



ÉVÉNEMENTS CLIMATIQUES COMBINÉS EXTRÊMES POUR LE QUÉBEC : ÉTUDE EXPLORATOIRE ET PRIORISATION PAR UNE APPROCHE MULTICRITÈRE PARTICIPATIVE

Rapport final

03/2025

Plan pour une
économie
verte



Québec




Ouranos

ÉVÉNEMENTS CLIMATIQUES COMBINÉS EXTRÊMES POUR LE QUÉBEC : ÉTUDE EXPLORATOIRE ET PRIORISATION PAR UNE APPROCHE MULTICRITÈRE PARTICIPATIVE

Rapport final

03/2025

ÉQUIPE DE RÉALISATION :

Anissa Frini, Université du Québec à Rimouski

Valérie Jean, Université du Québec à Rimouski

MISE EN PAGE :

Krajniewski Mattéo, Université du Québec à Rimouski

Titre du projet Ouranos: Événements climatiques combinés extrêmes pour le Québec : Étude exploratoire et priorisation par une approche multicritère participative

Numéro du projet Ouranos: #712100

Citation suggérée : Jean, V., Frini, A., (2025). *Événements climatiques combinés extrêmes pour le Québec : Étude exploratoire et priorisation par une approche multicritère participative*. Rapport présenté Ouranos. Montréal. Université du Québec à Rimouski. 94 p. + annexes.

Les résultats et opinions présentés dans cette publication sont entièrement la responsabilité des auteurs et n'engagent pas Ouranos ni ses membres. Toute utilisation ultérieure du document sera au seul risque de l'utilisateur sans la responsabilité ou la poursuite juridique des auteurs.

Remerciements

Au nom de l'équipe de recherche de l'Université du Québec à Rimouski, nous tenons à remercier Ouranos pour les contributions financières et en nature accordées au projet. Nous tenons tout particulièrement à remercier Mme Alexandrine Bisailon de l'équipe en Sciences de l'adaptation, Mme Dominique Paquin et Christopher McCray de l'équipe en Sciences du climat et services climatiques pour leur participation active au projet, pour leur temps et leur disponibilité.

Nous remercions également les partenaires d'Ouranos qui nous ont accordé de leur temps pour la réalisation des entrevues qui a rendu ce projet possible.

Résumé

Contexte. Une prise de conscience de la fréquence accrue et des impacts de certains événements climatiques combinés s'effectue graduellement au Québec. Le sujet suscite l'intérêt de nombreux acteurs, et conséquemment les analyses de vulnérabilités et de risques cherchent à mieux prendre en compte ces événements combinés. De fait, plusieurs acteurs de différents secteurs (municipal, propriétaires d'infrastructures, secteurs économiques, agriculteurs, etc.) déjà engagés dans une démarche d'adaptation sont désormais prêts à aborder des problèmes plus complexes et à évaluer leur niveau de préparation face aux événements combinés. Toutefois, ceux-ci ont besoin de mieux comprendre l'évolution de ces aléas et pour ce faire, d'avoir accès à une information fiable et utile à la prise de décision. Or sur le plan scientifique, l'étude des événements combinés pose de nombreux défis, notamment en climatologie. Elle est d'autant plus difficile qu'il y a une large typologie d'événements possibles impliquant des considérations temporelles et spatiales différentes et des degrés de complexité différents. Sur le plan pratique, le défi réside plutôt dans le nombre de combinaisons d'événements possibles qui diffèrent d'un acteur à l'autre ainsi que sur la confusion entre événements climatiques combinés et cascades de conséquences.

Objectif général. Le projet vise à identifier et prioriser les événements climatiques combinés à étudier pour le Québec. Ce portrait des besoins en matière d'événements combinés permettra ultimement d'orienter et structurer les efforts consentis pour améliorer et mobiliser les connaissances climatiques nécessaires à la prise de décision par les différents acteurs interpellés et éventuellement sur les moyens de s'y adapter.

Objectifs spécifiques. Dans ce contexte, ce projet poursuit deux objectifs :

- Réaliser une recherche exploratoire qualitative afin d'identifier les événements climatiques combinés d'intérêt pour les partenaires d'Ouranos et colliger de l'information sur la vulnérabilité, la nature et la gravité des impacts potentiels de ces événements ainsi que la capacité à y faire face.
- Prioriser les événements combinés qui ont été mentionnés par les partenaires d'Ouranos par une approche d'aide à la décision multicritère.

À terme, cette priorisation des événements climatiques combinés permettra d'identifier les connaissances qu'il est déjà possible de valoriser, et de hiérarchiser les travaux à réaliser pour faire avancer la science sur les phénomènes et événements dont les tendances sont moins bien documentées.

Démarche. Pour réaliser les objectifs de l'étude, le projet se décline en deux phases :

- La phase 1 vise à répondre au sous-objectif 1. Pour cette étape, nous avons réalisé une recherche qualitative exploratoire par le biais d'entrevues longues semi-dirigées auprès de 30 partenaires d'Ouranos de différents secteurs d'activités.
- La phase 2 a permis la priorisation des événements combinés à partir d'une évaluation multicritère. Les critères retenus ont été déterminés avec l'équipe d'Ouranos. Les risques perçus, la disponibilité des données, la disponibilité des méthodes et la capacité de développement des connaissances sont les grands groupes de critères retenus. La pondération des critères et sous-critères a été réalisée par l'équipe d'Ouranos.

Résultats. Les changements dans la manière dont les aléas se manifestent sont mentionnés par plusieurs répondants qui remarquent que les événements ont tendance à se transformer depuis quelques années produisant des cas de figure plus inédits qui sont souvent plus imprévisibles.

45 combinaisons différentes ont été recensées lors des entrevues. De ce nombre, 18 événements combinés ont été jugés particulièrement préoccupants et ont fait l'objet des entrevues. Ces 18 événements impliquent des enjeux reliés soit au déficit en eau, aux inondations, à la fois aux inondations et au déficit en eau, aux vents, aux feux de forêt, aux variations brusques de température et de conditions météo.

La nature et les formats des informations souhaitées par les partenaires d'Ouranos montrent qu'il existe une variété de besoins. Néanmoins, certaines informations apparaissent essentielles soit la récurrence, l'intensité et

la durée des événements. Les formats souhaités varient de données brutes non agrégées à des fiches synthèses très vulgarisées.

La phase 2 du projet a permis de prioriser les événements combinés sur lesquels mettre en priorité des efforts de recherche et de valorisation des connaissances. Une structure hiérarchique initiale comportant deux dimensions fondamentales, sous dimensions et critères de décision a été produite avec une équipe d'Ouranos composée de membres des sciences du climat et des sciences de l'adaptation. Les critères ont été pondérés par la méthode AHP et trois rangements ont été produits par la méthode PROMETHEE II. Le premier rangement priorise les événements seulement selon les critères liés au risque perçu par les répondants. Pour ce faire, les évaluations fournies par les répondants lors des entrevues pour la gravité des conséquences, la vulnérabilité, et la résilience ont été utilisées. Le deuxième rangement priorise les événements seulement selon les critères liés à la faisabilité scientifique. Ces évaluations ont été fournies par les membres de l'équipe en sciences du climat. Finalement, le troisième rangement agrège tous les critères des deux dimensions (risque perçu et faisabilité scientifique) et suppose ainsi une certaine compensation entre les critères des deux dimensions. Les trois rangements fournis doivent être interprétés ensemble et on ne doit pas seulement se fier au rangement selon tous les critères afin de limiter l'effet de la compensation entre les critères sur la décision finale.

Retombées et suite. Les résultats permettront à Ouranos de poursuivre des travaux de valorisation et d'initier le développement de connaissances nouvelles relativement aux événements climatiques combinés qui préoccupent ses partenaires. Ce rapport est une première étape qui facilitera la hiérarchisation des travaux à réaliser afin de répondre efficacement aux besoins des partenaires d'Ouranos.

Table des matières

Remerciements	2
Résumé	3
Table des matières	5
1. Introduction	7
2. Contexte et objectifs	9
2.1.1. Objectif général.....	9
2.1.2. Objectifs spécifiques.....	9
3. Méthodologie	10
3.1. PHASE 1 : ENTREVUES AVEC DES PARTENAIRES D'OURANOS	10
3.1.1. Une méthodologie qualitative participative.....	10
3.1.2. La préparation des entretiens	10
3.1.3. Les grands secteurs d'activités retenus.....	11
3.1.4. Profils des participants et répartition par secteur d'activité	11
3.1.5. Conduite des entretiens, thèmes abordés et traitement des données récoltées.....	13
3.2. PHASE 2 : PRIORISATION DES ÉVÉNEMENTS COMBINÉS.....	15
3.2.1. Structuration du problème par la méthode AHP	15
3.2.2. Décomposition hiérarchique du problème de décision	16
3.2.3. Comparaisons par paires des éléments de chaque niveau hiérarchique.....	16
3.2.4. L'évaluation des événements combinés	17
3.2.5. La priorisation des événements climatiques combinés par la méthode PROMETHEE II	17
4. Résultats et discussion.....	18
4.1. RÉSULTATS DE LA PHASE 1	18
4.1.1. La notion d'événement climatique combiné	18
4.1.2. Événements climatiques combinés préoccupants	19
4.1.2.1. Les événements climatiques combinés préoccupants	19
4.1.2.2. Les événements combinés qui engendrent un déficit en eau	23
4.1.2.3. Les événements combinés qui engendrent des inondations et un déficit en eau.....	30
4.1.2.4. Événements combinés qui engendrent des inondations.....	35
4.1.2.5. Les événements combinés qui impliquent de forts vents	50
4.1.2.6. Les combinaisons liées aux feux de forêt	56
4.1.2.7. Les événements combinés qui impliquent des variations brusques de températures et de conditions météo	61
4.1.2.8. L'addition d'événements problématiques.....	64
4.1.3. Événements climatiques combinés : Nature et formats des informations souhaitées.....	68
4.1.3.1. La nature des informations souhaitées	68
4.1.3.2. Formats des informations	71
4.1.4. Événements préoccupants ne correspondent pas à la définition d'événement climatique combiné ...	72
4.1.4.1. Un cas de figure singulier : le milieu nordique	72
4.2. Résultats de la PHASE 2	74
4.2.1. L'arbre de décomposition hiérarchique	74
4.2.1.1. La dimension « Risque perçu par les répondants »	74
4.2.1.2. La dimension « Faisabilité scientifique »	74
4.2.2. La pondération des critères	75
4.2.2.1. Résultats des comparaisons par paires.....	75

4.2.2.2.	Pondérations obtenues.....	76
4.2.3.	La priorisation des événements climatiques combinés.....	79
4.2.3.1.	Matrice de décision.....	79
4.2.3.2.	Application de la méthode PROMETHEE II et résultats.....	80
4.3.	Limites.....	89
5.	Conclusion	90
	Références.....	91
	Liste des figures.....	92
	Liste des tableaux	93
	Annexes	94
	Annexe A – Grille d’entretien	94

1. Introduction

Les aléas météorologiques ou climatiques font maintenant partie des évaluations du risque par les différents acteurs issus de secteurs divers de la société québécoise, dans le but notamment de mettre en place des initiatives d'adaptation aux changements climatiques (milieu municipal, différents ministères, secteur agricole, associations et organismes, etc.). Jusqu'ici, ce sont les événements individuels qui ont surtout fait l'objet des préoccupations et des réflexions en amont de ces plans d'adaptation. Certains aléas tels que les inondations par exemple, ont fait l'objet d'une attention particulière surtout depuis les inondations de 2017 et 2019 qui ont marqué l'histoire du Québec. De même, l'été 2023 restera sans doute dans les esprits pour l'ampleur des feux de forêt à travers tout le pays, d'ouest en est. Cependant, on remarque de plus en plus que les événements que l'on avait l'habitude d'appréhender individuellement, ont tendance à se superposer à d'autres, ou encore sont d'une ampleur plus importante en raison de combinaison avec un ou d'autres événements.

La notion d'événement climatique composé² est mentionnée par le GIEC dès 2012. Le sixième rapport du GIEC publié en 2022 souligne que la probabilité d'événements composés augmentera notamment avec la poursuite du réchauffement climatique. Ainsi, les experts remarquent que les vagues de chaleur et les sécheresses simultanées sont devenues plus fréquentes. De même, les conditions météorologiques liées aux incendies, par exemple une vague de chaleur, une sécheresse et de forts vents, auront tendance à devenir plus fréquentes en particulier dans les régions où le réchauffement climatique est plus marqué.

Afin de documenter ce type d'événements, nous avons assisté ces dernières années à une augmentation progressive des travaux scientifiques sur les défis que posent les risques combinés et leur importance pour réfléchir la résilience et l'adaptation aux changements climatiques (Pescaroli et Alexandre, 2018). Les événements climatiques composés, appelés aussi événements climatiques combinés résultent d'une combinaison d'événements qui ne sont pas nécessairement extrêmes pris isolément, mais dont la combinaison augmente significativement l'ampleur des conséquences sociétales et/ou environnementales. En effet, les risques amplifiés associés à ces événements tiennent au fait que les impacts de ces événements se potentialisent mutuellement en se combinant ce qui cause des situations plus extrêmes. Plusieurs recherches tendent ainsi à démontrer que le contexte de changement climatique augmente la fréquence de ce type d'événements. Or, bien que plusieurs événements extrêmes soient attribuables à ces événements combinés plus complexes, la compréhension, l'analyse, la quantification et la prévision de ces événements restent encore limitées (Zscheischler *et al.*, 2020).

La complexité des événements combinés tient en partie au fait qu'ils peuvent se combiner de multiples façons et sur plusieurs échelles spatio-temporelles. De fait, chaque événement combiné peut dépendre de la nature et du nombre de variables physiques impliquées, des échelles spatiales et temporelles, du degré de dépendance entre les processus et du point de vue des acteurs qui définissent l'impact (Léonard *et al.*, 2013).

Selon Bevacqua *et al.* (2021), la recherche sur les événements combinés reste encore limitée et la détermination d'un cadre commun pose plusieurs défis, car différents facteurs peuvent intervenir : tels que les impacts sociétaux et/ou environnementaux, les aléas liés au climat, les facteurs déterminants des aléas eux-mêmes (blocage atmosphérique qui exacerbe une canicule ou un épisode d'inondation par exemple), et les changements climatiques qui peuvent influencer ces différents facteurs. Selon ces auteurs, il est important de prendre en compte la nature complexe des événements composés afin d'évaluer avec plus de précision les risques qui sont liés au climat et favoriser des stratégies d'adaptation et de préparation aux situations d'urgence induites par ces événements souvent plus extrêmes. Selon ces auteurs, malgré un certain cadrage de la recherche sur le sujet, il manque encore de lignes directrices sur la manière d'étudier les différents types d'événements combinés.

² Le mot composé est parfois utilisé à la place de combiné, notamment suite à la traduction de l'expression compound events

Néanmoins, afin de donner un cadre commun aux recherches qui s'y intéressent, des chercheurs ont proposé une typologie de ces événements combinés. Zscheischler *et al.* (2020) proposent de définir 4 catégories de combinaisons d'événements dans le but de fournir un cadrage facilitant une compréhension commune de ce type d'événements. Cette catégorisation n'empêche pas qu'un même événement puisse appartenir à plusieurs catégories., car il ne s'agit pas de catégories exclusives. Ces catégories sont les suivantes :

- **Événement avec condition préalable** : une condition météorologique ou climatique préexistante aggrave les impacts d'un événement climatique;
- **Événement multivarié** : Plusieurs événements météorologiques ou climatiques se produisent en même temps au même endroit;
- **Événement combiné dans le temps** : Une succession d'aléas qui affectent une région géographique donnée qui mènent à, ou qui amplifient l'impact par rapport à un aléa individuel. Les aléas peuvent être du même type ou différents;
- **Événement combiné dans l'espace** : Plusieurs endroits connectés (ex.: par un secteur économique) sont impactés par le même ou différents aléas dans un horizon temporel limité.

La conceptualisation des événements climatiques combinés n'est cependant pas si facile à faire, en particulier pour les acteurs qui ne sont pas des scientifiques du climat ou de la météorologie. Et plusieurs zones floues persistent parfois quand vient le temps de déterminer si un événement est ou non combiné. Par exemple, un feu de forêt peut être considéré comme un événement simple, mais peut aussi être envisagé comme la conséquence d'événements ou de facteurs climatiques ou météorologiques qui en se combinant ont provoqué les feux (ex. : une sécheresse combinée à un épisode convectif intense provoquant des orages). Il en est de même pour les inondations, qui sont parfois mentionnées comme un seul aléa, mais qui peuvent également être décortiquées comme le résultat par exemple d'une combinaison de la fonte soudaine de la neige induite par un redoux printanier jumelée à des pluies intenses.

La définition d'événement climatique combiné que nous avons retenue pour cette recherche est la suivante et reprend essentiellement la typologie proposée par Zscheischler *et al.* (2020) :

Événement climatique combiné : Une combinaison d'au moins deux événements climatiques ou météorologiques qui se produisent en même temps ou en succession, sur un même territoire ou dans différentes régions et qui entraîne un risque sociétal et/ou environnemental. Il peut s'agir de :

- Deux événements qui se produisent en même temps.
- Une succession d'événements dans le temps.
- Des événements qui se produisent sur des territoires différents, mais dont les conséquences sont liées.
- Des conditions préalables aggravantes qui augmentent la vulnérabilité.

Le présent rapport présente les résultats d'une étude visant à identifier et prioriser les événements combinés à étudier pour le Québec à partir d'un portrait des préoccupations et des besoins en matière d'événements combinés exprimés par différents partenaires d'Ouranos. Il s'agit ultimement d'orienter et de structurer les efforts consentis pour améliorer et mobiliser les connaissances climatiques nécessaires à la prise de décision par les différents acteurs interpellés et éventuellement pour mieux réfléchir aux moyens de s'y adapter.

La section 2 du rapport présente le contexte et les objectifs de l'étude. La section 3 détaille la méthodologie utilisée qui se scinde en deux phases à savoir une étude exploratoire pour identifier les événements climatiques extrêmes et une analyse multicritère participative pour la priorisation de ces événements. La section 4 présente les résultats des deux phases de l'étude pour finir avec une conclusion à la section 5.

2. Contexte et objectifs

Une prise de conscience de la fréquence accrue et des impacts de certains événements ou aléas combinés s'effectue graduellement au Québec. Le sujet suscite l'intérêt de nombreux acteurs et conséquemment, les analyses de vulnérabilités et de risques cherchent à prendre de plus en plus en compte ces événements. Plusieurs acteurs de différents secteurs (municipal, propriétaires d'infrastructures, secteurs économiques, agriculteurs, etc.) déjà engagés dans une démarche d'adaptation sont désormais prêts à aborder des problèmes plus complexes et à évaluer leur niveau de préparation face aux événements combinés. Toutefois, ceux-ci ont besoin de mieux comprendre l'évolution de ces aléas et pour ce faire, d'avoir accès à une information fiable et utile à la prise de décision. Or sur le plan scientifique, l'étude des événements combinés pose de nombreux défis, notamment en climatologie, dont par exemple la rareté des épisodes versus la quantité de simulations requises, la quantification des incertitudes, les méthodologies selon la dépendance, le synchronisme et la colocalisation des constituants et la grande diversité des combinaisons. Sur le plan pratique, le défi réside plutôt dans le nombre de combinaisons d'événements d'intérêt qui diffèrent d'un acteur à l'autre ainsi que sur la confusion entre événements climatiques combinés et cascades de conséquences.

Dans ce contexte, ce projet vise à identifier et prioriser les événements combinés à étudier pour le Québec. Ce projet contribue à répondre aux enjeux de l'adaptation puisque l'identification des événements combinés, des vulnérabilités et des impacts permettront d'approfondir les connaissances sur ces événements dans l'objectif de mieux agir en prévention. De plus, le projet va contribuer aux enjeux soulevés par la programmation scientifique 2020-2025 d'Ouranos en Science du climat et services climatiques soit i) le besoin d'améliorer la compréhension de phénomènes complexes à fort impact ii) la forte croissance et diversification des demandes pour une information climatique en appui à l'adaptation ii) la nécessité de développer des méthodes innovantes de post-traitement multivarié afin d'assurer une cohérence physique des multiples variables demandées par les usagers».

2.1.1. Objectif général

L'objectif général de ce projet est d'identifier et de prioriser les événements climatiques combinés à étudier pour le Québec à partir d'un portrait des préoccupations et des besoins en matière d'événements combinés exprimés par différents partenaires d'Ouranos. Il s'agit ultimement d'orienter et de structurer les efforts consentis pour améliorer et mobiliser les connaissances climatiques nécessaires à la prise de décision par les différents acteurs interpellés et éventuellement pour mieux réfléchir aux moyens de s'y adapter.

2.1.2. Objectifs spécifiques

Dans ce contexte, ce projet a consisté dans un premier temps à réaliser une recherche exploratoire qualitative pour :

- Identifier les événements combinés d'intérêt pour les partenaires d'Ouranos et colliger de l'information sur la vulnérabilité, la nature et la gravité des impacts potentiels de ces événements ainsi que la capacité à y faire face.

Puis, dans un deuxième temps, le projet a permis de :

- Prioriser les événements combinés qui ont été mentionnés par les partenaires d'Ouranos par une approche d'aide à la décision multicritère.

La priorisation de ces événements combinés permettra d'identifier quelles connaissances il est déjà possible de valoriser et de hiérarchiser les travaux à réaliser pour faire avancer la science sur les phénomènes et événements dont les tendances sont moins bien documentées.

3. Méthodologie

Pour réaliser les objectifs de l'étude, le projet se décline en deux phases. La phase 1 vise à répondre au sous-objectif 1 soit identifier les événements climatiques combinés qui préoccupent les partenaires d'Ouranos, recenser les conséquences potentielles de ces événements et estimer la vulnérabilité de différents secteurs face à ceux-ci. La phase 2 consiste à prioriser les événements combinés qui auront été identifiés dans la phase 1 en utilisant une analyse multicritère basée sur les critères déterminés en collaboration avec Ouranos.

3.1. PHASE 1 : ENTREVUES AVEC DES PARTENAIRES D'OURANOS

3.1.1. Une méthodologie qualitative participative

Pour réaliser la phase 1, nous avons considéré une méthodologie de recherche qualitative participative. La participation prend une place de plus en plus importante dans les processus de décision (Bherer, 2011), au point d'être considérée comme un facteur clé de succès dans les processus décisionnels (Cahen & Colombo, 1999). Le terme « participation » inclut un éventail complet de méthodes par lesquelles le public peut prendre part, telles que l'information, la collecte d'information, la consultation, la concertation, etc. (Tille, 2001). La légitimité du résultat qui émane d'un processus de décision participatif découle de la légitimité de la procédure en elle-même, et celle-ci dépend de la procédure d'arbitrage des intérêts des parties prenantes. Si cette dernière est jugée légitime par les participants, la décision qui va résulter du processus de décision le sera aussi (Rousseau & Martel, 1996; Urli, B., 2013).

Dans notre contexte et vus les objectifs du projet, la conduite d'un processus participatif permet i) de mieux refléter les valeurs et opinions des différents partenaires d'Ouranos dans la définition des futurs projets de recherche qui seront menés par Ouranos, ii) de favoriser l'appropriation des résultats des projets de recherche par le réseau d'acteurs partenaires d'Ouranos, et iii) d'amener une meilleure légitimité du choix des événements combinés qui feront l'objet des recherches futures. Dans ce projet, la forme de la participation considérée est la consultation. Lors d'un processus consultatif, les répondants donnent leurs avis, mais n'ont aucun pouvoir décisionnel. En effet, le répondant peut influencer le décideur qui l'écoute, mais qui décide seul de tenir compte ou non de ses propositions. Dans ce processus consultatif, les partenaires d'Ouranos qui ont été interrogés sont au centre de la démarche puisque la consultation va produire des résultats par lesquels ils seront directement concernés. Nous nous plaçons ici dans une logique de co-construction en faisant participer les utilisateurs dans le processus de développement des connaissances. Les informations sur les événements combinés, les vulnérabilités et les conséquences potentielles sont le produit de plusieurs préférences locales où chacun des intervenants joue un rôle particulier. Ce qui importe à ce niveau est que le processus puisse permettre l'expression légitime de tous les participants et la prise en compte de leurs préférences sans tomber dans la dictature d'un point de vue sur les autres (Rousseau et Martel, 1996).

Dans le cas de cette recherche, trente partenaires d'Ouranos préalablement identifiés et représentant divers secteurs ont été consultés sur une période de 4 mois. La méthodologie de la phase 1 se décline en 3 volets (la préparation des entrevues, la conduite de celles-ci et enfin l'analyse des résultats obtenus).

3.1.2. La préparation des entrevues

Le premier volet concerne la préparation des entrevues. Tout d'abord, les répondants ont été identifiés parmi le réseau de partenaires d'Ouranos. Le choix des participants potentiels a été fait par Ouranos qui a identifié 1) les partenaires ayant au cours des dernières années manifesté de l'intérêt sur les événements combinés ainsi que 2) les acteurs en provenance de milieux généralement impactés par ces types d'événements. Une collaboration entre l'équipe de coordination de la science de l'adaptation (CSA) et l'équipe de la science du climat et des services climatiques (SCSC) dans ce recensement a permis de couvrir une diversité de secteurs.

3.1.3. Les grands secteurs d'activités retenus

Pour aborder les événements climatiques combinés et comprendre les préoccupations qu'ils soulèvent auprès des partenaires d'Ouranos, il était essentiel de couvrir un éventail de secteurs d'activités. En effet, les enjeux reliés à ce type d'événements sont potentiellement en lien avec des réalités parfois propres aux secteurs d'activités. La notion même de risque est reliée aux réalités qui concernent les acteurs qui œuvrent dans ces différents champs d'expertise et de responsabilité. Douze grands secteurs d'activités ont été ciblés. Évidemment, ce découpage simplifie artificiellement des réalités plus complexes. Certains répondants pourraient objectivement faire partie de plus d'un secteur d'activité. Les questions relatives à la gestion de l'eau par exemple sont forcément reliées à celles de l'environnement, et la sécurité civile peut inclure des réalités municipales, mais également supra municipales. De même, le secteur d'activité « utilisation de la forêt » aurait tout à fait pu se nommer « plein-air et tourisme ». Il est donc important ici de ne considérer ce découpage que comme un indicateur des champs d'expertise et des enjeux potentiellement soulevés par les événements climatiques combinés.

Les secteurs d'activité qui ont été retenus

- Gestion de l'eau
- Agriculture
- Transport et infrastructures
- Production énergétique
- Santé publique et individuelle
- Utilisation de la forêt
- Sécurité civile
- Assurances
- Bâtiments et milieu de vie
- Milieux côtiers et maritimes
- Milieu nordique
- Environnement et biodiversité

3.1.4. Profils des participants et répartition par secteur d'activité

Gestion de l'eau :

- 1 gestionnaire (gestion de l'eau, ministère)
- 1 hydrogéomorphologue (responsable du service environnement d'une MRC)
- 2 ingénieurs (gestion de barrages, ministère)
- 1 technicien en hydrogéologie (organisme de concertation relié à la gestion de l'eau)

Agriculture :

- 1 gestionnaire (politiques agricoles et assurance agricole)
- 1 urbaniste (coordination en environnement, aménagement et services-conseils)
- 1 agronome (chercheur et consultant relié à l'adaptation aux changements climatiques)

Transports et infrastructures :

- 1 spécialiste en aménagement du territoire et architecture (gestionnaire en adaptation aux changements climatiques, ministère)
- 1 ingénieur en géotechnique (ministère)
- 1 ingénieur en hydraulique (ministère)

Santé publique et individuelle :

- 1 conseiller scientifique sur les questions reliées aux changements climatiques

Production énergétique :

- 1 ingénieur en hydrologie (recherche en adaptation aux changements climatiques)
- 1 météorologue (recherche sur les risques naturels)
- 1 spécialiste en sciences de l'atmosphère (responsable de plan d'adaptation aux changements climatiques)

Utilisation de la forêt :

- 1 biologiste (gestionnaire de parcs)
- 1 gestionnaire de centres de ski
- 1 président d'un club régional de motoneige

Sécurité civile :

- 1 géographe (coordonnateur à l'atténuation des risques)
- 1 météorologue (prédiction météo)
- 1 climatologue (responsable de la sécurité civile, niveau municipal et supra municipal)
- 1 ingénieur géologue (soutien à la réduction des risques des sinistres, niveau provincial)
- 1 géomorphologue (géomorphologie fluviale et avis techniques reliés aux aides financières aux sinistres, niveau provincial)
- 1 gestionnaire biologiste (spécialiste en environnement et changements climatiques, niveau provincial)

Assurances :

- 1 directeur aux communications et affaires publiques
- 1 analyste des politiques
- 1 météorologue (spécialiste des questions de climat et météo)

Bâtiments et milieu de vie :

- 1 urbaniste (consultant auprès des municipalités et des décideurs en aménagements du territoire)
- 1 urbaniste (gestionnaire en milieu municipal sur les questions relatives à l'adaptation des infrastructures)

Milieux côtiers et maritimes :

- 1 biologiste-océanographe (suivis sur les écosystèmes côtiers, fluviaux et marins, ministère)
- 1 biologiste (agent de projet aux dossiers environnementaux, organisme régional)

Milieu nordique :

- 1 ingénieur en mécanique (adaptation des habitations en milieu nordique et habitation et sécurité civile)
- 1 gestionnaire (environnement et à aménagement du territoire)

Environnement et biodiversité :

- 1 géomorphologue (recherche appliquée, normes et communication du risque en lien avec les changements climatiques)
- 1 biologiste (environnement et conservation de la nature et de la biodiversité, organisme)
- 1 conseiller en environnement et aménagement du territoire (supra municipal)

3.1.5. Conduite des entrevues, thèmes abordés et traitement des données récoltées

L'équipe de recherche a rédigé une grille d'entrevue³ comportant des questions ouvertes qui ont été posées aux participants. Une rencontre avec l'équipe d'Ouranos a eu lieu pour valider le contenu de la grille d'entrevue. Celle-ci a pris en compte toutes les considérations éthiques exigées dans le cadre d'une recherche universitaire. Il est important de mentionner que la grille d'entrevue a été remise aux participants lors de la prise de rendez-vous, et que généralement ceux-ci avaient pu en prendre connaissance quelques jours avant l'entrevue.

Chaque entrevue a duré en moyenne une heure trente. La grande majorité s'est déroulée en entrevue individuelle, mais quatre entrevues ont été réalisées avec plusieurs répondants (2 ou 3) d'une même organisation. Dans ces cas, ce sont les personnes sollicitées qui ont souhaité être accompagnées de leurs collègues afin de rendre compte plus adéquatement de la complexité des enjeux auxquels ils font face. Ces entretiens avec plusieurs participants ont cependant été considérés de la même manière que les entrevues individuelles et chaque entrevue compte comme un répondant.

Nous débutons l'entrevue en présentant la définition d'événement climatique combiné retenue dans le cadre de ce projet, et nous avons accompagné cette définition avec des exemples afin de rendre compte des différents types d'événements qui sont possibles. En effet, les événements combinés peuvent représenter différents cas de figure ce qui complexifie leur priorisation. Pour certains, ils peuvent être des événements synchrones et colocalisés alors que pour d'autres ils peuvent se produire sur des périodes temporelles plus longues ou sur des territoires distincts. Il importait de circonscrire au début de l'entretien ce que nous entendions par événements combinés. La définition accompagnée des exemples était présentée comme suit:

Événements climatiques combinés : Une combinaison d'au moins deux événements climatiques ou météorologiques qui se produisent en même temps ou en succession, sur un même territoire ou dans différentes régions et qui entraîne un risque sociétal et/ou environnemental.

