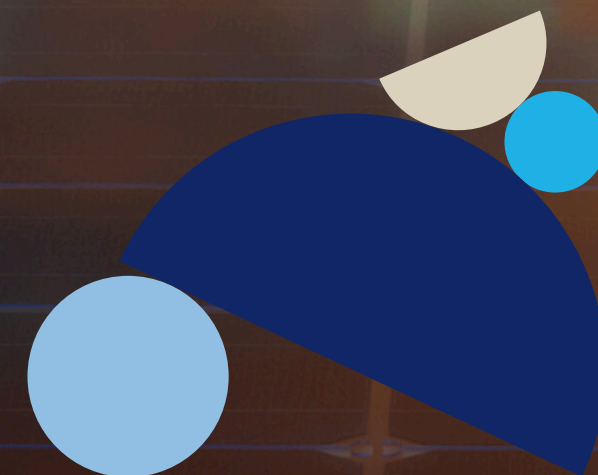


Aller de l'avant: Intégrer la résilience climatique dans l'avenir énergétique du Canada

Zurich Resilience Solutions & Zurich Canada en
collaboration avec Sussex Strategy Group



Résumé exécutif	3
Le secteur énergétique canadien en évolution	9
Les risques climatiques et le secteur énergétique canadien	13
L'hydroélectricité : une colonne vertébrale dominante mais vulnérable	21
Les énergies renouvelables et le stockage: en croissance mais exposés	26
Ce qui est en jeu : des mesures supplémentaires pour atténuer les risques	30
Méthodologie	33
Remerciements et avertissement	37





Résumé exécutif



Protéger l'avenir énergétique du Canada: Préserver les infrastructures électriques face aux risques climatiques croissants

L'électricité est au cœur de la société canadienne moderne. Elle éclaire nos foyers, dynamise nos industries et soutient les activités essentielles à la prospérité future du Canada. Des côtes glacées de Terre-Neuve-et-Labrador aux forêts tempérées de la Colombie-Britannique, l'électricité est le courant invisible qui relie le quotidien à travers l'immense et diversifié paysage canadien.

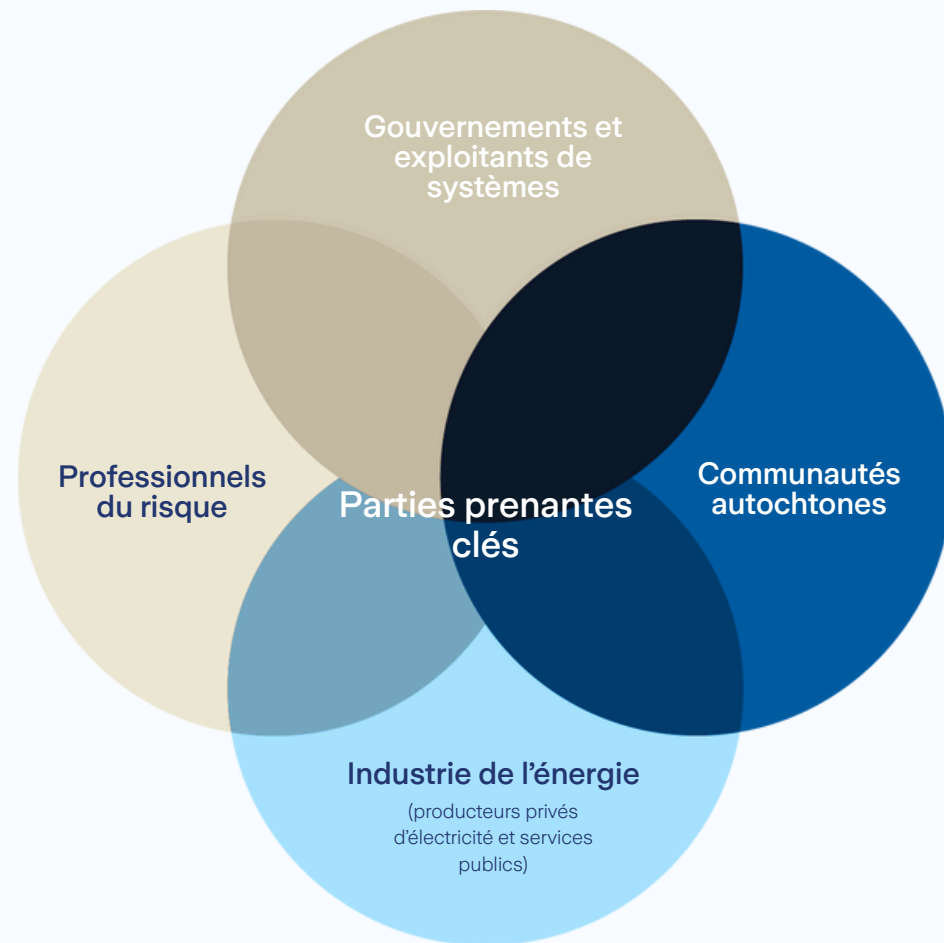
Investir dans les infrastructures d'énergie propre va au-delà de répondre à l'urgence climatique : c'est une nécessité stratégique pour la prospérité économique, la sécurité nationale et la résilience des communautés. L'électricité propre soutient déjà la qualité de vie des Canadiens – du chauffage des maisons pendant les hivers les plus rigoureux à l'alimentation des hôpitaux, des écoles, des transports et de l'industrie – et son importance ne cesse de croître.

Dans ce contexte, les risques climatiques physiques s'intensifient. Les feux de forêt, tempêtes de verglas, inondations, vagues de chaleur et sécheresses sont de plus en plus fréquents et intenses.

Ces dangers représentent des risques majeurs pour toutes les formes de production, de transport, de distribution et de stockage de l'électricité. Par exemple, les installations hydroélectriques sont confrontées à des inondations et à des périodes de sécheresse, tandis que les lignes de transport longue distance sont vulnérables aux feux de forêt, aux vagues de chaleur et au froid extrême. Les actifs liés à la production et au stockage d'énergies renouvelables, de plus en plus présents dans le mix énergétique du Canada, sont particulièrement exposés aux risques climatiques.

Une électricité propre, fiable, sûre et abordable est essentielle pour maintenir le niveau de vie des Canadiens et assurer une croissance économique durable. Cependant, sans une meilleure résilience, la concrétisation des risques climatiques entraînera des interruptions d'approvisionnement, une hausse des coûts et des défis pour les investissements nécessaires à la transition énergétique. Malheureusement, des événements climatiques majeurs affectant la fiabilité des réseaux électriques au Canada deviennent, au minimum, un phénomène annuel.





Parties prenantes interconnectées, œuvrant ensemble pour façonner l'avenir énergétique du Canada

La réussite du développement d'infrastructures énergétiques résilientes au Canada nécessitera une collaboration étroite entre les gouvernements, l'industrie, les communautés autochtones et les professionnels du risque. Les décisions prises aujourd'hui détermineront si le système électrique canadien est prêt à faire face à un climat plus instable.

Si les provinces définissent la politique énergétique sur leur territoire, le gouvernement fédéral joue un rôle de plus en plus actif et essentiel, notamment par le biais de financements, de la législation et des engagements climatiques nationaux. Alors que le Canada accélère sa transition vers la carboneutralité, la résilience du réseau électrique n'est plus une préoccupation régionale – c'est une priorité nationale.

Au cours de la dernière décennie, le Canada a accompli des progrès significatifs dans le développement des infrastructures d'énergie renouvelable. La production d'électricité renouvelable a augmenté de plus de 20 000 mégawatts (MW), soit 23,1%, entre 2014 et 2024, et représente aujourd'hui plus de 65% de l'électricité produite au pays. De plus, selon Ressources naturelles Canada, il faudra ajouter entre 140 et 190 gigawatts (GW) de capacité de production d'électricité propre d'ici 2050 pour atteindre l'objectif de carboneutralité du pays. Cette croissance sera portée par l'expansion de l'énergie éolienne, solaire, nucléaire et hydroélectrique. Avec la baisse progressive des coûts d'intégration des nouvelles sources renouvelables qui complètent les installations existantes, leur place dans le mix énergétique canadien ne cesse de croître.

Cependant, cette croissance doit s'accompagner d'efforts pour protéger les systèmes énergétiques contre les risques climatiques croissants. Les événements météorologiques extrêmes sont plus fréquents et plus intenses, mettant en péril tous les aspects des infrastructures électriques. CatIQ, fournisseur d'indices de pertes et d'expositions assurées au Canada, indique que le pays a subi des pertes assurées sans précédent de 8,5 milliards de dollars en 2024, soit l'année la plus coûteuse de son histoire pour les événements météorologiques graves.

Pour les décideurs, cela signifie intégrer la résilience dans la planification énergétique, la réglementation et les mécanismes de financement. Pour les entreprises du secteur de l'énergie, cela implique d'investir dans l'évaluation des risques climatiques, les stratégies d'adaptation et les technologies qui renforcent la flexibilité et la fiabilité des systèmes. Il est essentiel de protéger l'énergie propre à mesure qu'elle prend de l'importance, car une infrastructure résiliente est indispensable pour assurer l'assurabilité, attirer les investissements et atteindre les objectifs énergétiques et économiques du Canada.

En travaillant ensemble, au-delà des frontières et des secteurs, le Canada peut bâtir un système énergétique qui soit non seulement propre et abordable, mais aussi résilient, sûr et prêt pour l'avenir. Ce rapport vise à démontrer la valeur de combler ce manque d'évaluation et de garantir une transition énergétique résiliente.



Comprendre le risque est la première étape vers la résilience, et cette résilience sera essentielle pour l'assurabilité.

Grâce à des modèles exclusifs et à l'expertise en ingénierie des risques, Zurich Resilience Solutions, une division de Zurich Canadian Holdings Limited (ZRS) et Zurich Compagnie d'Assurances SA (succursale canadienne) (Zurich Canada), avec le soutien consultatif de Sussex Strategy Group Inc. (Sussex Strategy), ont utilisé des données publiques sur les actifs ainsi que des données climatiques exclusives de ZRS pour cartographier et évaluer l'exposition aux risques climatiques des actifs de production et de stockage d'énergie au Canada, à l'horizon 2030 et 2050, selon un scénario de réchauffement de 2°C.

Étant donné le rôle essentiel des énergies renouvelables dans le futur mix énergétique du pays, notre analyse s'est concentrée sur les actifs solaires, éoliens terrestres et hydroélectriques, ainsi que sur le stockage par batteries et le stockage hydraulique par pompage. Notre rapport offre des perspectives sur la façon dont les risques climatiques physiques affecteront le système énergétique canadien à court terme (jusqu'en 2030) et à plus long terme (2050).

Notre analyse montre que, partout au Canada, les risques climatiques physiques menacent déjà l'ensemble des actifs énergétiques. Toutefois, il apparaît clairement que les actifs de production et de stockage d'énergie renouvelable présentent des vulnérabilités particulières face à ces risques.

Remarque sur le transport d'électricité : Un rapport sur les risques climatiques liés aux actifs de production d'électricité au Canada serait incomplet sans mentionner le vaste et complexe réseau de transport du pays. Bien que notre étude se soit concentrée sur la production et le stockage renouvelables, nous recommandons également de combler les lacunes de résilience du réseau de transport.

La transition vers une énergie propre est cruciale pour atténuer les risques climatiques croissants et l'insécurité énergétique à l'échelle mondiale. C'est l'objectif qui sous-tend les plans de transition de la plupart des pays et suppose une réussite de la transition vers l'énergie propre d'ici 2050. Sans cette transition, les risques climatiques physiques seraient beaucoup plus importants sur l'horizon considéré, avec des conséquences pour tous les types d'infrastructures énergétiques et des impacts économiques significatifs.





Aperçu de nos conclusions

D'ici 2030, 40% de la capacité totale de production d'énergie renouvelable au Canada relèvera de notre catégorie de risque critique (définie plus loin dans ce rapport comme actifs ayant ~25% de probabilité de subir un événement climatique majeur et pertinent d'ici 2030, et présentant généralement 3 à 4 principaux aléas climatiques). Sans mesures de résilience adaptées, les infrastructures de production et de stockage d'énergie du pays seront exposées à des risques physiques et financiers.

Ce rapport souligne la nécessité urgente de stratégies d'adaptation dans toutes les régions et tous les secteurs afin de garantir que nos infrastructures de production restent solides, sécurisées et capables de résister aux pressions climatiques, aujourd'hui et à l'avenir.

Points clés

L'hydroélectricité de base n'est pas à l'abri des risques climatiques: La production hydroélectrique fiable du Canada est exposée à des variations de débits et à une saisonnalité plus volatile, ce qui met en évidence la nécessité de diversifier l'approvisionnement et d'améliorer la planification.

