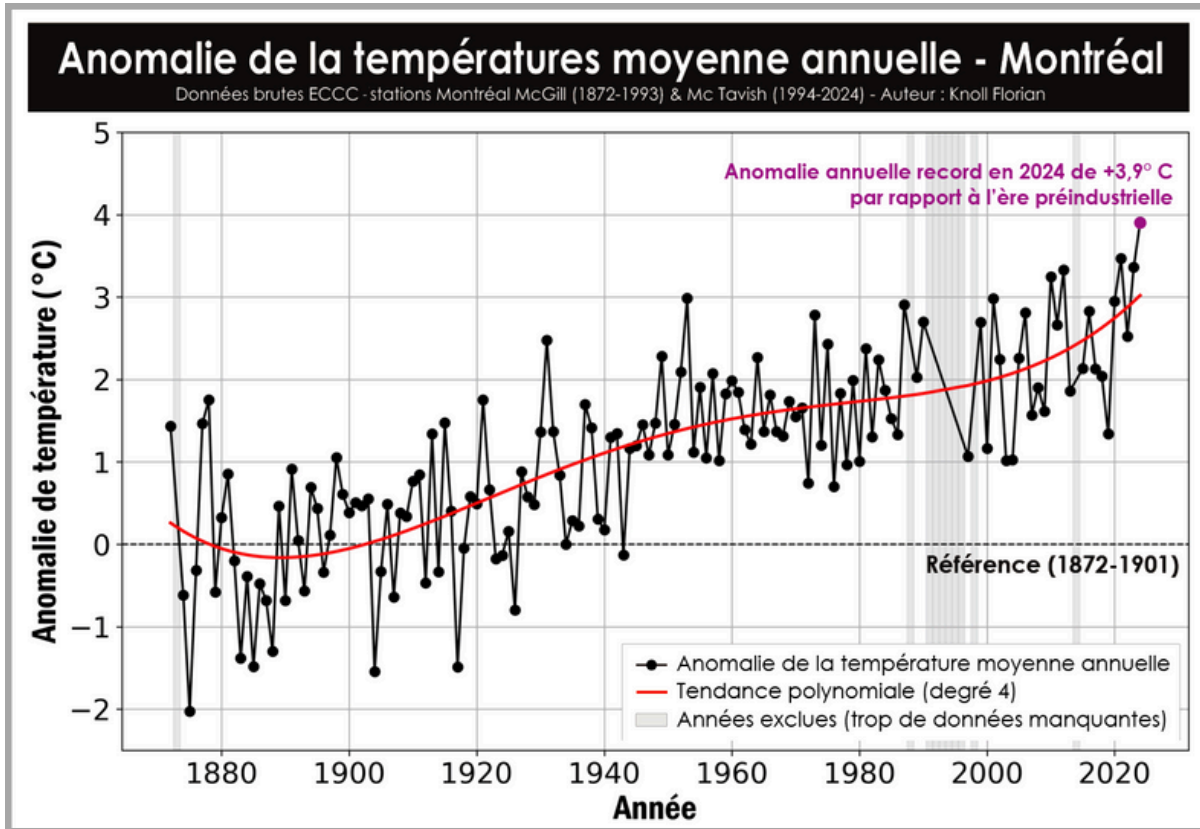


Figure 1 - Anomalie de la température moyenne annuelle à Montréal.

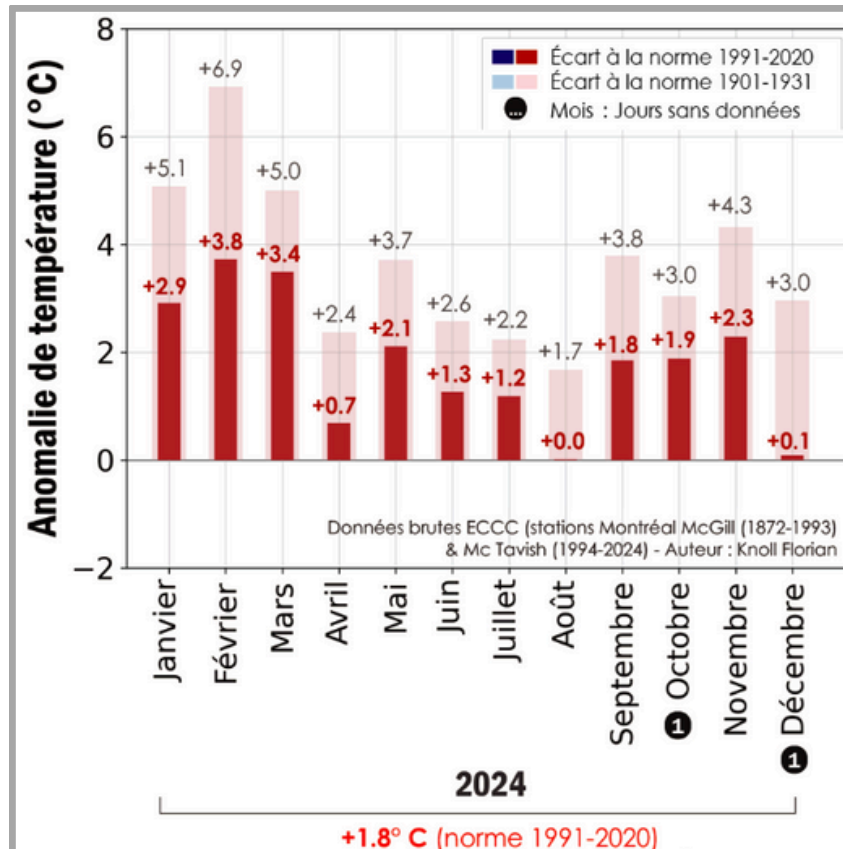


Figure 2 - Anomalie mensuelle de la température moyenne en 2024 à Montréal.