- Deux événements qui se produisent en même temps. Exemple : du verglas combiné à de forts vents, ou encore pluies abondantes combinées à une onde de tempête.
- Une succession d'événements dans le temps. Exemple : Une inondation suivie d'une vague de chaleur.
- Des événements qui se produisent sur des territoires différents, mais dont les conséquences sont liées. Exemple : Une sécheresse sur la Côte-Nord et en même temps une vague de chaleur dans le sud (diminution de la capacité de production électrique au même moment que l'utilisation accrue des climatiseurs)
- Des conditions préalables aggravantes qui augmentent la vulnérabilité. Exemple : Un redoux à la fin de l'hiver suivi d'un gel (début de la croissance végétale affectée ensuite par le gel).

Une fois le cadrage fait, les répondants ont été appelés à s'exprimer sur les événements combinés qui les préoccupent. Ils étaient tout d'abord invités à dresser la liste de tous les événements climatiques combinés qui les préoccupaient. Ensuite, nous leur demandions d'en choisir deux qu'ils jugeaient les plus préoccupants parmi ceux nommés. Les questions de la grille d'entrevue étaient posées relativement à ces deux événements jugés les plus préoccupants.

Lors des discussions, nous invitons les répondants à nous indiquer le degré de gravité des conséquences de ces événements.

Nous avons présenté aux participants une échelle à 5 points associés aux 5 libellés suivants :

1. Conséquence mineure qui n'affecte pas le déroulement de vos activités.
2. Conséquence provoquant peu de dommages, mais qui modifie le déroulement de vos activités.
3. Conséquences provoquant des dommages importants qui peuvent être résolus par les ressources existantes.

³ La grille d'entretien est en annexe du présent document.

4. Conséquences provoquant des dommages importants qui nécessitent des moyens complémentaires non prévus.
5. Conséquences non réversibles modifiant en profondeur le fonctionnement à long terme de votre organisation ou secteur.

Pour répondre à cette question, les répondants étaient invités à choisir le degré qui leur semblait le plus adéquat. Cet exercice n'a pas toujours été évident à faire pour les répondants. En effet, en fonction des expertises et du niveau d'intervention de leurs activités, l'évaluation était parfois donnée pour chaque type de conséquence séparément et parfois une évaluation globale est donnée pour l'ensemble des conséquences mentionnées. De plus, lorsqu'un répondant a mentionné plusieurs impacts pour un même type de conséquences, parfois ils ont souhaité évaluer chaque impact séparément, parfois ils ont mentionné que leur évaluation valait pour le type de conséquences nommées tous impacts confondus. Dans ce dernier cas de figure, nous avons rapporté la valeur donnée pour le type de conséquences vis-à-vis les différents impacts nommés.

Nous avons également demandé au répondant d'évaluer le degré de capacité à faire face à l'événement.

L'évaluation était effectuée à partir d'une échelle à 5 points. Dans cette échelle, le terme « capacité » référait à l'aptitude à affronter rapidement le choc d'un événement climatique combiné, à établir les priorités d'action et à mobiliser les ressources nécessaires pour se remettre de la perturbation. Les différents niveaux de capacité étaient définis de la manière suivante :

- Une faible capacité implique la difficulté à réagir rapidement et la persistance des conséquences à moyen et long terme.
- Une capacité modérée implique une réaction plus ou moins rapide à court terme avec des conséquences modérées à moyen et long terme.
- Une capacité forte implique une réaction rapide à court terme avec peu de conséquences à moyen et long terme.
- Une excellente capacité implique une réaction très rapide à court terme sans conséquence à moyen/long terme.

Les répondants devaient choisir le degré qui correspondait le mieux à leur appréciation sur l'échelle de 1 à 5

1. Aucune capacité à se remettre de l'événement
2. Faible capacité à se remettre de l'événement
3. Capacité modérée à se remettre de l'événement
4. Forte capacité à se remettre de l'événement
5. Excellente capacité à se remettre de l'événement

Enfin, nous posons une question sur la vulnérabilité telle que perçue en invitant les répondants à choisir un degré de vulnérabilité entre faible, modéré ou élevé.

À la fin de l'entretien, nous ouvrons la discussion aux événements combinés qui préoccupent les répondants, mais qui ne cadrent pas avec la définition fournie au début de l'entretien afin de collecter les besoins plus larges des partenaires. Enfin, la grille d'entrevue prévoyait des questions relatives à la nature des informations et des formats souhaités en lien avec les événements combinés traités.

Il est important de mentionner que les répondants de notre échantillon occupent des fonctions diverses, dans des organisations elles-mêmes différentes les unes des autres. Quelques questions posées pouvaient moins bien correspondre aux types de responsabilités de certains d'entre eux. Cela est apparu plus fortement au moment de répondre à certaines questions, notamment celles qui touchaient l'évaluation de la capacité à faire face, ou encore l'énumération des mesures d'atténuation. Pour les répondants très proches des réalités du terrain, ces questions n'ont généralement pas posé de problème, mais pour d'autres, le niveau d'intervention ne leur permettait pas d'y répondre. Néanmoins, nous avons tenté de permettre aux répondants d'exprimer ce qui leur semblait important malgré ces contraintes.

Les entretiens ont été enregistrés, synthétisés et analysés. L'analyse des données a eu pour but d'identifier i) une liste d'événements combinés avec la fréquence de partenaires l'ayant mentionné, ii) les conséquences potentielles de ces événements et une estimation de leur niveau de gravité, iii) le niveau de résilience de chaque partenaire.

3.2. PHASE 2 : PRIORISATION DES ÉVÉNEMENTS COMBINÉS

La priorisation des événements climatiques combinés qui ont été identifiés précédemment se fera par une démarche d'aide à la décision participative. Celle-ci repose sur la concertation pour la décomposition hiérarchique des critères et la détermination des poids et l'utilisation d'une méthode multicritère pour la priorisation des événements climatiques combinés.

L'aide multicritère à la décision participative (AMCDP) peut être définie comme l'utilisation des méthodes d'aide multicritère à la décision dans un processus de décision participative. Une procédure de prise de décision participative bien menée favorise l'appropriation, la concertation et la légitimation de la décision (Damart et al., 2001). Elle permet aussi l'identification des besoins des acteurs, l'émergence d'idées nouvelles et l'évitement de potentiels conflits (Tille, 2001). L'AMCDP a de plus en plus de succès et est utilisée dans de nombreux domaines comme la gestion des déchets et des sites industriels, la gestion territoriale, la gestion de l'eau, la gestion des forêts, le développement durable, la gestion des zones côtières et dans le contexte des processus décisionnels gouvernementaux en général.

L'AMCDP s'appuie sur l'aide multicritère à la décision, notamment pour la phase de structuration. La démarche générale d'un processus d'AMCDP sera ainsi très semblable à celle de l'aide multicritère à la décision. La différence entre l'AMCDP et l'aide multicritère à la décision réside dans le fait que l'AMCDP intègre les préférences de multiples acteurs/parties prenantes et non celles de l'unique décideur seulement (Urli, B., 2013). Comme l'aide multicritère à la décision classique, la démarche AMCDP commence par la structuration du problème (alternatives, critères, évaluation des alternatives sur les différents critères), suivie de la modélisation des préférences (poids des critères, seuils s'il y a lieu) et de l'application d'une méthode d'agrégation multicritère. À l'issue des résultats de la méthode multicritère utilisée, une recommandation sera émise.

Dans ce projet, la forme de participation utilisée est la concertation. La légitimité de la décision qui émane d'un processus de décision participatif par concertation découle de la légitimité de la procédure en elle-même. Si cette dernière est jugée légitime par les participants, la décision qui va résulter du processus de décision le sera aussi (Rousseau et al., 1996). Dans notre cas ici, l'implication des participants s'est située au niveau de la construction des critères et la détermination des poids. Nous avons choisi d'utiliser d'une part la méthode AHP pour la structuration du problème, la construction de l'arbre hiérarchique des critères et la détermination des poids et d'autre part la méthode PROMETHEE II pour la priorisation des événements climatiques. Les différentes étapes de ces deux méthodes sont présentées dans ce qui suit.

3.2.1. Structuration du problème par la méthode AHP

Développée par Saaty (1980), AHP (Analytic Hierarchy Process) est une méthode multicritère de critère unique de synthèse basée sur : la décomposition du problème de décision, les comparaisons par paires et les mesures d'importance relative à partir de l'échelle sémantique de Saaty pour déduire les pondérations des critères. AHP se déroule en quatre étapes :

- Étape 1 : Décomposition hiérarchique du problème de décision
- Étape 2 : Comparaisons par paires des éléments de chaque niveau hiérarchique.
- Étape 3 : Détermination du vecteur de priorité et calcul de l'indice de cohérence pour chaque matrice de comparaison.
- Étape 4 : Agrégation des poids relatifs et détermination des poids des indicateurs.

3.2.2. Décomposition hiérarchique du problème de décision

Le problème de décision est représenté sous forme d'une structure hiérarchique reflétant les interactions entre les différents éléments du problème (figure 1). On retrouve au sommet de la hiérarchie l'objectif et dans les niveaux inférieurs, les éléments contribuant à atteindre cet objectif. Les actions sont le dernier niveau de la hiérarchie. Dans ce projet, les dimensions, les sous-dimensions et les critères vont constituer les différents niveaux hiérarchiques et les indicateurs sont le dernier niveau de la hiérarchie. Les branches à partir d'un nœud de la hiérarchie doivent être aussi indépendantes que possibles.

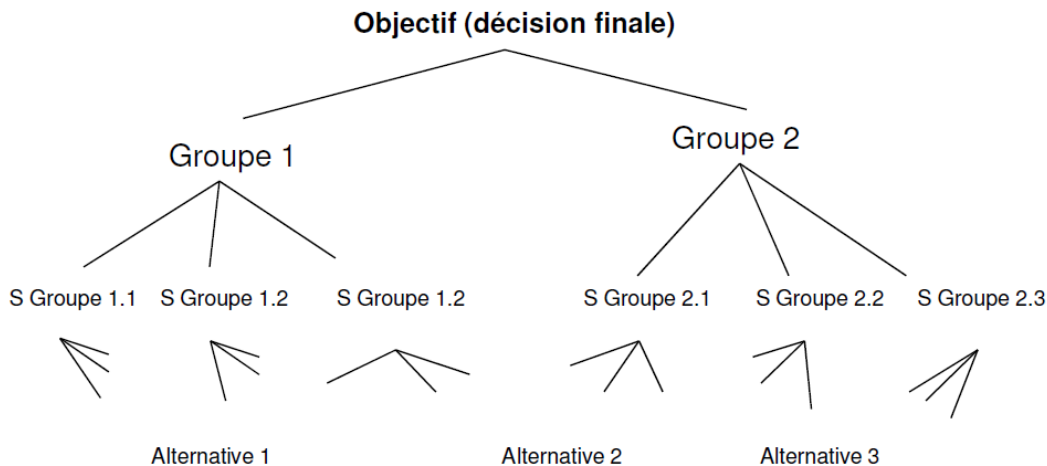


Figure 1. Structure hiérarchique AHP.

3.2.3. Comparaisons par paires des éléments de chaque niveau hiérarchique

Une fois l'arbre des critères construit, nous procédons à la comparaison par paires des éléments de la hiérarchie. Nous comparons ainsi deux à deux les éléments de chaque niveau hiérarchique. Ces comparaisons sont quantifiées en utilisant l'échelle sémantique de Saaty (Tableau 1) qui mesure combien un élément domine un autre par rapport à la dimension dans le niveau immédiatement supérieur.

Tableau 1. Échelle sémantique de Saaty (1980).

Définition	Explication	Degré d'importance
Importance égale des deux critères	Les deux critères contribuent autant à l'objectif	1
Faible importance d'un critère par rapport à un autre	L'expérience et l'appréciation personnelles favorisent légèrement un critère par rapport à un autre	3
Forte importance d'un critère par rapport à un autre	L'expérience et l'appréciation personnelles favorisent fortement un critère par rapport à un autre	5
Très forte importance d'un critère par rapport à un autre	Un critère est fortement favorisé et sa dominance est attestée dans la pratique	7
Importance absolue d'un critère par rapport à un autre	Il est évident qu'un des deux critères doit être favorisé au maximum	9
Valeurs intermédiaires entre deux appréciations voisines	Le compromis est nécessaire entre les deux appréciations afin d'affiner le jugement	2, 4, 6, 8

Lors des comparaisons par paires, les jugements peuvent être incohérents. Un ratio de cohérence est mesuré pour chaque matrice de comparaison. Dans le cas où cet indice dépasse le seuil limite de cohérence de 10%, les comparaisons par paires doivent être revues avec le groupe d'acteurs pour l'améliorer. Le résultat de cette étape est le poids relatif de chaque dimension, sous-dimensions et enfin critère.

La méthode AHP convertit ces évaluations qualitatives en valeurs numériques et dérive un poids pour chaque critère. Cette démarche s'inspire des principes de la psychologie cognitive étant donné que les capacités cognitives de l'individu lui permettent aisément de comparer deux à deux les éléments de manière rationnelle et cohérente.

3.2.4. L'évaluation des événements combinés

Le deuxième volet consiste à évaluer les différents événements combinés qui sont à prioriser selon les différents critères précédemment construits. L'évaluation sommaire des défis techniques et scientifiques pour chaque événement combiné retenu est produite par l'équipe en sciences du climat d'Ouranos. Le risque perçu de chaque événement mesuré par la gravité des conséquences, la vulnérabilité et la résilience proviennent des résultats d'analyse des entretiens (phase 1).

3.2.5. La priorisation des événements climatiques combinés par la méthode PROMETHEE II

Une fois les poids des critères produits, la priorisation des événements combinés se fera par la méthode PROMETHEE (Preference Ranking Organization MeTHod for Enrichment Evaluation). Bien que plusieurs autres méthodes multicritères existent et auraient pu être adoptées, nous avons opté vers la méthode PROMETHEE II pour les raisons qui suivent. Les travaux de recherche antérieurs ont démontré l'efficacité des méthodes PROMETHEE pour résoudre des problèmes environnementaux (Tille, 2001; Rousseau et al., 1996; Urli, B., 2013). Elle est relativement simple et facile à implémenter et elle permet de traiter des critères de nature qualitatifs. Il s'agit en plus d'une méthode de surclassement de synthèse (basées sur les comparaisons par paires) et semi-compensatoire.

4. Résultats et discussion

4.1. RÉSULTATS DE LA PHASE 1

4.1.1. La notion d'événement climatique combiné

Nous souhaitions d'abord savoir si, pour les répondants interrogés, le terme - Événement combiné - était en lui-même un concept évoqué dans le cadre de leurs activités, et si cette question les préoccupait. Les réponses des répondants démontrent que, même si la notion n'est pas évoquée comme telle, la majorité des répondants se disent préoccupés et plusieurs constatent des transformations ces dernières années qui mettent à l'avant des combinaisons ou des superpositions d'événements.

Pour les répondants qui œuvrent en sécurité civile à différents niveaux (municipal, supra municipal ou provincial), les méthodes d'approches et d'analyses se font surtout à partir des conséquences. Certains parlent d'événements à effets domino ce qui tend à confondre un événement combiné avec une cascade de conséquences. La notion de facteurs aggravants est également utilisée. Les résultats montrent que l'approche par les conséquences déplace en quelque sorte la focale et atténue l'importance donnée aux événements climatiques combinés stricto sensu au profit d'aléas jumelés avec des facteurs aggravants qui peuvent être de nature météorologique, mais aussi de nature anthropique ou autre (la pandémie par exemple). Autrement dit, c'est moins l'aléa comme tel qui importe dans leur analyse que les conséquences auxquelles les secteurs d'activités ont à faire face. Néanmoins, il y a le constat d'un déplacement dans le temps de certains aléas, provoquant de plus en plus de chevauchement d'aléas qui n'étaient pas traités simultanément par le passé.

Les changements dans la manière dont les aléas se manifestent sont mentionnés par plusieurs répondants. Selon eux, les aléas ont tendance à se transformer depuis quelques années produisant des cas de figure plus inédits qui sont souvent plus imprévisibles. Cette idée d'imprévisibilité (un répondant parle d'effet de surprise) revient dans les entretiens et explique les préoccupations croissantes d'une majorité de répondants. Ce qui se passe sur le terrain, ce qu'ils observent depuis quelques années ne correspond plus à ce qu'ils avaient l'habitude de voir, et il est difficile de savoir ce qui va se passer à l'avenir. Le défi est alors souvent celui d'être capable de se préparer et d'anticiper des situations inhabituelles, et souvent plus extrêmes.

Globalement, plusieurs estiment que dans le cadre de leurs fonctions, les aléas sont plutôt traités séparément, ce qui représente déjà très souvent un défi. D'ailleurs, la conceptualisation de ce que pourrait être un événement climatique combiné peut poser quelques problèmes. Dans quelques cas, il y a eu une tendance à confondre événements climatiques combinés et changement climatique. D'autre part, des questions se sont posées relativement à la temporalité entre deux aléas formant un événement combiné. En effet, certaines questions nous ont été posées d'entrée de jeu, juste après avoir expliqué la notion d'événement climatique combiné à l'aide des exemples qui illustraient les différents cas de figure possibles (typologie des événements combinés). Ces questions peuvent se résumer ainsi:

- Comment départager les événements climatiques de ce qui pourrait être considéré comme des tendances climatiques ?
- À partir de quand deux événements qui se produisent à des temps différents sont-ils considérés comme combinés, quel laps de temps permet de les lier et d'en faire un événement combiné ?

Nous avons éclairé les répondants sur ces questionnements en laissant la question de la temporalité assez large, en imaginant un laps de temps qui pouvait être considéré à l'intérieur d'une saison (quelques mois), sans plus de précision, mais en mentionnant que le laps de temps sur quelques années ne pouvait être considéré comme représentatif de la temporalité des événements climatiques combinés.

En revanche, si pour une majorité de répondants la notion d'événement combiné n'est pas explicitement évoquée dans le cadre de leur travail, d'autres l'utilisent (9 répondants sur les 30 interrogés disent l'utiliser et qu'elle était relativement familière. Il s'agit de répondants avec un profil scientifique relié aux questions environnementales, à la gestion du risque ou à l'adaptation aux changements climatiques provenant de différents ministères ou

organisations. Pour tous ces répondants, la question est d'intérêt et soulève des préoccupations importantes. De plus, même s'ils sont relativement habitués à utiliser la notion d'événement combiné, ils admettent aisément qu'il leur manque des connaissances et que la difficulté à bien anticiper ce type d'événement est un vrai sujet. Ils considèrent que ce type d'événement soulève plusieurs interrogations.

À ce titre, les propos d'un répondant sont éloquents:

« ... ce qu'on a observé dans les dernières décennies, c'est que les événements climatiques qui ont le plus d'impacts ce n'est pas nécessairement lié à l'évolution d'une seule variable, c'est souvent lié à une conjonction de facteurs qui font en sorte qu'on finit par se retrouver en situation extrême... ».

En terminant, disons que les répondants se sont tous montrés très intéressés par le sujet, considérant que les événements auxquels ils ont à faire face maintenant semblent vouloir s'amplifier et se complexifier. Une meilleure compréhension de ceux-ci leur semble particulièrement pertinente.

La notion d'événement climatique combiné : Les principaux points à retenir

Les deux tiers des répondants disent ne pas vraiment utiliser le terme d'événement climatique combiné. Cependant, même sans utiliser le terme, la majorité remarque tout de même des changements dans les aléas climatiques auxquels ils font face et ce sujet les préoccupe.

Plusieurs considèrent que les combinaisons sont difficiles à prévoir, ce qui complique la planification des actions pour y faire face. Cette idée est revenue très souvent, et représente une des préoccupations majeures des répondants, peu importe le secteur dans lequel ils travaillent.

De plus, la complexité de ce type d'événements augmente la difficulté d'adaptation à ceux-ci, et rend l'analyse et la compréhension de ces événements considérablement plus difficiles.

4.1.2. Événements climatiques combinés préoccupants

4.1.2.1. Les événements climatiques combinés préoccupants

Nous présentons les événements climatiques combinés jugés préoccupants par les répondants. D'entrée de jeu, il est important de mentionner que nous demandions d'abord aux participants quels étaient tous les événements climatiques combinés qui leur venaient en tête et qui étaient susceptibles de les préoccuper. Nous leur demandions ensuite d'en choisir deux qui leur semblaient particulièrement préoccupants et pour lesquels ils souhaitaient répondre aux questions de la grille d'entrevue. Au total, 44 événements combinés différents ont été nommés, ils sont présentés dans le tableau 2. De ce nombre, 18 ont été ciblés de manière prioritaire par les répondants et ont fait l'objet de l'analyse.

Plusieurs événements climatiques combinés impliquent des enjeux reliés à l'eau. Il peut s'agir d'événements combinés qui engendrent un **déficit en eau**, situation qui semble de plus en plus préoccupante comme le révèlent les entrevues. Plusieurs événements combinés engendrent **des inondations** et deux événements combinent **un déficit en eau et des inondations**. Les événements combinés **qui impliquent le vent** sont souvent reliés aux conséquences sur les infrastructures (et les arbres). D'autres combinaisons impliquent **les feux de forêt**. Ceux qui ont lieu récemment représentent une préoccupation croissante et l'été 2023 est une saison de référence qui inquiète pour l'avenir. **Les variations brusques de températures et de conditions météo** sont reliées à des enjeux plus spécifiques associés par exemple à la production énergétique, aux activités sportives, à l'intégrité des matériaux, aux avalanches, etc. **L'addition d'événements problématiques** regroupe des événements climatiques qui ont tendance à poser problème en raison de l'addition de conséquences et parfois l'allongement de la durée des situations d'urgence qui posent des défis notamment pour les activités de sécurité civile. Par exemple, un épisode de verglas suivi d'inondations ou des inondations produites en même temps qu'un feu ailleurs. Certains événements combinés sont plus spécifiques aux enjeux agricoles. Bien qu'ils n'aient pas été mentionnés plusieurs fois, ils inquiètent notamment en raison de la difficulté à s'y adapter et en

raison de l'augmentation possible de leur récurrence à l'avenir. Autrement dit, ce sont des événements qui fragilisent potentiellement tout un secteur d'activité. Nous les avons inclus dans « **autres événements** ».

Dans la section « autres événements », nous avons également mis des événements combinés plus singuliers. Deux d'entre eux sont spécifiques au secteur de la production énergétique. Le dernier n'est pas décrit en terme climatique, mais à partir des conséquences elles-mêmes. Nous l'avons intégré néanmoins dans la liste, en raison des craintes que suscitent les situations de pannes électriques, il recoupe en fait plusieurs événements nommés plus haut.

Ce classement n'est pas exclusif, en effet, un même événement pourrait être classé dans plus d'une catégorie. Néanmoins, il permet de repérer certains types d'enjeux qui sont associés aux événements, ce qui en facilite la compréhension globale et permet de contextualiser les préoccupations des répondants.

Le tableau 2 qui suit présente l'ensemble des événements climatiques combinés qui ont été nommés. On y retrouve les événements jugés prioritaires (indiqué en bleu) et traités plus profondément lors des entrevues, et les autres (en noir) qui paraissaient également préoccupants pour les répondants, mais moins prioritaires. Pour chaque événement combiné, nous retrouvons deux colonnes relatives au nombre de mentions. La première recense le nombre de mentions totales attribuées à chaque événement combiné, et la seconde recense le nombre de fois que l'événement a été choisi par les répondants pour être analysé durant l'entrevue.

Tableau 2. Les événements climatiques combinés recensés lors des entrevues

Événements climatiques combinés recensés	Nombre de mentions totales	Nombre de mentions pour analyse
Événements qui engendrent un déficit en eau		
EVE 1 : Hiver avec peu de neige, suivi d'une sécheresse au printemps et en été	1	1
EVE 2 : Sécheresse suivie ou en même temps d'un épisode de canicule	1	1
EVE 3 : Sécheresse dans le nord et en même temps épisode de canicule dans le sud	8	1
EVE 4 : Gel hivernal avec faible précipitation suivi d'une sécheresse au printemps	1	1
Événements qui engendrent des inondations et un déficit en eau		
EVE 5 : Sécheresse suivie de pluies abondantes	7	4
EVE 6 : Pluies abondantes suivies de sécheresse	1	1
Événements qui engendrent des inondations		
EVE 7 : Successions de dépressions causant des pluies abondantes menant à des inondations	6	2
EVE 8 : Pluies abondantes sur neige dues à des redoux hivernaux (condition préalable) ou à la fonte rapide de la neige/ Pluies abondantes et en même temps crues printanières	16	8
EVE 9 : Pluies abondantes et en même temps onde de tempête/	9	5

Onde de tempête et en même temps absence de glace en hiver (condition préalable) avec ou sans forte pluie		
EVE 10 : Printemps avec un fort volume de pluies et en même temps la persistance de températures anormalement fraîches	1	1
Pluies abondantes en même temps qu'inondation fluviale et embâcles	1	0
Événements qui impliquent le vent		
EVE 11 : Forts vents et en même temps précipitations importantes le plus souvent adhérentes (pluies, verglas, neige mouillée)	14	8
EVE 12 : Forts vents et en même temps températures très froides	2	2
Forts vents et en même temps forte hydraulicité des cours d'eau et réservoirs (problématique de production électrique)	1	0
Forts vents et en même temps inondations	2	0
Forts vents et en même temps précipitations de neige mouillée avec des températures autour de 0 en automne (présence de feuilles aux arbres)	1	0
Événements reliés aux feux de forêt		
EVE13 : Sécheresse suivie d'orages (même territoire) ou (sur des territoires différents dû à un blocage atmosphérique)	3	3
EVE 14 : Feux de forêt dans un territoire et en même temps canicule dans un autre territoire	7	4
Feux de forêt suivis de pluies abondantes (risque de glissements de terrain)	3	0
Feux de forêt et forts vents (augmente la propagation des feux)	1	0
Tempête qui fait tomber des arbres au sol, suivie d'orage (combustible au sol augmentation de l'ampleur des feux)	1	0
Épisode de canicule accompagnée d'une sécheresse (potentiels de feux de forêt)	2	0
Événements dont la combinaison implique des variations brusques de températures et de conditions météo		
EVE 15 : Redoux au printemps suivi d'un gel	1	1
EVE 16 : Écarts de températures importants et subits et en même temps ou alternativement des pluies abondantes	3	2
Pluies abondantes à l'automne suivies de températures de froid intense et marqué (-15/-20 : favorise la formation du frasil)	1	0

Hiver : redoux prolongé avec des températures au-dessus de 0 qui provoque la fonte du couvert de glace sur les cours d'eau et les réservoirs, suivi d'un froid intense et subit.	2	0
Gel suivi d'un dégel suivi d'un regel	3	0
Cocktail météo (mélange en peu de temps de précipitations liquides, neiges et verglas)	2	0
Pluies abondantes en hiver suivies rapidement par de fortes précipitations de neige (risque accru d'avalanches)	1	0
Précipitations adhérentes suivies rapidement d'un très grand froid	1	0
Addition d'événements problématiques		
EVE 17 : Verglas et en même temps ou suivi rapidement d'inondations (ou de crues)	2	1
EVE 18 : Inondations sur un territoire et en même temps ou en chevauchement des feux de forêt et un épisode de canicule ailleurs	1	1
Succession d'épisodes de canicule	1	0
Épisode de canicule et en même temps une sécheresse suivie d'orages et de feux de forêt en période d'étiage prolongé	1	0
Épisode de canicule suivie d'inondations (potentiellement de crues)	2	0
Inondations suivies d'une sécheresse suivie d'une tornade	1	0
Tempête de neige, suivie d'un épisode de verglas	1	0
Succession de tempêtes de neige rapprochées dans le temps	1	0
Autres événements		
Hiver et printemps doux avec beaucoup de précipitations, suivi d'un été pluvieux	1	0
Printemps tardif suivi à l'automne par un gel hâtif	1	0
Printemps tardif et températures chaudes soudaines	1	0
Gel tardif au printemps (au moment de la floraison des arbres fruitiers) accompagné de grêle	1	0
Précipitations adhérentes et en même temps suivies d'un temps couvert prolongé	1	0
Épisode d'ensoleillement prolongé et intense et en même temps absence de vent (surchauffe des conducteurs électriques)	1	0
Tout événement qui peut conduire à des pannes importantes pendant l'hiver	2	0

Dans la présentation de chacun des événements combinés analysés (sections 4.1.2.2 et suivants), nous présentons une synthèse des conséquences nommées, l'évaluation de leur degré de gravité, l'évaluation de la capacité à faire face, l'évaluation de la vulnérabilité du secteur et enfin les mesures d'atténuation existantes s'il y a lieu. Le secteur a été le plus souvent assimilé à « territoires » ou à « communautés », voire souvent à « municipalités », sauf dans des cas plus précis tels que celui des sports d'hiver ou de l'agriculture par exemple, ou le mot secteur fait davantage référence à l'activité elle-même et tout ce qui gravite autour.

Nous rappelons qu'il est arrivé que des répondants ne répondent pas à toutes les questions. Comme mentionné dans la présentation des répondants, les profils, les responsabilités et les niveaux d'intervention de ceux-ci pouvaient différer considérablement. Dans les tableaux qui présentent une partie des résultats pour chaque événement combiné, lorsqu'une question n'a pas été répondue, nous avons indiqué « **non évalué** ». Parfois, une réponse était non qualifiable, par exemple à la question relative à la vulnérabilité du secteur qu'ils représentent, certains ont indiqué qu'il était impossible d'y attribuer un qualificatif, car chaque communauté, chaque municipalité ou chaque type d'acteurs qu'ils représentaient pouvait avoir un niveau de vulnérabilité différent. Nous avons alors inscrit en guise d'évaluation le terme « **variable** » ou dans certains cas « **incapable de répondre** ».

Lorsque, dans certains cas, les propos laissaient entendre malgré tout une préoccupation du répondant à l'égard du sujet de la question, il nous est arrivé d'ajouter nous-mêmes une valeur estimée à partir des propos entendus. Dans ces cas de figure, la valeur estimée est placée après l'expression ou l'explication fournie, par exemple : « **jugé préoccupant** » /4. Ce chiffre a été attribué car certaines absences de donnée chiffrée entraîneront l'impossibilité de les considérer dans l'exercice de priorisation plus tard. Ces cas de figure et les moyens utilisés pour la phase 2 seront expliqués à la section du rapport relative à la phase de priorisation.

Enfin, certains événements combinés n'ont été mentionnés que par un seul répondant, le tableau qui présente les résultats est alors assez simple. En revanche, d'autres événements ont été mentionnés par plusieurs répondants différents. Nous avons alors regroupé les types de conséquences qui ont pu être nommés par ces différents répondants et nous avons, la plupart du temps, ajouté des précisions relatives aux impacts plus précisément décrits qui parfois pouvaient différer d'un répondant à l'autre à l'intérieur d'un même type de conséquences. Néanmoins, la structure des tableaux est toujours la même, qu'il y ait plusieurs répondants pour un même événement combiné ou qu'il n'y en ait qu'un seul.