Les investissements dans l'éolien et le solaire diversifient l'offre d'énergie propre, mais des risques demeurent: L'éolien, le solaire et le stockage par batterie restent vulnérables face à l'augmentation des risques environnementaux, notamment la grêle, les feux de forêt et le verglas pour le solaire et l'éolien.

Variation régionale et saisonnière des risques: La géographie du Canada entraîne des risques climatiques uniques selon les régions. L'Ouest est confronté aux feux de forêt et à la sécheresse; le Centre est vulnérable aux tempêtes de verglas et aux inondations; les provinces de l'Atlantique font face aux fortes tempêtes côtières. Les communautés nordiques et autochtones, souvent dépendantes de réseaux isolés, rencontrent des défis climatiques particuliers.

Opportunité dans les nouvelles constructions et le stockage: Avec l'expansion prévue de la capacité d'électricité propre, il existe une opportunité unique d'intégrer la résilience dès la conception dans les nouvelles infrastructures et la planification des systèmes.

Ne pas renforcer la résilience compromettrait la capacité du Canada à atteindre ses objectifs économiques et environnementaux, et exposerait les communautés, les industries et les contribuables à des risques physiques et financiers croissants.





Des raisons d'être optimiste: des solutions de résilience éprouvées existent. Les assureurs peuvent modéliser l'exposition aux risques climatiques et identifier les interventions les plus efficaces, telles que le renforcement des actifs, le choix du site et la planification d'urgence. En intégrant la résilience dans la planification, la conception et les décisions d'investissement, le Canada peut protéger l'avenir de son énergie propre et éviter des milliards de dollars en dommages et en interruptions potentielles.

Des solutions de résilience éprouvées pour réduire les risques et prévenir les dommages sont disponibles. En collaborant avec les exploitants de réseaux, les services publics, les producteurs d'électricité et les gouvernements pour appliquer ces connaissances de manière cohérente, il est possible de mieux quantifier la valeur des investissements en résilience, de garantir le potentiel de l'énergie propre et du stockage (accessibilité, sécurité et efficacité), d'éviter des coûts importants et de favoriser l'assurabilité.

La réussite de l'amélioration de la résilience des infrastructures énergétiques nécessitera une planification et une coordination à la fois nationales et provinciales, avec des évaluations locales et des solutions adaptées. Une collaboration étroite entre les secteurs public et privé sera essentielle pour mettre en place des politiques de soutien et des incitations alignées.

Un portefeuille équilibré de ressources renouvelables hydroélectriques et non hydroélectriques permet de gérer les risques inhérents liés à la météo et à la saisonnalité propres à chaque technologie. De plus, il existe des solutions d'atténuation pour certains risques clés (notamment lors de la planification, de la conception et de la construction), comme la réduction du risque d'incendie grâce à une meilleure gestion de la végétation, la réduction du risque de grêle et la réduction du risque de tornade pour l'éolien grâce à des pales plus résistantes.

Les solutions de stockage d'énergie peuvent soutenir l'équilibre du système et répondre aux pics de demande, tout en élargissant le champ des services auxiliaires essentiels, sur lesquels reposent tous les réseaux électriques. Elles complètent également les atouts d'une capacité supplémentaire de stockage hydraulique par pompage, et peuvent remplacer les combustibles fossiles lorsque les générateurs non émetteurs sont indisponibles.

Pour renforcer la résilience dans le secteur de l'énergie, il est recommandé d'agir dans les cinq domaines suivants:

1. Comblar les lacunes de résilience des actifs énergétiques existants
2. Tester la résistance des nouveaux actifs de production face à des scénarios climatiques dynamiques
3. Intégrer la résilience dans la planification et la conception
4. Améliorer la disponibilité des données pertinentes sur la résilience
5. Stimuler l'investissement dans les mesures de résilience

Les principaux enseignements issus de l'analyse de Zurich Resilience Solutions sont présentés dans ce rapport.



Le secteur énergétique canadien en évolution





Nos données sur les actifs confirment des différences marquées dans la capacité installée actuelle et future selon les provinces.

Le paysage de la production d'électricité au Canada est diversifié, façonné par les ressources régionales, les structures de marché et les conditions climatiques. Le pays dépend fortement de l'hydroélectricité, en particulier dans des provinces comme le Québec, la Colombie-Britannique et le Manitoba, où l'hydro représente la grande majorité de la production électrique. À lui seul, le Québec produit environ un tiers de l'électricité canadienne, principalement grâce à l'hydroélectricité, et joue un rôle clé dans l'exportation d'électricité vers d'autres provinces et vers les États-Unis.

L'Ontario fonctionne avec un système mixte, où environ 91 % de l'électricité provient de sources sans carbone: nucléaire (55%), hydro (24%), éolien (8%) et solaire (4%). Le gaz naturel est utilisé pour répondre aux pics de demande, dans un marché compétitif supervisé par l'Independent Electricity System Operator (IESO).

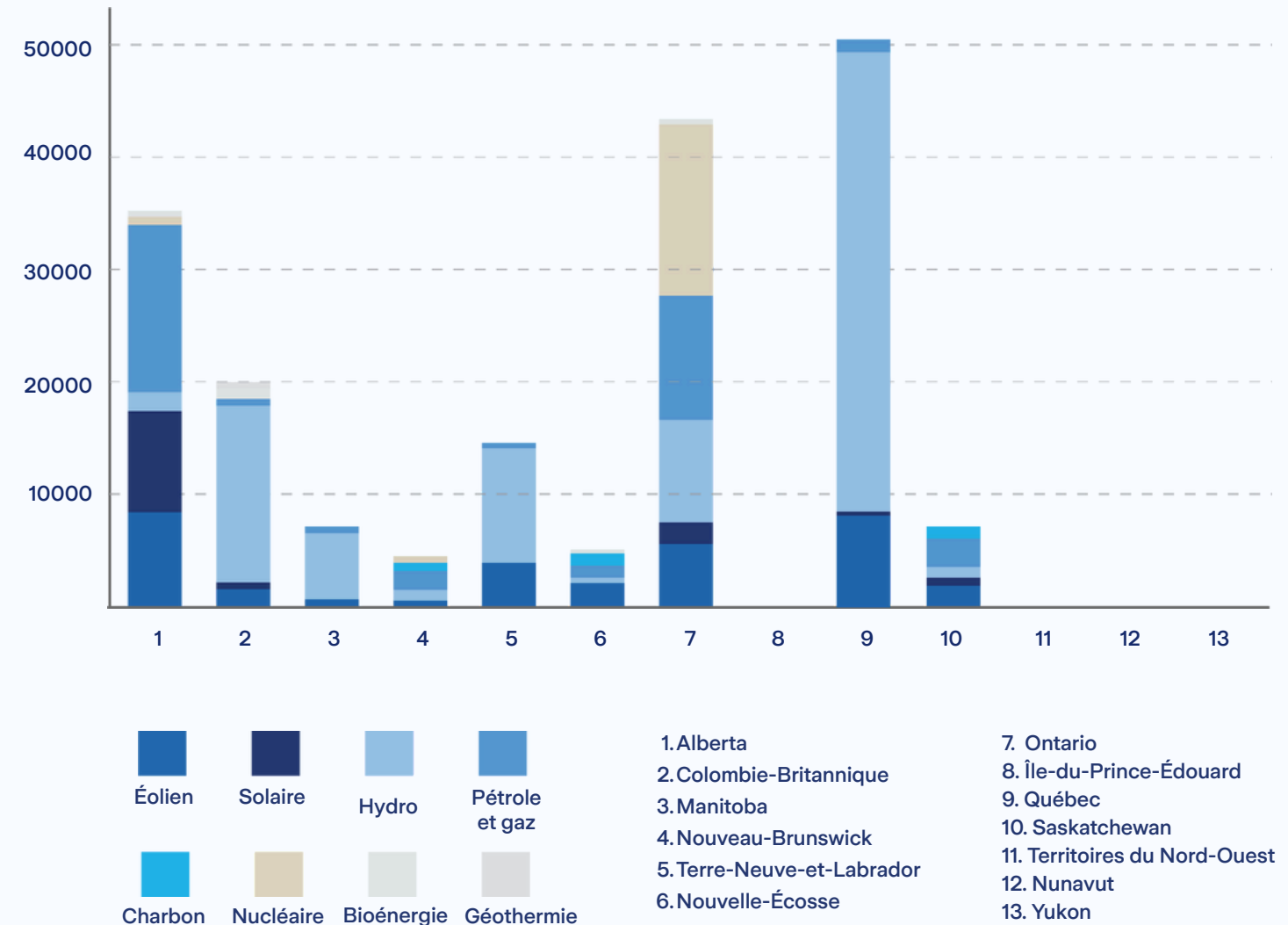
La Colombie-Britannique possède également un système dominé par l'hydroélectricité, qui représente environ 89% de sa production. L'Alberta, quant à elle, a abandonné le charbon (éliminé totalement en juin 2024) et s'appuie désormais sur le gaz naturel et la croissance rapide de l'éolien et du solaire. C'est le seul marché de l'électricité entièrement déréglementé au Canada.

La Saskatchewan maintient un portefeuille composé de gaz, de charbon et d'hydro, avec des plans pour retirer le charbon et développer l'éolien et le solaire à travers sa société de services publics, SaskPower. Le Manitoba continue de dépendre fortement de l'hydroélectricité (plus de 85%) et entretient des liens solides d'exportation vers le Midwest américain.

Dans les provinces de l'Atlantique, la transition hors du charbon est également en cours. La Nouvelle-Écosse vise 80% d'énergies renouvelables d'ici 2030, soutenue par les importations via le Maritime Link depuis le Labrador. Le Nouveau-Brunswick présente un profil énergétique diversifié, incluant le nucléaire, l'hydroélectricité et les combustibles fossiles, et envisage des solutions de conversion du charbon. L'Île-du-Prince-Édouard privilégie l'éolien et dépend des importations pour équilibrer son réseau. Terre-Neuve-et-Labrador est dominée par l'hydroélectricité, avec Churchill Falls et Muskrat Falls comme actifs clés gérés par la société publique NL Hydro.

Les territoires présentent une situation différente. Le Yukon produit plus de 70% de son électricité à partir de l'hydroélectricité, tandis que les Territoires du Nord-Ouest et le Nunavut dépendent davantage du diesel et du gaz naturel, bien que l'énergie renouvelable se développe progressivement dans les communautés isolées.

Capacité de production par province et type d'énergie (MW)

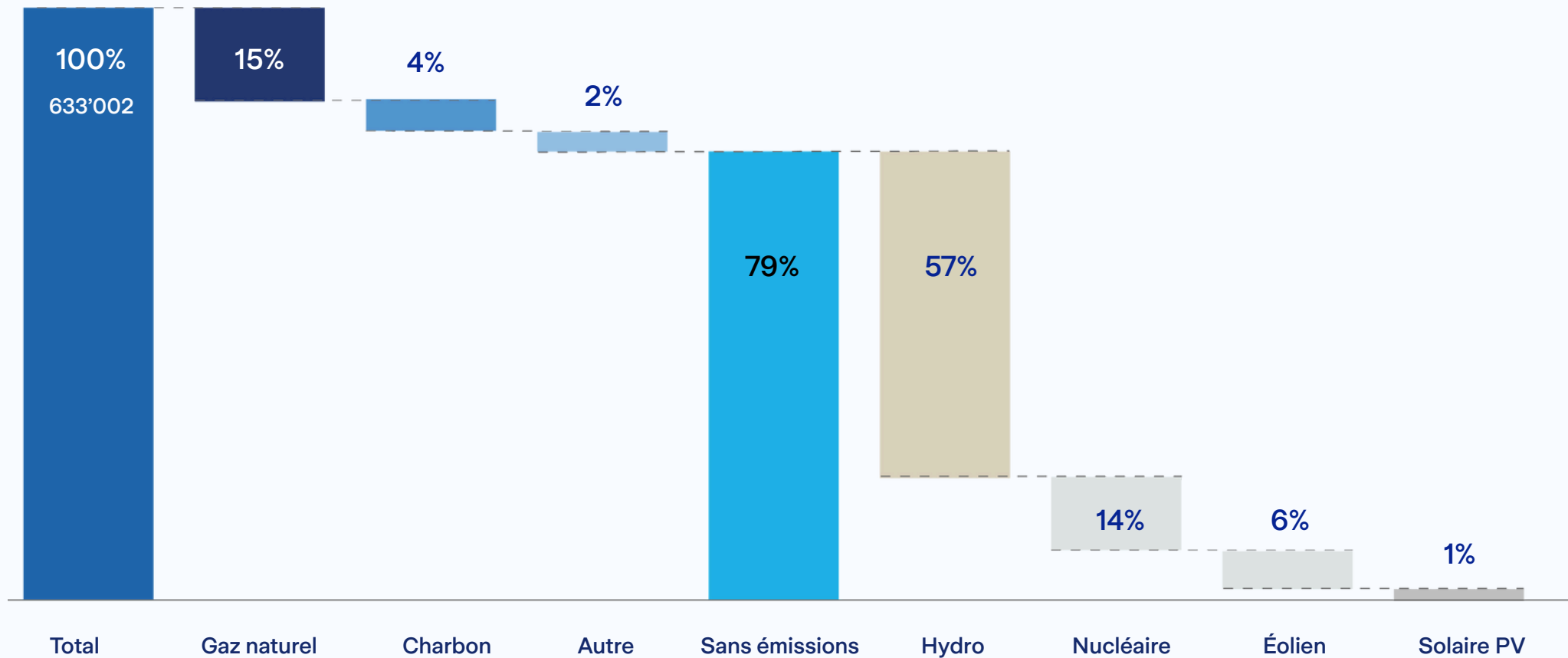


Source: Régie de l'énergie du Canada; Hydro-Québec; Exploitant indépendant du réseau d'électricité (EIRE/IESO); Exploitant du réseau électrique de l'Alberta (AESO); Gouvernement de l'Alberta; SaskPower; Gouvernement du Canada; Gouvernement de la Nouvelle-Écosse; Ressources naturelles Canada; Gouvernement du Yukon; Société d'électricité des Territoires du Nord-Ouest



Environ 80% de l'électricité du Canada est déjà produite à partir de sources sans émissions

Production d'électricité par type en GWh (2023)



Globalement, la production d'électricité au Canada est en grande partie (79 %) sans émissions – 57% hydroélectricité, 14% nucléaire et 7% éolien et solaire.