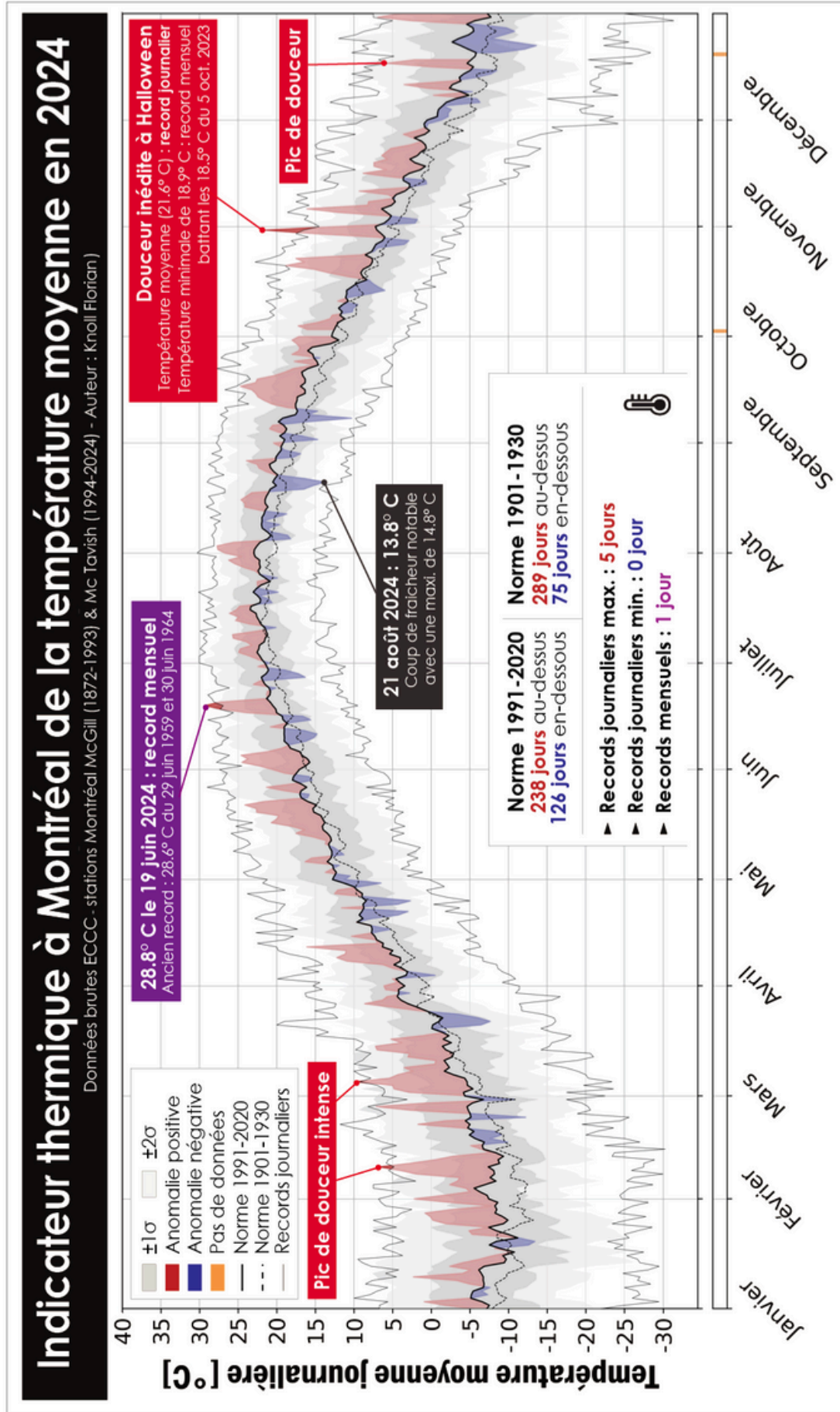


Figure 3 - Indicateur thermique à Montréal de la température moyenne en 2024 à Montréal.