4.1.2.2. Les événements combinés qui engendrent un déficit en eau

Certains enjeux sont directement reliés à la gestion de l'eau. Les inondations de 2017 et 2019, mais plus largement les expériences d'inondations au Québec ont surtout mis en avant les aléas qui provoquent des surplus d'eau. Or, ce qui commence à poindre dans les préoccupations de certains, ce sont les événements qui pourraient prendre place à l'avenir et qui pourraient contribuer à compromettre les réserves en eau. Alors que le Québec est habitué à envisager les crues de rivières, notamment lors de la saison printanière, la question de l'étiage des cours d'eau semble avoir été moins réfléchie. Nous verrons aussi que les conséquences pourraient s'amplifier s'il y avait une récurrence des événements combinés susceptibles d'engendrer un déficit en eau d'une année à l'autre. Dans ce qui suit, nous présentons les quatre événements combinés différents en lien avec le déficit en eau qui ont été nommés et désignés comme potentiellement préoccupants.

EVE 1 : Hiver avec peu de neige suivie d'une sécheresse en été

Description de l'événement et ses conséquences

Cette combinaison est nommée par un répondant du secteur de la gestion de l'eau provenant d'un ministère. Il s'agit d'un événement qui implique une succession temporelle de deux conditions qui durent assez longtemps pour devenir problématiques : soit de faibles précipitations pendant l'hiver et une sécheresse en été qui dure suffisamment longtemps. La temporalité est reliée ici à la fois à la succession d'événements (deux périodes où les précipitations sont faibles), mais aussi et surtout à leur durée qui amplifie l'effet de la succession de ces deux événements. Plus la sécheresse est prolongée, plus les conséquences seront sévères. C'est essentiellement la problématique de réserve en eau qui est l'objet de la préoccupation.

Le territoire ici est principalement celui d'un bassin versant, mais les réalités propres aux différents bassins versants peuvent impliquer des conséquences d'ampleur différentes. Pour l'instant, il y a encore peu de connaissance sur la spatialité de ce type d'événement. Par exemple à quel endroit dans un bassin versant le faible couvert de neige a le plus de conséquences sur la recharge en eau ?

Il s'agit d'une combinaison considérée comme étant relativement nouvelle, et pour laquelle il n'y a pas beaucoup de données. Il est difficile de comprendre le lien de cause à effet entre les deux événements de cette combinaison. Dans quelle mesure un hiver avec de faibles précipitations est responsable du manque d'eau, par exemple? De plus, les crues pourraient avoir tendance à être de moindre envergure que par le passé, et les étiages pourraient arriver plus tôt, et être plus prononcés, compromettant la capacité de recharge des réserves en eau. La récurrence de ce type d'événement pourrait devenir inquiétante pour l'avenir.

La problématique de manque d'eau est encore relativement non perceptible par la population, mais pour les villes qui ont la responsabilité d'approvisionner leur population, l'enjeu commence à être important. En effet, les risques reliés à ce type d'événements pourraient s'accroître à l'avenir et représenter des enjeux importants reliés à la disponibilité en eau pour subvenir aux besoins des citoyens. Pour l'instant, les résultats montrent qu'il y a beaucoup d'incertitudes reliées à ce type d'événement. Il s'agit d'une combinaison préoccupante dont les conséquences pourraient s'aggraver avec les changements climatiques.

Outre l'approvisionnement des communautés en eau, ce type d'événement peut avoir des conséquences importantes sur les activités socio-économiques qui dépendent de l'accès à l'eau. Le manque d'eau pour le fonctionnement de certains secteurs industriels, dont les hautes technologies, commence à être évoqué. Tout le secteur agricole pourrait être touché également. Enfin, les écosystèmes aquatiques s'en trouveront possiblement affectés, car la diminution de la quantité d'eau dans les rivières modifie les conditions physico-chimiques et la température de l'eau; ce qui aurait un impact direct sur les populations végétales et animales.

La vulnérabilité n'a pas été évaluée lors de cette entrevue, car il s'agissait de la première entrevue servant de prétest permettant des ajustements pour les entrevues suivantes. Cette question de la vulnérabilité a été ajoutée à la grille d'entretien suite à cette première entrevue. Néanmoins, il a été mentionné que la récurrence de ce type d'événement pourrait impliquer une amplification des conséquences et augmenter la vulnérabilité des communautés, des activités socioéconomiques et des écosystèmes.

Tableau 3. Hiver avec peu de neige et d'une sécheresse en été

Secteur Gestion de l'eau			
Acteur : A1			
Conséquences			
Types de conséquences	Impacts	Acteur/secteur	Degré de gravité des conséquences
Disponibilité en eau	Fragilisation de l'approvisionnement en eau des communautés, en raison des étiages plus tôt et plus prononcés et de la diminution de la quantité d'eau de surface et souterraine	A1/gestion de l'eau	2
Économiques ou financières	Impacts importants sur les activités agricoles dans l'avenir et possiblement sur d'autres secteurs d'activités économiques, dont les industries, qui dépendent d'une grande quantité d'eau	A1/ gestion de l'eau	4

Écosystèmes	Modification physicochimique de l'eau, augmentation de la température de l'eau conduisant à la mortalité d'espèces aquatiques	A1/gestion de l'eau	4 Et peut aller jusqu'à 5 selon les espèces aquatiques touchées
Évaluation du degré de capacité à faire face et de vulnérabilité			
Acteur/Secteur	Degré de capacité à faire face	Degré de vulnérabilité	
A1/ gestion de l'eau	Faible/2 Le Québec est habitué à gérer des surplus d'eau et non des pénuries	Non évalué Mais possiblement croissante	
Mesures d'atténuation			
Les mécanismes de contrôle des usages existent, mais pour l'instant ils sont peu utilisés (interdire certains usages)			

EVE 2 : Sécheresse suivie ou en même temps qu'un épisode de canicule

Description de l'événement et ses conséquences

Cette combinaison où deux événements arrivent en même temps ou se chevauchent en partie sur un même territoire a été nommée par un répondant du secteur de gestion de l'eau (le même que pour l'événement précédent). Ce qui préoccupe c'est la possible succession d'un début d'été sec avec peu de précipitation par exemple en mai et juin, suivie ou en partie en même temps d'une période de températures caniculaires. La période caniculaire vient possiblement augmenter les besoins en eau et donc exacerber la tension entre la disponibilité et les besoins. Ce sont spécifiquement les enjeux de la disponibilité de l'eau et de l'attribution de l'eau aux différents acteurs d'un territoire qui préoccupent.

Globalement, cette combinaison produit les mêmes effets que l'événement combiné précédent. Les conséquences sont d'ailleurs les mêmes, et sont toujours reliées à la réserve d'eau souterraine et de surface. Cependant, l'augmentation de la température de l'eau pourrait être particulièrement grave pour les écosystèmes. Il y aurait aussi un risque accru pour les activités agricoles, car le manque d'eau jumelé à un épisode de canicule implique possiblement une plus grande demande en eau pour l'agriculture. Ce type d'événement pourrait exacerber en quelque sorte le problème en augmentant la demande au moment d'une pénurie. Les conséquences sur les écosystèmes pourraient, elles aussi, être amplifiées en raison de l'augmentation de la température.

L'entrevue où cet événement a été évoqué était l'entrevue de prétest où l'évaluation de la vulnérabilité ne faisait pas partie des questions et n'a donc pas été évaluée. Suite à cette entrevue, nous avons décidé de rajouter l'évaluation de la vulnérabilité dans la grille d'entrevue.

Tableau 4. Sécheresse suivie ou et en même temps qu'un épisode de canicule

Secteur Gestion de l'eau			
Acteur : A1			
Conséquences			
Types de conséquences	Impacts	Acteur/secteur	Degré de gravité des conséquences
Disponibilité en eau	Fragilisation de l'approvisionnement en eau des communautés, en raison des étiages plus tôt et plus prononcés et de la diminution de la quantité d'eau de surface et souterraine	A1/gestion de l'eau	2
Économiques ou financières	Impacts importants sur les activités agricoles dans l'avenir et possiblement sur d'autres secteurs d'activités économiques, dont les industries, qui dépendent d'une grande quantité d'eau	A1/gestion de l'eau	4
Écosystèmes	Modification physicochimique de l'eau, augmentation de la température de l'eau conduisant à la mortalité d'espèces aquatiques	A1/gestion de l'eau	5
Évaluation du degré de capacité à faire face et de vulnérabilité			
Acteur/secteur	Degré de capacité à faire face	Degré de vulnérabilité	
Mesures d'atténuation			
Les mécanismes de contrôle des usages existent, mais pour l'instant ils sont peu utilisés (interdire certains usages)			

EVE 3 : Sécheresse dans le nord et en même temps épisode de canicule dans le sud

Description de l'événement et ses conséquences

Cette combinaison a été jugée problématique par les participants de la même organisation dans le domaine énergétique. Il s'agit d'une combinaison d'événements qui se produisent sur des territoires différents en même temps. Ici aussi, la notion de durée entre en considération, puisque la problématique tient à la faible hydraulicité dans le nord où l'électricité est produite (accrue par une sécheresse prolongée), et une forte demande dans le sud notamment en raison de l'utilisation massive des climatiseurs (demande plus forte si la canicule dure dans le temps). Cette diminution des capacités de production électrique au moment où la demande est accrue peut avoir plusieurs conséquences tant au niveau de la logistique de production qu'au niveau économique (puisqu'il faut potentiellement importer de l'électricité).

Si les changements climatiques avaient tendance à augmenter les cycles de faible hydraulicité, cela pourrait exacerber la gravité des conséquences liées à de plus faibles capacités de production électrique. De plus, après une saison où le niveau des réservoirs est bas, la saison qui suit débute avec moins d'eau dans les réservoirs. Si cet événement combiné devenait récurrent, ce phénomène de persistance de faible hydraulicité d'une année à l'autre pourrait devenir une préoccupation par rapport à ce type d'événement combiné, et les conséquences pourraient changer considérablement de nature et d'ampleur. La question de la baisse des niveaux d'eau dans les réservoirs à cause d'épisodes de sécheresse récurrents est une question qui préoccupe. Ajoutons qu'il pourrait y avoir des impacts liés à l'augmentation de la température de l'eau utilisée pour refroidir les systèmes de production électrique, ce qui diminuerait davantage les capacités de production. Ce qui inquiète est la multiplication des impacts potentiels qui pourraient s'ajouter les uns aux autres.

Il n'y a pas vraiment de mesures d'atténuation face à ce type d'événement. Outre l'importation d'électricité, il y a peu de solutions à ce type de problème. Ce qui ressort c'est l'importance de mettre en œuvre un volet résilience afin de diminuer la portée des risques, mais les interventions possibles sont très partielles, et ne résoudraient pas les conséquences de ce type d'événement. Alors que l'organisation est jugée robuste en général, l'évaluation de la capacité à faire face est considérée comme étant modérée pour cet événement, en raison de l'absence de solutions pour pallier les conséquences. Que faire si l'hydraulicité des cours d'eau qui fournissent les réservoirs dans le nord est faible ? C'est une question sans réponse.

Tableau 5. Sécheresse dans le nord et en même temps épisode de canicule dans le sud

Secteur : production et distribution énergétiques			
Acteur : A26			
Conséquences			
Types de conséquences	Impacts	Acteur/secteur	Degré de gravité des conséquences
Production énergétique	La faible hydraulicité dans le nord diminue la capacité de production au moment critique où la demande dans le sud est plus élevée. Il faut importer de l'électricité	A26/secteur énergétique	3 (Pour l'ensemble des conséquences nommées) 4
Économiques ou financières	Moins de revenus pour le gouvernement ce qui représente des pertes financières collectives	A26/secteur énergétique	(Si ce type d'événement se reproduit notamment en raison des changements climatiques)

Organisationnelles	Ajustements qui doivent être faits au niveau de la logistique de production en fonction du décalage entre production et demande	A26/secteur énergétique	
Image de l'organisation et agenda environnemental des entreprises clientes	Impact sur l'image et sur le message d'un Québec qui produit une électricité propre.	A26/secteur énergétique	
Évaluation du degré de capacité à faire face et de vulnérabilité			
Acteur/Secteur	Degré de capacité à faire face	Degré de vulnérabilité	
A26/ secteur énergétique	3 Car pour ce type d'événement il n'y a pas vraiment de plan de match	Élevé	
Mesures d'atténuation			
Peu de mesures d'atténuation à part importer de l'électricité.			

EVE 4 : Gel hivernal avec de faible couvert neigeux suivi d'une sécheresse au printemps

Description de l'événement et ses conséquences

Il s'agit d'une combinaison d'événements nommée par un acteur du secteur agricole. C'est une combinaison où les événements se succèdent dans le temps, mais qui intègre aussi une composante de condition préalable aggravante. En effet, ce qui préoccupe ici, c'est l'effet du gel exacerbé par le faible couvert neigeux qui fragilise le système racinaire des plantes à culture pérenne. Les plantes débutent la saison de croissance dans un état de vulnérabilité accrue à cause des impacts du gel. Les effets du manque d'eau (dû à la faible quantité de neige en hiver et à la sécheresse qui suit) en début de croissance sont amplifiés par cette condition préalable reliée au gel hivernal. Ainsi, la croissance végétale est compromise et il y a un risque élevé de perte culturale. Dans certains cas, cela a pu représenter jusqu'à 40% de la récolte de foin dans certaines régions.

Les mesures d'atténuation sur le terrain ne relèvent pas du niveau d'action du répondant. À son niveau, les mesures sont surtout relatives à la tarification de l'assurance des récoltes (par exemple, instaurer des plafonds et des planchers de tarification pour diminuer les impacts financiers pour les agriculteurs), et l'ajustement de la tarification (de l'assurance) en fonction de l'augmentation des impacts appréhendés. De plus, le choix de ce qui sera couvert par l'assurance des récoltes et de ce qui ne le sera pas peut varier en fonction des nouvelles réalités climatiques. Il peut également s'agir d'incorporer des normes de bonnes pratiques auprès des agriculteurs (recommandées ou obligatoires) afin d'atténuer les risques de pertes agricoles.

Si ce type de situation extrême se multiplie, il pourrait y avoir des impacts sur les primes que paient les agriculteurs pour assurer leurs pertes agricoles. Néanmoins, pour l'instant, la vulnérabilité est jugée modérée.

Tableau 6. Gel hivernal avec faible couvert neigeux suivi d'une sécheresse au printemps

Secteur : agriculture			
Acteur : A29			
Conséquences			
Types de conséquences	Impacts	Acteur/secteur	Degré de gravité des conséquences
Économiques ou financières	Le foin et les cultures d'automne sont fragilisés par le gel en absence de couvert neigeux isolant, et au moment de la croissance des plantes le déficit en eau fragilise la capacité de croissance des plantes et ultimement leur viabilité (les pertes peuvent être majeures)	A29/Agriculture	Non évalué , mais pertes agricoles pouvant atteindre 40% donc possiblement élevée /4
Organisationnelles	L'estimation des pertes est plus difficile à mesurer et il faut augmenter la communication pour informer des ajustements des indemnités, donc ça augmente le travail et l'analyse des dossiers	A29/Agriculture	3
Évaluation du degré de capacité à faire face et de vulnérabilité			
Acteur/Secteur	Degré de capacité à faire face	Degré de vulnérabilité	
A29/agriculture	5	Modéré	
Mesures d'atténuation			
Ajuster la tarification de l'assurance			
Modifier la liste des productions assurables			

Les combinaisons qui engendrent un déficit en eau : les principaux points à retenir

Le Québec a davantage d'expériences de gestion des surplus d'eau que de gestion de déficit en eau et globalement, la capacité collective à faire face à ce type de réalité est faible ou modérée.

La compréhension des événements combinés susceptibles d'impacter la capacité de recharge en eau des sols est peu développée et les liens de causes à effets entre le manque de précipitation et les impacts sur la recharge des aquifères doivent être mieux documentés.

La faible hydraulité des cours d'eau dans les régions où est produite l'électricité est envisagée comme un phénomène susceptible de se produire plus régulièrement avec les changements climatiques. Les conséquences sont jugées potentiellement importantes notamment si la demande électrique est exacerbée par des périodes caniculaires dans les villes situées au sud, situation jugée de plus en plus préoccupante.

Il pourrait y avoir avec l'augmentation de la récurrence et de l'intensité de ce type d'événements combinés, une transformation dans la nature et l'ampleur des conséquences appréhendées.

L'hydraulité pose un défi supplémentaire en matière d'acquisition de connaissance, complexifiant considérablement les modèles. Néanmoins, il est important de mieux comprendre le phénomène de faible hydraulité dans le contexte des changements climatiques à l'échelle des bassins versants.

Peu ou pas de mesures d'atténuation existent quant à la faible hydraulité des cours d'eau.

4.1.2.3. Les événements combinés qui engendrent des inondations et un déficit en eau

EVE 5: Sécheresse suivie de pluies abondantes

Description de l'événement et ses conséquences

Quatre répondants ont mentionné cet événement comme étant préoccupant. Deux d'entre eux relèvent du secteur de la gestion de l'eau, mais dans des organisations bien différentes, soit une MRC et un organisme de concertation. Un répondant est relié au secteur de l'utilisation de la forêt (parcs nationaux) et enfin une répondante est reliée aux questions environnementales dans une organisation supra municipale.

Il s'agit d'une combinaison sur un même territoire ⁴ d'une sécheresse qui se termine par des pluies abondantes ce qui provoque un coup d'eau très rapide. Ce qu'il faut retenir ici c'est la particularité de cette combinaison. D'une part, un stress hydrique important induit par la sécheresse et d'autre part un surplus d'eau subit.

La combinaison produit potentiellement un effet d'amplification à la fois des conséquences de la sécheresse et de celles des inondations. Le phénomène de coup d'eau sur un sol rendu imperméable par une sécheresse exacerbe les risques d'inondations et en même temps compromet les capacités du sol à se recharger en eau. Cette caractéristique a été jugée préoccupante et possiblement de plus en plus préoccupante si ce type de combinaison avait tendance à se reproduire souvent. Envisager dans un contexte de changements climatiques, cette question inquiète. Il devient important d'avoir une meilleure compréhension des événements isolés et des processus de chacun d'eux tant spatialement que temporellement pour mieux comprendre l'effet de la combinaison. Dans cette optique, une meilleure connaissance du comportement des sols est essentielle pour bien comprendre les effets d'amplification de la combinaison.

Les inondations subites et accentuées par l'imperméabilité du sol posent un risque pour la sécurité des personnes et des biens et sur la santé des personnes touchées. Elles impliquent aussi des conséquences sur les infrastructures (ponts, ponceaux et routes, bâtiments essentiels). Ce sont donc les conséquences classiques d'un épisode d'inondation qui ressortent. Ce qui est transformé cependant, c'est la temporalité et l'intensité de ces épisodes. Alors que l'on a l'habitude d'inondations printanières, ce type de combinaison a tendance à provoquer des inondations estivales, ce qui est relativement nouveau.

Les mesures d'atténuation sont le plus souvent essentiellement reliées aux impacts de l'inondation. Il s'agit de mesures visant à protéger les infrastructures. En milieu urbain, bien que certaines mesures existent et visent surtout à diminuer la vulnérabilité (déménager les sols en milieu urbain par exemple), elles sont davantage

⁴ La notion de territoire peut être variable. Par exemple, pour certains le territoire est celui d'un bassin versant. La pluie peut se produire en amont d'un cours d'eau dans le bassin versant et la sécheresse en aval. Un bassin versant possède une dynamique spatio-temporelle, et l'enjeu est donc que les conséquences se produisent au même endroit que le lieu où la sécheresse a sévi. Les caractéristiques hydrauliques propres à chaque bassin versant, l'occupation du territoire, etc. interviennent dans la vulnérabilité du territoire et l'ampleur des conséquences.

théoriques que mises en pratique. Enfin, l'acquisition de connaissances est de plus en plus essentielle pour la mise en place des plans d'adaptation aux changements climatiques, mais ce travail reste le plus souvent encore à faire. Les résultats montrent que l'évaluation de la capacité à faire face est plus forte lorsqu'il s'agit de réagir aux inondations que lorsqu'il faut s'adapter à de possibles pénuries d'eau.

La vulnérabilité des territoires et des communautés à ce type de combinaison est modérée ou élevée selon les caractéristiques des bassins versants et de l'occupation du territoire. Certains bassins versants sont très réactifs aux épisodes de sécheresse et aux pluies abondantes.

Globalement il manque de connaissances fines pour bien anticiper les effets à long terme de cet événement combiné et notamment pour comprendre ses effets sur la recharge des sols en eau.

Tableau 7. Sécheresse suivie de pluies abondantes

Secteurs : Utilisation de la forêt (parcs nationaux), Environnement et biodiversité (supramunicipal), Gestion de l'eau (MRC et organisme de concertation) Acteur : A8/A11/A13/A14			
Conséquences			
Types de conséquences	Impacts	Acteurs/secteurs	Degré de gravité des conséquences
Sécurité des personnes et des communautés	Impacts reliés aux évacuations rendues difficiles si les voies d'accès sont endommagées	A8/Utilisation de la forêt	3
	Danger relié aux inondations en milieu urbain	A14/Gestion de l'eau	3
Santé des personnes et des communautés	Contamination de l'eau potable à cause du ruissellement et potentiellement de l'inondation de sites industriels	A14/Gestion de l'eau	2 Peut varier selon les milieux
	Impacts physiques, psychologiques et psychosociaux	A14/Gestion de l'eau	3
Infrastructures et/ou bâtiments et/ou réseaux	Dommages aux infrastructures d'accès aux parcs à cause de débordement des cours d'eau	A8/Utilisation de la forêt	3
	Bris de ponceaux et de routes par un apport d'eau important et subit exacerbé par ce type de combinaison	A13/Gestion de l'eau	3
	Menace sur le cadre bâti à proximité de cours d'eau de petite taille, mais très réactif		

	Dommages aux infrastructures essentielles (écoles, hôpitaux, etc.)	A14/Gestion de l'eau	2
Économiques ou financières	Impacts financiers liés aux réparations des infrastructures	A8/Utilisation de la forêt	4
	Pertes agricoles à cause de l'impact du coup d'eau après un épisode de sécheresse	A11/Environnement et biodiversité	4
		A14/Gestion de l'eau	4
		A13/Gestion de l'eau	Nommé, mais non évalué, car moins de leur ressort
Disponibilité et qualité de l'eau	L'eau qui arrive sur un sol très sec ruisselle, mais n'entre pas dans le sol, le ruissellement augmente les risques d'érosion	A11/Environnement et biodiversité	3
	Diminution de la capacité de recharge des aquifères si les sécheresses se multiplient et sont accompagnées ensuite de pluies abondantes	A11/ Environnement et biodiversité	4 Et possiblement 5
		A14/Gestion de l'eau	Jugé préoccupant/ 4
Écosystèmes	Contamination de l'eau des cours d'eau engendrée par le ruissellement (Fort étiage et ensuite un lessivage des sols)	A11/Gestion de l'eau	3
		A13/Gestion de l'eau	2
	Atteinte d'un seuil critique pour les écosystèmes si les stocks en eau souterraine et les fonctions des écosystèmes s'effondrent	A14/Gestion de l'eau	5
Organisationnelles	Augmentation du travail, car augmentation des conflits d'usages de l'eau notamment en raison du déficit en eau (travail de concertation de plus en plus difficile)	A14/Gestion de l'eau	Augmentation du travail clairement nommé/ 3

	Modifie les habitudes d'intervention, car en été il est plus difficile d'avoir des équipes pour gérer les inondations (MRC)	A13/Gestion de l'eau	Non évalué
	Ça pourrait changer la régularité des suivis de la qualité de l'eau sur l'ensemble de leur territoire et oblige à la mise en place de mesures visant l'adaptation de l'aménagement du territoire	A11/Environnement et biodiversité	Entre 3 et 4
Évaluation du degré de capacité à faire face et de vulnérabilité			
Acteurs /Secteurs		Degré de capacité à faire face	Degré de vulnérabilité
A8/Utilisation de la forêt		4	Modéré
A11/Environnement et biodiversité		2	Modéré
A13/Gestion de l'eau		4	Modéré
A14/Gestion de l'eau		La capacité des communautés est variable / de 1 à 3	Modéré
Mesures d'atténuation Revitalisation des berges (A/8) Agrandissement des ponceaux (A8, A13) Mesures visant à améliorer la qualité de l'eau et la perméabilité des sols (exemple déminéraliser les sols), mais ces mesures sont actuellement davantage théoriques que pratiques (A11) Mesures qui visent une meilleure connaissance sur les eaux souterraines, et éventuellement la mise en place d'un Plan d'adaptation aux changements climatiques (A11) Intégration des impacts des changements climatiques dans le calibrage des ponceaux dans le Plan de gestion des actifs (A13)			

EVE 6 : Pluies abondantes suivies de sécheresse

Description de l'événement et ses conséquences

La combinaison a été nommée par un répondant du secteur de l'agriculture. Ce qui est expliqué c'est la difficulté de devoir composer avec plus d'un aléa problématique dans une même saison de culture. Bien que cette combinaison semble similaire en plusieurs points avec la combinaison d'une sécheresse suivie de pluies abondantes décrite précédemment, l'inversion de la séquence pluies et sécheresse est plus spécifique aux enjeux agricoles. C'est la combinaison du « trop et du pas assez d'eau » qui pose problème et plus spécifiquement du trop d'eau au début de la saison (par définition plus fraîche), suivi du pas assez d'eau en mi-saison (lorsque les températures sont plus élevées) qui augmente les conséquences. La saison de culture 2023 est une saison de référence. Si un épisode prolongé de pluies abondantes arrive au printemps et en début d'été, le surplus d'eau peut compromettre complètement un premier cycle de culture. Ensuite, les agriculteurs vont tenter de remplacer la culture perdue par un second cycle de semis. Si une sécheresse survient à ce moment, alors que la température estivale est plus chaude, la germination et la pousse des plantes sont compromises à nouveau, et les pertes toucheront les deux cycles de culture. Cette succession d'événements est jugée plus inédite, mais potentiellement préoccupante. Par le passé, une saison pouvait être marquée par un événement de surplus ou un événement de manque d'eau. Aujourd'hui, devoir gérer l'un et l'autre augmente la difficulté et augmente les conséquences sur une période beaucoup plus longue ce qui impacte potentiellement toute la saison de culture.

Pour contrer le manque d'eau, les investissements agricoles peuvent être considérables (bassins de rétention par exemple). Or, les investissements coûteux sont-ils pertinents si dans une même saison on doit aussi se prémunir contre des épisodes prolongés de surplus d'eau qui requiert au contraire un bon système de drainage? Il y a une certaine difficulté à mettre en place des mesures ponctuelles, et les mesures éventuelles sont davantage au niveau de pratiques agricoles globalement plus résilientes. Mais actuellement, il y a peu de mesures existantes pour faire face à cette combinaison, surtout lorsqu'elle survient sur un même territoire.

L'agriculture est globalement vulnérable, notamment si la récurrence et la durée de ces événements prennent de l'ampleur dans l'avenir.

Tableau 8. Pluies abondantes suivies de sécheresse

Secteur : Agriculture			
Acteur : A10			
Conséquences			
Types de conséquences	Impacts	Acteur/secteur	Degré de gravité des conséquences
Économique ou financière	Pertes complètes de culture aux champs à cause d'un surplus d'eau, et perte complète d'un second semis à cause d'une sécheresse	A10/ agriculture	3 si l'événement n'arrive que rarement 4 si cela se produit quelques années de suite
Organisationnelles	Augmentation du travail des équipes et de la vigie	A10/ agriculture	Pas considéré négativement

Évaluation du degré de capacité à faire face et de vulnérabilité		
Acteur/secteur	Degré de capacité à faire face	Degré de vulnérabilité
A10/ agriculture	Entre 3 et 4 Selon la durée et l'intensité de l'événement	Élevé
Mesures d'atténuation Peu de mesures permettent de répondre à la combinaison de trop d'eau et d'un manque d'eau outre des pratiques culturelles plus résilientes (long terme)		

Événements combinés qui engendrent des inondations et un déficit en eau : principaux points à retenir

La combinaison d'une sécheresse suivie de pluies abondantes est un cas de figure plus nouveau qui engendre à la fois des problématiques de déficit en eau et des problématiques de surplus subit d'eau (inondation). Les effets amplificateurs des deux aléas qui se combinent pourraient conduire à une augmentation des conséquences liées à la sécheresse et de celles liées aux inondations.

Cette combinaison soulève notamment des interrogations quant aux impacts potentiels sur la capacité de recharge des aquifères. Il devient important pour l'avenir de mieux comprendre les impacts de cet événement combiné sur la disponibilité en eau pour les communautés et les activités humaines.

Les pluies abondantes suivies d'un épisode de sécheresse soulèvent des enjeux spécifiques au secteur agricole. Il s'agit d'une combinaison jugée plus inédite, mais potentiellement préoccupante pour les agriculteurs, puisque peu de mesures sont susceptibles d'être efficaces pour faire face aux conséquences de ce type de combinaison.

4.1.2.4. Événements combinés qui engendrent des inondations

Quatre événements combinés ont été mentionnés pour leurs conséquences reliées aux inondations et 8 secteurs d'activité différents sont préoccupés par l'une ou l'autre de ces combinaisons.

EVE 7 : Succession de dépressions causant des pluies abondante menant à des inondations

Description de l'événement et ses conséquences

Cette combinaison a été nommée par deux répondants, le premier est dans le secteur des assurances, le second dans le secteur de l'habitation et milieux de vie. Ce qui est nommé d'emblée c'est la préoccupation relative à l'intensification des épisodes de pluies à répétition. La succession d'épisodes de pluies intenses sur une courte période de temps justifie la combinaison. La question de la temporalité a montré que le laps de temps entre les épisodes de pluies intenses peut varier et globalement se situe à l'intérieur d'une saison. En revanche, c'est la pluie qui s'abat sur un territoire dans un court laps de temps qui fait augmenter les risques de débordements. Les conséquences sont reliées à la saturation en eau des sols due à l'intensité de la pluie et à l'incapacité de ceux-ci à en absorber davantage ce qui conduit à des inondations. Ce qui semble préoccuper le plus ou avoir été le plus vécu est une succession de quelques épisodes de pluies très intenses dans une saison. Ce cas de figure produit des conséquences reliées directement à la pluie intense que le sol ne peut absorber et qui cause les inondations, et des conséquences qui relèvent de la répétition des sinistres sur un même territoire et qui amplifient la vulnérabilité des populations.

Les conséquences sont d'abord reliées aux infrastructures et donc aux réclamations qui résultent des bris sur celles-ci. Outre la multiplication des réclamations et de la prise en charge des dégâts, la santé des personnes (reliée par exemple à l'apparition de moisissures dans les maisons), mais aussi les drames humains que ce type d'événement à répétition engendre doivent être considérés surtout lorsque les sinistrés sont les mêmes d'un épisode de pluie à l'autre. Cette succession peut devenir difficile à gérer et représenter des coûts importants pour une ville et pour les citoyens impactés. De plus, dans le secteur des assurances, ce type d'événement à répétition pose le défi d'établir une bonne couverture de protection des assurés et rend les analyses et les couvertures de risque plus délicates et difficiles à faire.

Les mesures d'atténuation en milieu urbain touchent essentiellement la mise en place d'aménagements plus résilients tels que des parcs urbains capables d'absorber l'eau, des saillies de trottoirs drainants, la plantation de végétaux, etc. visant à augmenter la perméabilité du sol. Elles concernent aussi des mesures d'adaptation qui sont proposées aux citoyens telles que l'installation de porte de garage étanche ou encore le comblement des entrées basses. À plus long terme, ce qui peut être requis, c'est le changement de certaines réglementations visant à ne pas permettre la construction de bâtiments en zone inondable.