Les différences régionales en matière de sources d'énergie et de vulnérabilités climatiques soulignent l'importance de stratégies de résilience adaptées dans chaque province.

L'avenir du bouquet électrique au Canada (2025–2030)

Le paysage de la production d'électricité au Canada est en pleine transformation, porté par les engagements nationaux de carboneutralité, les objectifs de résilience climatique et la demande croissante en énergie propre et sécurisée. Cette évolution est accélérée par l'adoption généralisée d'infrastructures numériques énergivores, l'électrification industrielle et les transports faibles en carbone – tous ces facteurs devraient fortement augmenter la demande d'électricité dans les secteurs résidentiel, commercial et industriel.

Croissance prévue et évolution du mix

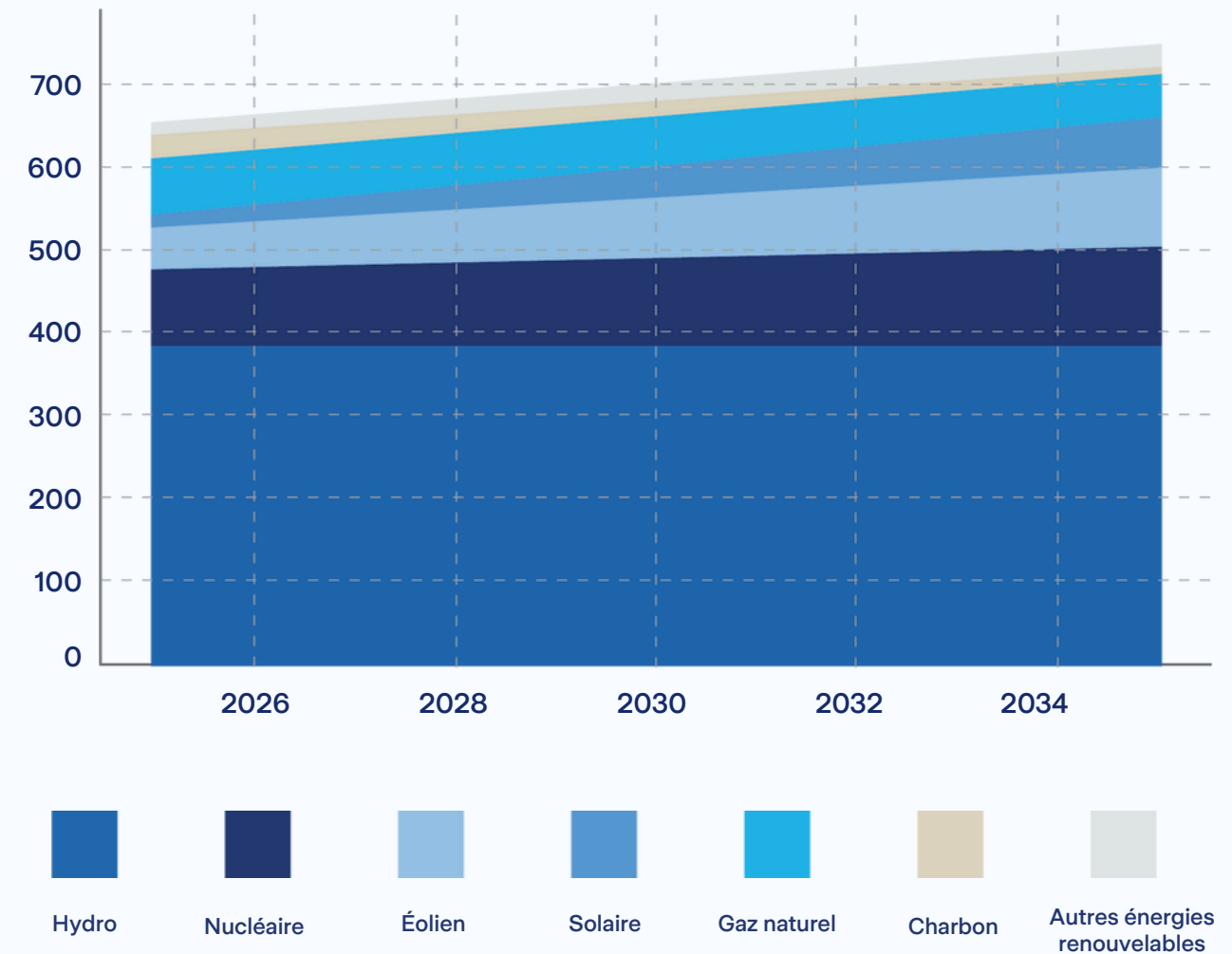
La production totale d'électricité au Canada devrait passer d'environ 600 térawattheures (TWh) en 2025 à 700 TWh en 2030, soit une hausse de près de 17% en cinq ans. Cette croissance reflète l'augmentation de la demande et l'engagement stratégique du pays en faveur de la décarbonisation.

Les sources d'énergie renouvelable continueront de dominer le bouquet énergétique du Canada. Leur production combinée devrait passer d'environ 380 TWh en 2025 à près de 520 TWh en 2030, faisant passer leur part de la production totale de 63% à près de 74%.

L'hydroélectricité restera le pilier du système énergétique propre du Canada, avec une production en hausse constante de 300 TWh à 350 TWh, incluant des investissements dans la modernisation des infrastructures. L'éolien et le solaire connaîtront une forte expansion, avec une production solaire presque triplée et une production éolienne doublée sur la même période.

L'énergie nucléaire conservera une contribution stable d'environ 85 à 90 TWh. La production issue de combustibles fossiles – charbon, gaz naturel et pétrole – devrait diminuer de 130 TWh en 2025 à 95 TWh en 2030, faisant passer sa part du mix énergétique de 22% à moins de 14%.

Production d'électricité prévue au Canada par source (2025-2035)





Les risques climatiques et le secteur énergétique canadien





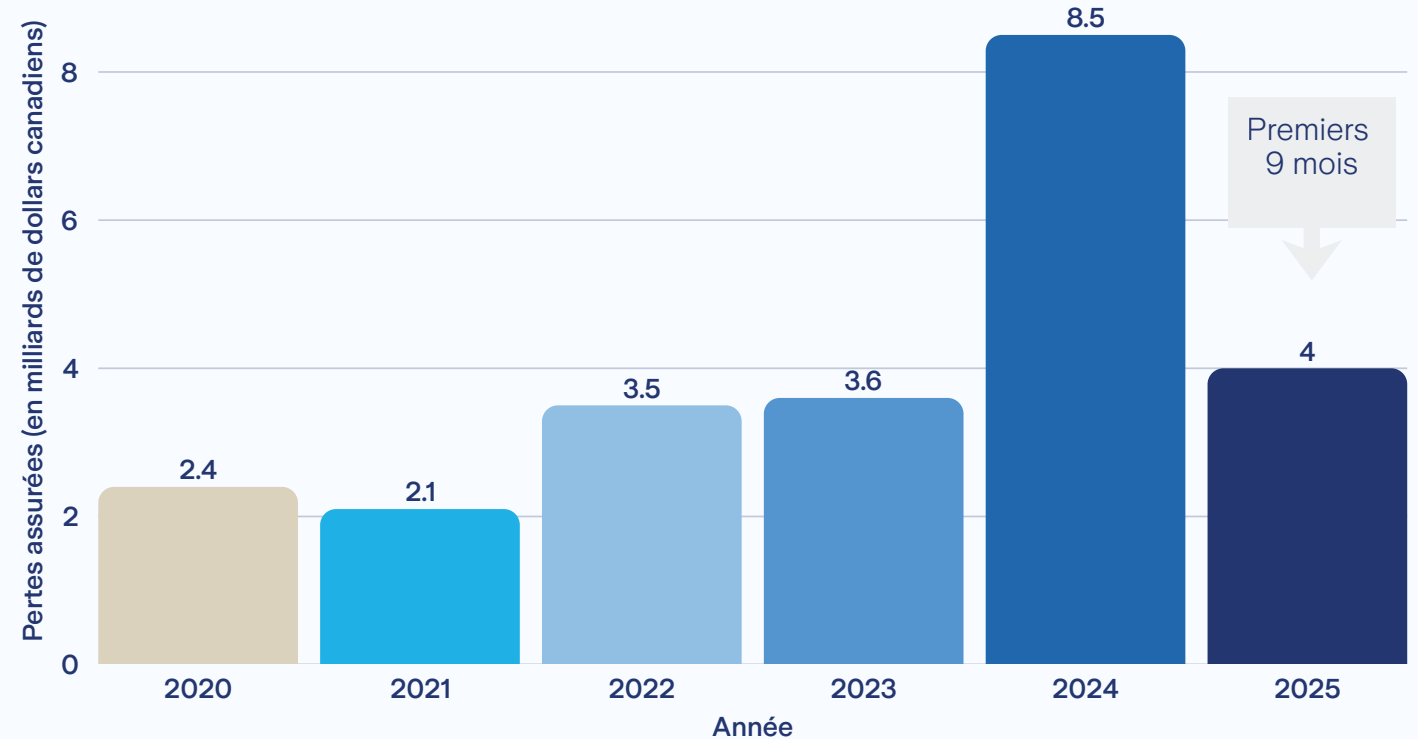
Risques liés aux phénomènes météorologiques extrêmes et production d'énergie au Canada

Les événements météorologiques extrêmes liés au climat transforment profondément le paysage des risques au Canada. Les catastrophes naturelles ne sont plus des événements rares : elles deviennent de plus en plus fréquentes et intenses. Selon CatIQ, rien qu'en 2024, les pertes assurées dues à des catastrophes météorologiques ont atteint un niveau record de 8,5 milliards de dollars, dépassant le précédent sommet de 6,2 milliards enregistré lors des feux de forêt de Fort McMurray en 2016. Ce montant est 12 fois supérieur à la moyenne annuelle de 701 millions de dollars enregistrée au début des années 2000. Ces pertes résultent d'une série d'événements dévastateurs, notamment la tempête de grêle à Calgary (3 milliards), les restes de l'ouragan Debby au Québec (2,7 milliards), l'incendie de Jasper (1,1 milliard) et des inondations majeures dans la région du Grand Toronto. Plus de 273 000 demandes d'indemnisation ont été déposées en 2024, soit une augmentation de 50 % par rapport au volume annuel habituel.

Les modèles climatiques et les données du secteur de l'assurance indiquent que cette tendance devrait se poursuivre, avec une fréquence et une intensité croissantes des risques tels que les feux de forêt, la sécheresse, les inondations, les tempêtes de grêle et les vagues de froid extrême. Ces événements exercent une pression accrue sur les infrastructures, les systèmes d'assurance et les actifs de production et de distribution d'énergie du Canada.

Pour aller plus loin, selon Environnement Canada, la température moyenne annuelle au Canada a augmenté de 2,4°C entre 1948 et 2024, soit environ deux fois le rythme mondial. L'année 2024 est à égalité avec 2010 comme année la plus chaude jamais enregistrée, avec une température supérieure de 3,1°C à la valeur de référence 1961–1990.