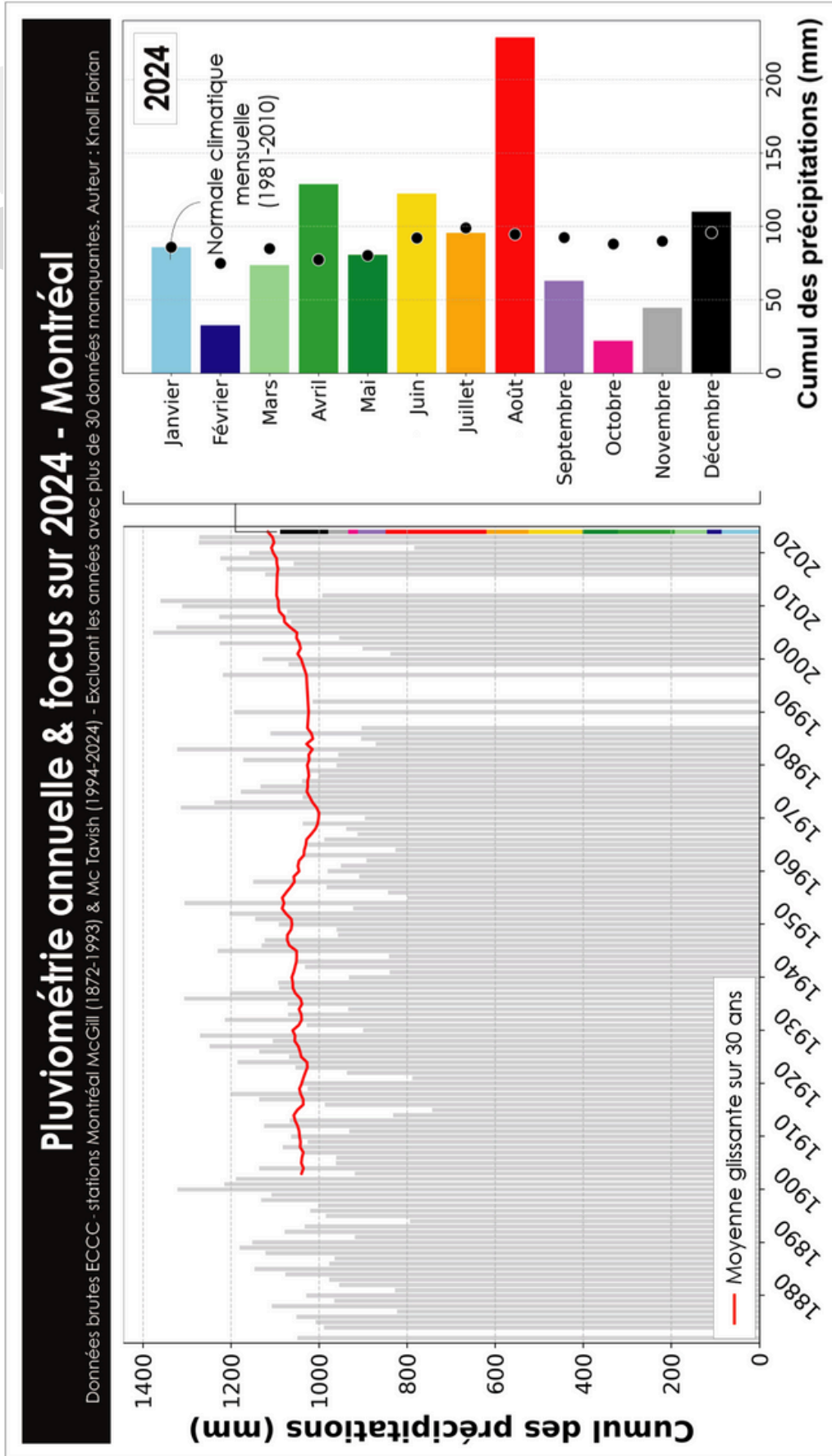


Figure 4 - Pluviométrie annuelle et focus sur 2024 à Montréal.



Le développement de la prévision météorologique : des débuts laborieux à l'ère numérique

Kim Lahaie

Des signes célestes interprétés par les Babyloniens aux théories d'Aristote sur les éléments, les premières tentatives de prévision météorologique étaient souvent empreintes de mysticisme (Teague & Gallicchio, 2017). Il faudra attendre la Renaissance et l'essor de la méthode scientifique pour que l'observation systématique et l'instrumentation prennent une place centrale dans l'étude du climat et de l'atmosphère. Pourtant, malgré ces avancées, la météorologie demeura longtemps une discipline incertaine, peinant à rivaliser avec la rigueur des sciences physiques et mathématiques (Wiston & Mphale, 2018).

Un véritable tournant s'amorce au début du XXe siècle, alors que les limites des approches empiriques et statistiques incitent les scientifiques à chercher des bases plus solides, ancrées dans la physique des fluides et les lois du mouvement. C'est dans ce contexte que le Norvégien Vilhelm Bjerknes (1862–1951) révolutionne la discipline en formulant la prévision du temps comme un problème physique. Il démontre que l'état futur de l'atmosphère découle de son état présent et qu'il peut être prédit grâce aux lois de la physique (Bjerknes, 1904/2009).

Bjerknes pose ainsi un cadre théorique rigoureux pour la prévision météorologique. Il identifie sept variables essentielles (pression, température, humidité, densité et les trois composantes du vent) et établit sept équations indépendantes permettant de résoudre ce système. Sa méthode repose sur deux étapes : une phase diagnostique, visant à déterminer l'état initial de l'atmosphère, suivie d'une phase pronostique où les lois du mouvement sont appliquées pour prévoir son évolution (Bjerknes, 1904/2009). Toutefois, en l'absence de moyens de calcul adaptés, cette approche reste purement conceptuelle et inapplicable à grande échelle.

C'est précisément ce défi que tente de relever Lewis Fry Richardson (1881–1953) en proposant une approche numérique. Pendant la Première Guerre mondiale, il entreprend de diviser l'atmosphère en une grille et de calculer les variations météorologiques en résolvant les

équations de Bjerknes (Lynch, 2008). La tâche est colossale : la résolution de ses calculs lui prend deux ans pour une prévision de six heures (Lynch, 1993). Malgré ses efforts acharnés, son expérience se solde par un échec retentissant : ses prévisions indiquent un changement de pression irréaliste de 145 hPa en six heures, une erreur attribuée à des données incohérentes et à des instabilités dans ses calculs (Richardson, 1922).

À cette époque, le développement des idées de Bjerknes faisait face à quatre obstacles majeurs, qui ralentissent considérablement les progrès en prévision météorologique (Lynch, 2010).

Premièrement, les observations tridimensionnelles de l'atmosphère étaient rares et peu fiables. La collecte de données dépendait principalement des ballons enregistreurs, dont l'analyse prenait des jours, voire des semaines (Benjamin et al., 2018; Lynch, 2010). Ce n'est qu'après la Seconde Guerre mondiale que les réseaux de radiosondages ont été développés, permettant de recueillir des profils verticaux détaillés de l'atmosphère en temps quasi réel. En parallèle, le développement du radar météorologique dans les années 1940 a révolutionné la détection des précipitations, fournissant des observations cruciales pour l'amélioration des modèles de prévision (Benjamin et al., 2018).

Le développement de la prévision météorologique : des débuts laborieux à l'ère numérique

Kim Lahaie

Deuxièmement, les algorithmes numériques souffraient d'instabilités mal comprises, entraînant des solutions incohérentes (Lynch, 2010). À l'époque de Richardson, ces problèmes provenaient en grande partie du manque de compréhension des interactions entre les différentes équations. L'apport de Jule Charney et de son équipe dans les années 1940 et 1950 a été décisif : ils ont démontré qu'un sous-ensemble simplifié des équations primitives, comme l'équation de vorticité barotropique, pouvait être utilisé pour produire des prévisions stables et cohérentes (Charney, 1948). Cette approche a permis les premières prévisions numériques fiables en 1950, réalisées sur l'ENIAC, le premier ordinateur électronique programmable (Benjamin et al., 2018).

Troisièmement, la nature équilibrée des écoulements atmosphériques était méconnue, et les déséquilibres dus aux erreurs d'observation compromettaient les prévisions (Lynch, 2010). Max Margules avait déjà expliqué en 1904 que l'équation de continuité seule ne suffisait pas pour calculer les variations de pression, car elle exigeait une connaissance des vents d'une précision pratiquement inatteignable (Lynch, n.d.). Les travaux de Carl-Gustav Rossby ont permis de mieux comprendre ces déséquilibres en mettant en évidence le rôle des ondes de grande échelle dans l'atmosphère, ce qui a conduit à des avancées en dynamique des fluides atmosphériques et à une meilleure gestion des erreurs dans les modèles (Benjamin et al., 2018).

En parallèle, la Seconde Guerre mondiale a marqué un tournant décisif pour la météorologie opérationnelle. Le conflit a poussé les militaires à exiger des prévisions météorologiques plus fiables, comme en témoigne leur rôle crucial lors du débarquement de Normandie (Peterssen, 2001). Aux   tats-Unis, Carl-Gustav Rossby a supervisé un programme de formation intensif qui a fait passer la communauté météorologique de 400 à 6 000 membres après la guerre, renforçant ainsi les capacités de prévision et d'analyse du climat (Benjamin et al., 2018).