En milieu urbain, la capacité à faire face à ce type d'événement aurait été évaluée faible jusqu'à récemment, mais dans les dernières années, l'expérience des inondations a contribué au développement des capacités ainsi qu'au déploiement de moyens financiers supplémentaires. Dans le secteur des assurances, il n'y a pas à proprement parler de mesures d'atténuation à mettre en place puisqu'ils n'interviennent pas directement à ce niveau d'actions.

Tableau 9. Succession de dépressions causant des pluies abondantes menant à des inondations

Secteur : Assurances / Habitations et milieux de vie (Municipal)			
Acteur : A7, A24			
Conséquences			
Types de conséquences	Impacts	Acteurs/secteurs	Degré de gravité des conséquences
Infrastructure et/ou bâtiments et/ou réseaux	Infiltration d'eau dans les sous-sols des bâtiments et résidences	A24/ habitation et milieux de vie	4
	Bris sur les résidences et sur les biens des personnes	A7/ Assurances	4
Santé des personnes et des communautés	Apparitions de moisissures dans les résidences	A24/ habitations et milieux de vie	1
	Impacts psychologiques souvent dus à la répétition des inondations dans un court laps de temps	A24/habitations et milieux de vie	Nommé comme étant importants, mais non chiffré/ 4
Sécurité des personnes et des communautés	Inondation des viaducs	A24/ habitations et milieux de vie	Entre 2 et 3 Selon l'intensité

Économiques ou financières	Conséquences financières pour les sinistrés et plus particulièrement lorsqu'il y a répétition des épisodes de pluies intense	A7/ Assurances	4
		A24/ habitations et milieux de vie	5
	Conséquences financières pour la municipalité et plus particulièrement lorsqu'il y a répétition des épisodes de pluies intenses	A24/ habitations et milieux de vie	5
Organisationnelles	Plus de travail au niveau des réclamations notamment lorsque les épisodes de pluies de répètent	A7/ Assurances	4
		A24/ habitations et milieux de vie	La succession devient difficile à gérer/Entre 3 et 4
Évaluation du degré de capacité à faire face et de vulnérabilité			
Acteurs/Secteurs	Degré de capacité à faire face	Degré de vulnérabilité	
A7/ Assurances	4	Élevé	
A24/ habitations et milieux de vie	3	Élevé	
Mesures d'atténuation			
Aménagements urbains des surfaces pour rendre les sols perméables (parcs résilients, saillies de trottoirs drainants, plantation de végétaux, etc.) (A24)			
Changer les collecteurs et des portions d'égouts. (A24)			

EVE 8 : Pluies abondantes sur neige / pluies abondantes en même temps que crues printanières

Description de l'événement et ses conséquences

Cette combinaison comprend des variantes qui ont été intégrées dans le même type d'événement combiné. Ce qu'il faut retenir c'est surtout la pluie abondante lors d'un redoux en hiver ou lors de la fonte de la neige au printemps lorsqu'il y a encore un couvert neigeux. Le couvert neigeux joue le rôle ici de condition préalable aggravante⁵. Bien que la temporalité et la spatialité des deux événements combinés ne soient pas les mêmes, nous les avons regroupés ensemble car ces deux événements avaient souvent été présentés par les répondants comme une même réalité.

8 répondants ont mentionné l'une ou l'autre de ces variantes. Ils proviennent des secteurs de la gestion de l'eau (MRC et ministère), des transports et infrastructures, de l'environnement et la biodiversité (supra municipal et recherche), de la sécurité civile (ministère), de l'utilisation de la forêt et enfin des milieux maritimes et côtiers.

Certains ont fait surtout référence à des redoux hivernaux où l'on voit apparaître des épisodes de pluies abondantes en dehors des moments où cela se produisait par le passé, d'autres aux conditions de fonte très rapides de la neige en saison printanière accompagnées de pluies abondantes. Les résultats montrent que c'est surtout l'effet de la pluie abondante sur la neige qui retient l'attention. La neige étant elle-même de l'eau, l'afflux de l'eau de pluie additionnée à l'eau de la neige augmente rapidement la quantité d'eau totale. Or, soit elle ne peut être absorbée si le sol est encore gelé, soit elle sature rapidement le sol en eau si les températures printanières persistent. Dans les deux cas, ce qui est redouté c'est l'amplification des inondations, des crues de rivières, des glissements de terrain, et des conséquences connexes.

Certains ont mentionné que ce type de combinaison a été remarqué plus souvent ces dernières années et qu'il peut être amplifié par le phénomène de blocage atmosphérique qui serait un phénomène de plus en plus fréquent susceptible de prolonger ou répéter des épisodes de pluie intense. Par exemple, la durée d'une pluie forte a provoqué en 2023 trois pics de crues successives en deux semaines sur la rivière Maskinongé, le troisième a d'ailleurs été un pic historique, phénomène remarqué sur plusieurs rivières. Ce déplacement dans le temps contribue à allonger la durée des inondations. Elles auraient tendance à débiter plus tôt, au moment où on ne les attend pas et elles s'ajoutent à celles qui apparaissent plus tard. L'amplification des conséquences n'est pas seulement due à l'apport massif d'eau causé par l'addition des pluies intenses et de la fonte de la neige, mais aussi au fait que ces nouveaux épisodes s'ajoutent aux épisodes plus habituels d'inondation. Ce type d'événement aurait ainsi tendance à ajouter des situations problématiques sur un temps plus long. Les résultats montrent que par le passé, les inondations se produisaient à peu près au même moment dans l'année. Or, maintenant, elles peuvent se produire presque à longueur d'année, et augmentent en intensité et en nombre d'épisodes. Par exemple, recevoir 118 mm de pluie sur le massif de la petite rivière Saint-François en décembre était inédit (2023), car normalement on ne voyait cela qu'en été. La question de la temporalité est à relier aussi à des inondations dues à des embâcles subits et à des moments inhabituels. Le déplacement dans le temps de ces événements par rapport à ce qui était vu par le passé et le caractère subit sont des caractéristiques qui préoccupent plusieurs répondants. De plus, ce type de combinaison tend à toucher l'ensemble du territoire (plusieurs municipalités), ce qui pose un défi en termes de sécurité civile.

Les propos montrent que la quantité de neige, la vitesse de fonte et l'intensité de la pluie peuvent provoquer un événement extrême. En effet, ce type de combinaison crée potentiellement deux types d'inondations en même temps : des inondations de crue et des inondations pluviales. Cet événement combiné aurait ainsi tendance à augmenter significativement le volume d'eau, mais aussi la vitesse de l'eau et donc amplifier les crues dans les plaines inondables. Il faudrait plus de temps aux communautés pour revenir à une situation normale avec ce type d'événement. Outre la dangerosité, c'est aussi l'ampleur des inondations qui augmente et donc l'amplification des conséquences globales. Ainsi, l'intensification des conséquences de ce type

⁵ Nous avons considéré cette façon de nommer cette combinaison en appuyant sur la conjugaison de la pluie abondante et de la neige, telle que cela a été nommée par les répondants qui ont mentionné cette combinaison. Comme nous le montrons dans le texte plus bas, une des descriptions fournies par une répondante lors de l'entrevue s'éloigne à un moment de cette explication. Néanmoins, l'ensemble de ses propos mentionnaient les pluies abondantes et les redoux hivernaux comme étant des amplificateurs des inondations en raison de l'absence de perméabilité des sols gelés.

d'événement touche les inondations, les embâcles subits, l'érosion et les glissements de terrain, les bris de routes et d'infrastructures, l'isolement des populations, la santé et la sécurité des personnes, et les impacts financiers variés reliés à l'ensemble de ces conséquences. Il est à noter que relativement aux écosystèmes, l'évaluation des conséquences n'est pas que négative, puisqu'un apport d'eau peut être considéré positif pour les milieux humides.

Pour le secteur relié aux milieux côtiers et maritimes, les préoccupations sont surtout relatives aux conséquences de ce type d'événement sur l'érosion des sols et le déplacement des sédiments qui modifient les écosystèmes et l'utilisation maritime de certains secteurs. Par exemple, il y aurait peut-être un lien de cause à effet entre l'occurrence de cette combinaison de pluies intenses et du dégel printanier sur l'apport massif de sédiments apparu dans la rivière du Loup (Bas-Saint-Laurent). Les sédiments finiraient leur course à l'embouchure de la rivière, et donc à proximité du quai de Rivière-du-Loup, et pourraient expliquer que le travail de dragage à proximité du quai semble avoir été peu efficace ces dernières années. Cette explication n'est pour l'instant qu'une hypothèse, mais elle pourrait expliquer cet effet de sédimentation à proximité du quai qui pourrait être dû aux crues qui prennent maintenant une ampleur plus importante, en raison de ces pluies abondantes synchrones avec la fonte de la neige.

Enfin, nos résultats ont aussi montré que le phénomène de redoux hivernaux accompagné de fortes pluies peut aussi se produire lorsqu'il y a peu de neige au sol, et ce faible couvert neigeux pourrait aussi être un facteur aggravant. En effet, ce type de redoux avec de fortes pluies peut arriver en décembre. Dans ce cas, l'eau ne peut être absorbée par le sol gelé, et la neige n'est alors pas assez abondante pour ralentir l'eau de la pluie qui ruisselle encore plus rapidement dans les cours d'eau, causant des crues et des glissements de terrain. Ici le faible couvert neigeux serait la condition aggravante.

Dans le domaine de la sécurité civile, les mesures d'atténuation sont essentiellement reliées à l'augmentation des effectifs et des expertises. Et, la capacité à faire face à ce type d'événement est évaluée comme étant forte. Cette évaluation coïncide avec des propos entendus globalement dans toutes les entrevues, montrant que pour les inondations, les apprentissages des dernières années semblent avoir contribué à augmenter les capacités de plusieurs organisations.

Dans les secteurs reliés à l'aménagement du territoire et à l'adaptation aux changements climatiques, les mesures d'atténuation visent une meilleure résilience des communautés. Il s'agit le plus souvent d'acquisition de connaissances et de transcription de ces connaissances dans des actions d'adaptation. Mais, bien qu'il y ait beaucoup de travail de fait, les mesures d'adaptation ne sont pas encore appliquées par les municipalités et l'évaluation du degré de capacité à faire face est plus faible ou plus variable au niveau de celles-ci. D'ailleurs, pour les plus petites communautés qui ont moins de moyens, la capacité à faire face est évaluée comme étant potentiellement assez faible. En revanche, l'évaluation à l'échelle d'une MRC semble plus positive.

Le secteur des transports et infrastructures disposent de mesures d'atténuation très concrètes et très opérationnelles, et globalement, la capacité à faire face reste forte.

Le secteur de la gestion de l'eau (gestion des barrages, ministère) implique des mesures potentiellement contradictoires. Il faut se préparer à un épisode de crue, mais leurs réflexions doivent toujours inclure aussi les étiages qui eux aussi ont tendance à se transformer et à se prolonger. Or, pour se protéger des étiages, il faut garder le plus d'eau possible dans les réservoirs, pour essayer d'en avoir le plus possible au moment où la période d'étiage arrivera. Cependant, pour se protéger des crues importantes, il faut justement faire le contraire, soit vider au maximum les réservoirs. On comprend que si la temporalité des crues et des étiages se modifie, la gestion de ces actions devient plus difficile à prévoir. Néanmoins, pour l'instant, l'expertise actuelle semble permettre une bonne évaluation de la capacité à faire face.

Pour le milieu côtier et le déplacement d'importante quantité de sédiments, il n'y a pas grand-chose qui peut être fait, à part essayer de mieux documenter cette nouvelle réalité et de mieux la comprendre. La capacité à faire face est également jugée assez faible.

Globalement, pour ce type d'événement, la vulnérabilité des territoires et des communautés est grande, peu importe le secteur d'activité.

Tableau 10. Pluies abondantes sur neige / pluies abondantes en même temps que crues printanières

Secteur : Transports et infrastructures / Environnement et biodiversité / Milieux côtiers et maritimes / gestion de l'eau / Sécurité civile			
Acteur : A5, A11, A12, A13, A19, A20, A21, A22,			
Conséquences			
Types de conséquences	Impacts	Acteurs/secteurs	Degré de gravité des conséquences
Infrastructures et/ou bâtiments et/ou réseaux	Bris parfois importants aux bâtiments, routes et ponts à cause de la vitesse de l'eau	A5/ Sécurité civile	4
		A20/ Utilisation de la forêt	4, mais pourrait aller jusqu'à 5
	Bris aux maisons qui peuvent impliquer des démolitions, et bris sur aux infrastructures routières	A13/ Gestion de l'eau MRC	4 (routes) 5 (Si démolition de maisons)
	Bris des sentiers de motoneige	A20/ Utilisation de la forêt	4
	Impacts multiples sur les bâtiments, les infrastructures des municipalités, épisode de pannes électriques prolongées	A21/ Gestion de l'eau (barrages, ministère)	3 ou 4 selon l'événement voire 5 dans des cas potentiellement extrêmes
	Débordement des rivières en eaux libres et avec embâcles (terrains des riverains impactés)	A11 / Environnement et biodiversité	4
	La vitesse de l'eau augmente les risques aux infrastructures tels que les ponts, les sous-sols de maisons, les refoulements d'égouts	A12/Environnement et biodiversité	3 ou 4 Selon les ressources des municipalités
	Glissements de terrain et routes inondées ou entravées avec fermetures potentielles de tronçons routiers	A19/ Transports et infrastructures	Entre 3 et 4

Santé des personnes et des communautés	Dévitualisation des quartiers et augmentation de la vulnérabilité populationnelle et Impacts psychologiques	A13/ Gestion de l'eau MRC	4
	Impacts à long terme sur la santé publique (moisissures, champignons, refoulement d'égout)	A19/ Transports et infrastructures	Entre 3 et 4
Disponibilité et/ou qualité de l'eau	Le débordement des rivières peut atteindre les fosses septiques ce qui contamine l'eau	A11 / Environnement et biodiversité	2 ou 3 Selon les municipalités
	Puits de surface affectés et potentiellement contaminés	A12/Environnement et biodiversité	3 ou 4 Selon les ressources des municipalités
	Impacts sur la biodiversité et notamment sur les populations de bélugas causés par le bruit des activités de dragage requis à cause de l'accumulation des sédiments	A22/ Milieux côtiers et maritimes	5
Sécurité des personnes et des communautés	Évacuation des populations riveraines	A5/Sécurité civile	4
	Impacts sur les capacités d'intervention, car tout le territoire est touché en même temps	A11 / Environnement et biodiversité	4
	L'augmentation de la vitesse de l'eau augmente la dangerosité pour les personnes	A12/Environnement et biodiversité	3 ou 4 Selon les ressources des municipalités
	Population qui n'a plus accès aux résidences	A13/ gestion de l'eau MRC	4
	Contraintes importantes à cause des routes fermées notamment sur le transport d'urgence	A19/ Transports et infrastructures	Entre 3 et 4, mais ça pourrait aller jusqu'à 5 selon l'ampleur de l'événement
	Sécurité compromise si l'événement est intense	A21/ gestion de l'eau (barrages, ministère)	3 ou 4 selon l'événement voire 5 dans des cas potentiellement extrêmes

	Sécurité des usagers compromise dans les sentiers de motoneige	A20/ Utilisation de la forêt	4
Économiques ou financières	Coûts importants pour les municipalités et les citoyens touchés et donc des aides financières consenties	A5/Sécurité civile	4
	Pertes économiques à cause de l'arrêt des activités sportives et de l'image patrimoniale hivernale qui est affaiblie	A11 / Environnement et biodiversité	3
	Coûts parfois élevés pour les municipalités qui sont responsables de la sécurité civile et des mesures d'adaptations aux changements climatiques	A11 / Environnement et biodiversité	4
	Perte de la valeur foncière des maisons	A13 / gestion de l'eau	Non évalué, mais nommé en cours d'entretien
	Impacts financiers majeurs pour le gouvernement qui sont reliés à la réparation des infrastructures	A19/ Transports et infrastructures	Entre 3 et 4
	Impacts sur les activités portuaires (traversier) et par ricochet sur les activités touristiques	A22/ Milieux côtiers et maritimes	4 Si les activités portuaires étaient compromises
	Perte d'activités sportives qui ralentit l'économie liée aux sports d'hiver	A20/ Utilisation de la forêt	3
Organisationnelles	Impacts sur les interventions terrain des équipes en sécurité civile et augmentation de l'accompagnement des municipalités et des citoyens; Augmentation des analyses techniques en vue des compensations financières fournies aux sinistrés	A5/Sécurité civile	2
	Conséquences sur les capacités d'intervention de l'organisation	A11 / Environnement et biodiversité	4

	Modification en profondeur des façons de faire pour la MRC et l'organisation régionale de la sécurité civile	A13/ gestion de l'eau MRC	5 Contribue à modifier le Plan de mesures d'urgence, perçu comme une bonne chose
	Aménagement du territoire : ça modifie en profondeur les activités	A13/ gestion de l'eau MRC	Entre 4 et 5
	Impacts importants pour les équipes de terrain, car la période en situation d'urgence dure maintenant plus longtemps à cause du déplacement dans le temps que provoque ce type d'événement (contribue à l'allongement des périodes d'inondation)	A19/ Transports et infrastructures	Jugé important / 4
	Augmentation du travail des équipes internes et du nombre de rencontres avec les milieux où sont situés les barrages	A21/ gestion de l'eau	Non évalué
	Impacte la mission de l'organisation reliée à la protection des espèces	A22/ Milieux côtiers et maritimes	Préoccupation nommée/ 3 (« affecte la réussite de notre mission »)
	Augmentation de la charge mentale et augmentation du travail pour les équipes bénévoles responsables de l'entretien des sentiers	A20/ Utilisation de la forêt	Entre 3 et 4
Évaluation du degré de capacité à faire face et de vulnérabilité			
Acteurs/secteurs	Degré de capacité à faire face	Degré de vulnérabilité	
A5/ sécurité civile	4	Élevé	
A11/ environnement et biodiversité	2	Élevé	

A12/ environnement et biodiversité	2 ou 3 Selon les milieux (les plus petites communautés ont moins de capacité)	Modéré à élevé
A13/ gestion de l'eau, MRC	Variable : 2 ou 3 Selon les municipalités	Élevé
A19/ transports et infrastructures	4 Mais ça pourrait passer à 3 dans une optique où les changements climatiques conduiraient ce type d'événement à se produire plus souvent	Élevé pour certains territoires
A20/ utilisation de la forêt	3	Modéré
A21/ gestion de l'eau, barrages	4	Élevé pour certains territoires
A22/ Milieux côtiers et maritimes	2	Élevé là où le phénomène se produit
Mesures d'atténuation Augmentation des effectifs et de l'expertise (A5) Cartographies des zones inondables avec des projections des conditions climatiques futures (mais l'application concrète sur le territoire n'est pas encore faite) (A11) Accompagnement des communautés et les entreprises (boîte à outils, expertises offertes, amélioration de la communication pour que les informations pertinentes aillent aux bons acteurs du milieu) (A12) Interventions directes sur le terrain (sacs de sable par exemple) (A13) Adapter les routes en périodes d'inondation (A13) Plan de mesures d'urgence a été revu et est maintenant plus efficace (A13) Inclusion des changements climatiques dans les calculs de débit des cours d'eau (A19) Procédures établies pour la fermeture des routes et la planification des détours (A19) Investissements dans le Fonds de sentier (A20) Coupe d'arbres pour élargir les sentiers (A20) Remplacement de ponceaux par de plus gros (A20) Creusement de fossés aux abords des sentiers (A20) Vider au maximum les réservoirs de barrages (A21)		

EVE 9: Pluies abondantes en même temps onde de tempête / Onde de tempête avec absence de glace avec ou sans forte pluie

Description de l'événement et ses conséquences

5 répondants ont mentionné une combinaison impliquant les ondes de tempête. 4 d'entre eux ont plutôt fait référence à des épisodes hivernaux où l'on voit apparaître une condition de plus en plus fréquente d'absence du couvert de glace sur le fleuve et à proximité de la côte en cours d'hiver ou au printemps. Un répondant a plutôt fait référence à la conjonction des ondes de tempêtes et des fortes pluies sans spécifier l'absence de glace. Les répondants proviennent des secteurs de la sécurité civile (ministère), des milieux côtiers et maritimes, des transports et infrastructures, de l'environnement et de la biodiversité. Dans tous ces cas, c'est surtout les territoires à l'Est-du-Québec qui ont été nommés comme étant susceptibles de vivre ce type d'événement combiné. Notons que ces deux événements ont été regroupés ensemble car les conséquences sont très semblables avec peu de différences dans les réalités que l'événement produit.

Les résultats montrent que l'absence de glace ou la faible épaisseur de glace en hiver à cause de températures douces ou encore le retard dans la formation de la glace tard en automne est un phénomène qui semble de plus en plus récurrent et qui inquiète. La température de l'eau étant globalement plus chaude, la glace prend plus de temps à se former et se disloque plus rapidement et plus facilement à la fin de l'hiver. Lorsque cette condition se conjugue à une onde de tempête et aux vents qui l'accompagnent, les glaces disloquées et les vagues provoquées par l'onde de tempête augmentent significativement les risques de submersion et d'érosion des berges. L'absence de glace ou le faible couvert de glace constitue ici une condition préalable aggravante. Lorsque les glaces sont présentes et bien figées, l'onde de tempête est atténuée et l'effet sur la côte est moins problématique.

L'autre cas possible est la conjugaison d'une onde de tempête en même temps ou légèrement en succession des pluies abondantes. Les deux événements se produisent généralement à l'intérieur de 24 à 48 heures. C'est la conjonction de deux submersions qui provoque l'événement, celle qui provient de l'onde de tempête et celle qui provient du gonflement des rivières dû aux fortes pluies. Dans ce cas, l'eau des rivières n'arrive pas à sortir vers la mer à cause de l'augmentation du niveau de l'eau sur la côte provoquée par l'onde de tempête. C'est surtout les plus petits bassins versants très réactifs qui peuvent être particulièrement touchés par ce type d'événement. L'échelle de territoire est principalement celle du bassin versant. En effet, il peut s'agir de pluies abondantes en amont du bassin versant, mais les conséquences peuvent se produire plus en aval, à l'embouchure de la rivière qui finit sa course dans la mer.

Les conséquences touchent les infrastructures et les bâtiments, et sont donc également économiques. Il y a aussi d'importantes conséquences sur les communautés elles-mêmes puisque c'est souvent toute l'occupation d'un territoire qui est en jeu. De nombreux impacts sur la sécurité, mais aussi sur la santé des personnes et des communautés peuvent en découler. D'autres sont relatives à l'intégrité des écosystèmes côtiers et à la perte d'habitats. Enfin, certaines conséquences sont relatives à la qualité de l'eau, car la submersion côtière est un apport d'eau salée sur le continent susceptible de contaminer les nappes phréatiques situées dans la zone de submersion ou à proximité.

Les résultats montrent que certaines municipalités situées à proximité d'une embouchure de rivière sont susceptibles de se retrouver face à des choix difficiles à faire. Par exemple, une municipalité pourrait mettre en place des mesures de déviation de l'eau pour diminuer les impacts de l'inondation causée par les fortes pluies sur le centre-ville, mais s'il y a une onde de tempête, cette déviation pourrait aussi augmenter les risques de submersion. Les enjeux de ce genre de combinaison sont donc difficiles à appréhender pour les communautés.

Les mesures d'atténuation sont variées elles incluent la modification du cadre bâti en zone vulnérable, la déviation des cours d'eau ou des recharges de plages, la végétalisation des berges, la modification des infrastructures dont les routes, et peut aller jusqu'à changer leur emplacement, etc. Cette phrase mentionnée lors d'un entretien montre l'ampleur de certaines réflexions quant aux enjeux d'adaptation pour faire face à ce type d'événement:

« Tout est possible, mais voulons-nous aller jusque-là? »

En effet, dans certains territoires, l'ampleur des conséquences peut conduire à des réflexions allant jusqu'à envisager l'abandon éventuel de certaines infrastructures, routières notamment.

Enfin, les mesures d'atténuation peuvent impliquer ultimement la délocalisation non seulement des infrastructures, mais également des riverains eux-mêmes. Cela exige alors un consensus social, et est souvent le fruit d'un long processus. Dans cette optique, il faut intégrer dans les mesures d'atténuation tout ce qui touche les efforts d'adaptation, dont la mise en place d'espace de collaboration, pour favoriser l'adaptation des communautés et mettre en valeur ce qui est fait en matière de communication.

La vulnérabilité est ici surtout celle des communautés et des territoires dans les milieux côtiers. Elle est jugée comme étant modérée ou élevée, et dépend des secteurs géographiques.

Tableau 11. Pluies abondantes en même temps onde de tempête/ Onde de tempête avec absence de glace avec ou sans forte pluie

Secteur : Sécurité civile (ministère)/ Environnement et biodiversité (organisme)/ Transports et infrastructures/ Milieux côtiers et maritimes (organisme, ministère)			
Acteur : A9/ A17/ A19/ A22/ A28			
Conséquences			
Types de conséquences	Impacts	Acteurs/secteurs	Degré de gravité des conséquences
Sécurité des personnes et des communautés	Quartiers et villages isolés	A9/sécurité civile	Variable, mais peut aller jusqu'à 5
		A19/ transports et infrastructures	4 ou 5 si l'événement est intense
	Risque d'impacts physiques par des objets projetés sur la côte	A9/sécurité civile	Variable, mais peut aller jusqu'à 5
	Danger pour les usagers des routes	A19/ transports et infrastructures	4 ou 5 si l'événement est intense
Santé des personnes et des communautés	Impacts sur la santé mentale (stress, anxiété, détresse)	A22/ milieux côtiers et maritimes	4
Communautés et occupation du territoire	Impacts sur la vitalité des milieux, sur la cohésion sociale, sur la qualité de vie, etc.	A22/ milieux côtiers et maritimes	4
	Impacts sur la pérennité des communautés dans certains secteurs comportant des questionnements importants sur la capacité à maintenir certaines routes	A19/ transports et infrastructures	4 ou 5 En situation extrême

Infrastructures et/ou bâtiments et/ou réseaux	Bâtiments et infrastructures endommagées	A9/sécurité civile	Variable, mais peut aller jusqu'à 5
		A22/ milieux côtiers et maritimes	4
	Bris d'infrastructures pouvant aller jusqu'à la disparition complète de tronçons de route	A19/ transports et infrastructures	4 ou 5 si une route disparaît complètement
Écosystèmes	Destruction d'habitats côtiers et perturbations des fonctions écologiques reliés à l'habitat de certaines espèces aquatiques (destruction de zones de reproduction, de migration, de protection)	A17/ milieux côtiers et maritimes	3, mais peut aller jusqu'à 5 si des habitats sont complètement détruits
		A22/ milieux côtiers et maritimes	4 Ou 5 si pertes d'habitats complets
		A28/environnement et biodiversité	Non évalué, car pas de son ressort
	Contamination de l'eau des écosystèmes côtiers à cause de l'apport de sédiments	A17/ milieux côtiers et maritimes	De 3 à 5 Selon l'importance de l'événement
Qualité de l'eau	Contamination des nappes phréatiques (et donc des puits artésiens) par intrusion de l'eau salée dans les sols côtiers	A17/ milieux côtiers et maritimes	Non spécifié/3
		A28/environnement et biodiversité	Non évalué, car pas de son ressort
Économiques ou financières	Impacts sur les revenus fonciers de municipalités touchées, impacts sur les activités touristiques	A22/ milieux côtiers et maritimes	4
Organisationnelles	Augmentation du travail des équipes	A22/ milieux côtiers et maritimes	Non évalué
	Augmentation de la difficulté à suivre les écosystèmes et à bien comprendre leur évolution possible	A17/ milieux côtiers et maritimes	Non évalué

Évaluation du degré de capacité à faire face et de vulnérabilité		
Acteurs/Secteurs	Degré de capacité à faire face	Degré de vulnérabilité
A9/sécurité civile	4	Les petites municipalités peuvent être très vulnérables
A17/milieus côtiers et maritimes	Entre 2 et 3	Certains secteurs ont une vulnérabilité élevée
A19/transports et infrastructures	Entre 2 et 3	Élevé
A22/milieus côtiers et maritimes	3	Modéré
A28/environnement et biodiversité	Non pertinent	Modéré à Élevé selon les secteurs
Mesures d'atténuation Transformation des bâtiments (A9) Changement de trajectoire d'un cours d'eau (A9) Recharge de plage (A9, A22) Délocalisation des riverains (A9) Mesures d'ingénierie réalisées par d'autres ministères pour protéger les berges (A17) Réimplantation de routes (A19) Protection des routes (A19) Ajouts de règlementations avec les municipalités (A19) Sensibilisation des riverains (A22) Végétalisation des berges (A22) Travail collaboratif avec les communautés pour favoriser collectivement l'adaptation (A22)		

EVE 10 : Printemps avec un fort volume de pluie et en même temps persistance de températures anormalement fraîches

Description de l'événement et ses conséquences

Cette combinaison nommée par un répondant du secteur agricole serait devenue presque une norme et se produirait quasiment une année sur deux depuis quelques années. Le printemps 2024 est un bon exemple. Plusieurs régions ont connu une saison printanière et de début d'été pluvieux et la chaleur estivale a mis du temps à s'installer. Différentes régions du Québec peuvent être touchées à tour de rôle ou en même temps. La préoccupation principale est relative à l'impossibilité d'initier le travail aux champs au moment habituel ce qui entraîne toute une série de conséquences connexes allant de l'obligation de changer de type de culture, à la

diminution du rendement des cultures, aux pertes culturelles, et aux nombreux impacts financiers qui en découlent. La gravité des conséquences peut être importante, notamment parce que financièrement ce type de pertes (de rendements, de cultures) coûte cher.

Les mesures d'atténuation en agriculture sont essentiellement relatives à la santé des sols et donc aux pratiques culturales qui évitent la compaction et la déstructuration des sols. L'ajout de matière organique dans le sol et le maintien d'une culture de protection contribuent à rendre le sol plus résilient. Néanmoins, les résultats montrent que ces mesures peuvent avoir leurs limites et diminuent l'effet positif de certaines interventions possibles. Par exemple, au Québec on a tendance à avoir des saisons estivales avec un certain volume de pluie. Un bon drainage des sols est important. Cependant, un sol trop drainé devient problématique en situation de sécheresse. De même, si on a une année de sécheresse et que l'on avait mis une culture de protection, cette culture aura tendance à pomper l'eau et donc à diminuer les réserves d'eau du sol pour la culture suivante. Les mesures d'atténuation sont potentiellement contraires si l'on est en situation d'humidité excessive ou en situation de stress hydrique.

Pour ces raisons, en agriculture, la variabilité du climat est un véritable enjeu qui pose plusieurs interrogations pour l'avenir. La capacité à faire face à cette combinaison est relativement faible, principalement en raison de l'importance qu'impliquent des changements parfois importants dans les pratiques culturales qui permettraient d'augmenter la résilience de l'agriculture. Ce qui est en cause ici relève du modèle agricole et des choix de société à l'égard de l'agriculture en contexte de changements climatiques. L'agriculture est très vulnérable à ce type de combinaison, car l'étape du semis (début de la saison de culture) est l'étape cruciale qui détermine toute la saison de culture.