Pertes assurées dues aux phénomènes météorologiques extrêmes au Canada (2020-2025)



Source: CatIQ; Bureau d'assurance du Canada (BAC); Institut d'assurance du Canada



Risques climatiques pour les actifs de production d'électricité

Les actifs de production d'électricité sont de plus en plus vulnérables aux défis liés au climat – et lorsqu'on examine l'évaluation des impacts des aléas climatiques sur ces actifs, les infrastructures d'énergie durable présentent un risque accru.

Les phénomènes météorologiques extrêmes peuvent entraîner une forte volatilité de la production. Cette imprévisibilité affecte à la fois les sources de revenus et la fiabilité de l'approvisionnement en énergie. De plus, les infrastructures physiques sont soumises à une pression accrue, avec des dommages induits par le climat qui génèrent des coûts de réparation plus élevés, des arrêts plus fréquents, une durée de vie réduite et une dépendance croissante envers les fabricants d'équipement d'origine (OEM) pour le support.

Gérer les risques physiques liés au climat dans la transition énergétique du Canada

La gestion efficace des risques physiques liés au climat est essentielle à la réussite de la transition énergétique du Canada. La bonne nouvelle, c'est que des outils et des expertises existent pour relever ce défi, comme des capacités de modélisation avancées pour évaluer l'évolution des risques dans le temps. Comprendre le risque est la base de la résilience et de l'assurabilité. Ces analyses sont déjà utilisées en collaboration avec les propriétaires d'actifs à travers le pays, mais il faut agir plus rapidement. Sans cela, le risque est de subir des pertes financières évitables, de compromettre la sécurité énergétique et de réduire la confiance du public dans la transition vers l'énergie propre.

Évaluation de l'impact des aléas sur les actifs énergétiques

		Dangers aigus											Dangers chroniques		
Catégorie	Type d'actif	Tempête de vent	Tornado	Incendie de forêt	Grêle	Inondation	Onde de tempête	Précipitations	Gravité de la sécheresse	Durée de la sécheresse	Vague de froid	Vague de chaleur	Jours de gel	Jours de forte chaleur	Elévation du niveau de la mer
Production	Éolien terrestre														
	Solaire														
	Hydro														
	Bioénergie														
	Géothermie														
Stockage	STEP														
	BESS														
Production traditionnelle	Nucléaire														
	Gaz naturel														
	Charbon														
	Pétrole														

Faible Très élevé

Intégration stratégique du risque climatique

Intégrer le risque climatique au cœur des stratégies d'entreprise permet de transformer les défis en opportunités. Cette approche proactive aide à protéger les actifs, les biens et les opérations, tout en garantissant la continuité des activités et la résilience opérationnelle. Elle offre également un meilleur contrôle sur des processus essentiels tels que la disponibilité de la production, l'efficacité des équipements et la logistique de la chaîne d'approvisionnement.

De plus, prendre en compte le climat renforce la confiance des parties prenantes et place l'organisation en avance sur l'évolution des exigences réglementaires, soutenant ainsi la compétitivité et la durabilité à long terme.

Évaluation des risques

Pour mieux comprendre l'exposition potentielle aux risques climatiques physiques du système énergétique canadien actuel et futur, ZRS et Zurich Canada ont collaboré avec le cabinet de conseil stratégique Sussex Strategy Group, spécialisé dans le secteur de l'énergie au Canada, afin de collecter des données sur les actifs de production. Nous avons ensuite utilisé les données et la méthodologie de modélisation climatique géospatiale de ZRS pour évaluer les risques physiques au fil du temps et classer les actifs de production et de stockage selon leur niveau de risque.

Nous avons utilisé des informations publiques pour constituer un ensemble de données regroupant plus de 1000 actifs existants et planifiés de production et de stockage d'énergie. Cet ensemble de données contient des informations sur la localisation, le statut, la capacité et la technologie. Il a ensuite été traité à l'aide de l'outil exclusif d'évaluation des risques de ZRS, permettant d'associer chaque actif aux données ZRS. Ces données modélisent l'évolution de 15 aléas climatiques différents à court et moyen terme (2030 et 2050), selon des scénarios alignés avec le GIEC, et s'appuient sur une analyse unique des pertes et dommages historiques. Pour cette analyse, le scénario du GIEC utilisé est le SSP2-4.5, qui suppose un réchauffement de 2°C entre 2041 et 2060, en cohérence avec les plans de transition vers la carboneutralité de la plupart des pays, et correspondant à l'objectif de la transition énergétique propre du Canada. Le risque climatique physique désigne le risque de dommage matériel ou d'interruption de service pour une installation de production ou de stockage, causé par un danger climatique (par exemple, inondation, sécheresse), déterminé par la gravité de l'aléa et son impact sur la technologie.

Après avoir associé les actifs à la modélisation ZRS de l'évolution future des aléas, des experts en ingénierie des risques des équipes énergie durable et climat de ZRS ont évalué la gravité potentielle de chaque danger climatique pour les différents types d'actifs de production et de stockage. Cette évaluation experte a été combinée aux résultats de la modélisation pour créer un score d'impact des aléas, à l'aide d'un indice synthétique indiquant la fréquence et la gravité des dangers climatiques, permettant ainsi de classer les actifs en cinq catégories de risque.

L'impact du risque dans les catégories 3 et plus est significatif ; pour cette analyse, les actifs relevant des catégories supérieures à 3 sont donc considérés comme à haut risque, et ceux des catégories 4 et 5 comme à risque critique.

Catégorie 1	Les actifs présentent environ 5 % de probabilité de subir un événement climatique majeur et pertinent d'ici 2030, et sont généralement exposés à un seul aléa climatique principal (comme la grêle).
Catégorie 2	Les actifs présentent environ 15 % de probabilité de subir un événement climatique majeur et pertinent d'ici 2030, et sont généralement exposés à deux aléas climatiques principaux.
Catégorie 3	Les actifs présentent environ 20 % de probabilité de subir un événement climatique majeur et pertinent d'ici 2030, et sont généralement exposés à trois aléas climatiques principaux.
Catégorie 4	Les actifs présentent environ 25 % de probabilité de subir un événement climatique majeur et pertinent d'ici 2030, et sont généralement exposés à trois ou quatre aléas climatiques principaux.
Catégorie 5	Les actifs présentent environ 25 % de probabilité de subir un événement climatique majeur et pertinent d'ici 2030, et sont généralement exposés à quatre aléas climatiques principaux ou plus.



					Dangers aigus										Dangers chroniques			
Catégorie	Type d'actif	Capacité totale (MW)	Capacité totale à risque ¹ critique (MW)	Proportion de la capacité dans la catégorie à risque critique (MW)	Tempête de vent	Tornado	Incendie de forêt	Grêle	Inondation	Marée de tempête	Précipitations	Sévérité de la sécheresse	Durée de la sécheresse	Vague de froid	Vague de chaleur	Journées de gel	Journées chaudes	Élévation du niveau de la mer
Production	Éolien terrestre	33'255	748	2%														
	Solaire	11'897	3'140	26%														
	Hydro	83'278	48'913	59%														
	Bioénergie	1'545	153	10%														
	Géothermie	345	-	0%														
Stockage	Hydro par pompage	2'143	2'143	100%														
	BESS ²	3'703	996	27%														

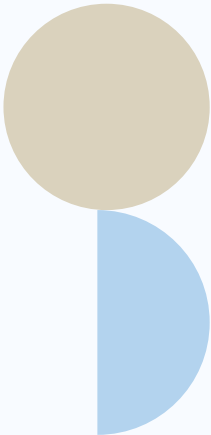
Faible Très élevé

Les actifs renouvelables sont plus exposés aux risques liés au vent, à la sécheresse et à la grêle, qui peuvent perturber la production et causer des dommages physiques importants.

Répartition par carte thermique de l'exposition des actifs renouvelables aux périls climatiques au Canada selon le scénario SSP2-4.5 (réchauffement de 2°C)

L'intensité de la couleur représente la gravité de l'impact du danger.

Note de bas de page:
1.Capacité à risque critique (catégories de risque 4 et 5) à court terme (d'ici 2030)
2.Système de stockage d'énergie par batterie.
Source: Données de Global Energy Monitor; Zurich Resilience Solutions (Climate Spotlight)



D'ici 2030, sans adopter de mesures de résilience adaptées au futur, 40% de la capacité totale de production d'énergie renouvelable au Canada entreront dans notre catégorie de risque critique.

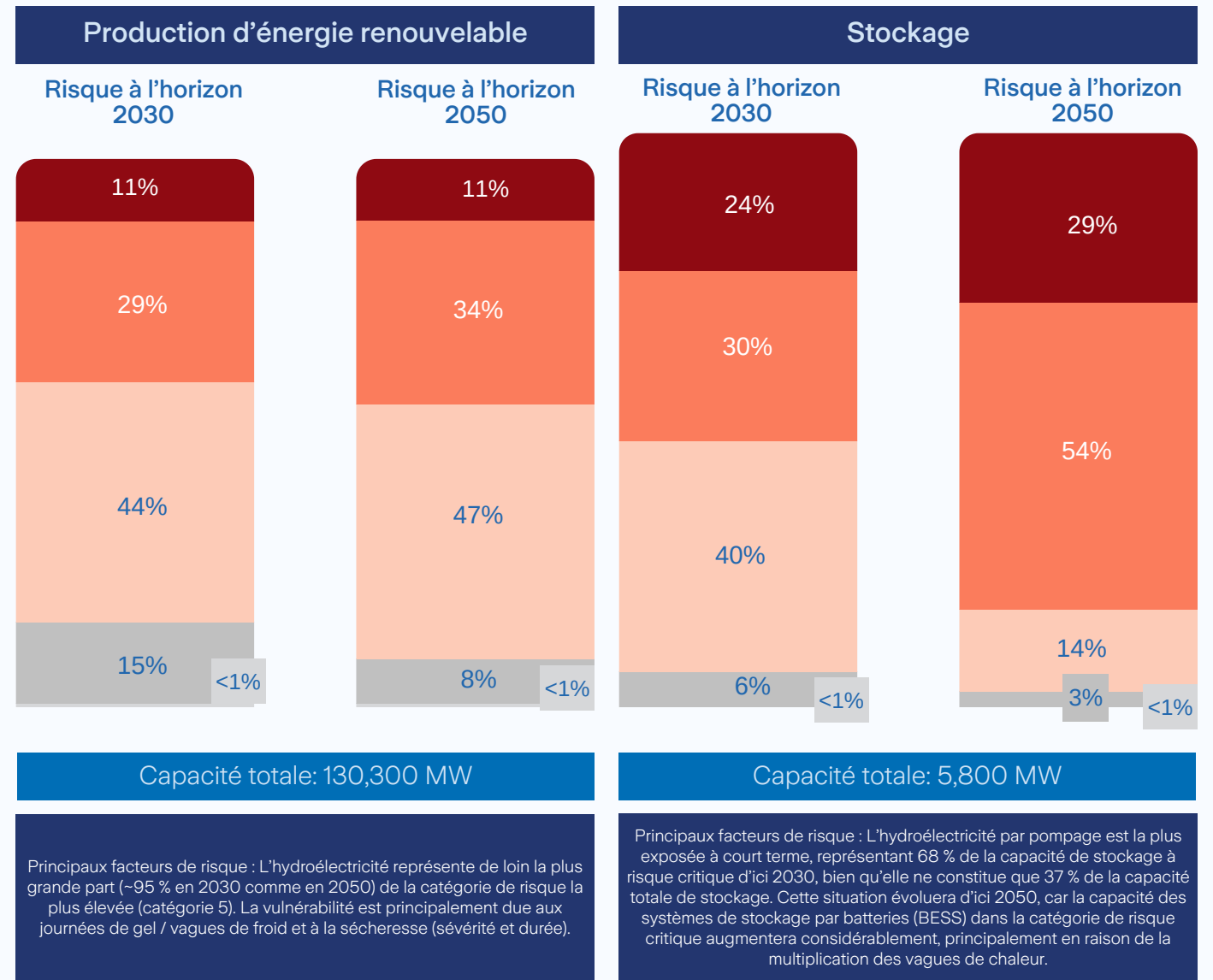
Notre analyse montre que, bien qu'une part de tous les actifs de production d'énergie soit vulnérable aux risques climatiques, l'hydroélectricité se trouve dans une situation critique, et la majorité des actifs de production éolienne et solaire sont également exposés à des périls climatiques physiques.

Au cours des cinq prochaines années, la proportion de l'ensemble de la production d'énergie confrontée à des risques climatiques accrus va augmenter. À l'échelle du Canada, l'hydroélectricité présente la vulnérabilité la plus importante, avec 59% de sa capacité entrant dans la catégorie de risque élevé (catégories de risque 4 et 5) à court terme (jusqu'en 2030), soit 127 actifs. L'hydroélectricité est principalement menacée par des périls affectant la production, tels que les inondations, la sécheresse et les vagues de froid.