Quatrièmement, le volume colossal de calculs requis dépassait les capacités humaines. Richardson avait estimé qu'il faudrait 64 000 calculateurs pour fournir des prévisions utiles en temps réel, mais des études ultérieures ont montré qu'il en aurait fallu environ un million (Lynch, 1993). L'essor de l'informatique dans les années 1950 et 1960 a permis de surmonter cet obstacle majeur. Gr  ce à la montée en puissance des supercalculateurs et à l'optimisation des algorithmes, il est devenu possible de résoudre les équations de la dynamique atmosphérique en un temps compatible avec l'opérationnalisation des prévisions (Benjamin et al., 2018).

Ainsi, les décennies qui ont suivi les travaux de Richardson ont été marquées par des avancées technologiques et scientifiques qui ont progressivement levé ces obstacles. L'essor des réseaux d'observation, la stabilisation des méthodes numériques, l'approfondissement des connaissances en dynamique atmosphérique et la révolution informatique ont permis à la météorologie de passer d'une discipline théorique à un outil prédictif performant. Aujourd'hui, la prévision du temps repose sur des modèles complexes, mais ses fondements restent ancrés dans les concepts établis par Bjerknes et les efforts visionnaires de chercheurs comme Richardson et Charney.



Photo: Kim Lahaie

Plein feu sur les risques météorologiques

Clémence Benoit

L'année 2024 n'était pas terminée et on annonçait déjà qu'il s'agirait de l'année la plus chaude jamais enregistrée (Legendre, 2024). Les données de Copernicus le confirment, 2024 est la première année où la température annuelle moyenne globale dépasse le seuil de 1,5°C de réchauffement par rapport à la période préindustrielle, fixé par l'accord de Paris (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF), 2025). Au-delà de ce seuil, le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat de l'ONU (GIEC) prévoit que le réchauffement du climat déclenche des événements météorologiques aux répercussions plus graves, avec une augmentation de la fréquence et de l'intensité des épisodes de sécheresse, de précipitations et de vagues de chaleur (United Nations Climate Change, s.d.).

Au printemps 2017, alors que je terminais mon baccalauréat en géographie, le sud du Québec était touché par des inondations historiques. Je n'avais pas prévu de m'inscrire à la maîtrise, mais rapidement, cet événement est venu bouleverser mon parcours. Les questions en lien avec le changement climatique, les risques naturels et l'aménagement du territoire m'interpellaient beaucoup, et l'utilisation des systèmes d'information géographique comme outil pour y répondre était une piste que je souhaitais explorer. J'ai alors pris contact avec Philippe Gachon, professeur au département de géographie et expert en risques hydrométéorologiques, en espérant qu'il accepterait de me superviser dans un projet de recherche portant sur cet événement extrême. Je me suis retrouvée au bon endroit, au bon moment: il était en discussion avec des municipalités pour étudier la question et aucune des étudiants-es qu'il supervisait ne travaillait sur le sujet.

Le début de ma maîtrise a marqué mon entrée dans le monde des sciences de l'atmosphère. Durant ma maîtrise, bien que je me sois intéressée à la notion de risque avec une approche multiscalaire, propre au domaine de la géographie, une bonne partie de ma recherche a consisté en la caractérisation de l'aléa météorologique ayant causé les inondations de 2017 dans le sud du Québec (Benoit, 2021).

Comme je m'intéressais au bassin versant de la rivière des Outaouais dans son ensemble (146 334 km², soit environ un quart de la superficie de la France!!), et que je voulais fournir un portrait des conditions météorologiques à l'échelle de chacun des sous-bassins versants, j'ai vite compris que les données issues de stations d'observation, avec lesquelles j'avais appris à travailler durant mon baccalauréat, ne seraient pas suffisantes. En effet, le réseau de stations météorologiques au Québec et au Canada est extrêmement clairsemé avec des séries temporelles souvent trop courtes et/ou incomplètes. J'ai dû apprendre à manipuler, traiter et analyser des bases de données complexes, et j'ai développé mes connaissances en programmation.

Bien que mon parcours à la maîtrise ne se résume pas juste à ça, j'en retiens avant tout d'innombrables heures à coder. J'ai surtout découvert, à ma grande surprise, que j'adorais ça, surtout l'idée de pouvoir utiliser la programmation pour automatiser des traitements à l'intérieur des systèmes d'information géographique, et de devenir en quelque sorte plus performante qu'ArcGIS Pro; le rêve quoi!

Depuis la fin de mon parcours, les événements météorologiques marquants, occasionnant inondations historiques et feux de forêt d'ampleur sans égale, se sont enchaînés.