Tableau 12. Printemps avec un fort volume de pluies et en même temps persistance de températures anormalement fraîches

Secteur : Agriculture			
Acteur : A30			
Conséquences			
Types de conséquences	Impacts	Acteur/secteur	Degré de gravité des conséquences
Économiques ou financières	Incapacité de semer au bon moment Pertes de cultures Pertes de rendements agricoles	A30/ agriculture	4
Évaluation du degré de capacité à faire face et de vulnérabilité			
Acteur/secteur	Degré de capacité à faire face	Degré de vulnérabilité	
A30/ agriculture	Entre 2 et 3	Élevé	
Mesures d'atténuation			
Meilleures pratiques culturales, mais certaines mesures sont contradictoires (trop d'eau et saison suivante pas assez d'eau)			

Les combinaisons qui engendrent des inondations : principaux points à retenir

Globalement, notamment en raison des inondations de 2017 et de 2019, les problématiques liées à la gestion des inondations sont davantage maîtrisées et le Québec a acquis une certaine capacité de réponse à ce type d'événements.

La succession de dépressions qui causent des pluies abondantes menant à des inondations augmente la vulnérabilité des populations en raison de l'effet de répétition des inondations dans une même saison sur un même territoire.

Les pluies abondantes sur fond de neige lors de redoux hivernaux pourraient prendre de l'ampleur en raison des hivers plus doux. De plus, cette combinaison peut être amplifiée par le phénomène de blocage atmosphérique qui serait un phénomène de plus en plus fréquent susceptible de prolonger ou répéter des épisodes de pluie intense.

Le déplacement des épisodes d'inondations en dehors de la saison habituelle et l'ajout de moments plus inédits où ils se produisent tendent à allonger parfois considérablement les périodes de situations problématiques. Il y a des conséquences organisationnelles à cette modification dans la temporalité des épisodes d'inondations.

Les événements combinés qui impliquent les ondes de tempêtes conduisent à des conséquences importantes tant au niveau des infrastructures que de l'occupation du territoire. L'Est-du-Québec est particulièrement vulnérable. L'augmentation de la température de l'eau observée depuis quelques années conduit à davantage de risque d'absence de couvert de glace en hiver, ou au retard dans la formation de la glace tard en automne. Les secteurs côtiers sont dans une situation de vulnérabilité potentiellement croissante. Pour ce genre d'événement, les conséquences peuvent être durables puisqu'elles peuvent conduire à délocaliser des populations. Il est important que soient implantés des espaces de collaboration afin de favoriser la mise en place de mesures d'adaptation qui soient socialement acceptables.

Un printemps avec un fort volume de pluie combiné à des températures anormalement fraîches sur une longue période est plus spécifique aux enjeux agricoles. Cet événement combiné compromet directement le travail au champ et les impacts peuvent être importants. La saison 2024 est une saison de référence, mais ce cas de figure se produirait presque une année sur deux au Québec. Ce type d'événement rend plus complexe la gestion du risque en agriculture. Cette combinaison met en évidence les enjeux liés à la variabilité du climat. Si les changements climatiques signifient dans le futur une plus grande variabilité climatique, les enjeux pour l'agriculture seront très importants. En effet, les mesures d'adaptation en agriculture peuvent être complètement contradictoires en fonction des réalités de chaque saison et des événements susceptibles de se produire.

4.1.2.5. Les événements combinés qui impliquent de forts vents

Les événements combinés classés dans ce groupe impliquent spécifiquement le vent. Deux types d'événements entrent dans ce groupe. Pour le premier type, ce qui est surtout en cause c'est le vent comme amplificateur d'un premier aléa de précipitation. Le plus souvent il s'agit de précipitations adhérentes qui alourdissent les structures des bâtiments et du réseau électrique, ou encore les arbres. Le second type met en cause le vent comme déclencheur d'une situation problématique qui est exacerbée ensuite par le froid intense.

EVE 11 : Forts vents et en même temps précipitations importantes souvent adhérentes

Description de l'événement et ses conséquences

8 répondants ont nommé la combinaison de précipitation et de forts vents. Ils proviennent des secteurs de l'assurance, de l'utilisation de la forêt, de la sécurité civile, de l'énergie, et de l'habitation et milieux de vie.

Les résultats montrent que la combinaison qui implique de forts vents est une préoccupation plus récente et parfois plus hypothétique. Pour l'instant, cela reste plus rare, car les aléas ont été le plus souvent remarqués séparément. Néanmoins, avec les changements qui sont observés, dont certains épisodes de très forts vents, la synchronicité avec des précipitations adhérentes ou de fortes pluies, ou la succession de précipitations adhérentes suivies de forts vents inquiètent, notamment parce que les conséquences peuvent être importantes et avoir des conséquences sur la sécurité des personnes.

Il peut s'agir d'une tempête de forts vents (avec ou sans neige) suivie, précédée ou en même temps qu'un épisode de verglas. Pour la sécurité civile, ce type d'événement augmente significativement les risques pour la sécurité des personnes et des biens. De plus, les conséquences ont tendance à se bousculer avec un effet domino. En revanche, les impacts sont le plus souvent ponctuels dans le temps.

Les résultats montrent que dans le cas de la neige adhérente ou du verglas jumelé à de forts vents, le territoire peut être assez vaste et pourrait couvrir une région administrative, de plus aucune région au Québec n'est épargnée. Ce type d'événement peut impacter le réseau de distribution électrique, car le vent est réellement un facteur amplificateur des impacts tels que les bris des infrastructures et des arbres. Après le grand verglas de 1998, des grands tronçons de lignes de transports électriques ont été remplacés par les lignes anti verglas. Mais d'autres régions ont un réseau plus fragile. Certains propos suggèrent que le verglas et les forts vents sont difficiles à modéliser et il est difficile de savoir ce qui se passera dans le futur et quels territoires seront touchés.

Enfin, les fortes pluies jumelées à de forts vents sont surtout problématiques pour les bâtiments en raison de l'augmentation des risques d'infiltration de l'eau. Les vents augmentent les impacts de l'eau.

Les résultats montrent que les mesures existantes sont le plus souvent très concrètes et vont de l'élagage des arbres, au déglacement des infrastructures, à l'installation des lignes électriques anti-cascade, aux modifications des habitations. Outre ce type d'actions, il est difficile de mettre en place des mesures qui soient réellement préventives. En revanche, globalement la capacité à faire face à ce type d'événement est jugée relativement forte.

Les citoyens et les municipalités sont globalement vulnérables, voire parfois très vulnérables. Cette évaluation est cependant nuancée, car cela reste variable selon les quartiers, selon les populations, etc. Pour d'autres, la vulnérabilité est plus théorique puisque ce type d'événement reste pour certains plus hypothétique.

Tableau 13. Forts vents et en même temps précipitations importantes souvent adhérentes

Secteur : Utilisation de la forêt/ Assurances/ Sécurité civile/ secteur énergétique/ habitations et milieux de vie			
Acteur : A6/ A7/ A8/ A9/ A18/ A20/ A23/ A26			
Conséquences			
Types de conséquences	Impacts	Acteurs/secteurs	Degré de gravité des conséquences
Sécurité des personnes et des communautés	La chute d'arbres ou d'infrastructures peut mettre en danger les usagers d'un parc	A8/ utilisation de la forêt	5
		A20/ utilisation de la forêt	2
	Les pannes électriques, l'isolement des communautés, les routes stratégiques fermées	A9/ sécurité civile	4

Économiques ou financières	Impacts financiers potentiellement importants reliés à la réparation des infrastructures et aux pertes de revenus	A6/ utilisation de la forêt	4
		A26/ secteur énergétique	4 voire 5 si événement aussi intense que le verglas de 1998
		A23/ habitations et milieux de vie	3
	Multiplication des réclamations	A7/assurances	4
	Pertes économiques pour les entreprises lorsqu'il y a des pannes électriques prolongées	A26/ secteur énergétique	4
Infrastructures et/ou bâtiments et/ou réseaux	Bris des arbres, et bris des infrastructures telles que les lignes électriques, les bâtiments, les routes, les canalisations, etc.	A6/ utilisation de la forêt	4
		A7/ assurances	4
		A9/ sécurité civile	4
		A18/ assurance	4
		A8/ utilisation de la forêt	4
		A20/ utilisation de la forêt	2 Car événement ponctuel
		A23/ habitations et milieux de vie	3
		A26/ secteur énergétique	4
Organisationnelles	Augmentation de la charge de travail	A/6 utilisation de la forêt	3
		A20/utilisation de la forêt	2
	Modification de l'évaluation des couvertures de risque et augmentation du travail pour le traitement des réclamations	A7/ assurances	4
		A18/ assurances	4
	Requiert parfois des équipes externes	A26/ secteur énergétique	4

Évaluation du degré de capacité à faire face et de vulnérabilité		
Acteurs/Secteurs	Degré de capacité à faire face	Degré de vulnérabilité
A6/ utilisation de la forêt	3	Faible Plus théorique jusqu'à maintenant
A7/ assurances	4	Faible Mais possiblement variable
A8/ utilisation de la forêt	5	Élevé dans les parcs et Faible dans les réserves fauniques à cause des coupes commerciales d'arbres
A9/ sécurité civile	4	Modéré Possiblement élevé dans l'avenir
A18/ assurances	5 4 si l'ampleur de l'événement est importante	Élevé
A20/ utilisation de la forêt	4	Faible à modéré Selon les territoires
A23/ habitations et milieux de vie	4	Potentiellement élevé Variable selon les quartiers
A26/ secteur énergétique	4	Faible Variable selon les territoires
Mesures d'atténuation Travaux de sylviculture (A6/ A8/ A20) Modification des ponceaux (A20) Sensibilisation auprès des assurés et interventions auprès du gouvernement pour changer les normes de construction (A7/ A18) Adaptation du cadre bâti (A23) Élagage, remplacement des lignes électriques et plan de mesures d'urgence (A26)		

EVE 12 : Forts vents et en même temps températures froides

Description de l'événement et ses conséquences

Cette combinaison a été nommée par un répondant issu du secteur de l'habitation et des milieux de vie et par un répondant en santé⁶. Le principal enjeu tient aux conséquences initiales des forts vents qui causent des pannes électriques potentiellement prolongées.

Lorsque ces vents sont en même temps que des températures très froides, ou suivis rapidement de températures froides, les conséquences sont essentiellement au niveau de la sécurité et la santé des résidents qui peuvent se retrouver plusieurs heures sans chauffage. Au-delà de 12 heures, la situation devient critique et peut impliquer l'évacuation de résidents. La préoccupation en santé est essentiellement reliée aux intoxications au monoxyde de carbone lors de l'utilisation par les résidents d'appareils d'appoint (génératrices ou poêles d'appoint) qui utilisent notamment du propane.

Outre les impacts directs sur les résidents, ce sont aussi des impacts sur les bâtiments qui sont possibles, en raison par exemple des bris dans les systèmes de plomberie (eau qui gèle dans les tuyaux) ou bris causés par le vent. La gravité des conséquences est directement reliée à la durée et à l'intensité de l'événement. En revanche, il s'agit d'un événement très ponctuel.

Pour le secteur habitations et milieux de vie, il n'y a pas de mesures d'atténuation comme telles, outre des plans de mesures d'urgence à l'interne. Mais globalement la capacité à faire face à ce type d'événement est jugée positivement, en partie parce qu'au Québec le système électrique est robuste. En santé, seuls les messages de santé publique existent, et bien que la capacité à faire face est évaluée positivement, cela n'empêche pas les conséquences de survenir.

La vulnérabilité du parc de logement est relativement faible. En revanche, la vulnérabilité des communautés (au niveau des enjeux de santé) est variable selon les profils des populations concernées, et peut être très élevée.

Tableau 14. Forts vents et en même temps températures froides

Secteur : Habitation et milieux de vie/ santé			
Acteur : A3/ A15			
Conséquences			
Types de conséquences	Impacts	Acteurs/secteurs	Degré de gravité des conséquences
Santé des personnes et des communautés	Panne prolongée implique potentiellement des évacuations et donc des impacts psychosociaux pour les résidents	A3/ habitations et milieux de vie	4
	Intoxication des personnes au monoxyde de carbone et hospitalisations en dedans de 24 heures	A15/ santé	5, car des mortalités sont possibles

⁶ La description du secteur de la santé n'incluait pas seulement le vent, mais mentionnait un épisode de froid jumelé à un événement provoquant des pannes de courant dont cette combinaison.

	Intoxication alimentaire en raison de la consommation d'aliments périmés		
	Augmentation de la vulnérabilité des personnes déjà vulnérables		
Bâtiments	Bris des systèmes de plomberie	A3/ habitations et milieux de vie	1
Évaluation du degré de capacité à faire face et de vulnérabilité			
Acteurs/secteurs	Degré de capacité à faire face	Degré de vulnérabilité	
A3/ habitations et milieux de vie	4 Sauf si une panne durait au-delà de 3 jours	Élevé Mais très ponctuelle	
A15/ santé	3 Car capacité à agir rapidement	Faible à très élevé Variable selon les populations	
Mesures d'atténuation			
Plan de mesure d'urgence (A3)			
Message de santé publique (A15)			

Les combinaisons qui impliquent le vent : principaux points à retenir

Il s'agit de combinaisons d'événements dont les préoccupations sont plus récentes et pour certains plus hypothétiques et envisagées dans un contexte de changements climatiques qui pourrait favoriser une augmentation potentielle d'épisodes de vents forts.

Les événements combinés qui impliquent le vent sont généralement très ponctuels dans le temps et touchent principalement les infrastructures. Ils ne bousculent pas en profondeur les façons de faire, et la capacité à y faire face reste bonne.

Cependant, lorsque ce type d'événement provoque des pannes de courant prolongées (12 heures et plus) en hiver, la santé des personnes devient rapidement une préoccupation importante dont les conséquences peuvent être très significatives et peuvent conduire à des situations critiques.

4.1.2.6. Les combinaisons liées aux feux de forêt

Les événements combinés d'ampleur liés aux feux de forêt ont été nommés comme étant jusqu'ici plus hypothétiques, mais la saison estivale 2023 a représenté un choc qui semble avoir soulevé plusieurs inquiétudes jusqu'ici moins présentes. Ce sont des événements pour lesquels les plus grands défis sont reliés à la sécurité civile et à la santé.

EVE 13 : Sécheresse suivie d'orages (même territoire) ou territoires différents (blocage atmosphérique)

Description de l'événement et ses conséquences

Trois répondants ont évoqué ce type de combinaison. Deux proviennent du secteur de la sécurité civile et le troisième du secteur relatif au milieu nordique et la saison estivale 2023 est la saison de référence. La première concerne un territoire dont l'échelle correspond à quelques régions administratives du Québec. À l'été 2023, une cellule orageuse a balayé le Québec d'est en ouest et a provoqué 3000 coups de feu enregistrés au sol en une seule journée ce qui a vite conduit à 122 nouveaux feux en seulement 24 heures. Le laps de temps entre la sécheresse et la période convective d'orages est difficile à déterminer, car cela dépend notamment de la température ambiante qui augmente la vitesse d'assèchement du sol en milieu forestier. La présence d'arbres au sol dû par exemple à des coups de vent plus tôt en saison peut également constituer un facteur aggravant. En 2023, les résultats montrent qu'il n'aura fallu que 10 jours de sécheresse pour provoquer une situation hautement problématique. Les propos montrent qu'il y aurait une tendance à plus de feux de forêt dans le nord du Québec que par le passé.

Les conséquences des feux de forêt se manifestent en général surtout pour l'industrie forestière, puisqu'il s'agit de perte nette de ressource. Mais l'été 2023 a été marqué par de nombreuses évacuations (29 au total au Québec) et la sécurité des personnes et des communautés a été une préoccupation majeure. L'ampleur des feux a également eu des conséquences plus au sud, dans des régions et des villes qui ont été impactées par la fumée. Dans ce cas, les conséquences ont été sur la santé humaine en raison de l'altération de la qualité de l'air.

Les conséquences potentielles en milieu nordique posent des défis particuliers notamment parce qu'en situation d'évacuation, cela devrait se faire par avion. De plus, toute l'énergie utilisée dans le nord est produite par du diesel qui est entreposé dans des dépôts pétroliers dans les villages. Il s'agit d'infrastructures essentielles et névralgiques, tout comme les aéroports, qu'il faudrait protéger en cas de feux à proximité des villages. Pour l'instant ces conséquences sont hypothétiques, mais elles sont de plus en plus évoquées dans les structures administratives.

L'autre cas de figure implique différents territoires non connectés entre eux et potentiellement très distants, l'échelle de territoire est davantage le Canada tout entier. Ce type d'événement est survenu (été 2023) lorsque des crêtes de haute pression se sont produites dans tout le pays, provoquant des épisodes de sécheresse dans plusieurs provinces en même temps suivies d'instabilité atmosphérique généralisée. Cette combinaison à large échelle est beaucoup plus inédite. Les conséquences ont été les mêmes que celles des feux au Québec seulement, mais elles sont devenues liées d'un territoire à l'autre, car la multiplication des feux qui en a résulté a mis en tension les capacités d'intervention et les ressources humaines.

La gravité des conséquences dépend de l'intensité et des superficies touchées. Mais elles peuvent aller jusqu'à 4, voire 5 si une ville passait au feu. Néanmoins, l'ampleur des feux de forêt de l'été 2023 a contribué à permettre des investissements du gouvernement pour mieux faire face aux épisodes de feux de forêt, ce qui est un impact positif.

Les mesures d'atténuation sont surtout reliées à la prévention et la communication du risque auprès des communautés et à l'analyse de la vulnérabilité dans toutes les régions à risque. Dans certains cas, il y a des aménagements de zones tampons au pourtour des villes pour réduire la densité de la végétation. La capacité à faire face est jugée forte, notamment parce que des moyens additionnels ont été consentis par les gouvernements récemment. En contexte de changements climatiques, la vulnérabilité des territoires et des communautés est cependant élevée.

Tableau 15. Sécheresse suivie d'orages (même territoire) ou territoires différents (blocage atmosphérique)

Secteur : Sécurité civile/ Milieux nordiques			
Acteur : A2/ A4/ A27			
Conséquences			
Types de conséquences	Impacts	Acteurs/secteurs	Degré de gravité des conséquences
Sécurité des personnes et des communautés	Évacuation potentielle de certains villages menacés (nord)	A2/ milieu nordique	4
	Évacuations vécues de villes et villages (29 évacuations vécues en 2023)	A4/ sécurité civile	4
		A27 sécurité civile	4 (5) Si un village ou une ville passait au feu
Infrastructures et/ou bâtiments et/ou réseaux	Menaces potentielles des dépôts pétroliers et aéroports (nord)	A2/ milieu nordique	4
	Infrastructures routières et énergétiques menacées	A4/ sécurité civile	4
Économiques ou financières	De grands territoires brûlés signifient des pertes de forêts commercialement exploitables	A4/ sécurité civile	2
Santé des populations et des communautés	Impacts sur la qualité de l'air, en 2023, la fumée a touché plusieurs régions	A4/ sécurité civile	4
		A27/ sécurité civile	4
Organisationnelles	Difficulté d'intervention lorsque les feux sont intenses ou lorsque plusieurs territoires sont touchés en même temps/ Manque de ressources/ Épuisement des équipes d'intervention	A4/ sécurité civile	4 Lorsque tout le Canada a été touché par des feux importants
		A27/ sécurité civile	Non évalué en degré de gravité

Évaluation du degré de capacité à faire face et de vulnérabilité		
Acteurs/secteurs	Degré de capacité à faire face	Degré de vulnérabilité
A2/ milieu nordique	Une certaine capacité dans chaque village nordique, mais non évalué /3	Élevé Si les feux atteignent les villages
A4/ sécurité civile	4 Si au Québec seulement 3 Si plusieurs territoires sont touchés à travers le pays en même temps	Élevé
A27/ sécurité civile	4	Élevé Pour les villages et les villes entourés de résineux
Mesures d'atténuation Analyses de vulnérabilité pour les territoires nordiques et conseils d'aménagement du territoire qui inclut aussi l'échelle des bâtiments (A4) Mise en place de postes de commandement avec des cartographes qui répertorient les secteurs à risque (A4) Aménagement de zones tampons où l'on réduit la densité de la végétation notamment autour des villes et villages (A27)		

EVE 14 : Feux de forêt dans un territoire et en même temps canicule dans un autre territoire

Description de l'événement et ses conséquences

Cette combinaison a été nommée par 4 répondants provenant des secteurs de la sécurité civile, de la Santé des communautés, du milieu nordique (habitation), et de l'environnement et biodiversité. Il s'agit spécifiquement d'une combinaison où les deux événements se produisent en même temps, sur des territoires différents, mais dont les conséquences sont liées. Dans tous les cas, ce qui préoccupe c'est la fumée (souvent poussée par le vent) qui atteint des territoires qui sont affectés en même temps par une canicule. Généralement, la description implique des feux plus au nord et une canicule plus au sud, mais dans un cas où le répondant est concerné par le secteur de l'habitation en milieu nordique, c'est l'arrivée de fumée provenant de feux plus au sud et qui atteint les territoires nordiques soumis à des situations de chaleur anormalement élevée qui pose problème.

Selon les résultats, ce type d'événement pourrait se produire plus souvent dans l'avenir en contexte de changements climatiques. Cette combinaison a pour l'instant été moins vécue au Québec, mais les feux de 2023 ont contribué à faire émerger des préoccupations plus importantes. Par ailleurs, le fait qu'il manque d'informations pour bien anticiper ce genre d'épisode est une inquiétude manifeste.

Les principales conséquences nommées sont sur la santé et la sécurité des populations. Un des points qui préoccupe est la difficulté de mettre en place une intervention cohérente auprès des populations affectées. En effet, les messages habituellement formulés aux populations lorsqu'il y a de la fumée et ceux formulés lorsque des températures caniculaires sont des messages contradictoires. Lorsqu'il y a de la fumée on demande aux

gens de fermer les fenêtres, et de rester à l'intérieur, alors qu'en période de canicule on demande d'ouvrir les fenêtres, de ventiler au maximum et de sortir dans les espaces verts. Cette problématique de cohérence des messages à transmettre pour assurer la santé et la sécurité des personnes ne semble pas avoir trouvé de réponses pour l'instant.

Les résultats montrent que les craintes relatives à la santé des personnes peuvent être élevées. La pollution atmosphérique engendrée par la fumée peut avoir des conséquences sur plusieurs groupes populationnels, même lorsqu'il ne s'agit pas à priori de personnes ayant des problèmes de santé particuliers. De plus, des impacts psychologiques à courts, moyens et longs termes sont nommés. Les propos montrent que les impacts appréhendés peuvent aller de la diminution du bien-être jusqu'à des hospitalisations en raison de détresse psychologique. Le mot « catastrophe » est nommé. Certaines populations plus vulnérables, telles que les personnes ayant une maladie mentale préoccupent particulièrement, car il est difficile de les rejoindre et les consignes publiques ne sont souvent pas comprises. Ce type d'événement peut engendrer une pression importante sur le système de santé et sur les équipes en sécurité publique notamment en milieu fortement urbanisé.

Les mesures consistent essentiellement en messages de la santé publique. Mais, il y a un constat relatif aux excès de décès reliés principalement à des profils de personnes plus vulnérables. Ce sont les personnes âgées seules, les personnes avec des maladies chroniques notamment cardio-vasculaires ou respiratoires, les personnes toxicomanes et les personnes avec une maladie mentale qui préoccupent tout particulièrement. De plus, ce sont souvent des personnes qui ne réalisent pas qu'il fait chaud et pour lesquels les messages aux citoyens ne sont d'aucune utilité. Les mesures habituelles concernent généralement un aléa individuel, dans le cas d'une combinaison d'aléas de ce type, les interventions communicationnelles sont nettement plus complexes. Les capacités à faire face sont globalement jugées faibles et la vulnérabilité des populations est jugée potentiellement élevée.

Tableau 16. Feux de forêt dans un territoire et en même temps canicule dans autre territoire

Secteur : Santé/ sécurité publique/ milieu nordique/ environnement et biodiversité			
Acteur : A3/ A12/ A15/ A16			
Conséquences			
Types de conséquences	Impacts	Acteurs/secteurs	Degré de gravité des conséquences
Santé des personnes et des communautés et	Risques pour les personnes relativement à la qualité de l'air associés à la fumée et en même temps risques pour la santé, reliés aux températures caniculaires	A12/ environnement et biodiversité	2
		A15/ santé	4
	Impacts sur la santé de différents groupes populationnels, mais surtout certains groupes plus vulnérables (population plus âgée, personnes souffrant de maladie chronique, personnes souffrant de maladie mentale, etc.)	A15/ Santé	4
		A16/ sécurité civile	5
		A12/ environnement et biodiversité	2
		A3/ milieu nordique	3

	Impacts psychologiques	A15/ santé	4
Économiques ou financières	Coûts collectifs en raison de l'augmentation des effectifs et des actions à mettre en place	A15/ santé	Non évalué, mais jugé important/ 4
Organisationnelles	Surcharge de travail et mise en tension du système et des équipes	A15/ santé	4
		A16/ sécurité civile	« Les impacts sont énormes » / 4
Évaluation du degré de capacité à faire face et de vulnérabilité			
Acteurs/secteurs	Degré de capacité à faire face	Degré de vulnérabilité	
A3/ milieu nordique	2	Élevé	
A12/ environnement et biodiversité	2	Non qualifié	
A15/ santé	3	Très variable de faible à élevé	
A16/ sécurité civile	2	Élevé	
Mesures d'atténuation			
Tenter de clarifier les messages (A12, A15)			

Événements liés aux feux de forêt : principaux points à retenir

L'été 2023 est une saison de référence qui a contribué à soulever plusieurs inquiétudes relativement aux combinaisons d'événements qui provoquent ou impliquent des feux de forêt.

Le nombre de feux, mais aussi l'ampleur du territoire touché a montré que le contexte des changements climatiques pourrait être préoccupant à l'égard de tous les événements reliés aux feux de forêt. Les blocages atmosphériques pourraient devenir plus fréquents et pourraient contribuer à augmenter les superficies de territoires touchés en même temps par des feux. La situation vécue en 2023 où plusieurs provinces du Canada ont connu des épisodes de feux importants en même temps est considérée comme étant plus inédite, mais potentiellement très préoccupante.

Néanmoins, la situation de crise vécue en 2023 a eu un impact positif pour favoriser l'augmentation des ressources consenties par le gouvernement « ça prend une crise pour que le gouvernement investisse ».

Les feux de forêt dont la fumée atteint des communautés qui vivent en même temps un épisode de canicule sont très inquiétants. Les actions à prendre et les messages à délivrer à la population sont contradictoires et un certain désarroi existe quant à la manière d'appréhender ce type d'événement ce qui diminue considérablement les capacités à y faire face.

Les populations plus vulnérables peuvent être très à risque et globalement le degré de gravité des conséquences est élevé. La santé publique et la sécurité civile seraient potentiellement mises en grande tension si ce type d'événement tendait à se reproduire.

4.1.2.7. Les événements combinés qui impliquent des variations brusques de températures et de conditions météo

Nous avons classé deux combinaisons d'événements dans cette catégorie en raison du caractère spécifiques des conséquences qui préoccupent et qui permettent de mieux appréhender les enjeux plus précis reliés à ces deux événements. Le premier est la combinaison d'un redoux au printemps suivi d'un gel. Cet événement concerne l'agriculture, car le redoux qui favorise l'éclosion des bourgeons et la pousse végétale est une condition préalable qui augmente les conséquences du gel sur les cultures. Le second est la combinaison d'écarts de températures importants (au moins 10 degrés voire davantage) en dessous et au-dessus du point de congélation jumelés à de la pluie abondante. Ce qui est en jeu alors est spécifique à l'intégrité des matériaux et des structures des bâtiments et des infrastructures.

EVE 15 : Redoux au printemps suivi d'un gel

Description de l'événement et ses conséquences

Cet événement est nommé par un répondant du secteur de l'agriculture. Il s'agit d'un événement qui se produit sur un même territoire, mais successivement. C'est précisément la succession qui est problématique. Le laps de temps entre les deux événements est difficile à définir, mais il importe que le redoux ait été suffisamment long pour que la croissance végétale ait débuté. Ce sont surtout les cultures fruitières qui sont vulnérables à ce type d'événement. Mais les conséquences peuvent aussi toucher d'autres cultures, telles que les fraises ou les asperges dont la croissance est hâtive au printemps. Les résultats montrent que les dommages aux cultures sont circonscrits dans l'espace et sont fonction des types de cultures. Mais pour les agriculteurs touchés, les pertes peuvent être majeures et peuvent représenter jusqu'à 80% de la récolte. La gravité des conséquences est donc relative à ce que vivent les agriculteurs touchés et non pour les cultures en général.

Les mesures d'atténuation qui pourraient être mises en place (qui se résument à couvrir les plants) ne sont pas adéquates pour de grandes superficies de cultures. En pratique il est jugé qu'il n'y a donc pas grand-chose à faire. La capacité individuelle des agriculteurs à faire face à ce type d'événement est jugée nulle ou très faible.

La récurrence potentielle de ce type de combinaison pose cependant un vrai défi pour certaines cultures qui pourraient devenir à l'avenir très vulnérables. Il y a une certaine absence de moyens pour anticiper cet événement ce qui limite l'accompagnement en amont des agriculteurs. De meilleures connaissances, notamment sur les régions qui pourraient être plus à risque, pourraient permettre de mieux anticiper ce type d'événement.

Tableau 17. Redoux au printemps suivi d'un gel

Secteur : agriculture			
Acteur : A10			
Conséquences			
Types de conséquences	Impacts	Acteur/secteur	Degré de gravité des conséquences
Économiques ou financières	Perte de rendement ou de production due au gel des bourgeons floraux en début de croissance (culture fruitière, asperges, fraises, etc.)	A10/ agriculture	4 ou 5 Selon l'agriculteur et les conséquences sont très ponctuelles dans l'espace

Évaluation du degré de capacité à faire face et de vulnérabilité		
Acteur/secteur	Degré de capacité à faire face	Degré de vulnérabilité
A10/ agriculture	Entre 1 et 2	Élevé Mais vulnérabilité très ciblée
Mesures d'atténuation		
Aucune		

EVE 16 : Écarts de températures importants et subits et en même temps ou alternativement des pluies abondantes

Description de l'événement et ses conséquences

Un répondant du secteur de l'habitation et milieux de vie et un autre du secteur de l'utilisation de la forêt ont mentionné cette combinaison. Il s'agit d'un événement qui implique des écarts de températures importants et subits suivis ou alternativement avec des pluies abondantes. Le laps de temps entre les événements est très court (à l'intérieur d'une même journée). Ce qui est redouté ici c'est l'effet du phénomène gel et dégel qui, lorsque couplé à la présence d'eau, implique des impacts sur les infrastructures et les bâtiments. Pour les revêtements de bâtiments, les fenêtres, les toitures, les routes, c'est le gonflement de l'eau qui gèle avant d'avoir eu le temps de se retirer de la surface des matériaux qui provoque les conséquences. Celles-ci sont alors le plus souvent des dommages aux revêtements des façades de bâtiments, provoquant dans certains cas, l'éclatement des matériaux. Cela est particulièrement vrai dans le cas de la maçonnerie telle que les façades en briques. Il en est de même pour les fondations de béton qui ne supportent pas les écarts de température jumelée à une hydrométrie élevée. Les routes et les canalisations d'aqueduc peuvent également être endommagées. Les propos montrent que des moyens existent cependant pour parer à ce genre de problématiques ce qui diminue l'évaluation du degré de gravité qui reste modéré.