Le solaire et l'éolien sont moins exposés, avec 9 % de leur capacité entrant dans la catégorie de risque élevé à court terme, soit 103 actifs. Les principaux risques pour le solaire et l'éolien concernent l'impact sur les infrastructures physiques : tempêtes de vent, tornades, feux de forêt et grêle.

Production et stockage d'énergie renouvelable par niveau de risque au fil du temps selon le scénario SSP2-4.5 (scénario d'alerte à 2 °C)

En pourcentage, capacité de production et de stockage d'énergie renouvelable.



L'hydroélectricité est la classe d'actifs la plus exposée au Canada, avec un risque principalement lié aux vagues de gel/de froid, à la sécheresse et aux inondations.

Type de péril	Vent	Solaire	Hydro	Pétrole et gaz	Charbon	Nucléaire	Bioénergie	Géothermie	Stockage
Tempête de vent									
Tornade									
Wildfire									
Grêle									
Inondation									
Marée de tempête									
Précipitations									
Sévérité de la sécheresse									
Durée de la sécheresse									
Vague de froid									
Vague de chaleur									
Journées de gel									
Journées chaudes									
Élévation du niveau de la mer									

Faible Très élevé

Exemples de risques climatiques physiques et de leurs impacts sur les infrastructures renouvelables à travers le Canada

Hydroélectricité – Sécheresse



Lieu: Centrale de Beauharnois, Québec

Description de l'événement

Sécheresse de 2023–2024 à travers le Québec

Dommages

Le niveau bas des réservoirs a réduit la production hydroélectrique, obligeant Hydro-Québec à diminuer ses exportations d'électricité.

Enseignement clé

- L'hydroélectricité est très sensible aux périodes prolongées de sécheresse et à la diminution de la disponibilité de l'eau.
- La planification future doit inclure une gestion de l'eau résiliente à la sécheresse et des améliorations des infrastructures afin de garantir la fiabilité de l'hydroélectricité.

Éolien – Vents forts



Lieu: Île-du-Prince-Édouard

Description de l'événement

Décembre 2023 – tempête de vent sévère

Dommages

Le parc éolien de Hermanville, à l'Île-du-Prince-Édouard, a subi d'importants dommages structuraux sur ses turbines à la suite d'une tempête de vent. Ces dégâts ont entraîné une réduction drastique de la production énergétique du parc.

Enseignement clé

- La planification face aux risques climatiques futurs doit intégrer des normes de conception technique et des protocoles opérationnels prenant en compte l'intensification des phénomènes venteux.
- La résilience des infrastructures doit donner la priorité à la conception des turbines, aux systèmes d'ancrage et aux capacités de réponse d'urgence afin de protéger les actifs de production situés dans les zones à forts vents.

Solaire – Feux de forêt



Lieu: Alberta

Description de l'événement

Incendies de forêt de mai à juin 2023 près de Grande Prairie, Edson et Valleyview.

Dommages

Une fumée dense de feux de forêt a réduit l'irradiance solaire de 30 à 70%, diminuant la production des panneaux solaires et provoquant une contamination de leur surface.

Enseignement clé

- La fumée des feux de forêt peut réduire considérablement l'efficacité solaire et augmenter les besoins de maintenance.
- Les infrastructures solaires doivent être conçues pour résister aux pertes d'efficacité liées à la fumée et intégrer des stratégies de maintenance adaptatives.



L'hydroélectricité: une colonne vertébrale dominante mais vulnérable





L'approvisionnement de base en hydroélectricité au Canada

Une hydroélectricité fiable aujourd'hui. Une énergie diversifiée et durable pour demain.

Hydroélectricité au Canada: aperçu et dynamique saisonnière

Selon le gouvernement du Canada, l'hydroélectricité représente environ 62% de la production d'électricité du pays, faisant du Canada le troisième plus grand producteur d'énergie hydroélectrique au monde.

Ressources naturelles Canada indique qu'en 2021, le pays exploitait 595 centrales hydroélectriques pour une capacité totale installée de 82 232 mégawatts. En 2022, ces centrales ont généré 393 789 gigawattheures d'électricité, soit 61,7% de la production totale nationale.

Variations saisonnières de la demande et de la production hydroélectrique

La consommation d'électricité au Canada, notamment au Québec, connaît des fluctuations saisonnières importantes. En hiver, la demande double presque par rapport à l'été, principalement en raison des besoins accrus en chauffage. Le 3 février 2023, Hydro-Québec a enregistré un pic historique de demande à 43 124 mégawatts.

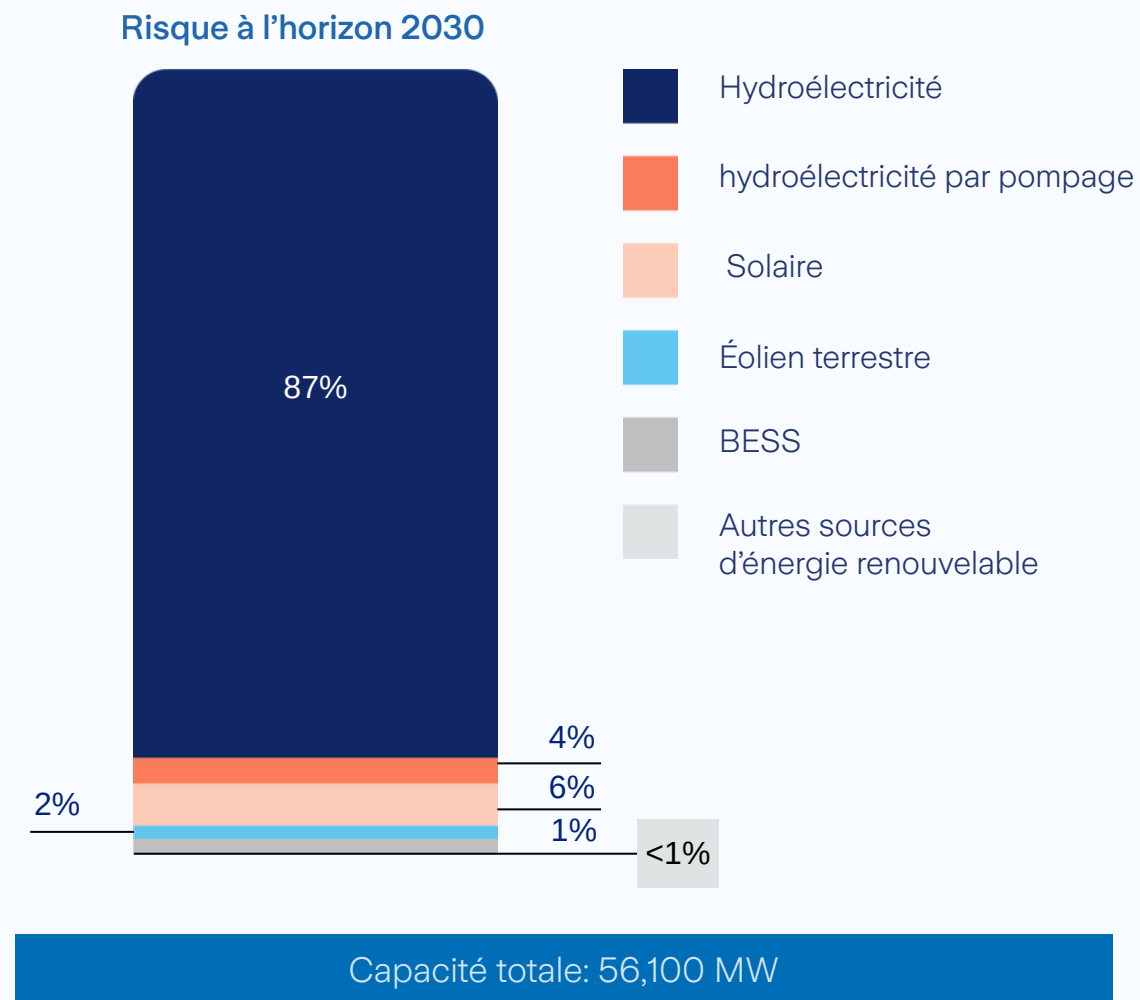
En revanche, les conditions estivales — particulièrement les périodes chaudes et sèches — peuvent entraîner une baisse du niveau des réservoirs, limitant la production hydroélectrique et obligeant des provinces comme la Colombie-Britannique et le Québec à réduire leurs exportations d'électricité, voire à importer de l'énergie pour répondre à la demande locale.

Rôle et risques des infrastructures hydroélectriques

L'énergie hydroélectrique demeure un pilier du système énergétique canadien, fournissant une électricité fiable, abordable et propre. Elle soutient des services essentiels, tels que le chauffage des habitations, l'alimentation des hôpitaux et le fonctionnement de l'industrie.

Cependant, les tendances actuelles indiquent que cette infrastructure critique pourrait être de plus en plus exposée à des risques, soulignant la nécessité d'investissements continus et d'une planification stratégique.

Capacité de production et de stockage d'énergie renouvelable à risque critique en 2030 selon le scénario SSP2-4.6 (scénario de réchauffement à 2 ° C)



Remarque: Les autres sources de production d'énergie renouvelable comprennent la bioénergie et la géothermie.
Source: Ressources naturelles Canada



Aléas climatiques et exposition aux risques dans le secteur hydroélectrique au Canada : le Manitoba, la Colombie-Britannique et le Québec sont les plus exposés.

Parmi les provinces les plus exposées figurent le Manitoba, où 74% de la capacité totale de production tombe dans la catégorie de risque critique ; la Colombie-Britannique, avec 69% ; et le Québec, à 44%. Ces trois provinces représentent ensemble environ 40% de la population canadienne, ce qui souligne l'ampleur des implications liées à cette vulnérabilité.

En examinant de près les risques auxquels l'hydroélectricité est confrontée, ce mode de production devient de plus en plus vulnérable à divers aléas climatiques : inondations, vagues de froid et sécheresses.

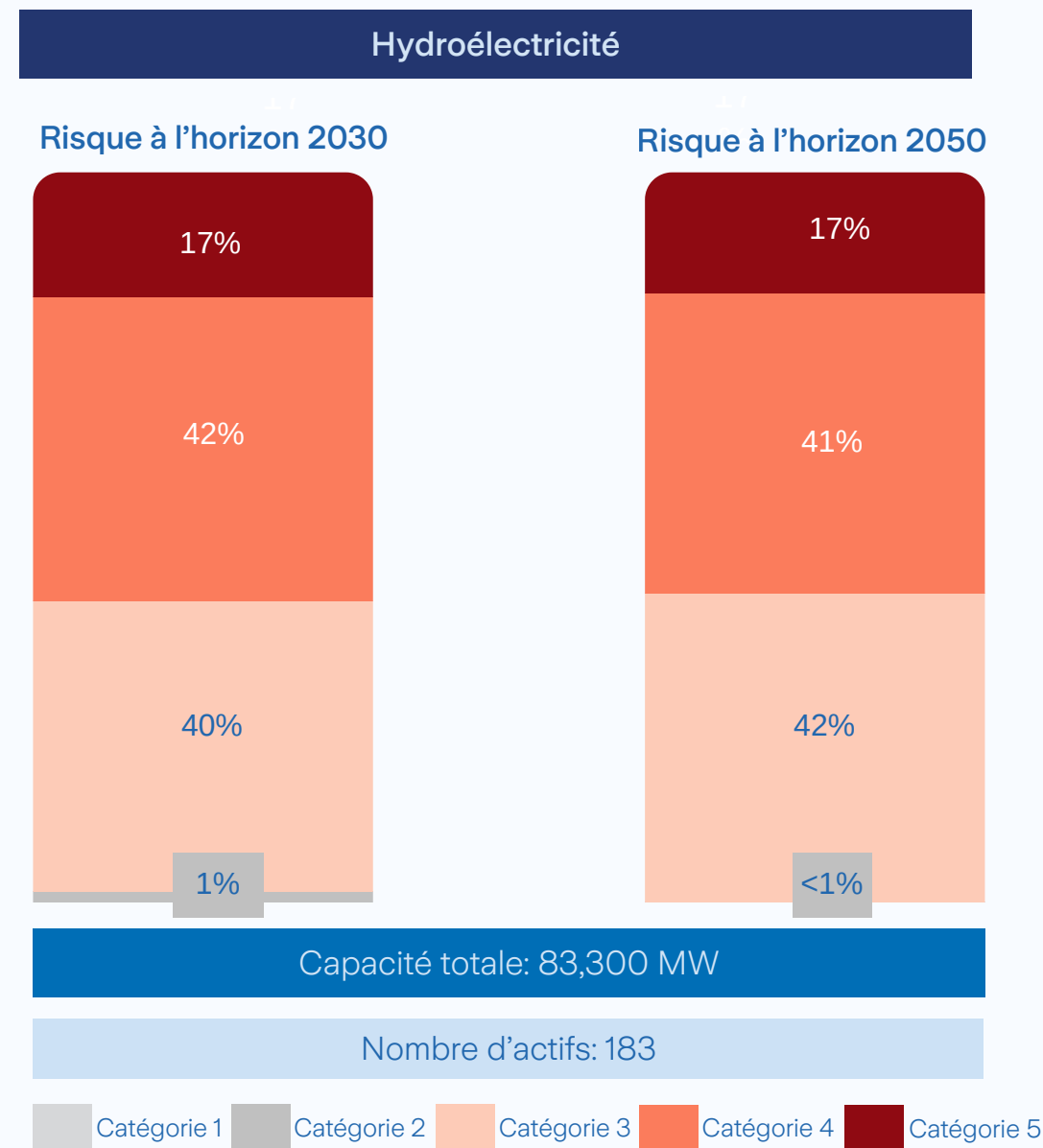
Les inondations peuvent submerger les réservoirs et endommager les infrastructures critiques, tandis que les sécheresses sévères peuvent réduire considérablement la disponibilité de l'eau, entraînant une baisse significative de la production hydroélectrique.