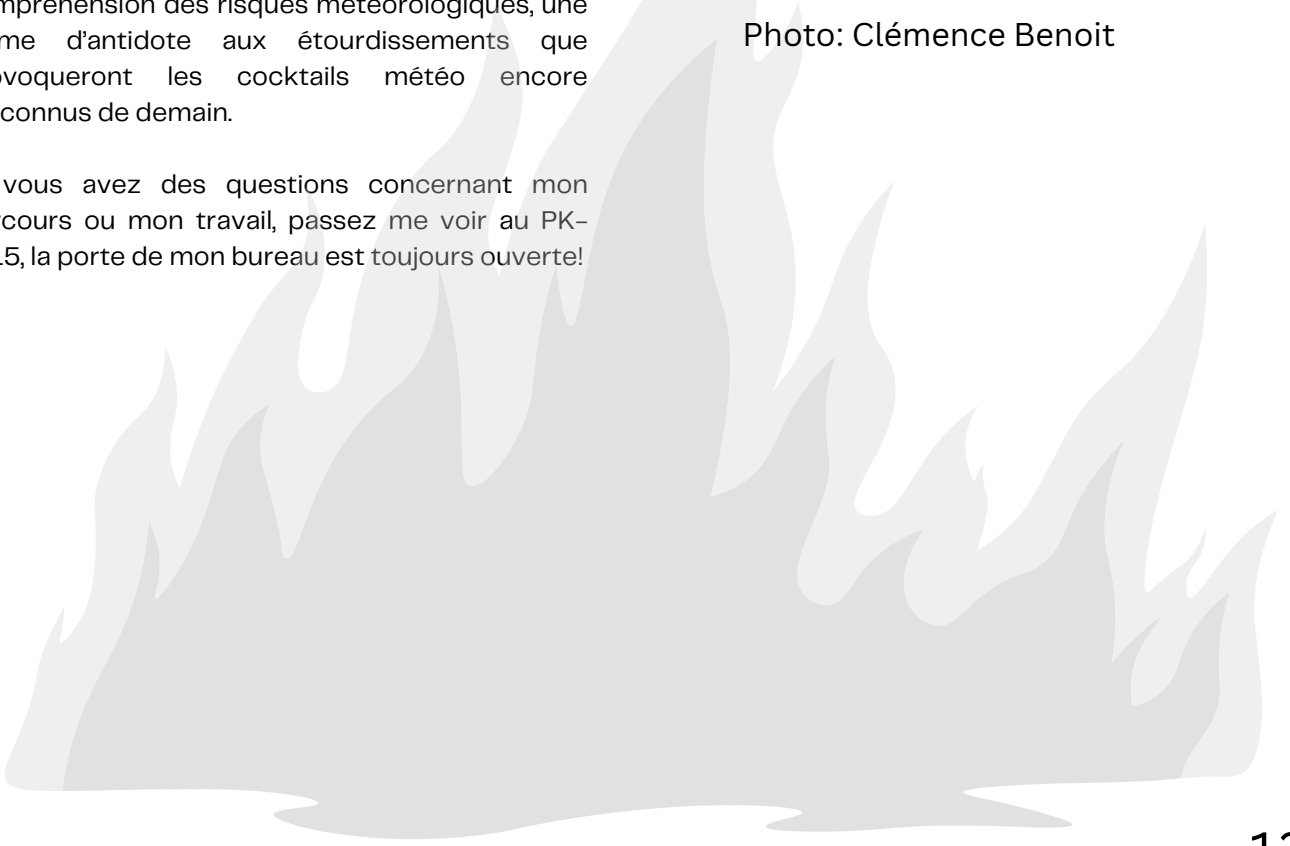
Me voilà professionnelle de recherche au centre ESCER, à l'UQAM, depuis maintenant plus de quatre ans, à tenter de documenter et mieux comprendre les conditions qui génèrent ces événements extrêmes. Dans les dernières années, j'ai eu la chance de travailler sur de nombreux projets. Entre autres, j'ai participé à la mise en place d'une plateforme web pour le suivi et la surveillance des conditions météorologiques associées aux feux de forêt (<http://feux.escer.uqam.ca>). De plus, avec mon équipe de recherche du Centre de foresterie des Laurentides, nous sommes sur le point de publier un article dans lequel nous avons tenté de mieux comprendre l'effet des changements dans les combustibles forestiers par rapport aux changements dans la météo sur le comportement potentiel des incendies de forêt.

Le réchauffement du climat en cours et à venir est inquiétant, mais je considère mon expertise acquise lors des dernières années comme pertinente et utile à l'amélioration de notre compréhension des risques météorologiques, une forme d'antidote aux étourdissements que provoqueront les cocktails météo encore méconnus de demain.

Si vous avez des questions concernant mon parcours ou mon travail, passez me voir au PK-7415, la porte de mon bureau est toujours ouverte!



Photo: Clémence Benoit



Quand les vagues de chaleur frappent : comment perfectionner nos modèles climatiques?

Elise Comeau

Vagues de chaleur : la menace qui pèse sur nos sociétés

La chaleur extrême représente une menace pour notre société qui va s'aggraver dans les prochaines décennies. Bien que les modèles climatiques réussissent à représenter les grandes lignes de la température durant les vagues de chaleur, ils ont de la difficulté à capturer les valeurs exactes des extrêmes. Une approche rigoureuse a été établie qui permet de telles améliorations ... mais elle est laborieuse, ce qui ralentit le rythme de la recherche scientifique.

Le désastre climatique au Canada avec le plus haut taux de mortalité est ... la vague de chaleur (Beugin et al., 2023)! Un exemple des plus frappants est sans doute la vague de chaleur de 2021 dans l'Ouest canadien. Entre le 21 juin et le 1er juillet, 619 Britanno-Colombiens sont décédés dû à la chaleur extrême (Egilson, 2022). Au Québec, une étude a révélé que la chaleur extrême tue 470 individus par été (Boudreault et al, 2024), ce qui leur vaut le nom de « tueuses silencieuses » (BBC, 2023)! Outre leur danger, on connaît aussi leur historique. Les vagues de chaleur sont devenues plus fréquentes et plus intenses au cours du 20e siècle, une tendance qui se maintiendra jusqu'à la fin du 21e siècle selon les projections des modèles climatiques (Abid et al, 2021).

Les modèles climatiques, un outil révolutionnaire

Les modèles climatiques représentent un outil puissant, entre autres parce qu'ils permettent de faire des projections des évolutions futures du climat et de mener des expérimentations. En effet, en tant que scientifiques, les climatologues doivent mener des expériences pour tester leurs hypothèses. Cependant, il n'existe pas de laboratoire assez grand pour héberger toute l'atmosphère ... La solution? Expérimenter avec une atmosphère numérique (Randall, 1991). Cette méthode permet d'accroître considérablement les connaissances en sciences du climat; pourvu que l'atmosphère numérique se comporte similairement à l'atmosphère réelle (Randall, 1991).

Comme pour d'autres outils technologiques, les modèles climatiques s'améliorent continuellement. Ce processus d'amélioration est itératif, et s'amorce par de premières simulations effectuées par un ordinateur super puissant, c'est-à-dire par l'exécution de programmes informatiques afin de prévoir l'état de variables climatiques dans le temps, comme la température durant les vagues de chaleur, pour une période et un territoire donné (Goosse, 2015). Une fois les calculs complétés, les scientifiques comparent les simulations contre l'atmosphère réelle - ou du moins le portrait le plus précis qu'ils peuvent faire de l'atmosphère réelle - pour la même période et le même territoire. Ce portrait est construit à partir de mesures d'observations prises par des instruments météorologiques, comme des thermomètres (Goosse, 2015). Ce procédé est similaire à celui de l'étudiant qui compare sa réponse pour un exercice de mathématiques contre celle du corrigé : une similarité entre les résultats évoque une bonne démarche et une différence suggère une erreur. Pour les modèles climatiques, le résultat peut être relativement proche de celle du « corrigé », c'est-à-dire les mesures d'observations, mais elle n'est jamais totalement identique. On émet alors des hypothèses sur ce qui aurait pu causer un écart entre la valeur simulée et celle observée. Une fois qu'une hypothèse émise semble plausible, le code informatique du modèle est mis à jour, puis l'ordinateur produit de nouvelles simulations et le cycle recommence (Goosse, 2015). En somme : on teste, cherche l'erreur dans la démarche, la corrige, refait les calculs, réévalue; simple non? En fait, pas vraiment!