Les mesures sont essentiellement relatives à des transformations dans les façons de construire, par exemple modifier les structures de planchers, modifier les portes de garage, inclure des jardins de pluie dans les cours, etc. Il peut s'agir aussi de modifier les matériaux utilisés en diminuant par exemple les surfaces de maçonnerie. Mais la phrase : « On sait faire pour les 30 prochaines années, au-delà on ne sait pas à quoi s'attendre » montre qu'il y a tout de même une interrogation pour l'adaptation sur un temps long. Néanmoins, la capacité à faire face est pour l'instant jugée assez forte. Le défi est surtout d'arriver à faire appliquer ces nouvelles méthodes et normes.

Tableau 18. Écarts de températures importants et subits, en même temps ou alternativement avec des pluies abondantes

Secteur : Habitations et milieux de vie/ Utilisation de la forêt			
Acteur : A23/ A6			
Conséquences			
Types de conséquences	Impacts	Acteurs/secteurs	Degré de gravité des conséquences
Infrastructures et/ou bâtiments et/ou réseaux	Dommages aux revêtements, aux joints entre les matériaux, aux fenêtres, bris des routes, bris d'aqueduc, etc.	A23/ habitations et milieux de vie	3
	Bris des remontées mécaniques	A6/ utilisation de la forêt	Entre 2 et 3 Hiver 2023-24 serait 4
Économiques ou financières	Coûts pour les propriétaires et pour les municipalités	A23/ habitations et milieux de vie	3
	Pertes de revenus en raison d'arrêt des opérations Coûts reliés à la remise en marche du système d'enneigement	A6/ utilisation de la forêt	Entre 2 et 3
Organisationnelles	Augmentation des heures de travail des équipes	A6/ utilisation de la forêt	Entre 2 et 3
Évaluation du degré de capacité à faire face et de vulnérabilité			
Acteurs/Secteurs	Degré de capacité à faire face	Degré de vulnérabilité	
A23/ habitations et milieux de vie	4	Élevé et croissante	
A6/ utilisation de la forêt	4 3 pour certains de leurs membres plus petits	Modéré à Élevé Selon les territoires	
Mesures d'atténuation			
Modification dans les méthodes de construction et le choix des matériaux (A23)			

Les événements qui impliquent des variations brusques de températures ou de conditions météo : principaux points à retenir

Ce type d'événements engendre des conséquences qui sont ponctuelles dans le temps et dans l'espace.

Néanmoins, pour l'agriculture et notamment pour certains types de productions, la combinaison d'un redoux au printemps suivi d'un gel peut provoquer des conséquences dont le degré de gravité peut être important pour les agriculteurs touchés, et les capacités à faire face à ce type d'événement sont quasi nulles.

Si la récurrence de l'événement combiné redoux suivi d'un gel devait augmenter à l'avenir, les défis d'adaptation, notamment pour le secteur agricole, pourraient être considérables.

Les écarts de températures subits accompagnés de pluie impliquent essentiellement des conséquences aux infrastructures. Présentement, on connaît les mesures à prendre, mais des questionnements apparaissent quant aux réalités auxquelles il faudra peut-être faire face à l'avenir.

4.1.2.8. L'addition d'événements problématiques

Ces événements combinés inquiètent essentiellement en raison de l'effet cumulatif de leurs conséquences. Bien que certains impliquent des problématiques similaires à ceux soulevés par d'autres événements classés différemment, ce qui les rend préoccupants c'est le phénomène d'addition de situations problématiques. C'est l'augmentation de la vulnérabilité des populations et l'intensité de la mobilisation des équipes d'intervention en situation d'urgence accrue et prolongée qui sont soulevées. Ces combinaisons ont été nommées essentiellement par des répondants du secteur de la sécurité civile.

EVE 17 : Verglas en même temps ou suivi rapidement d'inondations

Description de l'événement et ses conséquences

Cette combinaison nommée par un répondant en sécurité civile d'un milieu urbanisé n'a pas été classée avec les événements engendrant des inondations, bien qu'elle implique une inondation. En effet, les résultats montrent que ce qui est préoccupant ici c'est l'augmentation de la vulnérabilité des personnes couplée aux difficultés de mobilisation des équipes d'intervention. En raison de l'urbanisation du bassin versant de la région métropolitaine, il y aurait une augmentation de la fréquence des inondations, même si les modèles n'indiquent pas cette tendance. Lorsque couplées en même temps à du verglas, les capacités d'intervention peuvent être considérablement réduites. Ce qui est redouté avec le verglas ce sont les chutes d'arbres qui bloquent les accès routiers, et surtout les pannes électriques qui accompagnent souvent les épisodes de verglas. De plus, les pannes de courant représentent un enjeu majeur de santé publique, principalement en raison des intoxications au monoxyde de carbone (utilisation des poêles au gaz dans les maisons). Ces conséquences additionnées à celles d'une inondation provoquent potentiellement une aggravation importante d'une situation d'urgence. C'est spécifiquement l'addition des conséquences qui est en cause et l'état d'urgence généralisée.

Avec ce type de combinaison, la gravité des conséquences est potentiellement maximale, tant au niveau des personnes touchées, des équipes d'intervention que des montants financiers requis pour y faire face. La saison de référence est le printemps 2023 où un important verglas s'est abattu dans la région métropolitaine et a été suivi quelques jours plus tard par des inondations printanières. Dans cet historique récent, les pannes de courant avaient été rétablies quelques jours avant l'épisode d'inondation. Les propos montrent que si les pannes de courant avaient été synchrones avec l'épisode de verglas, il aurait été très difficile de répondre à cette situation d'urgence, car intervenir lors d'une inondation lorsqu'il n'y a pas d'électricité est considéré comme étant très difficile, voire possiblement « insurmontable ». Les résultats montrent que l'inquiétude face à ce type d'événement est grande, en raison de la probabilité qui est considérée élevée.

Les mesures d'atténuation existantes sont spécifiques à chaque aléa séparément. Pour les inondations, il s'agit essentiellement de murs et de digues, de pistes cyclables rehaussées, etc. ce sont donc des mesures plus

ponctuelles. Pour diminuer l'impact du verglas, il s'agit de mesures d'inspection et l'élagage préventif des arbres. De plus, il y a la mise en place de mesures de coordination avec Hydro Québec afin de faciliter la rapidité des services offerts à la population en situation de panne. La vulnérabilité des territoires et des populations est élevée.

Tableau 19. Verglas en même temps ou suivi rapidement d'inondations

Secteur : Sécurité civile			
Acteur : A16			
Conséquences			
Types de conséquences	Impacts	Acteur/secteur	Degré de gravité des conséquences
Santé des personnes et des communautés	Impacts psychologiques des sinistrés	A16/ sécurité civile	5
	Hospitalisations voire des décès suite à des intoxications au monoxyde de carbone		
Infrastructures et/ou bâtiments et/ou réseaux	Bris potentiellement majeurs des bâtiments résidentiels et névralgiques	A16/ sécurité civile	Entre 3 et 4
	Bris des infrastructures vertes (Arbres)	A16/ sécurité civile	5
Économiques ou financières	Coûts importants notamment reliés au verglas	A16/ sécurité civile	5
Organisationnelles	Impacts importants sur les équipes d'intervention, l'épuisement des membres des équipes et l'ampleur des interventions	A16/ sécurité civile	Majeurs, mais non chiffrés/ 5
Degré de capacité à faire face et de vulnérabilité			
Acteur/secteur	Degré de capacité à faire face	Degré de vulnérabilité	
A16/ sécurité civile	3	Élevé	
Mesures d'atténuation			
Murs et digues			
Entretiens des arbres			

EVE 18 : Inondations sur un territoire et en même temps ou en chevauchement des feux de forêt et un épisode de canicule ailleurs

Description de l'événement et ses conséquences

Cette combinaison, nommée par un répondant en sécurité civile, est essentiellement due au chevauchement d'événements habituellement séparés dans le temps. Les événements se produisent sur des territoires différents et l'été 2023 est une saison de référence. Ce qui rend ces chevauchements préoccupants, c'est ici aussi, l'addition de situations d'urgence qui doivent être traitées en même temps et sans discontinuité pendant plusieurs semaines. L'été 2023 a été caractérisé par des événements d'ampleur qui se sont chevauchés. Certaines régions ont connu 3 pics de crues ce qui était inédit. Presque en même temps, les feux importants se sont déclarés et au même moment d'autres territoires ont connu des épisodes de chaleur caniculaire. De plus, les feux ont duré tout l'été alors que certaines régions connaissaient des épisodes de pluies diluviennes. Les situations d'urgence étaient généralisées et les événements étaient tous intenses. Les principales conséquences

sont sur les activités des équipes d'intervention en sécurité civile qui doivent être mobilisées sur tous les fronts en même temps et pour une longue période de temps. C'est la notion même de situation d'urgence qui prend une dimension nouvelle, moins associée à un événement circonscrit dans le temps et dans l'espace, mais davantage à une saison globalement problématique. Deux questions se posent, la première concerne la temporalité, à quel point ces chevauchements deviendront la norme ? La seconde concerne la spatialité, car des communautés qui étaient auparavant peu impactées l'ont été beaucoup en 2023, alors jusqu'à quel point l'étendue géographique sera étendue à l'avenir ?

Pour les communautés touchées, les conséquences sont souvent importantes. Néanmoins, les résultats montrent que le degré de gravité des conséquences de ce type de combinaison n'est pas extrême au niveau organisationnel, notamment parce que ces chevauchements ont déjà commencé à être anticipés. Le principal enjeu est la gestion des ressources humaines spécialisées qui sont alors sollicitées au maximum. D'ailleurs, il y aurait même un impact positif de ce type d'événement combiné au niveau de la coordination entre les acteurs qu'il s'agisse des acteurs reliés à l'intervention que celle avec les sinistrés.

Les résultats montrent qu'il reste du travail à faire pour développer des mesures adéquates. Il y aurait parfois des zones grises, car certains aléas sont moins bien couverts. La combinaison d'événements doit être prise en compte dans le cadre de protection de sinistres. Elle tend à intégrer davantage des mesures de protection pour des secteurs complets, c'est le cas par exemple pour certains milieux côtiers, où plusieurs aléas sont intégrés dans l'analyse. Cette augmentation de chevauchement pourrait permettre de justifier plus facilement le déploiement de l'aide quand il y a plusieurs aléas.

La vulnérabilité des territoires et des communautés est élevée et grandissante dans le contexte des changements climatiques.

Tableau 20. Inondations sur un territoire et en même temps ou en chevauchement des feux de forêt et un épisode de canicule ailleurs

Secteur : Sécurité civile			
Acteur : A5			
Conséquences			
Types de conséquences	Impacts	Acteur/secteur	Degré de gravité des conséquences
Santé des personnes et des communautés	Pour les communautés affectées par des crues successives, les situations qui s'additionnent sont difficiles à vivre et peuvent impliquer des conséquences psychologiques parfois importantes	A5/ sécurité civile	4
Organisationnelles	Impacts sur la gestion des ressources humaines qui peut être un casse-tête	A5/ sécurité civile	3

Évaluation du degré de capacité à faire face et de vulnérabilité		
Acteur/secteur	Degré de capacité à faire face	Degré de vulnérabilité
A5/ sécurité civile	4	Élevé et croissante
Mesures d'atténuation Soutien aux communautés touchées Aides financières Évaluation des secteurs à risque		

L'addition d'événements problématiques : principaux points à retenir

Ce qui préoccupe avec ce type d'événements est relié spécifiquement au phénomène d'addition et/ou de superposition de situations problématiques. Ces combinaisons ont été nommées essentiellement par des répondants du secteur de la sécurité civile.

L'augmentation de la vulnérabilité des populations et l'intensité de la mobilisation des équipes d'intervention en situation d'urgence accrue sont les deux préoccupations majeures qui ressortent de ce type de combinaison par additions d'événements problématiques.

Un des effets de ces additions/superpositions est la durée beaucoup plus longue des situations d'urgence qui étaient normalement plus ponctuelles dans le temps. En 2023, il y a eu 113 jours de mobilisation d'urgence, du jamais vu par le passé.

4.1.3. Événements climatiques combinés : Nature et formats des informations souhaitées

Les résultats montrent que la nature et les formats des informations souhaitées au sujet des événements climatiques combinés varient possiblement selon les types d'événements nommés, mais aussi surtout en fonction du type de répondant. Nous rappelons que l'échantillon comprend une diversité d'acteurs provenant de secteurs différents, et occupant des fonctions très variées. Forcément, les besoins varient, tant au niveau de la nature des informations que des formats dans lesquels ces informations devraient être fournies. Néanmoins, quelques similitudes sont également apparues dans les résultats et montrent que certaines informations et certains formats sont souhaités par une majorité d'acteurs.

4.1.3.1. La nature des informations souhaitées

Des informations prioritaires sont nommées par pratiquement tous les répondants, peu importe le secteur d'activités qu'ils représentent ou les fonctions qu'ils occupent. Il s'agit de la récurrence anticipée de ces événements, de leur potentielle intensité et dans certains cas de leur durée. Rappelons que les résultats ont montré que l'imprévisibilité des événements combinés fait partie des préoccupations. En ce sens, si la probabilité d'occurrence et la récurrence potentielle de ces événements étaient connues, cela permettrait, en partie du moins, de mieux les anticiper et de diminuer l'effet de surprise. L'intensité potentielle des événements anticipés est une information cruciale qui, lorsque couplée à la récurrence, permet l'évaluation des mesures à mettre à place pour y faire face et permet une certaine anticipation des mesures d'adaptations à prévoir. Pour certains événements, la durée est une donnée essentielle. Par exemple, tous les événements qui engendrent des inondations ou des déficits en eau ont une ampleur souvent dépendante de la durée de l'événement. Les résultats montrent que pour les acteurs en sécurité civile, peu importe qu'un événement ait une forte ou une faible probabilité de se produire, c'est surtout l'intensité et la durée de l'événement qui doivent être prises en compte. Même un événement peu probable, mérite une attention particulière.

Dans la majorité des cas le besoin principal, peu importe l'événement combiné, est d'avoir une meilleure idée de ce qui pourrait arriver à l'avenir et de pouvoir comparer ces informations avec des données ou des expériences déjà connues.

Cependant, certains événements sont moins bien documentés. Par exemple, obtenir des informations plus spécifiques sur le phénomène de persistance du déficit en eau est un besoin exprimé. En ce sens, toutes les informations permettant une meilleure connaissance des sols, de leur capacité d'absorption, et des effets croisés d'une sécheresse suivie d'un coup d'eau intense et subit sont utiles. De même, tout ce qui touche les fortes pluies sur un fond de neige devrait être mieux documenté. Par exemple, il est souhaité que soient remplacés les volumes de crue habituels par des informations qui prennent en compte les volumes d'eau incluant la fonte de la neige en tant qu'apport d'eau inclus dans le modèle.

Plusieurs informations plus spécifiques sont souhaitées. Certaines sont relatives aux ondes de tempêtes telles que mieux comprendre le comportement anticipé du vent à une fine résolution, mieux connaître l'effet du vent sur les patrons de vagues, et savoir la probabilité que des fortes pluies arrivent en même temps qu'une onde de tempête. Par rapport aux vents, peu importe l'événement, une résolution plus fine est jugée utile. De plus, le phénomène de blocage atmosphérique est perçu comme étant de plus en plus fréquent, mais il existe encore peu d'informations permettant de bien comprendre le phénomène.

En milieu nordique bien que ces informations ne relèvent pas du mandat d'Ouranos, les résultats mettent en évidence un manque de données et notamment de prévisions météo fiables. De même, des informations prédictives sur les feux de forêt ou les feux de toundra anticipés à plus court terme sont souhaitées.

Nous soulignons que lors d'une entrevue avec un acteur en Santé publique, il a été longuement question des besoins particuliers relatifs à ce secteur. En santé il y a des besoins relatifs à un outil pour mieux évaluer les risques potentiels de ces événements, mais cet outil doit être adapté à la complexité des enjeux qui sont les leurs. Ce qui est souhaité, c'est qu'Ouranos travaille sur l'évaluation des risques et des vulnérabilités adaptées à chacun des secteurs avec des outils de gestion multirisques.

Enfin, certaines informations jugées utiles sont davantage reliées aux risques ou encore aux conséquences anticipées, ainsi qu'aux mesures d'adaptation qui existent ailleurs dans le monde pour des événements combinés similaires.

Le tableau qui suit expose la liste synthétisée des informations souhaitées.

Tableau 21. Nature des informations souhaitées

Caractéristiques de l'événement
Récurrence, intensité et durée de l'événement combiné
Récurrence projetée de l'événement combiné comparée à un historique si existant
Récurrence projetée des chevauchements d'événements de forte amplitude (quel chevauchement risque de devenir la norme?)
Durée projetée de l'événement et comparaison avec un historique si existant
Intensité projetée de l'événement et comparaison avec un historique si existant
Tendances
Informations sur des tendances climatiques
Projections climatiques à court, moyen et long termes et données historiques comparatives
Informations complémentaires
Données comparatives avec d'autres régions du monde
Informations sur la variabilité climatique anticipée liés aux événements combinés
Informations qui permettent une meilleure anticipation d'une saison sèche
Amélioration des modèles de prévisions climatiques et météorologiques pour les territoires nordiques incluant les prévisions relatives aux feux de forêts et de toundra
Informations spécifiques aux enjeux de l'eau (surplus et déficit)
Informations sur les seuils critiques qui conduisent à un déficit en eau persistant
Bilan hydrologique annuel
Plus de connaissances sur les sols : la capacité d'absorption d'excès d'eau, la capacité de recharge en eau, etc.
Informations permettant de mieux prévoir les sécheresses et de mieux comprendre leur effet sur la variabilité de la disponibilité en eau
Estimation de l'humidité du sol jumelée à des scénarios climatiques

Informations permettant d'évaluer les volumes d'eau dus à l'apport de la neige lors d'épisodes de fortes pluies sur neige
Événement pluies abondantes sur neige : Données événementielles plutôt que des données statistiques incluant des filtres (sur la quantité de neige, la température, etc.)
Informations sur les effets croisés de la sécheresse et d'un coup d'eau
Informations sur la réponse hydrologique des bassins versants aux événements de pluies abondantes sur neige et de pluies abondantes sur sol gelé
Modèles de prévision des embâcles
Informations sur les charges de neige et les volumes de pluies anticipés en milieu nordique
Informations spécifiques aux milieux côtiers
Projection de la sédimentation en milieu fluvial
Des seuils de submersion en fonction de la force des vents et de la marée
Projection de l'évolution du couvert de glace
Informations plus fines sur la corrélation entre les fortes marées (ou onde de tempête) et l'ampleur des vagues ou entre les crues et les fortes marées (ou onde de tempête)
Probabilité que des épisodes de pluies abondantes se produisent en même temps que des ondes de tempêtes et tendance de cette corrélation pour le futur
Toutes informations climato-côtières permettant de mieux comprendre les potentiels débordements maximaux dans la zone d'influence du Saint-Laurent majeur
Informations sur l'effet de l'orientation des vents sur les patrons de vagues pour mieux comprendre l'effet des ondes de tempêtes sans couvert de glace
Informations sur les courants atmosphériques et patrons de vent
Informations plus approfondies sur l'amplitude anticipée des courants en altitude qui causent des blocages atmosphériques (pour le Québec et le Canada)
Informations sur les patrons de vents prévus à une très fine résolution
Historique des conséquences reliées aux événements combinés
Informations relatives à l'historique des pannes de courant
Informations sur les conséquences économiques chiffrées des événements combinés
Informations sur les risques d'inondation en fonction de la topographie, des types de sols, des capacités des égouts, etc.
Adaptation

Projection des besoins en eau des communautés afin de prévoir la disponibilité en eau en fonction des événements combinés
Exemples de mesures d'adaptation à différents événements combinés ailleurs dans le monde
Analogues spatiaux pour mieux anticiper les conséquences
Informations sur les conséquences des événements combinés sur les écosystèmes et les habitats fauniques
Informations sur les risques et les vulnérabilités populationnelles relativement à différents événements combinés et propres à chaque secteur d'activité, dont la santé
Informations sur les risques, les conséquences et les mesures d'adaptation

4.1.3.2. Formats des informations

Les résultats montrent qu'un des besoins quant au format des informations fournies concerne le rapport au territoire. Certains ont parlé de données à l'échelle d'un bassin versant (événements qui engendrent des inondations ou des déficits en eau). De même, la spatialisation des données fournies en temps réel a été mentionnée. Aussi, les résultats montrent les besoins d'une régionalisation des informations en fonction de certains enjeux, par exemple les enjeux relatifs à l'agriculture, ou encore ceux reliés à la santé (régions socio-sanitaires). Il s'agit en somme d'être capable de relier les informations sur les événements combinés à des contextes précis et potentiellement opérationnels susceptibles de permettre une meilleure compréhension des conséquences potentielles de ces événements et une meilleure prise en compte de ceux-ci dans le déploiement des actions.

Globalement, les formats souhaités varient cependant grandement selon le type d'organisation et les fonctions des personnes interrogées. Elles vont des données brutes non agrégées aux fiches synthèses très vulgarisées.

Le tableau qui suit expose la liste synthétisée des formats souhaités.

Tableau 22. Formats des informations souhaités

Formats qui relient l'information au territoire
• Informations par bassins versants • Informations cartographiées (exemple carte des zones les plus à risque de verglas, carte de dépassement des seuils combinés de précipitations adhérentes et de vent par exemple, cartes de risque d'inondations ou autres événements) • Cartes interactives comme Ouranos en fait • Informations régionalisées (donc fournies pour un territoire défini en fonction des enjeux des acteurs) • Relier les informations climatiques à l'échelle micro des fermes • Bases de données spatialisées et en temps réel • Seuils d'alertes versus le territoire • Cotes de risque à une micro-échelle : des bâtiments (notamment pour les inondations)
Formats des données elles-mêmes

- Données brutes peu importe le format et pas trop agglomérées (données dérivées utilisables individuellement)
- Rapports scientifiques
- Rapports vulgarisés
- Informations simples, vulgarisées et parlantes (« *les données d'Ouranos sont difficiles à utiliser* » A28)
- Fiche synthèse
- Support visuel de type PowerPoint
- Entrevue comme celle qui a été faite dans le cadre de cette recherche
- Webinaire avec des acteurs précis (exemple agriculteurs)

4.1.4. Événements préoccupants ne correspondent pas à la définition d'événement climatique combiné

En fin d'entrevue, nous cherchions à savoir si d'autres événements qui impliquent une combinaison, mais ne correspondent avec la définition utilisée pour cette recherche étaient préoccupants.

Les résultats montrent que certains secteurs sont préoccupés par tous types de combinaisons incluant des aléas de natures anthropiques. Le secteur de la santé publique ou celui de la sécurité civile par exemple, sont tout autant préoccupés par un événement climatique ou météorologique simple qui se conjugue à un événement de type catastrophe technologique par exemple. L'exemple de Fukushima a été donné et montre bien que les conséquences peuvent être amplifiées en raison de cette combinaison. Le couplage d'un événement climatique avec un événement technologique a été nommé plus d'une fois.

Ce qui ressort souvent c'est le couplage de ce qui peut provoquer des pannes de courants et/ou de réseau internet et d'un aléa météo ou climatique. De même, un événement simple, mais qui touche des infrastructures vieillissantes, et qui s'ajoute à d'autres aléas anthropiques peut devenir une combinaison d'événements préoccupante. Ce qui inquiète c'est alors la combinaison d'événements (simple ou combiné) et des vulnérabilités particulières d'un territoire ou des communautés qui l'habitent.

Les résultats révèlent aussi que la combinaison d'événements qui se produisent sur un temps long suscite certains questionnements. Ce qui s'est produit à Fort McMurray pourrait être un exemple. Rappelons que des feux importants ont eu lieu, et ont été suivis 2 ans plus tard par d'importantes inondations. Ce qui est soulevé avec cet exemple, c'est le fait que les feux, même s'ils ont eu lieu 2 ans plus tôt, sont peut-être devenus une condition préalable à l'amplification des conséquences des inondations. En effet, les feux et la disparition de la végétation peuvent contribuer à fragiliser les sols⁷ ce qui pourrait avoir favorisé une plus grande vulnérabilité de ceux-ci aux inondations, notamment aux ruissellements et aux glissements de terrain. Si tel est le cas, les deux événements seraient ainsi potentiellement liés sur un temps long. Il s'agit bel et bien d'une combinaison d'événements climatiques qui se succèdent mais sur une plus longue période de temps. Cela soulève la question de la temporalité des événements combinés et interroge du même coup la définition de l'événement combiné.

Enfin, pour le secteur de l'agriculture, tous les effets amplificateurs collatéraux d'un aléa climatique même simple peuvent s'avérer cruciaux dans un contexte de changement climatique. Par exemple, l'apparition de certaines maladies fongiques ou de certains insectes pourrait bien à l'avenir représenter des défis majeurs pour ce secteur.

4.1.4.1. Un cas de figure singulier : le milieu nordique

Nous soulignons un cas de figure qui, bien que n'entrant pas dans la définition d'événement combiné, mérite une attention. Les résultats issus d'une entrevue avec un répondant du milieu nordique montrent que des

⁷ Des travaux montrent qu'après les feux de forêt, les sols sans végétation ont tendance à devenir plus imperméables (les feux peuvent contribuer à rendre les sols plus hydrophobes et l'absence de végétation augmente l'accumulation de l'eau à la surface des sols), ce qui peut favoriser une plus grande vulnérabilité des sols aux inondations en augmentant les impacts de celles-ci notamment le ruissellement et les glissements de terrains. (Ferreira, AJD et al. 2008).

préoccupations importantes sont reliées aux températures potentiellement plus douces que la normale en saison estivale. Ce qui a été nommé est une soudaine période de températures plus douces qui causent rapidement un épais brouillard ou du verglas. Il ne s'agit pas d'une combinaison proprement dite, puisque le brouillard ou le verglas découlent directement de l'augmentation de la température lors du redoux. Néanmoins, les conséquences qui ont été nommées sont importantes, car toutes les activités sont compromises notamment parce que les transports se font principalement en avion, et que ces conditions occasionnent l'arrêt souvent complet du service aérien. Cette situation entraîne une paralysie de tous les services offerts aux communautés nordiques. Il y a donc des enjeux de services, de sécurité et de santé qui peuvent être importants. Une autre préoccupation mentionnée est celle relative à la fonte du pergélisol qui représente un enjeu majeur pour l'occupation du territoire en milieu nordique.

Ce que nous faisons ressortir ici, c'est la nature et l'importance de certains enjeux dans ces territoires. Il pourrait être judicieux de réaliser plus d'entrevues avec les acteurs en milieu nordique afin de vérifier quels sont les événements combinés susceptibles de s'y produire et d'accroître l'intensité des conséquences reliées à l'augmentation des températures et aux conséquences qui y sont reliées.

Événements combinés qui ne cadrent pas avec la définition: principaux points à retenir

Certains secteurs d'activité sont préoccupés par tous types de combinaisons incluant des aléas de natures anthropiques. La santé publique ou la sécurité civile par exemple, sont tout autant préoccupés par un événement climatique ou météorologique simple qui se conjugue à un événement de type catastrophe technologique par exemple.

Pour le secteur de l'agriculture, les réflexions sur les événements climatiques combinés et plus largement sur les changements climatiques, conduisent à considérer les effets amplificateurs collatéraux potentiels dont les conséquences sont encore pour l'instant méconnues, mais pourraient être néanmoins considérables (maladies fongiques, apparition d'insectes non présents pour l'instant, etc.).

Pour les milieux nordiques, il pourrait être judicieux que des recherches ultérieures soient réalisées pour mieux documenter les événements combinés susceptibles de s'y produire afin d'anticiper l'ampleur de leurs conséquences potentielles dans un contexte où les températures moyennes annuelles se réchauffent. Le contexte de la fonte du pergélisol qui remet en question l'occupation même du territoire en milieu nordique pourrait-il être aggravé par certains événements combinés non anticipés jusqu'à présent ou non documentés? Il pourrait être utile de répondre à cette question.

4.2. RÉSULTATS DE LA PHASE 2

4.2.1. L'arbre de décomposition hiérarchique

La priorisation des événements climatiques combinés est faite dans l'optique de contribuer à l'adaptation aux changements climatiques par le développement de la recherche sur les événements climatiques combinés. Une structure hiérarchique initiale comportant deux dimensions fondamentales (le risque perçu par les répondants et la faisabilité scientifique) a été discutée avec une équipe d'Ouranos composée de membre des sciences du climat et de la science de l'adaptation. Trois séances de discussion ont été réalisées pour arriver à l'ensemble de sous-dimensions et de critères faisant référence aux enjeux essentiels qui ont été jugés adéquats aux objectifs du projet. Des discussions sur la structure et la nature des sous-dimensions et critères ont fait évoluer l'arbre hiérarchique vers l'arbre présenté dans la Figure 2.

4.2.1.1. La dimension « Risque perçu par les répondants »

La première dimension est **le risque de l'événement combiné** tel que perçu par les répondants. Ce risque se décompose en 3 sous-dimensions : la vulnérabilité, la gravité des impacts et la résilience.

Le terme « risque » correspond à la probabilité qu'un phénomène ou un aléa naturel ou anthropique survienne dans une zone où des enjeux matériels et humains sont présents. Dans ce contexte, on parle alors d'enjeux exposés à un aléa, mais pas encore de dommages potentiels. Les dommages potentiels ou les impacts indésirables d'un aléa s'expriment lorsque les objets ou les personnes exposés prédisposent de caractéristiques les rendant sensibles aux processus physiques ou facteurs d'impact de l'aléa manifestés ou prédits. La sensibilité des enjeux exposés varie selon les capacités ou incapacités à anticiper l'aléa, à faire face/à résister à l'aléa et à se rétablir après le sinistre. Autrement dit, la sensibilité est modulée par la présence de mesures d'atténuation ou de facteurs de résistance augmentant la résilience et réduisant le risque ou encore par la présence de caractéristiques prédisposant à l'endommagement ou diminuant la résilience et augmentant le risque.

Ainsi la dimension « Risque perçu de l'événement combiné » se divise en 3 sous-dimensions à savoir la vulnérabilité, la gravité des impacts et la résilience. Ces trois dimensions reflètent la définition du risque tel qu'expliqué précédemment. La gravité des impacts a été subdivisée en 5 critères à savoir en lien avec les impacts sur les personnes, les impacts économiques, les impacts sur les infrastructures, les impacts sur les écosystèmes et les impacts organisationnels.

4.2.1.2. La dimension « Faisabilité scientifique »

Cette deuxième dimension reflète la faisabilité scientifique en lien avec le développement de méthodes qui permettent de répondre aux besoins mentionnés en lien avec l'événement climatique combiné. Autrement dit, on veut ici mesurer la capacité de développement ou d'intégration de méthodes existantes pour le développement de la recherche sur ces événements combinés. Cette dimension est divisée en trois sous-dimensions à savoir la disponibilité des données de validation et des données du modèle, la disponibilité des méthodes et la capacité de développement.

En matière de données, nous avons deux volets : les données de validation qui permettent de tester et valider le modèle et les données du modèle c.à.d. les paramètres qui doivent être intégrés dans le modèle.

Par ailleurs la deuxième sous-dimension est la disponibilité des méthodes. Nous parlons ici des méthodes qui vont permettre de répondre aux demandes des répondants en termes d'informations recherchées, et de celles qui vont améliorer la compréhension de ces phénomènes complexes à fort impact. Ce critère mesure l'existence ou non de méthodes dans la littérature qui permettent de fournir les informations demandées par les partenaires sur l'événement climatique en question.