Implications saisonnières des aléas sur l'hydroélectricité

Le risque lié à ces périls montre que les aléas climatiques saisonniers posent d'importants défis à la production hydroélectrique, en particulier durant les périodes de forte demande d'électricité. Par exemple, en Ontario, les sécheresses estivales peuvent fortement limiter l'offre au moment où la demande augmente en raison des besoins de climatisation et de refroidissement. De même, au Québec, les vagues de froid hivernales peuvent menacer l'approvisionnement alors que la demande de chauffage atteint son niveau le plus élevé.

L'année 2023 a illustré la gravité de ces risques. Une combinaison de sécheresse et de chaleur estivale record a entraîné une baisse de 8,4 % de la production hydroélectrique nationale. L'impact a été particulièrement marqué dans les provinces clés: **Colombie-Britannique: -21.5% Manitoba: -12.1% Québec: -9.3%**

Ces chiffres soulignent l'urgence de renforcer la résilience climatique des infrastructures hydroélectriques au Canada afin de garantir leur fiabilité et leur durabilité à long terme.



L'histoire de l'hydroélectricité au Canada

Une hydroélectricité fiable aujourd'hui. Une énergie diversifiée et durable pour demain.

Renforcer la pérennité de la production d'électricité de base au Canada

Pour garantir la fiabilité à long terme de la production d'électricité de base au Canada, il est essentiel d'investir dans des mesures de résilience pour les infrastructures hydroélectriques existantes et futures.

Intégrer la résilience saisonnière dans les infrastructures hydroélectriques nécessite une compréhension approfondie des risques climatiques régionaux, des vulnérabilités opérationnelles et des tendances de la demande. Il convient de prendre en compte les mesures suivantes de résilience saisonnière lors de la construction de nouveaux projets hydroélectriques et de la modernisation des actifs actuels.

Recommandations pour la résilience estivale

1. Optimiser l'utilisation et la conservation de l'eau

Les étés chauds et secs ainsi que les sécheresses diminuent le débit des rivières. Adapter la gestion des réservoirs et soutenir la conservation en amont permet de maintenir les niveaux d'eau nécessaires à la production d'électricité et à la préservation des écosystèmes.

2. Surveiller l'eau et protéger les infrastructures

Les températures élevées affectent la qualité de l'eau et les équipements. Des capteurs et des améliorations résistantes à la chaleur contribuent à protéger les opérations contre les risques liés à la chaleur et aux incendies de forêt.

3. Renforcer la préparation aux situations d'urgence et l'accès aux sites

Les tempêtes, les feux de forêt et les vagues de chaleur menacent la production et l'accès aux installations. Des plans d'urgence régulièrement mis à jour et une coordination avec les autorités locales permettent d'assurer une réponse rapide et une production hydroélectrique fiable.

Recommandations pour la résilience hivernale

1. Renforcer et préparer les infrastructures pour l'hiver

La neige, la glace et le froid extrême peuvent endommager les barrages et perturber les opérations. Le renforcement des structures et l'utilisation de matériaux résistants au froid permettent d'assurer le bon fonctionnement des installations.

2. Surveiller de manière proactive la glace et la météo

Les embâcles et les conditions météorologiques extrêmes menacent l'écoulement de l'eau et la sécurité. La surveillance en temps réel et les outils d'intervention précoce permettent de prévenir les perturbations majeures.

3. Assurer l'accès et la préparation aux situations d'urgence

Les routes bloquées et les tempêtes hivernales retardent les interventions. Le déneigement, des véhicules adaptés à l'hiver et des plans d'urgence actualisés permettent d'agir rapidement et d'assurer un service fiable.





L'histoire de l'hydroélectricité au Canada

Une hydroélectricité fiable aujourd'hui. Une énergie diversifiée et durable pour demain.

Le Canada doit et continuera d'être un leader mondial dans la production hydroélectrique.

La modernisation des infrastructures hydroélectriques du Canada présente un fort potentiel. En remplaçant les groupes turbine-alternateur, en rénovant les prises d'eau et en améliorant les systèmes de contrôle, il est possible d'atteindre jusqu'à 15% d'efficacité supplémentaire et une fiabilité accrue dans la production hydroélectrique. De plus, la modification des évacuateurs de crue et la modernisation des équipements permettent à nos centrales de s'adapter aux conditions météorologiques changeantes, garantissant ainsi une fourniture d'énergie constante même durant les hivers difficiles.

Lorsque nous évaluons le risque climatique pour notre capacité hydroélectrique actuelle, rénovée et future, les mesures à prendre sont claires:

- 1. Investir dans des mesures de résilience pour les actifs hydroélectriques futurs, rénovés et existants.**
- 2. Investir dans des infrastructures résilientes conçues pour soutenir les actifs de production et l'ensemble du système électrique.**
- 3. Prendre en compte la résilience face aux risques lors de la gestion des risques liés à la construction et à la chaîne d'approvisionnement.**

Alors que le Canada cherche à investir dans une production d'énergie renouvelable diversifiée, il est impératif d'intégrer la résilience face aux risques dans la planification et la construction de tous les projets énergétiques. Cela inclut une gestion proactive des risques liés à la construction et à la chaîne d'approvisionnement, qui sont de plus en plus importants dans le contexte mondial actuel marqué par la volatilité.



Les énergies renouvelables et le stockage: en croissance mais exposés





Éolien et solaire: en croissance, mais exposés

Étant donné l'augmentation prévue des investissements dans l'éolien, le solaire et le stockage au cours des 5 à 10 prochaines années — et le rôle essentiel que ces technologies jouent dans l'atteinte de la neutralité carbone — il existe à la fois un besoin urgent et une opportunité claire de garantir que les infrastructures d'énergies renouvelables soient résilientes face aux aléas climatiques.

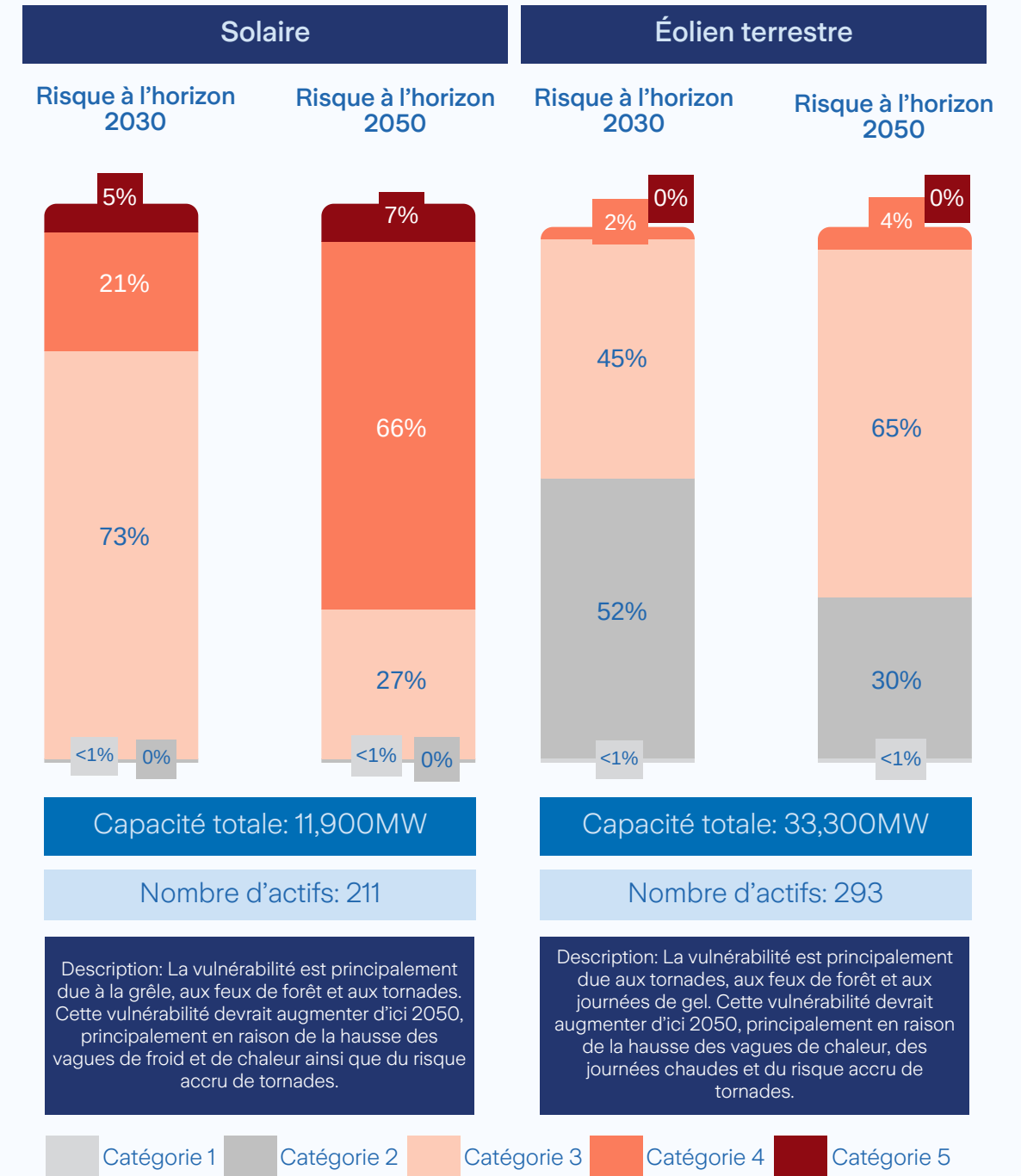
À court terme, 26% de la production solaire entrera dans la catégorie de risque critique. À long terme, ce chiffre grimpera à 73%, principalement en raison de l'augmentation des vagues de froid/chaleur et du risque accru de tornades.

En analysant la répartition des risques climatiques physiques, la production solaire se distingue par sa vulnérabilité aux tornades, aux feux de forêt et à la grêle. Les fermes solaires sont souvent situées dans des régions à forte irradiation solaire, qui sont également exposées à des phénomènes météorologiques extrêmes. Les orages de grêle représentent une menace importante pour les panneaux photovoltaïques, pouvant causer des dommages étendus en un seul événement. Les feux de forêt, de plus en plus fréquents et intenses au Canada en raison de la hausse des températures et de la sécheresse prolongée, peuvent détruire les infrastructures ou dégrader la qualité de l'air, réduisant ainsi l'efficacité solaire. Les vents violents, y compris les tornades et les tempêtes sévères, peuvent également endommager les panneaux et les systèmes de montage, entraînant des réparations coûteuses et des interruptions de service.

À court terme, 45% de la production éolienne terrestre entrera dans la catégorie de risque élevé. À long terme, ce chiffre passera à 65%, dont 4% dans la catégorie de risque critique. Cette vulnérabilité devrait augmenter d'ici 2050, principalement à cause des vagues de chaleur/journées chaudes et du risque accru de tornades.

La production éolienne terrestre présente un profil de risque similaire à celui du solaire. Le givre et l'accumulation de glace sur les pales des turbines peuvent nuire aux performances et augmenter le stress mécanique, tandis que les feux de forêt menacent à la fois les turbines et les infrastructures de transmission associées. Les vents forts — paradoxalement — peuvent dépasser les tolérances de conception, endommageant les pales ou provoquant des défaillances structurelles, en particulier sur les actifs plus anciens ou mal entretenus. Ces risques sont amplifiés dans les régions où la variabilité climatique s'accroît, rendant nécessaires des normes de conception plus robustes et des stratégies de maintenance adaptative.