Quand les vagues de chaleur frappent : comment perfectionner nos modèles climatiques?

Elise Comeau

Chercher l'aiguille dans une botte de foin

Le problème avec cette approche s'apparente à celui de l'étudiant qui obtient une réponse différant de celle du corrigé : il n'y a pas nécessairement une indication sur les origines du désaccord entre sa réponse et le corrigé. Considérant que les modèles climatiques utilisent des dizaines de milliers d'équations pour résoudre leur problème de mathématiques (Gramelsberger, 2011), identifier les changements à apporter à la démarche afin de réduire le désaccord peut être très compliqué.

Parfois, les climatologues mettent à jour le code d'un modèle pour introduire leurs dernières hypothèses, puis constatent que les nouvelles simulations sont moins performantes et s'éloignent du « corrigé » ! Cette apparente contradiction peut survenir lorsqu'une sur(sous)-estimation de la valeur d'une variable climatique compensait une sous(sur)-estimation encore non détectée. En corrigeant le premier biais, le deuxième devient alors visible; il est ensuite corrigé durant le prochain cycle. Les deux biais sont donc éventuellement corrigés, mais certaines questions se posent : y a-t-il d'autres biais masqués par cette compensation? Comment repérer les biais plus efficacement?

Diviser pour régner, une stratégie gagnante

On sait que plusieurs phénomènes peuvent faire grimper le thermomètre, comme une quantité abondante d'insolation et la présence d'un système de haute pression atmosphérique, dont la combinaison est susceptible de former un dôme de chaleur (Caya et al., 1995). Si plusieurs de ces facteurs se retrouvent au même endroit simultanément, leurs effets de réchauffement se superposent. Résultat : une vague de chaleur. Les modèles climatiques découpent donc leur problème mathématique en sous-problèmes, un par phénomène, puis ils résolvent un dernier sous-problème pour jumeler les contributions respectives de chacun de ces phénomènes. C'est cette somme finale qui est comparée au « corrigé ».

Mais que se passerait-il si on utilisait un « corrigé » qui montre les réponses de chacun des sous-problèmes? En d'autres mots, au lieu de comparer seulement la température, on chercherait à comparer le taux de réchauffement causé par l'ensoleillement et celui induit par le dôme de chaleur. Cette stratégie permet de cibler les sources de biais de façon précise et beaucoup plus rapidement. Aussi, cela facilite l'identification des erreurs compensatoires, puisqu'il est possible d'étudier les relations entre chaque processus vérifié.

Ce projet, celui d'élaborer une nouvelle stratégie pour améliorer la précision des simulations de température durant les vagues de chaleur, représente le cœur de ma thèse doctorale. Durant les prochaines années, je travaillerai à construire un « corrigé » détaillé. En effet, en recueillant des données d'observations prises par mes collègues scientifiques à travers l'Amérique du Nord durant des décennies, je pourrai estimer les réponses de tous les sous-problèmes qui se retrouveront dans ce « corrigé ». Je pourrai ensuite comparer les réponses de ce « corrigé » contre les simulations du Modèle régional canadien du climat, un modèle climatique qui a été développé ici, à l'UQAM (Caya et al., 1995). Et une fois le tout terminé, je serai en mesure d'identifier à quel point on comprend chacun des phénomènes climatiques impliqués et, on l'espère, comment on peut mieux comprendre la nature même de la chaleur extrême.

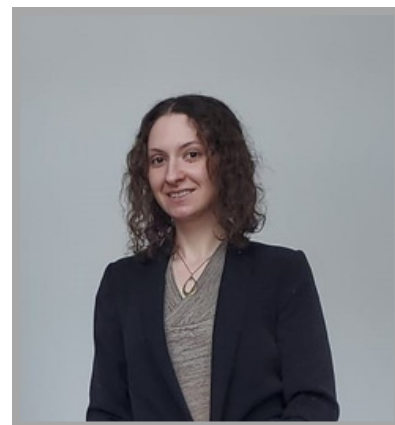


Photo: Elise Comeau

Comment préparer un bon dossier pour un stage en recherche?

Tu veux accumuler de l'expérience en sciences de l'atmosphère, mais ne sais pas comment? Deux professeurs du département des sciences éclaircissent ici comment préparer un dossier pour un stage en recherche. Écris-nous si tu as d'autres questions !



Philippe Lucas-Picher répond à ta question ! Professeur du Département des sciences de la Terre et de l'atmosphère, ses recherches portent sur l'impact des changements climatiques sur le cycle de l'eau par l'utilisation du Modèle Régional Canadien du Climat et de modèles hydrologiques.

« Les stages en recherche en milieu académique sont très utiles pour les étudiants de 1er cycle pour obtenir une première expérience et développer un intérêt pour la recherche. Souvent, c'est l'étudiant intéressé qui doit faire les premiers pas et contacter quelques professeurs. Plusieurs points sont particulièrement importants pour bâtir un bon dossier ou effectuer une bonne première impression, souvent par courriel.