La troisième sous-dimension réfère à la capacité de développement de nouvelles méthodes chez Ouranos et chez ses partenaires (universitaires et non universitaires).

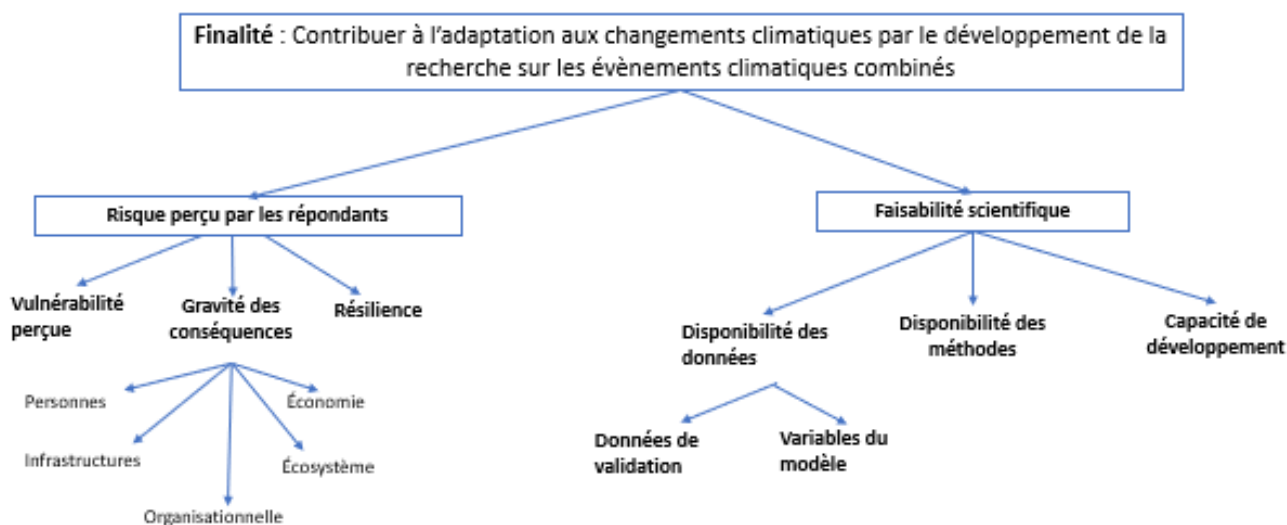


Figure 2. Arbre de décomposition hiérarchique

4.2.2. La pondération des critères

Deux rencontres ont eu lieu avec l'équipe d'Ouranos pour se concerter sur les éléments essentiels qui vont permettre de pondérer les critères en utilisant l'approche AHP. Les critères ont été d'abord comparés deux à deux de façon individuelle par chaque membre de l'équipe. Par la suite, une rencontre a permis de se concentrer sur les comparaisons par paires entre les membres de l'équipe. Chaque comparaison a engendré des discussions entre les membres de l'équipe thématique. À l'issue de cette démarche, des scores communs selon l'échelle de Saaty ont été attribués à chaque comparaison par paire. Les pondérations ont été calculées par la suite et validées par l'équipe. Nous n'avons pas opté vers une pondération individuelle avec AHP en ensuite une agrégation des pondérations, car cela aurait nécessité de donner des poids à chaque membre de l'équipe, ce que nous ne voulions pas faire. Nous avons donc opté vers la concertation.

4.2.2.1. Résultats des comparaisons par paires

Le Tableau 24 présente les résultats des comparaisons par paires qui ont résulté du processus de concertation. La valeur de la troisième colonne indique le niveau d'importance selon l'échelle de Saaty. Par exemple, la valeur 1 de la première ligne indique que la dimension (Risque perçu par les répondants) est aussi importante que la dimension (Faisabilité scientifique). La valeur 1/6 à la deuxième ligne du tableau indique que la dimension (Gravité des conséquences) se situe entre fortement et très fortement plus importante que la dimension (Vulnérabilité), etc.

Tableau 23. Résultats des comparaisons par paires

Élément i	Élément j	Comparaison par paire de l'élément i par rapport à l'élément j
Risque perçu par les répondants	Faisabilité scientifique	1
RISQUE PERÇU PAR LES UTILISATEURS		
Vulnérabilité perçue	Gravité des impacts	1/6

Vulnérabilité perçue	Résilience	1
Gravité des conséquences	Résilience	7
Conséquences sur les personnes	Conséquences sur les infrastructures	7
Conséquences sur les personnes	Conséquences sur l'écosystème	3
Conséquences sur les personnes	Conséquences économiques	7
Conséquences sur les personnes	Conséquences organisationnelles	9
Conséquences sur les infrastructures	Conséquences sur l'écosystème	1/5
Conséquences sur les infrastructures	Conséquences économiques	1
Conséquences sur les infrastructures	Conséquences organisationnelles	4
Conséquences sur l'écosystème	Conséquences économiques	5
Conséquences sur l'écosystème	Conséquences organisationnelles	7
Conséquences économiques	Conséquences organisationnelles	4
FAISABILITÉ SCIENTIFIQUE		
Disponibilité des données	Disponibilité des méthodes	4
Disponibilité des données	Capacité de développement	5
Disponibilité des méthodes	Capacité de développement	5 (3)
Disponibilité des données de validation	Disponibilité des variables du modèle	1/7

Il est à considérer que la valeur attribuée à chaque comparaison par paire dépend des convictions et des perceptions subjectives ou objectives (prévalence vis-à-vis d'un domaine d'expertise ou d'un palier gouvernemental) de l'évaluateur, mais aussi de l'objectif du projet et de l'échelle de l'analyse dans lequel s'insère l'enjeu.

4.2.2.2. Pondérations obtenues

Les tableaux 24 à 29 indiquent les pondérations obtenues par l'application de la méthode AHP pour chaque dimension, sous-dimension et critère. Les poids sont ajustés à un chiffre après la virgule à des fins de présentation.

Tableau 24. Pondérations du risque perçu et de la faisabilité scientifique

Objectif : Priorisation des événements dans l'optique de contribuer à l'adaptation aux changements climatiques par le développement de la recherche sur les événements climatiques combinés	
Risque perçu par les répondants	0,5
Faisabilité scientifique	0,5

Tableau 25. Pondération des sous-dimensions du risque

Objectif : Risque perçu par les répondants	
Gravité des conséquences	76,4%
Vulnérabilité perçue	12,1%
Résilience	11,5%
Indice de cohérence : 0,3%	

Tableau 26. Pondération des sous-dimensions des conséquences

Objectif : Gravité des conséquences	
Conséquences sur les personnes	52,7%
Conséquences sur les infrastructures	8,0%
Conséquences sur l'écosystème	28,1%
Conséquences économiques	8,0%
Conséquences organisationnelles	3,2%
Indice de cohérence : 6,1%	

Tableau 27. Pondération des sous-dimensions de la faisabilité scientifique

Objectif : Faisabilité scientifique	
Disponibilité des données	67,4%
Disponibilité des méthodes	22,6%
Capacité de développement	10,1%
Indice de cohérence : 9%	

Tableau 28. Pondération des sous-dimensions de la disponibilité des données

Objectif : Disponibilité des données	
Disponibilité de données de validation	12,5%
Disponibilité de données du modèle	87,5%
Indice de cohérence : 0%	

Ces pondérations sont inscrites dans l'arbre hiérarchique ci-après.

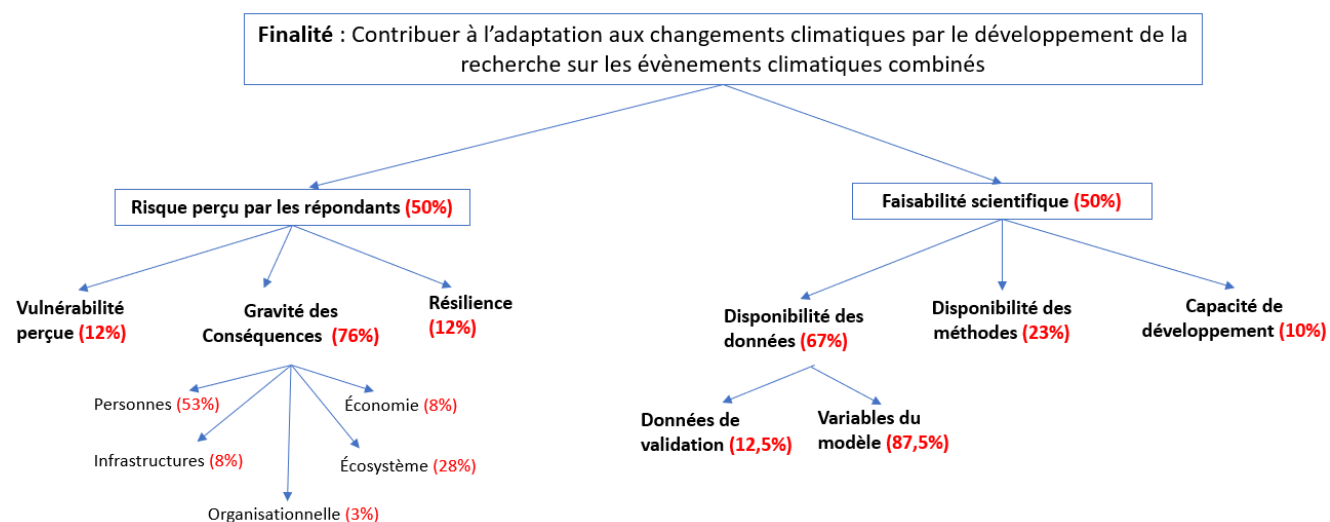


Figure 3. Pondérations de tous les éléments de l'arbre de décision

4.2.3. La priorisation des événements climatiques combinés

4.2.3.1. Matrice de décision

La première étape de la priorisation consiste à évaluer les différents événements climatiques combinés sur les différents critères qui seront utilisés pour le rangement. D'une part, nous avons les critères associés au risque perçu par les répondants et d'autre part ceux associés à la faisabilité scientifique. Pour l'évaluation des critères liés au risque perçu, nous avons demandé aux répondants d'évaluer les 3 critères associés au risque lors des entrevues. Nous avons demandé aux répondants d'évaluer les événements selon les échelles de mesure qualitatives proposées pour la vulnérabilité, la gravité des impacts et la résilience. Faute d'informations objectives sur ces critères, nous avons utilisé les réponses des répondants en étant bien conscients que les réponses sont teintées d'une certaine subjectivité. Les échelles de mesure de la vulnérabilité, la gravité des conséquences et la résilience sont comme suit :

Échelle de mesure des conséquences

1. Conséquence mineure qui n'affecte pas le déroulement de vos activités.
2. Conséquence provoquant peu de dommages mais qui modifie le déroulement de vos activités.
3. Conséquences provoquant des dommages importants qui peuvent être résolus par les ressources existantes.
4. Conséquences provoquant des dommages importants qui nécessitent des moyens complémentaires non prévus.
5. Conséquences non réversibles modifiant en profondeur le fonctionnement à long terme de votre organisation ou secteur.

Échelle de mesure de la résilience

1. Aucune capacité à se remettre de l'événement
2. Faible capacité à se remettre de l'événement
3. Capacité modérée à se remettre de l'événement
4. Forte capacité à se remettre de l'événement
5. Excellente capacité à se remettre de l'événement

Échelle de mesure de la vulnérabilité

1. Vulnérabilité faible
2. Vulnérabilité modérée
3. Vulnérabilité élevée

Pour l'évaluation des critères liés à la faisabilité scientifique, l'équipe en sciences du climat a évalué les critères selon les échelles qualitatives présentées ci-après. Les évaluations sont également ici subjectives. N'ayant pas des données objectives plus précises, nous nous sommes limités aux évaluations fournies par les acteurs en science du climat participant au projet. Les critères évalués sont la disponibilité des données de validation, la disponibilité des variables du modèle, la disponibilité des méthodes et la capacité de développement.

Disponibilité des données de validation

1. Les données de validation sont non disponibles
2. Certaines données de validation sont disponibles mais il n'existe pas d'études de fiabilité pour juger de leur qualité
3. Certaines données de validation sont disponibles et des études de fiabilité existent pour juger de leur qualité
4. Toutes les données de validation sont disponibles mais il n'existe pas d'études de fiabilité pour juger de leur qualité
5. Toutes les données de validation sont disponibles et des études de fiabilité existent pour juger de leur qualité

Disponibilité des variables du modèle

1. Les variables du modèle sont non disponibles
2. Certaines variables du modèle sont disponibles mais il n'existe pas d'études de fiabilité pour juger de leur qualité
3. Certaines variables du modèle de validation sont disponibles et des études de fiabilité existent pour juger de leur qualité
4. Toutes les variables du modèle sont disponibles mais il n'existe pas d'études de fiabilité pour juger de leur qualité
5. Toutes les variables du modèle sont disponibles et des études de fiabilité existent pour juger de leur qualité

Disponibilité des méthodes/approches – (Aspect développement)

1. Les méthodes de traitement ne sont disponibles pour aucun évènement dans la littérature et le développement de nouvelles méthodes serait complexe
2. Les méthodes de traitement ne sont disponibles pour aucun évènement dans la littérature et le développement de nouvelles méthodes ne présente pas une complexité notable
3. Des méthodes de traitement sont disponibles dans la littérature pour un seul des évènements et le développement de nouvelles méthodes pour l'autre serait complexe
4. Des méthodes de traitement sont disponibles dans la littérature pour un seul des évènements et le développement de nouvelles méthodes pour l'autre ne présente pas une complexité notable
5. Des méthodes de traitement sont disponibles dans la littérature pour les deux évènements
6. Des méthodes de traitement sont disponibles dans la littérature pour l'évènement combiné

Capacité de développement, Aspect ressources

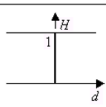
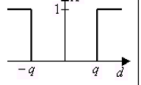
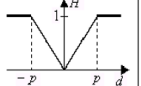
1. Les capacités de développement sont limitées chez Ouranos et chez ses partenaires
2. Les capacités de développement sont limitées chez Ouranos mais des recherches partenariales seraient possibles et fructueuses
3. Les capacités de développement existent chez Ouranos

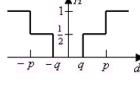
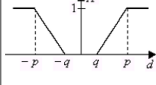
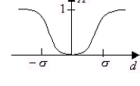
4.2.3.2. Application de la méthode PROMETHEE II et résultats

Le troisième volet de la méthodologie consiste à appliquer une méthode d'analyse multicritère pour prioriser les événements climatiques combinés. La méthode choisie est la méthode PROMETHEE II (Brans, 1982) qui est une méthode de surclassement de synthèse très connue basée sur la construction d'une relation de surclassement évaluée qui traduit une intensité de préférence. Ce choix a été motivé par le fait que les évaluations des événements sur les critères sont des évaluations qualitatives et que la méthode PROMETHEE II permet de traiter les évaluations qualitatives. Elle a aussi l'avantage de proposer différents types de fonction de préférence (usuelle, en U, en V, en palier, linéaire et gaussienne) qu'on peut associer à chaque critère. Une fois les fonctions de préférences associées à chaque critère et les comparaisons par paires des événements combinés effectuées, un degré de préférence multicritère $P_j(a, b)$ est calculé pour comparer globalement chaque paire d'évènement combiné (a, b) .

$$P_j(a, b) = \begin{cases} 0 & \text{si } g_j(a) \leq g_j(b) \\ H_j(d_j) & \text{si } g_j(a) \geq g_j(b) \end{cases}$$

H_j est la fonction de préférence choisie pour le critère j. Ces fonctions sont présentées dans ce qui suit.

Type de fonction critère	Définition analytique	Forme	Paramètres à définir
(I) Vrai critère	$H(d) = \begin{cases} 0, & d = 0; \\ 1, & d > 0. \end{cases}$		—
(II) Quasi-critère	$H(d) = \begin{cases} 0, & d \leq q; \\ 1, & \text{autrement.} \end{cases}$		q
(III) Critère à préférence linéaire	$H(d) = \begin{cases} \frac{ d }{p}, & d \leq p; \\ 1, & \text{autrement.} \end{cases}$		p

Type de fonction critère	Définition analytique	Forme	Paramètres à définir
(IV) Critère à paliers	$H(d) = \begin{cases} 0, & d \leq q; \\ \frac{1}{2}, & q < d \leq p; \\ 1, & \text{autrement.} \end{cases}$		q, p
(V) Critère à préférence linéaire avec zone d'indifférence	$H(d) = \begin{cases} 0, & d \leq q; \\ \frac{ d - q}{p - q}, & q < d \leq p; \\ 1, & \text{autrement.} \end{cases}$		q, p
(VI) Critère (inverse) gaussien	$H(d) = 1 - \exp\left\{-\frac{d^2}{2\sigma^2}\right\}$		σ

Par la suite, un degré de préférence multicritère $\pi(a, b)$ est calculé pour comparer globalement chaque paire d'action.

$$\pi(a, b) = \sum P_j(a, b) \cdot w_j$$

Où w_j représente le poids du critère j .

Puis afin de positionner chaque événement par rapport aux autres événements, un flux positif de préférence Φ^+ quantifiant dans quelle mesure un événement climatique surclasse les autres événements et un flux négatif de préférence Φ^- quantifiant dans quelle mesure l'événement climatique est surclassé par les autres événements sont calculés.

$$\Phi^+(a) = \frac{1}{n-1} \sum_x \pi(a, x)$$

$$\Phi^-(a) = \frac{1}{n-1} \sum_x \pi(x, a)$$

Les flux de préférence positif et négatif sont regroupés dans le flux net de préférence

$$\Phi(a) = \Phi^+(a) - \Phi^-(a)$$

Ce flux net sera utilisé par le rangement des événements climatiques combinés. Plus le flux net est élevé et plus la priorité du flux net est élevée.

En utilisant la méthode PROMETHEE II, nous avons produit les 3 rangements suivants :

- Rangement selon le risque perçu de l'événement
- Rangement selon la faisabilité scientifique
- Rangement selon le risque perçu de l'événement et la faisabilité scientifique

Il est à noter que dans cette étude, nous avons utilisé lors de l'application de la méthode les fonctions de préférences de type « Vrai critère » pour tous les critères lors de l'application de la méthode PROMETHEE II.

A- Rangement selon le risque perçu de l'événement

Le tableau 29 indique le rangement obtenu des événements combinés extrêmes selon les critères liés à la dimension « risque perçu de l'événement ». Autrement dit, le rangement du tableau 29 priorise les événements des plus risqués aux moins risqués. L'événement en tête de la priorisation est EVE 8 à savoir des pluies abondantes sur neige/pluies abondantes en même temps que crues printanières. Par la suite, l'événement correspondant à des pluies abondantes en même temps onde de tempête/onde de tempête avec absence de glace avec ou sans forte pluie (EVE 9) vient en deuxième position. L'événement EVE 4 correspondant à un Gel hivernal avec faible couvert neigeux suivi d'une sécheresse au printemps arrive en dernière position et paraît donc être le moins risqués des 18 événements. Les événements 8, 9, 14, 13, 5, 11, 12, 7 et 17 ont tous

un flux net supérieur à zéro. Cela indique que leur niveau de risque est tout de même important même s'ils ne sont pas classés en premier et qu'il faudra donc leur accorder une importance particulière.

Tableau 29. Rangement selon le risque perçu de l'événement

Alternatives	Flux positif	Flux négatif	Flux net
EVE 8 : Pluies abondantes sur neige/pluies abondantes en même temps que crues printanières	0,88	0,04	0,85
EVE 9 : Pluies abondantes en même temps onde de tempête/onde de tempête avec absence de glace avec ou sans forte pluie	0,81	0,09	0,72
EVE 14 : Feux de forêt dans un territoire et en même temps canicule dans un autre territoire	0,76	0,16	0,61
EVE 13 : Sécheresse suivies d'orages (même territoire) ou territoires différents (blocage atmosphérique)	0,76	0,16	0,60
EVE 5 : Sécheresse suivie de pluies abondantes	0,60	0,36	0,24
EVE 11 : Forts vents et en même temps précipitations importantes souvent adhérentes	0,59	0,37	0,22
EVE 12 : Forts vents et en même temps températures froides	0,56	0,35	0,21
EVE 7 : Successions de dépressions causant des pluies abondantes menant à des inondations	0,51	0,39	0,12
EVE 17 : Verglas et en même temps ou suivi rapidement d'inondations	0,50	0,40	0,09
EVE 18 : Inondations sur un territoire et en même temps ou en chevauchement des feux de forêt et un épisode de canicule ailleurs	0,40	0,50	-0,10
EVE 1 : Hiver avec peu de neige suivie d'une sécheresse au printemps et en été	0,38	0,54	-0,17
EVE 2 : Sécheresse suivie ou en même temps qu'un épisode de canicule	0,38	0,54	-0,17
EVE 3 : Sécheresse dans le nord et en même temps épisode de canicule dans le sud	0,32	0,58	-0,27
EVE 15 : Redoux au printemps suivi d'un gel	0,15	0,58	-0,43
EVE 10 : Printemps avec un fort volume de pluie et en même temps persistance de températures anormalement fraîches	0,13	0,61	-0,49
EVE 6 : Pluies abondantes suivies de sécheresse	0,06	0,66	-0,60
EVE 16 : Écarts de températures importants et subits et en même temps ou alternativement des pluies abondantes	0,04	0,68	-0,64

EVE 4 : Gel hivernal avec faible couvert neigeux suivi d'une sécheresse au printemps

0,00

0,79

-0,79

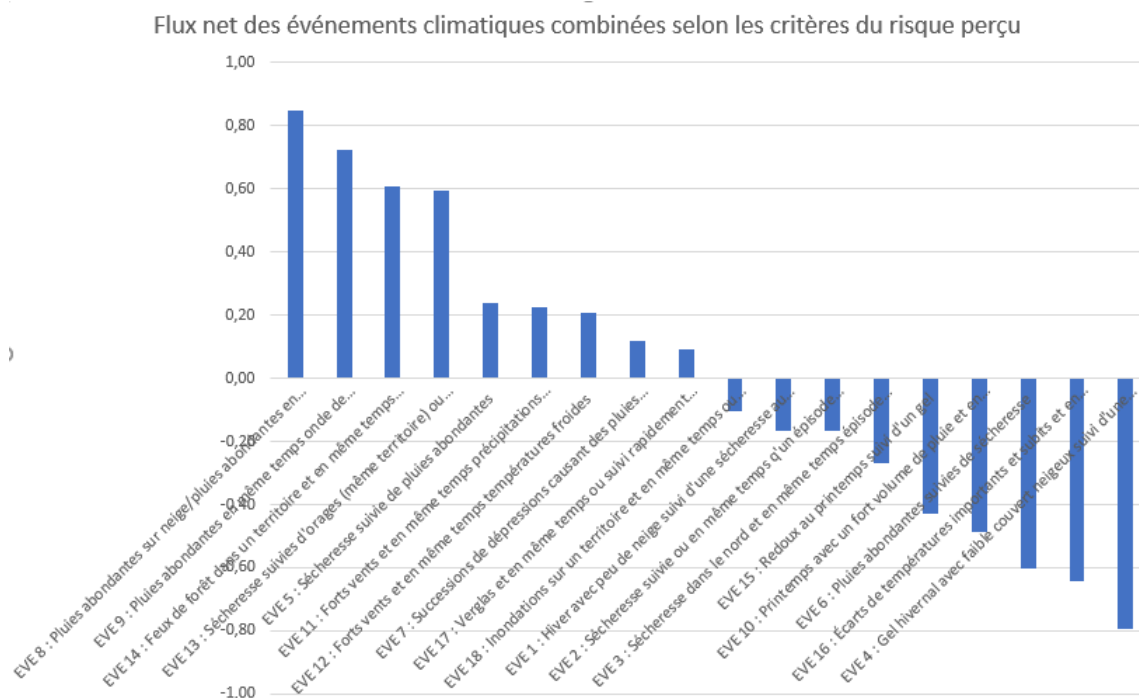


Figure 4. Rangement selon le risque perçu de l'événement

B- Rangement selon la faisabilité scientifique

Le tableau 30 indique le rangement obtenu des événements combinés extrêmes selon les critères liés à la dimension « Faisabilité scientifique ». Autrement dit, le rangement du tableau 30 priorise les événements selon les ressources disponibles (données, méthodes, capacité de développement) pour pouvoir les traiter adéquatement. L'événement en tête de la priorisation est EVE 15 à savoir redoux au printemps suivi de gel. Par la suite, l'événement correspondant à une sécheresse suivie de pluie abondantes (EVE 5) vient en deuxième position. L'événement EVE 11 correspondant à des forts vents en même temps que des précipitations importantes souvent adhérentes paraît en dernière position et serait donc comme l'événement avec le moins de ressources pour le traiter. Les événements 15, 5, 6, 16, 10, 1, 2, 3 et 12 ont tous un flux net supérieur à zéro. Cela indique que les ressources pour les traiter sont plus ou moins disponibles comparés aux autres événements.

Tableau 30. Rangement selon la faisabilité scientifique

Alternatives	Flux positif	Flux négatif	Flux net
EVE 15 : Redoux au printemps suivi d'un gel	0,90	0,00	0,90
EVE 5 : Sécheresse suivie de pluies abondantes	0,78	0,04	0,74
EVE 6 : Pluies abondantes suivies de sécheresse	0,78	0,04	0,74
EVE 16 : Écarts de températures importants et subits et en même temps ou alternativement des pluies abondantes	0,64	0,09	0,54
EVE 10 : Printemps avec un fort volume de pluie et en même temps persistance de températures anormalement fraîches	0,60	0,21	0,38
EVE 1 : Hiver avec peu de neige suivie d'une sécheresse au printemps et en été	0,44	0,25	0,19
EVE 2 : Sécheresse suivie ou en même temps qu'un épisode de canicule	0,44	0,25	0,19
EVE 3 : Sécheresse dans le nord et en même temps épisode de canicule dans le sud	0,44	0,25	0,19
EVE 12 : Forts vents et en même temps températures froides	0,40	0,32	0,08
EVE 14 : Feux de forêt dans un territoire et en même temps canicule dans un autre territoire	0,36	0,45	-0,09
EVE 18 : Inondations sur un territoire et en même temps ou en chevauchement des feux de forêt et un épisode de canicule ailleurs	0,36	0,47	-0,12
EVE 4 : Gel hivernal avec faible couvert neigeux suivi d'une sécheresse au printemps	0,28	0,49	-0,21
EVE 7 : Successions de dépressions causant des pluies abondantes menant à des inondations	0,27	0,62	-0,35
EVE 8 : Pluies abondantes sur neige/pluies abondantes en même temps que crues printanières	0,20	0,70	-0,50
EVE 13 : Sécheresse suivies d'orages (même territoire) ou territoires différents (blocage atmosphérique)	0,20	0,71	-0,52
EVE 9 : Pluies abondantes en même temps onde de tempête/onde de tempête avec absence de glace avec ou sans forte pluie	0,04	0,75	-0,71
EVE 17 : Verglas et en même temps ou suivi rapidement d'inondations	0,04	0,75	-0,71
EVE 11 : Forts vents et en même temps précipitations importantes souvent adhérentes	0,08	0,82	-0,74

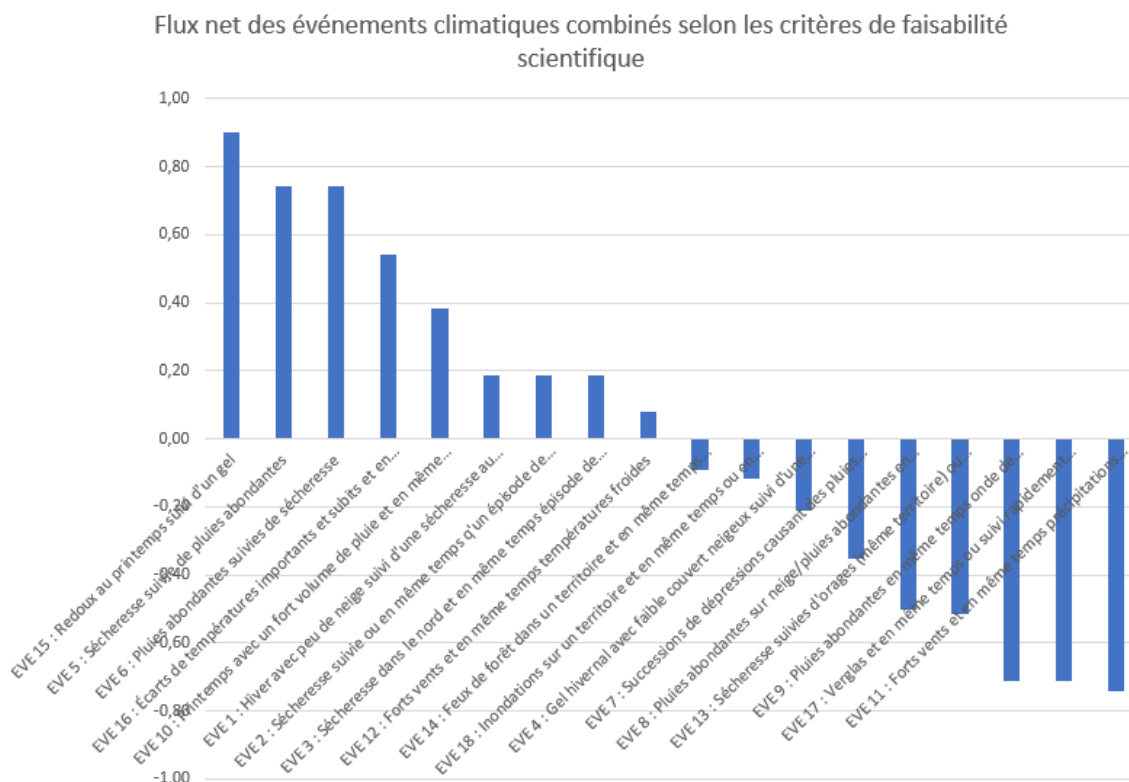


Figure 5. Rangement selon la faisabilité scientifique

C- Rangement selon tous les critères

Le tableau 31 indique le rangement obtenu des événements combinés extrêmes selon tous les critères de l'arbre hiérarchique (dimensions « risque perçu » et « Faisabilité scientifique »). L'événement en tête de la priorisation est EVE 5 à savoir sécheresse suivie de pluies abondantes. Par la suite, l'événement correspondant à des feux de forêt dans un territoire et en même temps canicule dans un autre territoire (EVE 14) vient en deuxième position. L'événement EVE 4 correspondant à un gel hivernal avec faible couvert neigeux suivi d'une sécheresse au printemps paraît en dernière position et serait donc comme l'événement le moins prioritaire de tous compte tenu des tous les critères du risque perçu et de la faisabilité scientifique.