Les provinces qui prévoient une expansion rapide de l'éolien et du solaire — Alberta, Ontario, Maritimes et Québec — doivent porter une attention particulière à la résilience de cette production. À mesure que les aléas climatiques s'intensifient, intégrer la résilience dans la planification, la conception et l'exploitation des actifs d'énergie renouvelable sera essentiel, non seulement pour protéger les investissements, mais aussi pour garantir la continuité de l'approvisionnement dans un réseau décarboné.





Le stockage d'énergie par batterie (BESS) au Canada est sur le point de connaître une croissance massive au cours des prochaines années.

Les systèmes de stockage d'énergie par batterie (BESS) sont appelés à connaître une forte croissance au Canada et joueront un rôle clé dans la réalisation des objectifs nationaux de neutralité carbone.

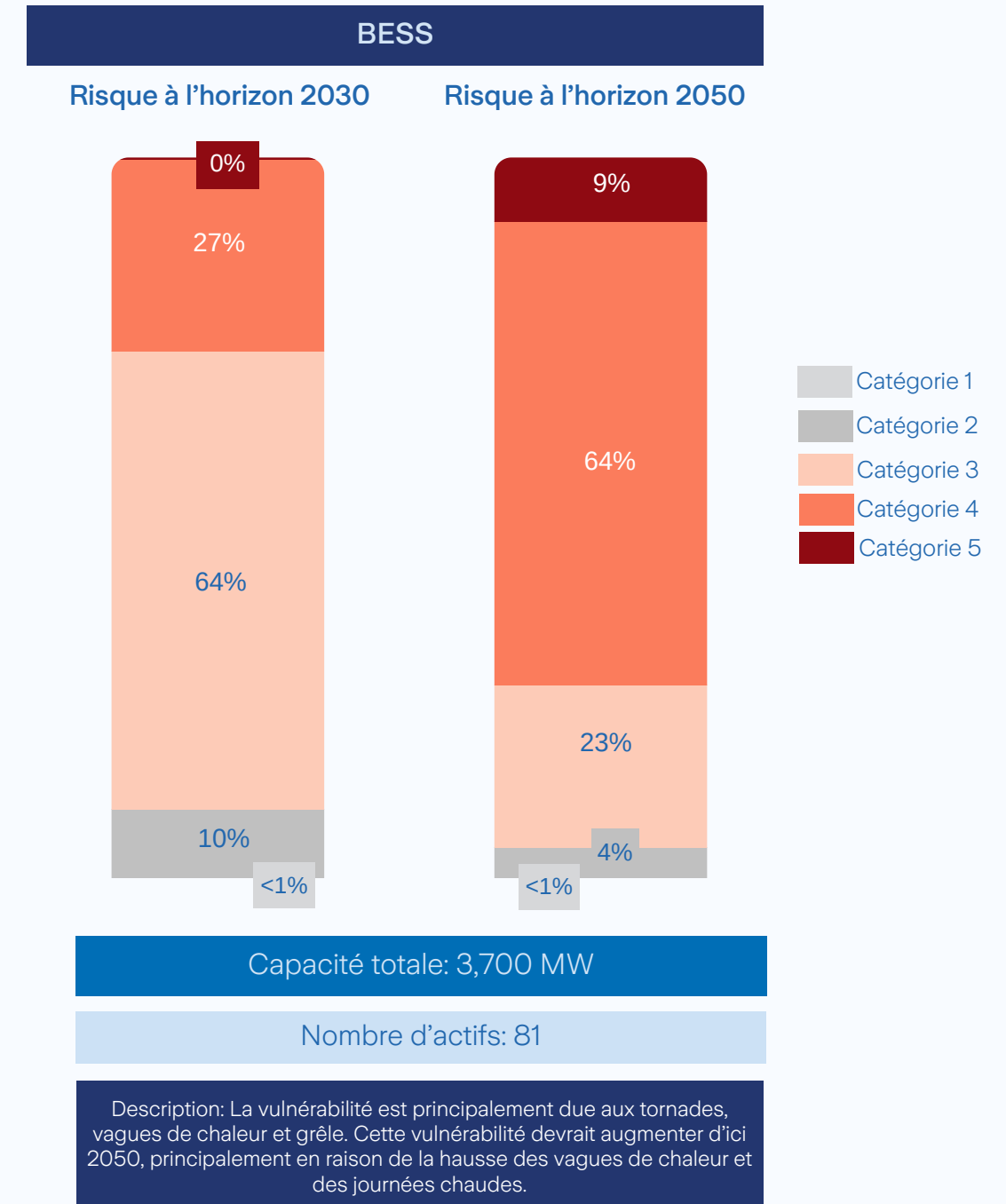
Stratégiquement, les BESS permettent une meilleure intégration des énergies renouvelables, renforcent la stabilité du réseau lors des fluctuations de la demande et réduisent la dépendance à la production émettrice de gaz à effet de serre — en cohérence avec les objectifs climatiques du Canada.

À ce jour, le Canada dispose d'environ 400 MW de BESS à grande échelle connectés au réseau, avec 500 MW supplémentaires en construction. Si tous les projets annoncés aboutissent, la capacité totale atteindra 3 700 MW d'ici 2030.

L'Alberta, l'Ontario et le Québec sont les principales régions de déploiement, reflétant leur profil énergétique respectif. L'Institut climatique du Canada prévoit que la capacité nationale de stockage d'énergie pourrait dépasser 4 GW dès 2028, tandis qu'Energie Storage Canada estime un besoin de 8 à 12 GW d'ici 2035.

À court terme, 27% des infrastructures BESS entrent dans la catégorie de risque critique. À long terme, cette proportion grimpe à 73%. Cette vulnérabilité devrait augmenter d'ici 2050, principalement en raison de la hausse des vagues de chaleur et des journées chaudes.

En analysant la répartition des risques climatiques physiques, la production solaire se révèle particulièrement vulnérable aux tornades, vagues de chaleur et à la grêle. Les infrastructures BESS sont quant à elles particulièrement sensibles aux températures extrêmes — notamment pour les technologies lithium-ion — ce qui souligne l'importance de la planification de la résilience pour les futurs déploiements.



Protéger nos infrastructures éoliennes, solaires et de stockage aujourd'hui, ainsi que nos investissements pour demain.

À mesure que le Canada accélère sa transition vers un système électrique carboneutre, il est essentiel de concevoir et d'exploiter les infrastructures éoliennes, solaires et de stockage en tenant compte de la résilience face au climat. Les stratégies suivantes illustrent les meilleures pratiques pour protéger ces technologies contre les périls climatiques les plus à risque:

1. Réduction des risques d'incendie de forêt

- La gestion de la végétation autour des sites éoliens, solaires et de stockage par batterie (BESS) contribue à réduire le potentiel d'ignition.
- Des systèmes avancés de détection d'incendie, comprenant des capteurs de chaleur et de fumée associés à des technologies d'extinction automatisées, deviennent de plus en plus courants dans les installations BESS.
- Le choix du site et la conception doivent privilégier des matériaux résistants au feu et éviter les zones à risque élevé d'incendie de forêt.

2. Protection contre la grêle pour les infrastructures solaires

- Les panneaux solaires fabriqués avec du verre trempé et des cadres renforcés offrent une meilleure résistance aux dégâts causés par la grêle.
- Les systèmes de suivi (trackers) peuvent être programmés pour placer les panneaux en position de protection lors des épisodes de grêle, minimisant ainsi leur exposition.

3. Adaptation au climat froid

- Les éoliennes et les panneaux solaires installés au Canada sont de plus en plus équipés de composants adaptés aux basses températures et de technologies anti-givrage.
- Des protocoles d'entretien saisonnier, incluant l'imagerie thermique et les inspections pré-hivernales, permettent de garantir la fiabilité opérationnelle lors des périodes de froid extrême.

4. Mesures de résilience face au vent

- Les éoliennes sont conçues avec des pales aérodynamiques capables de résister à des vitesses de vent élevées et à de fortes rafales.
- Les panneaux solaires et les enceintes BESS sont installés avec des systèmes de montage renforcés pour éviter les dommages ou les déplacements lors des tempêtes.

5. Conception de BESS résilients face au climat

- Les installations de stockage par batterie (BESS) intègrent des systèmes avancés de gestion thermique pour maintenir leurs performances lors des vagues de chaleur et des périodes de grand froid.
- La surveillance en temps réel et l'analyse prédictive permettent aux opérateurs de réagir de manière proactive face aux menaces météorologiques.
- La conformité avec les normes de sécurité incendie et électriques en constante évolution garantit la résilience et la sécurité à long terme.

Ces mesures sont essentielles pour protéger le portefeuille croissant d'actifs d'énergies renouvelables du Canada et assurer leur fiabilité face à des conditions climatiques de plus en plus volatiles.





Ce qui est en jeu: des mesures
supplémentaires pour atténuer les
risques





Recommandations

En réponse à nos conclusions, nous avons élaboré cinq recommandations stratégiques à l'intention des parties prenantes impliquées dans la production d'électricité renouvelable. Ces recommandations visent à renforcer la résilience, à atténuer les risques et à garantir la continuité de l'approvisionnement.

Bien que les solutions existent, leur mise en œuvre cohérente et efficace nécessitera une collaboration intersectorielle. Les parties prenantes publiques et privées doivent unir leurs efforts pour sensibiliser, aligner les incitations et mobiliser les investissements nécessaires à la construction d'un avenir énergétique plus résilient pour le Canada.

1. Améliorer la résilience climatique des actifs existants

La préparation aux risques constitue la première ligne de défense. Réduire l'exposition et les vulnérabilités face aux risques climatiques physiques émergents aidera les entreprises propriétaires d'actifs de production d'énergie à éviter des pertes et à améliorer leur assurabilité. Les décideurs politiques ont également un rôle à jouer en identifiant des opportunités pour encourager l'investissement dans des mesures de résilience.

2. Adopter des tests de résistance climatique pour les nouveaux actifs de production et de stockage

Comprendre les risques futurs et modéliser l'évolution des aléas climatiques doit être un élément central de toute décision de conception pour les nouvelles infrastructures énergétiques. Les entreprises, sur l'ensemble de la chaîne de valeur, devraient adopter une approche de résilience dès la conception, tandis que les gouvernements devraient instaurer un environnement réglementaire qui favorise le déploiement à grande échelle d'innovations techniques renforçant la résilience.

3. Intégrer la résilience dans les processus de planification et de conception

Un environnement politique clair, stable et prévisible, qui intègre la résilience comme principe fondamental dans le déploiement de nouvelles infrastructures énergétiques, favorisera l'investissement et encouragera l'innovation.

4. Améliorer l'accès et la qualité des données

Un meilleur accès aux données publiques permettra d'affiner la modélisation des risques et de favoriser le développement d'ensembles de données open source sur les aléas climatiques. Les autorités publiques doivent améliorer la disponibilité et la facilité d'utilisation des données pertinentes pour la résilience (par exemple, localisation des actifs prévus, décisions de zonage, expositions aux risques climatiques). Certains pays européens le font déjà, et il serait bénéfique de partager les meilleures pratiques.

5. Mobiliser les investissements dans les mesures de résilience

Un engagement accru en faveur de la résilience devrait garantir l'assurabilité et soutenir l'investissement. Cependant, pour assurer la sécurité future des systèmes énergétiques face à l'augmentation des risques climatiques physiques, les décideurs politiques devraient envisager des mécanismes de financement mixte afin d'attirer les investissements, et collaborer avec l'industrie ainsi que les investisseurs pour garantir un flux continu d'actifs de résilience éligibles à l'investissement.

Des mesures d'adaptation ciblées peuvent améliorer considérablement la fiabilité du système énergétique en transition
Aperçu des principales méthodes d'adaptation selon le type d'actif d'énergie propre

Type d'actif	Principaux risques	Exemple d'impact physique	Sélection des principales mesures d'adaptation pour la résilience climatique
Solaire	- Rafales de vent - Grêle - Incendies de forêt	 Panneaux solaires endommagés par la grêle.	- Installer des modules résistants à la grêle et à la chaleur avec des cadres robustes, des revêtements anti-salissures et des boîtiers d'onduleurs adaptés au refroidissement. - Concevoir pour le froid et la neige avec des inclinaisons prononcées, des systèmes anti-givrage et des plans de déneigement pour les installations prioritaires.
Vent	- Rafales de vent - Incendies de forêt - Tornades	 Éolienne détruite par une tornade.	- Sélectionner la variante d'éolienne adaptée pouvant résister à des vents plus forts grâce au positionnement des pales en mode tempête et utiliser des fondations plus profondes. - Utiliser des fondations robustes et un espacement adéquat pour stabiliser les tours dans les zones de vents extrêmes et réduire la turbulence entre éoliennes lors d'événements de vents forts.
Hydroélectricité	- Inondations - Vagues de froid - Sécheresses	 Des inondations font céder un barrage hydroélectrique.	- Augmenter la capacité des évacuateurs de crue et renforcer les structures des barrages pour faire face aux inondations extrêmes, en incluant des bouchons fusibles et une gestion proactive des réservoirs basée sur les systèmes d'alerte précoce. - Intégrer des systèmes d'alerte précoce et effectuer des inspections régulières des barrages pour gérer de manière proactive les risques liés à un afflux extrême ou à des glissements de terrain/inondations glaciaires en amont.
Systèmes de stockage d'énergie par batteries (BESS)	- Vagues de chaleur - Tornades - Inondations	 Une installation de batteries est endommagée par une vague de chaleur.	- Assurer des enceintes climatisées avec des systèmes CVC, une isolation et une alimentation de secours pour le refroidissement pendant les vagues de chaleur. - Créer des périmètres sécurisés contre les incendies de forêt à l'aide de matériaux résistants au feu, de systèmes d'extinction automatique et de protocoles d'arrêt préventif.