1. **Motivation**: Capter l'attention du professeur dès le début en expliquant pourquoi l'étudiant veut faire un stage (initiation à la recherche, cours du programme de bac, tâter le terrain pour une maîtrise).
2. **Intérêt**: Démontrer l'intérêt dans le climat, la météo ou les sciences de l'atmosphère (différents phénomènes atmosphériques ou extrêmes météorologiques).
3. **Initiative**: Prendre l'initiative d'effectuer des recherches sur les sujets de recherche couverts par les professeurs du département et peut être même proposer quelques idées de sujet.
4. **Disponibilité**: Mettre en évidence la disponibilité de l'étudiant (Quelques semaines à temps plein en été ou quelques heures par semaine durant les sessions d'université) afin de trouver un sujet de stage réaliste.
5. **Financement**: Bien que la plupart du temps les professeurs aient du financement pour payer quelques stages, l'étudiant qui fait des démarches pour aller chercher son propre financement a beaucoup plus de chance d'obtenir la chance de travailler avec le professeur de son choix. À ce sujet, j'invite les étudiants intéressés à regarder les règles du concours de Bourse de Recherche au 1er cycle du CRNSG.
6. **Forme**: Être le plus professionnel possible et profiter d'un logiciel de correction pour réduire les fautes d'orthographe.
7. **Forces**: Mettre en évidence les forces en programmation informatique ou académique en fournissant les relevés de notes ou un CV.
8. **Personnalisation**: Une demande personnalisée a toujours plus de chance d'obtenir du succès qu'une demande générique.
9. **Prévoyance**: Afin d'optimiser ses chances pour obtenir un stage, il faut s'y prendre tôt et entreprendre les démarches plusieurs mois à l'avance pour s'assurer du financement et la planification de la logistique (bureaux, ordinateurs, soutien de d'autres étudiants). »

Comment préparer un bon dossier pour un stage en recherche?



Alejandro Di Luca répond à ta question ! Alejandro est professeur au département des sciences de la Terre et de l'atmosphère de l'Université du Québec à Montréal (UQAM), Canada, et membre du Centre pour l'étude et la simulation du climat à l'échelle régionale (ESCER). Ses recherches portent sur la modélisation du climat à haute résolution, et plus particulièrement sur l'analyse des phénomènes climatiques locaux et régionaux et leurs projections futures. Alejandro a joué le rôle d'auteur principal dans le sixième rapport d'évaluation du GIEC et dirige actuellement le développement de la sixième version du modèle climatique régional canadien (MRCC).

« Chaque année, des stages de recherche pour les étudiants en sciences de l'atmosphère sont offerts par des professeurs du Département des sciences de la Terre et de l'atmosphère de l'UQAM, ainsi que par divers organismes externes tels qu'Ouranos, Hydro-Québec, la SOPFEU et Environnement et Changement Climatique Canada (ECCC). Pour postuler, il est généralement nécessaire de préparer deux documents : un curriculum vitae (CV) et une lettre de motivation. Selon mon expérience, ces deux documents revêtent une importance capitale au moment de choisir les candidats.

Bien que le critère principal soit généralement la pertinence du candidat pour le travail de recherche proposé, la différence peut parfois résider dans la manière dont les documents sont présentés. C'est notamment le cas au début de la formation (p. ex., pour des étudiants au premier cycle), car la plupart des candidats n'ont pas encore d'expérience en la matière. Mon principal conseil pour les deux documents est d'être concis, clair et précis, tant sur la forme que sur le fond. Pour la forme, restez sobre, utilisez une police claire et standard, utilisez peu de couleurs et n'essayez pas d'être très créative 😊. Pour le fond, incluez seulement l'information pertinente pour le stage visé : cours suivis, compétences informatiques de tout type (traitement et visualisation des données, serveurs de recherche, programmation, logiciels d'intérêt, libraires), expérience sur le terrain, expérience en matière de rédaction académique, connaissance des langues, etc.

Quand vous avez peu d'expérience pertinente, concentrez vos efforts sur la lettre de motivation. Un étudiant motivé vaut le double 😊. Mais, pour démontrer clairement votre motivation, soyez authentique et spécifique quant à vos intérêts pour le stage et l'organisme. Bon stage à tous! »

RÉFÉRENCES

Caractéristiques de liquid core pellets observés en surface au cours d'une tempête hivernale

- Benjamin, S. G., J. M. Brown, G. Brunet, P. Lynch, K. Saito, and T. W. Schlatter, 2018: 100 Years of Progress in Forecasting and NWP Applications. *Meteor. Monogr.*, 59, 13.1–13.67, <https://doi.org/10.1175/AMSMONOGRAPHS-D-18-0020.1>
- Bjerknes, V. (1904/2009). The problem of weather prediction, considered from the viewpoints of mechanics and physics (E. Volken & S. Brönnimann, Trad.). *Meteorologische Zeitschrift*, 18(6), 663–667. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2009/416>
- Charney, J. G., 1948: On the scale of atmospheric motions. *Geophys. Publ.*, 17, 1–17.
- Lynch, P. (2008). The origins of computer weather prediction and climate modeling. *Journal of computational physics*, 227(7), 3431–3444.
- Lynch, P. (2010). From Richardson to early numerical weather prediction. Donner, L., Schubert, W. and Somerville, R.(eds.). *The Development of Atmospheric General Circulation Models: Complexity, Synthesis and Computation*.
- Lynch, P. (n.d.). Max Margules and his Tendency Equation. [Publication originale dans Boltzmann Festschrift, 1904]
- Petterssen, S. (2001): *Weathering the Storm: Sverre Petterssen, the D-Day Forecast, and the Rise of Modern Meteorology*. J. R. Fleming, Ed, Amer. Meteor. Soc., 329 pp.
- Richardson, L. F. (1922). *Weather prediction by numerical process*. University Press.
- Teague, K. A., & Gallicchio, N. (2017). The evolution of meteorology: a look into the past, present, and future of weather forecasting
- Wiston, M., & Mphale, K. M. (2018). Weather forecasting: From the early weather wizards to modern-day weather predictions. *Journal of Climatology & Weather Forecasting*, 6(2), 1–9.