Tableau 31. Rangement selon le risque perçu et la faisabilité scientifique de l'événement

Alternatives	Flux positif	Flux négatif	Flux net
EVE 5 : Sécheresse suivie de pluies abondantes	0,69	0,20	0,49
EVE 14 : Feux de forêt dans un territoire et en même temps canicule dans un autre territoire	0,56	0,30	0,26
EVE 15 : Redoux au printemps suivi d'un gel	0,53	0,29	0,24
EVE 8 : Pluies abondantes sur neige/pluies abondantes en même temps que crues printanières	0,54	0,37	0,17
EVE 12 : Forts vents et en même temps températures froides	0,48	0,33	0,14
EVE 6 : Pluies abondantes suivies de sécheresse	0,42	0,35	0,07

EVE 13 : Sécheresse suivies d'orages (même territoire) ou territoires différents (blocage atmosphérique)	0,48	0,44	0,04
EVE 1 : Hiver avec peu de neige suivie d'une sécheresse au printemps et en été	0,41	0,40	0,01
EVE 2 : Sécheresse suivie ou en même temps qu'un épisode de canicule	0,41	0,40	0,01
EVE 9 : Pluies abondantes en même temps onde de tempête/onde de tempête avec absence de glace avec ou sans forte pluie	0,42	0,42	0,00
EVE 3 : Sécheresse dans le nord et en même temps épisode de canicule dans le sud	0,38	0,42	-0,04
EVE 16 : Écarts de températures importants et subits et en même temps ou alternativement des pluies abondantes	0,34	0,39	-0,05
EVE 10 : Printemps avec un fort volume de pluie et en même temps persistance de températures anormalement fraîches	0,36	0,41	-0,05
EVE 18 : Inondations sur un territoire et en même temps ou en chevauchement des feux de forêt et un épisode de canicule ailleurs	0,38	0,49	-0,11
EVE 7 : Successions de dépressions causant des pluies abondantes menant à des inondations	0,39	0,51	-0,12
EVE 11 : Forts vents et en même temps précipitations importantes souvent adhérentes	0,34	0,59	-0,26
EVE 17 : Verglas et en même temps ou suivi rapidement d'inondations	0,27	0,58	-0,31
EVE 4 : Gel hivernal avec faible couvert neigeux suivi d'une sécheresse au printemps	0,14	0,64	-0,50

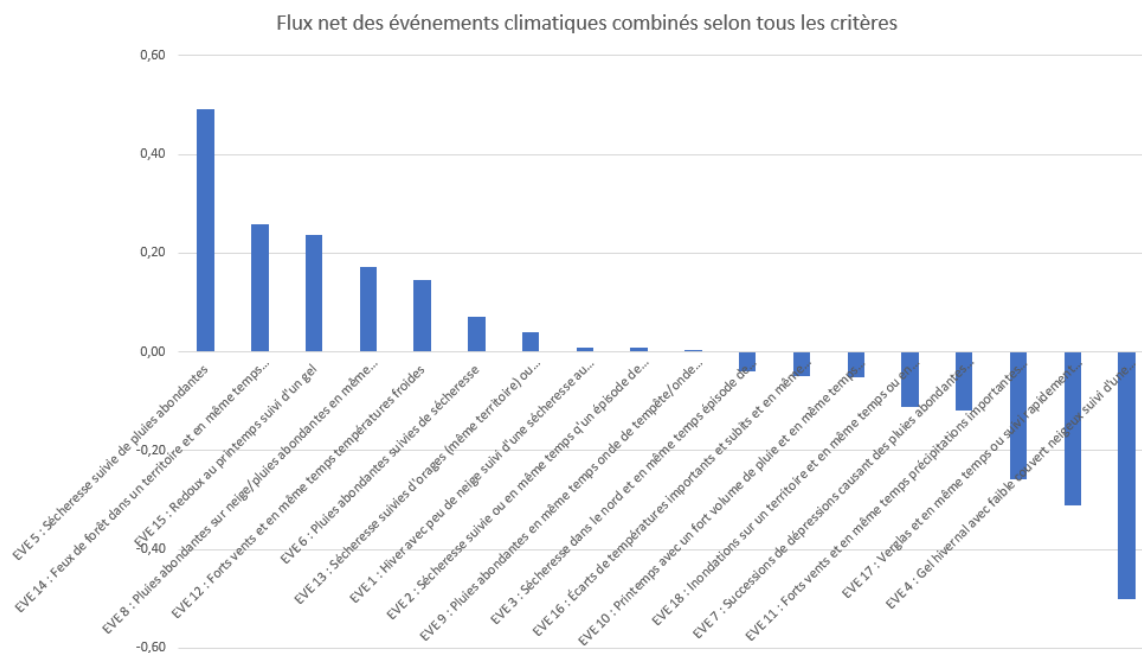


Figure 6 : Rangement selon le risque perçu de l'événement et la faisabilité scientifique

Il est à noter que le rangement fourni dans le tableau 31 suppose la compensation entre les critères. En effet, l'événement peut être jugé très peu prioritaire tel que EVE 9 en 10^{ème} position alors qu'il s'agit d'un événement avec un niveau de risque élevé et extrêmement préoccupant pour les partenaires d'Ouranos (en deuxième position si on considère seulement la dimension du risque perçu). Ceci est dû à la compensation entre les critères du risque perçu et ceux de la faisabilité scientifique. Dans le cas de l'EVE 9, la faisabilité scientifique n'est pas démontrée à date avec les recherches existantes (en 16^{ème} position selon la faisabilité scientifique). Pourtant, il s'agit d'un événement parmi les plus risqué. Il faudra donc être prudent dans l'interprétation des résultats du tableau 31 et de la figure 6.

Nous avons résumé dans le tableau 32 les rangements des 18 événements selon les critères du risque perçu, ceux de la faisabilité scientifique et selon l'ensemble de tous les critères. Ce tableau souligne certains événements dont le rangement final doit être pris avec précaution. Par exemple, nous retrouvons en jaune les deux événements EVE 6 et EVE 15 qui sont respectivement en 6^{ème} et 3^{ème} position selon l'ensemble de tous les critères alors qu'il s'agit d'événements jugés très peu risqués (16^{ème} et 14^{ème} position selon le risque perçu). La faisabilité scientifique bien cotée pour ces deux événements a influencé le résultat. Il faudra donc interpréter leur rangement global avec réserve.

Notons également que les deux événements EVE 9 et EVE 11 paraissent respectivement en 10^{ème} et 16^{ème} position et donc ne paraissent pas prioritaires) à cause de la faible cote donnée à la faisabilité scientifique pour ces deux événements. La compensation entre le risque perçu et la faisabilité scientifique a fait que leur degré de priorité n'est pas élevé, et il faudra donc interpréter ce résultat avec prudence.

Tableau 32. Classement de chaque événement pour les 3 rangements

EVE	Risque perçu	Faisabilité scientifique	Tous les critères
1	11	6	8
2	12	7	9
3	13	8	11
4	18	12	18
5	5	2	1
6	16	3	6
7	8	13	15
8	1	14	4
9	2	16	10
10	15	5	13
11	6	18	16
12	7	9	5
13	4	15	7
14	3	10	2
15	14	1	3
16	17	4	12
17	9	17	17
18	10	11	14

Les 5 événements prioritaires pour chaque rangement

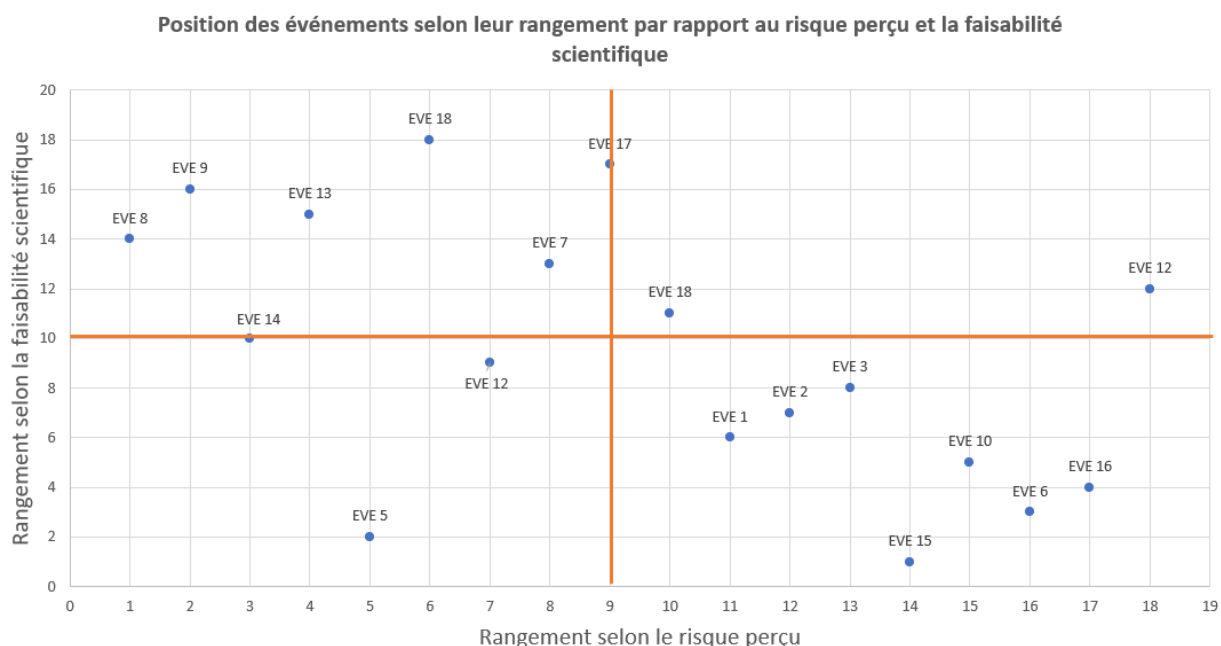
D'un côté, les résultats démontrent que les événements 8, 9, 14, 13 et 5 sont les 5 événements les plus risqués. Il s'agit d'événements qui engendrent des inondations (8, 9) ou qui engendrent des inondations et des déficits en eau (5) ou reliés aux feux de forêts (13,14).

D'un autre côté, les résultats démontrent que les événements 15, 5, 6, 16 et 10 sont les 5 événements les mieux classés selon la faisabilité scientifique. Autrement dit, il s'agit d'événements pour lesquels les données, les méthodes et les capacités de développement seraient plutôt disponibles et pourraient donc être traités sans difficulté particulière sur le plan scientifique. Il s'agit d'événements qui engendrent des inondations (10) ou qui engendrent des inondations et des déficits en eau (5,6) ou impliquant des variations brusques de températures et de conditions météo (15, 16). Cependant, il est à noter qu'à part l'événement 5, les quatre autres événements (6, 10, 15 et 16) n'ont pas été jugés par les répondants aux entrevues comme ayant un niveau de risque élevé.

Lorsqu'on agrège tous les critères (risque perçu et faisabilité scientifiques), les 5 événements les plus prioritaires sont les événements 5, 14, 15, 8 et 12. Il s'agit d'événements qui engendrent des inondations (8) ou qui engendrent des inondations et des déficits en eau (5) ou reliés aux feux de forêts (14) ou impliquant des variations brusques de températures et de conditions météo (15) ou relié aux vents (12). Bien entendu, les trois rangements fournis doivent être interprétés ensemble et ne pas se fier seulement au rangement selon tous les critères afin de limiter l'effet de la compensation entre les critères sur la décision finale.

Par ailleurs, la figure 7 présente la position des événements selon leur rangements par rapport au risque perçu et la faisabilité scientifique. Elle permet d'identifier et de visualiser les événements qui sont bien classés selon les deux dimensions et ceux qui ont un classement faible selon les deux dimensions. Ainsi, cette façon de les présenter permet de choisir les événements à retenir sans compensation entre les critères. Ainsi les événements 5, 12 et 14 respectivement classés en première, deuxième et cinquième position seraient à retenir puisqu'ils sont dans le cadran des mieux classés selon chaque dimension, et présentent donc un meilleur équilibre entre les deux dimensions. Par contre, le classement global des événements 15 et 8 respectivement en 3^{ème} et 4^{ème}

position devrait être interprété avec prudence étant donné que l'événement 15 est premier selon la faisabilité scientifique mais avec un niveau de risque perçu faible et l'événement 8 est premier selon le risque perçu mais avec un degré de faisabilité scientifique faible.



4.3. LIMITES

La présente étude présente certaines limites qu'il est important de mentionner pour une meilleure interprétation des résultats. Tout d'abord, le rangement obtenu pour les événements combinés extrêmes dépend des personnes interrogées étant donné que l'évaluation de tous les critères du volet « Risque perçu » vient du jugement apporté par les répondants sur le degré de vulnérabilité, les conséquences perçues et la résilience. De surcroît, ces jugements sont teintés de subjectivité et les évaluations des critères auraient pu être différentes si des répondants différents ou d'organisations différentes avaient participé à l'étude.

Par ailleurs, la pondération des critères avait été réalisée par seulement 3 experts qui ont des profils relativement semblables et travaillant pour la même organisation. Si une étude plus poussée était planifiée, on penserait à faire la pondération avec une équipe thématique plus multidisciplinaire et avec un nombre plus élevé d'intervenants.

Finalement, mentionnons que l'interprétation des résultats devraient prendre en considération un biais lié au fait que les événements qui apparaissent comme les plus risqués correspondent à ceux observés au Québec lors des dernières années. Ainsi par exemple, les deux premiers événements 8 et 9 sont liés aux inondations 2017-2019 (pluie sur neige au printemps) et l'événement 14 en troisième position est relié aux feux de forêts observés en 2023 combinés à une canicule et tempête en milieu maritime. Les conséquences de ces 3 événements sont très bien connues considérant qu'elles ont été vécues dans les dernières années. Par conséquent, comme l'évaluation du risque perçu a été comptabilisé par le nombre de mentions de conséquences faites, il y a un certain biais (effet de récence) lié au fait que les conséquences pour ces événements soient bien connues.

Finalement, il est à noter que l'événement 8 regroupait deux événements puisque les répondants avaient présenté ces deux événements comme étant une même réalité (même si la temporalité et la spatialité des deux événements combinés ne sont pas les mêmes). Il en est de même pour l'événement 9 qui regroupait lui aussi deux événements. Le classement des événements 8 et 9 devrait donc être interprété avec prudence étant donné que si on avait séparé les deux événements qui les composent, les résultats auraient été éventuellement différents.

5. Conclusion

Plusieurs défis se posent lorsque vient le temps de mieux comprendre les événements climatiques combinés. En effet, leur complexité tient en partie au fait que les aléas peuvent se combiner de multiples façons et à différentes échelles spatio-temporelles, ce qui explique que la recherche à ce niveau est encore relativement limitée. De plus, la conceptualisation des événements climatiques combinés n'est pas si facile à faire en particulier pour les acteurs qui ne sont pas des spécialistes du climat. Il devient important de mieux documenter ces événements pour permettre une meilleure coordination des efforts d'adaptation de la société aux changements climatiques. Les résultats de cette recherche participative ont permis de cibler les besoins des partenaires d'Ouranos relativement à une meilleure compréhension des événements combinés et permettront d'y répondre en identifiant les connaissances pertinentes déjà existantes et en hiérarchisant les travaux à réaliser pour faire avancer la science sur ce sujet.

Ce rapport met évidence les événements climatiques combinés qui préoccupent les partenaires d'Ouranos, et a permis de documenter la nature et la gravité des impacts qu'ils peuvent engendrer, la capacité à y faire face ainsi que la vulnérabilité perçue des différents secteurs d'activités. Les entrevues réalisées lors de la phase 1 montrent que bien que les deux tiers des participants n'utilisent pas le concept d'événement climatique combiné dans le cadre de leur fonction, ils remarquent néanmoins que des déplacements temporels, des chevauchements ou des superpositions d'aléas sont de plus en plus fréquents. L'ampleur et l'imprévisibilité de ces aléas combinés sont des caractéristiques souvent nommées qui confirment les besoins de l'acquisition de connaissances à leur sujet afin de mieux les comprendre et de mieux les anticiper.

Les événements combinés qui ont été nommés et analysés s'articulent autour des enjeux reliés à l'eau (déficit, surplus), au vent, aux feux de forêt, aux variations brusques de températures et de conditions météorologiques, et à la multiplication de situations problématiques. Certains événements combinés traités montrent que le degré de gravité de leurs conséquences peut être élevé et que la vulnérabilité des territoires et des populations est souvent jugée importante. Nous aimerions souligner que certains événements traités soulèvent des inquiétudes non négligeables pour l'avenir.

La phase 2 du projet a permis de prioriser les événements combinés sur lesquels mettre en priorité des efforts de recherche et de valorisation des connaissances. La priorisation des événements climatiques combinés a été faite dans l'optique de contribuer à l'adaptation aux changements climatiques par le développement de la recherche sur les événements climatiques combinés. Une structure hiérarchique initiale comportant deux dimensions fondamentales, sous dimensions et critères de décision a été produite avec une équipe d'Ouranos composée de membre des sciences du climat et des sciences de l'adaptation. Les critères ont été pondérés par la méthode AHP et trois rangements ont été produits par la méthode PROMETHEE II. Le premier rangement priorise les événements seulement selon les critères liés au risque perçu par les répondants. Pour ce faire, les évaluations fournies par les répondants lors des entrevues pour la gravité des conséquences, la vulnérabilité, et la résilience ont été utilisées. Faute d'informations objectives sur ces critères, les réponses des répondants ont été utilisées en étant bien conscients que les réponses sont teintées d'une certaine subjectivité. Le deuxième rangement priorise les événements seulement selon les critères liés à la faisabilité scientifique. Ces évaluations ont été fournies par les membres de l'équipe en sciences du climat. Finalement, le troisième rangement agrège tous les critères des deux dimensions (risque perçu et faisabilité scientifique) et suppose ainsi une certaine compensation entre les critères des deux dimensions. Les trois rangements fournis doivent être interprétés ensemble et ne pas se fier seulement au rangement selon tous les critères afin de limiter l'effet de la compensation entre les critères sur la décision finale.

Ces résultats permettront à Ouranos de poursuivre des travaux de valorisation et d'initier le développement de connaissances nouvelles relativement aux événements climatiques combinés qui préoccupent ses partenaires. Ce rapport est une première étape qui facilitera la hiérarchisation des travaux à réaliser afin de répondre efficacement aux besoins des partenaires d'Ouranos.

Références

- BEVACQUA E., DE MICHELE C., MANNING C., COUASNON A., RIBEIRO A.F.S., RAMOS A.M. et coll. (2021). Guidelines for studying diverse types of compound weather and climate events. *Earth's Future*, 9, e2021EF002340. doi: 10.1029/2021EF002340
- BHERER L. (2011). Les relations ambiguës entre participation et politiques publiques. *Participations*, 1(1), 105-133.
- BRANS J.P. (1982). L'ingénierie de la décision; Élaboration d'instruments d'aide à la décision, La méthode PROMETHEE. In: NADEAU R., LANDRY M. (Éds.), *L'aide à la décision: Nature, Instruments et Perspectives d'Avenir*. Presses de l'Université Laval, Québec, 183-213.
- CAHEN B., COLOMBO F. (1999). Les décisions de transports en Ile de France. *Sciences de l'Homme et Société*. fhal-01909747f
- DAMART S., DAVID A., ROY B. (2001). Comment organiser et structurer le processus de décision pour favoriser la concertation entre parties prenantes et accroître la légitimité de la décision ? *Rapport technique*, Lamsade, 62 p.
- FERREIRA A.D.J., COELHO C.O.A., RITSEMA C.J., BOULET A.K., KEISER J.J. (2008). Soil and water degradation processes in burned areas: lessons learned from a nested approach. *Catena*, 74(3), 273-285. doi: 10.1016/j.catena.2008.05.007
- GIEC (2012). *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation*. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, 582 p.
- GIEC (2023). *Changements climatiques 2023 : Rapport de synthèse*. Contribution des groupes de travail I, II et III au sixième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat [Équipe de rédaction principale, H. Lee et J. Romero (dir.)]. GIEC, Genève, Suisse, 35-115. doi: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647
- HWANG C.L., YOON K. (1981). *Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications*. Springer-Verlag, New York.
- LÉONARD M., WESTRA S., PHATAK A., LAMBERT M., VAN DER HURK B., MCINNES K., RISBEY J., SCHUSTER S., JAKOB D., STAFFORD-SMITH M. (2013). A compound event framework for understanding extreme impacts. *Wires*. doi: 10.1002/wcc.252
- PESCAROLI G., ALEXANDRE D. (2018). Understanding Compound, Interconnected, Interacting and Cascading Risks: A Holistic Framework. *Risk Analysis*, 38(11), 2245-2257. doi: 10.1111/risa.13128
- ROUSSEAU A., MARTEL J.-M. (1996). La décision participative: une démarche pour gérer efficacement les conflits environnementaux. *Document de Travail 96-24*, CREDO, Faculté des sciences de l'Administration, Université Laval, 35 p.
- TILLE M. (2001). Choix de variantes d'infrastructures routières : méthodes multicritères. *Thèse no 2294*, École polytechnique fédérale de Lausanne, 412 p.
- URLI B. (2013). Méthode omnicritère : méthode d'aide à la concertation, à la décision et à la gestion de projet. *Rapport préparé pour le compte du ministère des Transports du Québec*, 186 p.
- ZSCHEISCHLER J., MARTIUS O., WESTRA S. et coll. (2020). A typology of compound weather and climate events. *Nature Reviews Earth & Environment*, 1, 333–347. doi: 10.1038/s43017-020-0060-z

Liste des figures

Figure 1. Structure hiérarchique AHP	16
Figure 2. Arbre de décomposition hiérarchique	75
Figure 3. Pondérations de tous les éléments de l'arbre de décision.....	78
Figure 4. Rangement selon le risque perçu de l'événement.....	83
Figure 5. Rangement selon la faisabilité scientifique	85
Figure 6 : Rangement selon le risque perçu de l'événement et la faisabilité scientifique	87

Liste des tableaux

Tableau 1. Échelle sémantique de Saaty (1980).	17
Tableau 2. Les événements climatiques combinés recensés lors des entrevues	20
Tableau 3. Hiver avec peu de neige et d'une sécheresse en été	24
Tableau 4. Sécheresse suivie ou et en même temps qu'un épisode de canicule.....	26
Tableau 5. Sécheresse dans le nord et en même temps épisode de canicule dans le sud	27
Tableau 6. Gel hivernal avec faible couvert neigeux suivi d'une sécheresse au printemps	29
Tableau 7. Sécheresse suivie de pluies abondantes.....	31
Tableau 8. Pluies abondantes suivies de sécheresse	34
Tableau 9. Succession de dépressions causant des pluies abondantes menant à des inondations.....	36
Tableau 10. Pluies abondantes sur neige / pluies abondantes en même temps que crues printanières	40
Tableau 11. Pluies abondantes en même temps onde de tempête/ Onde de tempête avec absence de glace avec ou sans forte pluie	46
Tableau 12. Printemps avec un fort volume de pluies et en même temps persistance de températures anormalement fraîches.....	49
Tableau 13. Forts vents et en même temps précipitations importantes souvent adhérentes	51
Tableau 14. Forts vents et en même temps températures froides.....	54
Tableau 15. Sécheresse suivie d'orages (même territoire) ou territoires différents (blocage atmosphérique) ...	57
Tableau 16. Feux de forêt dans un territoire et en même temps canicule dans autre territoire.....	59
Tableau 17. Redoux au printemps suivi d'un gel	61
Tableau 18. Écarts de températures importants et subits, en même temps ou alternativement avec des pluies abondantes	63
Tableau 19. Verglas en même temps ou suivi rapidement d'inondations.....	65
Tableau 20. Inondations sur un territoire et en même temps ou en chevauchement des feux de forêt et un épisode de canicule ailleurs.....	66
Tableau 21. Nature des informations souhaitées.....	69
Tableau 22. Formats des informations souhaités	71
Tableau 23. Résultats des comparaisons par paires	75
Tableau 24. Pondérations du risque perçu et de la faisabilité scientifique	76
Tableau 25. Pondération des sous-dimensions du risque	77
Tableau 26. Pondération des sous-dimensions des conséquences	77
Tableau 27. Pondération des sous-dimensions de la faisabilité scientifique	77
Tableau 28. Pondération des sous-dimensions de la disponibilité des données.....	77
Tableau 29. Rangement selon le risque perçu de l'événement	82
Tableau 30. Rangement selon la faisabilité scientifique	84
Tableau 31. Rangement selon le risque perçu et la faisabilité scientifique de l'événement	85
Tableau 32. Classement de chaque événement pour les 3 rangements	88

Annexes

ANNEXE A – GRILLE D'ENTRETIEN

Volet 1 : Informations aux participants (projet, équipe, précisions sur les entretiens)

Une prise de conscience de la fréquence accrue et des impacts de certains événements ou aléas combinés s'effectue graduellement au Québec. L'identification et la compréhension des événements combinés sont de plus en plus d'intérêt pour plusieurs organisations. Elles favorisent une meilleure réponse aux enjeux de l'adaptation en permettant d'approfondir les connaissances sur ces événements et de mieux agir en prévention. Dans ce contexte, Ouranos a mandaté une équipe de l'Université du Québec à Rimouski pour réaliser un projet de recherche intitulé *Identification des événements climatiques combinés prioritaires pour le Québec : une étude exploratoire*. L'entrevue que nous avons avec vous aujourd'hui vise à identifier les événements combinés qui vous préoccupent et de mieux comprendre leurs impacts.

L'équipe de recherche qui est composée de la professeure et responsable de projet Anissa Frini du département de gestion de l'Université du Québec à Rimouski, de Christopher McCray spécialiste en simulations et analyses climatiques chez Ouranos et de Valérie Jean, professionnelle de recherche à l'Université du Québec à Rimouski.

Nous vous remercions de nous accorder du temps et d'avoir manifesté un intérêt à participer à cette recherche. Cette étape est essentielle au projet qui vise à identifier et prioriser les événements climatiques combinés. Nous allons suivre la grille que vous avez déjà reçue, et se déroulera sous la forme d'une discussion.

Volet 2 : Informations générales

Le répondant

1. Pouvez-vous vous présenter, nous parler de votre expérience et votre rôle au sein de l'organisation?

L'organisation et le territoire

2. Pouvez-vous nous présenter votre organisation/direction ainsi que sa mission ?

Volet 3 : Événements climatiques combinés

Notre projet vise à identifier les événements climatiques combinés à étudier pour le Québec. On entend par événements combinés la combinaison d'au moins deux événements climatiques ou météorologiques qui se produisent en même temps ou en succession sur un même territoire ou dans différentes régions, et qui entraîne un risque sociétal et/ou environnemental.

Par exemple :

- Du verglas combiné à des vents forts, qui augmentent considérablement les risques de dommages aux infrastructures électriques et aux arbres, ou une pluie diluvienne combinée à des ondes de tempête **(en même temps)**;
- Une inondation suivie d'une vague de chaleur ou encore des feux de forêts suivis de pluies abondantes **(une succession d'événements dans le temps)**;
- Une sécheresse sur la Côte-Nord mène à une baisse des niveaux d'eau dans les barrages hydroélectriques et diminue la production d'électricité. En même temps, une vague de chaleur dans le sud du Québec cause une augmentation de la consommation électrique **(des événements sur des territoires différents, mais dont les conséquences sont liées)**;
- Un "faux printemps": c'est-à-dire une période de redoux à la fin de l'hiver qui encourage une croissance précoce de la végétation **(condition préalable qui augmente la vulnérabilité)** suivie d'un gel. Les impacts du gel (p. ex.: pertes agricoles) sont alors beaucoup plus importants que s'il n'y avait pas eu la période de redoux au préalable;

Les événements faisant partie de l'événement combiné ne sont pas nécessairement extrêmes, **mais le résultat de la combinaison peut avoir des impacts beaucoup plus importants que la somme de leurs impacts individuels.**

Les questions qui suivent font référence à cette définition d'événement climatique combiné :

3. Pour votre organisation ou votre secteur, est-ce que la notion d'évènement climatique combiné est évoquée, et dans quelle mesure elle vous préoccupe ?
4. Quels sont les événements climatiques combinés qui sont d'intérêt pour vous et qui sont survenus dans le passé ou sont susceptibles de survenir dans le futur.

Pour chacun d'eux :

- 4.1 Est-ce que cet événement est survenu ou pas dans le passé ?
- 4.2 Est-ce que les événements climatiques se déroulent en même temps ou successivement? D'après vous, quel est le laps de temps entre le premier événement et le second qui accentuerait les conséquences potentielles ?
- 4.3 Est-ce que les événements climatiques se déroulent sur un même territoire ou dans différents territoires ? Qu'est-ce qui serait plus problématique pour vous ?
- 4.4 Y aurait-il des conséquences potentielles sur les personnes, les bâtiments, les infrastructures, les réseaux, le territoire aménagé, les activités économiques ? Si oui, lesquels ?

Pour chaque conséquence,

- 4.5 Décrivez les dommages qui peuvent survenir si l'évènement combiné se produisait.
- 4.6 Décrivez l'impact de cet événement sur vos activités.
- 4.7 Évaluer le degré de gravité selon l'échelle suivante :
 1. Conséquence mineure qui n'affecte pas le déroulement de vos activités.
 2. Conséquence provoquant peu de dommages, mais qui modifie le déroulement de vos activités.
 3. Conséquences provoquant des dommages importants qui peuvent être résolus par les ressources existantes.
 4. Conséquences provoquant des dommages importants qui nécessitent des moyens complémentaires non prévus.
 5. Conséquences non réversibles modifiant en profondeur le fonctionnement à long terme de votre organisation ou secteur.
- 4.8 Pour cet événement combiné, avez-vous présentement des mesures d'atténuation déjà prévues qui pourrait diminuer ce type d'impacts ? Si oui, lesquelles ? seraient-elle selon vous suffisantes ?
- 4.9 Évaluez sur l'échelle suivante de 1 à 5, votre capacité à faire face à cet évènement climatique combiné.

Dans cette échelle, le terme « capacité » réfère à votre aptitude à affronter rapidement le choc d'un événement climatique combiné, à établir les priorités d'action et à mobiliser les ressources nécessaires pour se remettre de la perturbation.

- Une faible capacité implique la difficulté à réagir rapidement et la persistance des conséquences à moyen et long terme.
- Une capacité modérée implique une réaction plus ou moins rapide à court terme avec des conséquences modérées à moyen et long terme.

- Une capacité forte implique une réaction rapide à court terme avec peu de conséquences à moyen et long terme.
- Une excellente capacité implique une réaction très rapide à court terme sans conséquences à moyen/long terme.

Échelle de 1 à 5

1. Aucune capacité à se remettre de l'événement
2. Faible capacité à se remettre de l'événement
3. Capacité modérée à se remettre de l'événement
4. Forte capacité à se remettre de l'événement
5. Excellente capacité à se remettre de l'événement

4.10 Face à ce type d'événement climatique combiné, considérez-vous votre secteur vulnérable ? et qu'en est-il de votre organisation ?

4.11 Considérez-vous cette vulnérabilité importante, moyenne ou faible ?

5. Quel autre événement climatique combiné vous préoccupe ? (Retour à la question 4.1)

Volet 5 : Autres événements

6. Est-ce que d'autres événements climatiques combinés qui ne cadrent pas avec la définition que nous avons fournie en début d'entretien vous préoccupent ?
7. Pourquoi ces événements sont d'intérêt pour vous ?

Volet 6 : Types et format de l'information

8. Quelle est la nature de l'information qui vous intéressent particulièrement en lien avec les événements combinés ?
(Intensité de l'événement combiné ou des aléas le composant, la récurrence, la durée, etc.) ?
9. Sous quel format aimeriez-vous avoir les informations/connaissances relatives aux événements climatiques combinés ?
(Statistiques, jeu de données, information vulgarisée, etc.)

Volet 7 : Conclusion et remerciements

10. Si Ouranos et/ou l'équipe de recherche souhaitait revenir vers vous pour collecter des informations supplémentaires ou pour participer à des étapes ultérieures du projet, acceptez-vous de rester une personne ressource à contacter ?



Ouranos

Consortium sur les changements climatiques

550, rue Sherbrooke O, Tour Ouest, 19^e étage
Montréal (Québec) H3A 1B9

ouranos.ca