2024 et ses folies météorologiques et climatiques

- Climatedata, 2025. Forecasted to rival 2024 for record-breaking heat. URL : <https://climatedata.ca/2025-forecasted-to-rival-2024-for-record-breaking-heat/>
- Copernicus Climate Change Service, 2024. Global climate highlights 2024. URL : <https://climate.copernicus.eu/global-climate-highlights-2024>
- Copernicus Climate Change Service, 2024. Graphics gallery. URL : <https://climate.copernicus.eu/graphics-gallery>
- Insurance Bureau of Canada, 2024. Summer 2024 shatters records for severe weather damage: Over \$7 billion in insured losses from floods, fires and hailstorms. URL : <https://www.ibc.ca/news-insights/news/summer-2024-shatters-records-for-severe-weather-damage-over-7-billion-in-insured-losses-from-floods-fires-and-hailstorms>
- Insurance Bureau of Canada, 2024. 2024 shatters record for costliest year for severe weather-related losses in Canadian history at \$8.5 billion. URL : <https://www.ibc.ca/news-insights/news/2024-shatters-record-for-costliest-year-for-severe-weather-related-losses-in-canadian-history-at-8-5-billion>
- National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), 2024. 2024: An active year for US billion-dollar weather and climate disasters. URL : <https://www.climate.gov/news-features/blogs/beyond-data/2024-active-year-us-billion-dollar-weather-and-climate-disasters>
- Portail de l'assurance, 2024. Les sinistres climatiques ont coûté plus de 8,5 G\$ en dommages assurés en 2024 au Canada. URL : <https://portail-assurance.ca/article/les-sinistres-climatiques-ont-coute-plus-de-85-g-en-dommages-assures-en-2024-au-canada/>
- Organisation météorologique mondiale (OMM), 2024. WMO confirms 2024 warmest year on record: About 1.55°C above pre-industrial level. URL : <https://wmo.int/news/media-centre/wmo-confirms-2024-warmest-year-record-about-155degc-above-pre-industrial-level>

Le développement de la prévision météorologique

- Benjamin, S. G., J. M. Brown, G. Brunet, P. Lynch, K. Saito, and T. W. Schlatter, 2018: 100 Years of Progress in Forecasting and NWP Applications. *Meteor. Monogr.*, 59, 13.1–13.67, <https://doi.org/10.1175/AMSMONOGRAPHS-D-18-0020.1>
- Bjerknes, V. (1904/2009). The problem of weather prediction, considered from the viewpoints of mechanics and physics (E. Volken & S. Brönnimann, Trad.). *Meteorologische Zeitschrift*, 18(6), 663–667. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2009/416>
- Charney, J. G., 1948: On the scale of atmospheric motions. *Geophys. Publ.*, 17, 1–17.
- Lynch, P. (2008). The origins of computer weather prediction and climate modeling. *Journal of computational physics*, 227(7), 3431–3444.
- Lynch, P. (2010). From Richardson to early numerical weather prediction. Donner, L., Schubert, W. and Somerville, R.(eds.). *The Development of Atmospheric General Circulation Models: Complexity, Synthesis and Computation*.
- Lynch, P. (n.d.). Max Margules and his Tendency Equation. [Publication originale dans Boltzmann Festschrift, 1904]
- Petterssen, S. (2001): *Weathering the Storm: Sverre Petterssen, the D-Day Forecast, and the Rise of Modern Meteorology*. J. R. Fleming, Ed, Amer. Meteor. Soc., 329 pp.
- Richardson, L. F. (1922). *Weather prediction by numerical process*. University Press.
- Teague, K. A., & Gallicchio, N. (2017). The evolution of meteorology: a look into the past, present, and future of weather forecasting
- Wiston, M., & Mphale, K. M. (2018). Weather forecasting: From the early weather wizards to modern-day weather predictions. *Journal of Climatology & Weather Forecasting*, 6(2), 1–9.

RÉFÉRENCES

Plein feu sur les risques météorologiques

Benoit, Clémence (2021). « Évaluation du risque d'inondation à Rigaud (Québec, Canada) : le cas de l'inondation printanière de 2017 » Mémoire. Montréal (Québec, Canada), Université du Québec à Montréal, Maîtrise en géographie.

European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) (2025, 10 January). 2024 was the warmest year on record, Copernicus data show. <https://www.ecmwf.int/en/about/media-centre/news/2025/2024-was-warmest-year-record-copernicus-data-show#:~:text=The%20year%202024%20was%20the%20warmest%20year%20in%20global%20temperature,previous%20warmest%20year%20on%20record>.

Legendre, B. (2024). 2024 sera bien la première année au-dessus du seuil de 1,5 °C de réchauffement, Le Devoir, Environnement. <https://www.ledevoir.com/environnement/825503/2024-sera-bien-premiere-annee-dessus-seuil-1-5-c-rechauffement>

United Nations Climate Change. (s.d). L'Accord de Paris. United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). <https://unfccc.int/fr/a-propos-des-ndcs/l-accord-de-paris#:~:text=Pour%20limiter%20le%20r%3%A9chauffement%20climatique,43%25%20d'ici%202030>.

Quand les vagues de chaleur frappent

Beugin D, Clark D, Miller S, Ness R, Pelai R, Wale J. The Case for Adapting to Extreme Heat: Costs of the 2021 B.C Heat Wave. Canadian Climate Institute; 2023.

Egilson M. Extreme Heat and Human Mortality: A Review of Heat-Related Deaths in B.C. in Summer 2021. Chief Coroner of British Columbia; 2022:56.

Boudreault J, Lavigne É, Campagna C, Chebana F. Estimating the heat-related mortality and morbidity burden in the province of Quebec, Canada. Environmental Research. 2024;257:119347. doi:10.1016/j.envres.2024.119347

Why Heatwaves Have Become the Number One "Silent Killer." BBC; 2023. Accessed January 10, 2025. <https://www.bbc.com/reel/video/p0g2mddk/why-heatwaves-have-become-the-number-one-silent-killer>

Abid MA, Badi W, Dereczynski C, et al. Chapter 11: Weather and Climate Extreme Events in a Changing Climate. In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. 1st ed. Cambridge University Press; 2021:1513-1766. doi:10.1017/9781009157896.013

Randall DA. An Introduction to Numerical Modeling of the Atmosphere. Université d'État du Colorado, Département des sciences de l'atmosphère; 1991.

Goosse H. Climate System Dynamics and Modelling. Cambridge University Press; 2015.

Gramelsberger G. What do numerical (climate) models really represent? Studies in History and Philosophy of Science Part A. 2011;42(2):296-3

Caya D, Laprise R, Giguère M, et al. Description of the Canadian regional climate model. Water, Air and Soil Pollution. 1995;82:6.

Partagez-nous vos propositions de textes pour les prochaines éditions du CAPE !

Le Courrier Atmosphérique Participatif Étudiant prend vie grâce à la population étudiante des sciences de l'atmosphère. Pour y contribuer, ce que nous encourageons avec enthousiasme, il suffit de soumettre un texte ou une idée à l'adresse courriel equipe.cape.uqam@gmail.com.

Notre équipe répondra rapidement, et nous travaillerons avec vous pour faire de vos propositions des chefs d'œuvres.

Prochaine édition : mai 2025

Date limite pour soumettre vos propositions : avril 2025