Remarque: Pour une liste plus complète des mesures d'adaptation pour la résilience climatique et des types d'actifs, veuillez consulter l'annexe.
Source: Zurich Resilience Solutions ; Sussex Strategy Group



Méthodologie





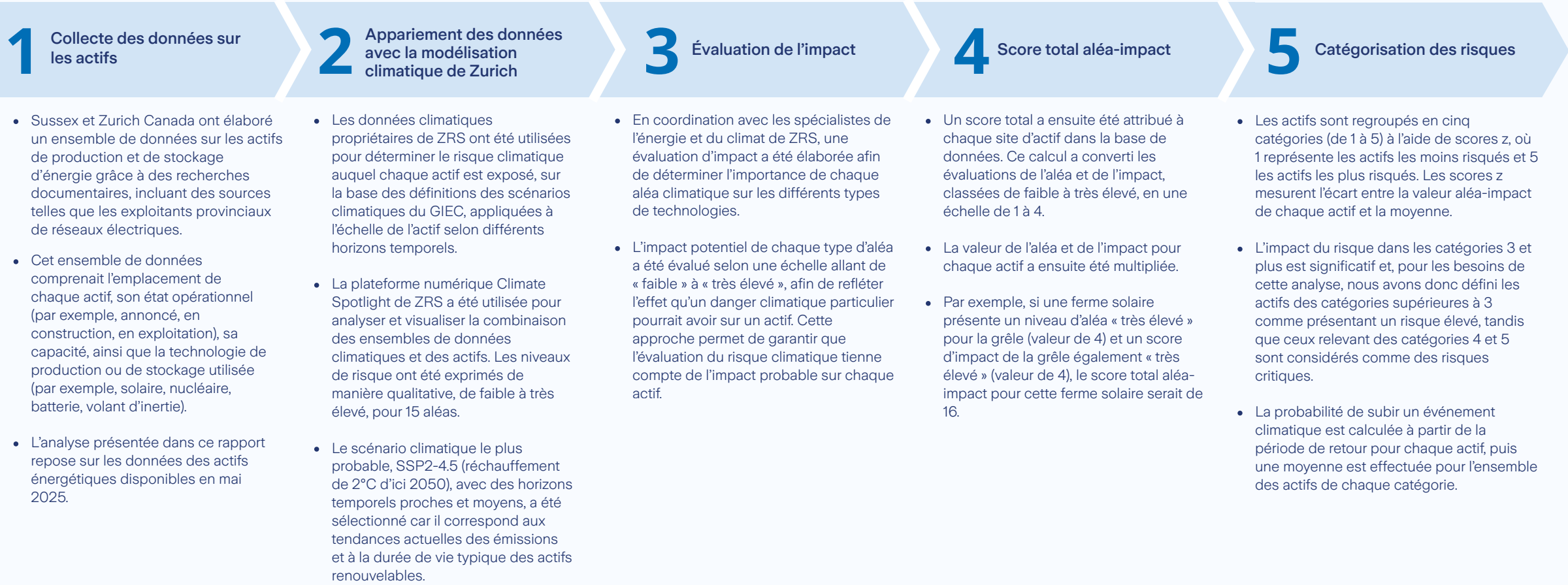
Méthodologie

La modélisation géospatiale des risques climatiques de Zurich Resilience Solutions a été utilisée pour évaluer les risques physiques liés au climat pour les actifs de production et de stockage.

Définition

Le risque physique lié au climat fait référence au risque de dommages matériels ou d'interruption de service pour une installation de production ou de stockage causé par un aléa climatique (par exemple, inondation, sécheresse), déterminé par la gravité de cet aléa et l'importance (impact) sur la technologie. Cette analyse inclut uniquement les actifs terrestres, à l'exclusion de l'éolien offshore.

Méthode



Remarque : Les « Shared Socioeconomic Pathways » (SSP) sont des scénarios de changement climatique qui projettent les évolutions socioéconomiques mondiales, élaborés par le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) des Nations Unies.
Source: Zurich Resilience Solutions; Analyse ZRS et Mandala



Probabilité d'occurrence d'un aléa climatique à l'emplacement d'un actif

Première étape statistique: Conversion des périodes de retour en probabilités

Extraire la période de retour pour chaque aléa climatique à partir des données de ZRS.



Utiliser la fonction de masse de probabilité de la loi de Poisson pour calculer la probabilité que l'aléa ne se produise pas au cours des cinq prochaines années.

Exemple: Si la période de retour d'un aléa de rafale de vent est de 100 ans ($\mu = 0,01$), alors la probabilité qu'aucun événement ne se produise en cinq ans est:

$$P(r; t) = \frac{(\mu t)^r}{r!} e^{-\mu t} \longrightarrow P(r = 0; t = 5) = \frac{(5/100)^0}{0!} e^{-5/100} \approx 95.12\%$$

Étape intermédiaire: Détermination de la probabilité cumulée qu'un événement climatique ne se produise pas à l'emplacement d'un actif au cours des cinq prochaines années

Lorsque le niveau d'aléa issu de la base de données ZRS et le score d'impact de risque issu de la matrice d'impact dépassent le seuil « L », la probabilité de non-occurrence sur 5 ans devient l'un des facteurs multipliés dans le calcul de la probabilité cumulée.

Remarque: Cette méthode de multiplication suppose que tous les aléas climatiques sont des événements statistiquement indépendants, ce qui offre une base simplifiée mais pratique pour déterminer la probabilité de survenue d'événements climatiques.

Probabilité qu'aucun aléa climatique ne se produise à l'emplacement de cet actif au cours des cinq prochaines années.



Probabilité que l'aléa climatique A ne se produise pas au cours des cinq prochaines années.



Probabilité que l'aléa climatique B ne se produise pas au cours des cinq prochaines années.



Probabilité que l'aléa climatique C ne se produise pas au cours des cinq prochaines années.



Probabilité que l'aléa climatique...ne se produise pas au cours des cinq prochaines années.

Probabilité finale: Détermination de la probabilité qu'un événement climatique se produise à l'emplacement d'un actif au cours des cinq prochaines années

Probabilité qu'un aléa climatique se produise à l'emplacement de cet actif au cours des cinq prochaines années.



Probabilité que l'aléa climatique A ne se produise pas au cours des cinq prochaines années.

Clé:

Résultat intermédiaire

Résultat calculé



Bibliographie / Références

Alberta Electric System Operator (AESO). « Rapport annuel du marché 2024. » <https://www.aeso.ca>

Association canadienne de l'énergie renouvelable. « En chiffres. » <https://renewablesassociation.ca/by-the-numbers/>

Régie de l'énergie du Canada. « Profil énergétique de la Colombie-Britannique. » <https://www.cer-rec.gc.ca/en/data-analysis/energy-markets/provincial-territorial-energy-profiles/province/british-columbia.html>

Régie de l'énergie du Canada. « Profil énergétique de l'Ontario. » <https://www.cer-rec.gc.ca/en/data-analysis/energy-markets/provincial-territorial-energy-profiles/province/ontario.html>

Régie de l'énergie du Canada. « Profils énergétiques provinciaux et territoriaux. » <https://www.cer-rec.gc.ca/en/data-analysis/energy-markets/provincial-territorial-energy-profiles/index.html>

Régie de l'énergie du Canada. « Profil énergétique du Québec. » <https://www.cer-rec.gc.ca/en/data-analysis/energy-markets/provincial-territorial-energy-profiles/province/quebec.html>

CatIQ. « Les pertes assurées au Canada dues à des événements catastrophiques totalisent 8,5 milliards de dollars canadiens en 2024. » <https://public.catiq.com/2025/01/13/canadian-insured-losses-from-catastrophic-events-total-can-8-5-billion-in-2024/>

CBC News. « Résilience du réseau face aux inondations à Toronto. » <https://www.cbc.ca/news/canada/toronto/toronto-grid-flooding-resilience-1.7271387>

Empower Energy. « Impact de la fumée des feux de forêt sur l'énergie solaire en Alberta. » <https://empowerenergysolar.ca/impact-of-wildfire-smoke-on-solar-energy-in-alberta/>

Gouvernement de l'Alberta. « Mise à jour sur la sortie du charbon. » <https://www.alberta.ca>

Gouvernement du Canada. « Électricité propre. » <https://www.canada.ca/en/services/environment/weather/climatechange/climate-plan/clean-electricity.html>

Gouvernement du Canada. « Règlements sur l'électricité propre et plans de retrait du charbon. » <https://www.canada.ca>

Gouvernement du Canada. « Livre de faits sur l'énergie 2024-2025. » <https://energy-information.canada.ca/sites/default/files/2024-10/energy-factbook-2024-2025.pdf>

Gouvernement du Canada. « Données sur l'électricité à haute fréquence. » <https://energy-information.canada.ca/en/resources/high-frequency-electricity-data>

Gouvernement du Canada. « Programme REACHE du Nord. » <https://www.canada.ca/en/polar-knowledge/northern-reache.html>

Hydro-Québec. « Rapport annuel 2024. » <https://www.hydroquebec.com>

Hydro-Québec. « Rapport annuel 2024. » <https://www.hydroquebec.com/documents-data/official-publications/distribution-activities-2024.html>

Hydro-Québec. « Capacité du réseau : Offres pour économiser cet hiver. » <https://www.hydroquebec.com/residential/energy-wise/offers-to-save-this-winter/grid-capacity.html>

Opérateur indépendant du système d'électricité (IESO). « Programme de renouvellement du marché. » <https://www.ieso.ca/en/Market-Renewal>

Bureau d'assurance du Canada (BAC). « 2024, année record pour les pertes liées aux intempéries au Canada avec 8,5 milliards de dollars. » <https://www.ibc.ca/news-insights/news/2024-shatters-record-for-costliest-year-for-severe-weather-related-losses-in-canadian-history-at-8-5-billion>

Institut d'assurance du Canada. « Les pertes assurées catastrophiques de 2024 battent des records. » <https://www.insuranceinstitute.ca/en/Insights-And-Publications/CanadianUnderwriterArticles/items/2025/01/13/2024-catastrophic-insured-losses-smash-records>

Agence internationale de l'énergie (AIE). « Canada : Mix énergétique. » <https://www.iea.org/countries/canada/energy-mix>

Agence internationale de l'énergie (AIE). « Électricité produite par hydroélectricité au Canada comparée aux exportations nettes, janvier 2021 – février 2024. » <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/electricity-generated-from-hydro-in-canada-in-comparison-with-net-exports-january-2021-february-2024>

Ressources naturelles Canada. « À propos de l'énergie renouvelable au Canada. » <https://natural-resources.canada.ca/energy-sources/renewable-energy/about-renewable-energy-canada>

Ressources naturelles Canada. « Feuille de route pour une énergie propre dans les provinces de l'Atlantique. » <https://natural-resources.canada.ca/sites/nrcan/files/energy/images/publications/2022/A%20CLEAN%20POWER%20ROADMAP%20FOR%20ATLANTIC%20CANADA-ACC.pdf>

Ressources naturelles Canada. « Énergie hydroélectrique. » <https://natural-resources.canada.ca/energy-sources/renewable-energy/hydroelectric-energy>

Ressources naturelles Canada. « Alimenter l'avenir du Canada : Stratégie d'électricité propre. » <https://natural-resources.canada.ca/energy-sources/powering-canada-s-future-clean-electricity-strategy>

Gouvernement de la Nouvelle-Écosse. « Objectifs en matière d'énergie propre. » <https://novascotia.ca>

Société d'électricité des Territoires du Nord-Ouest. « Aperçu du mix énergétique. » <https://www.ntpc.com>

SaskPower. « Mix de production d'électricité. » <https://www.saskpower.com>

Statistique Canada. « La production hydroélectrique diminue en raison de faibles précipitations et de températures record. » <https://www.statcan.gc.ca/o1/en/plus/5776-hydroelectricity-generation-dries-amid-low-precipitation-and-record-high-temperatures>

Gouvernement du Yukon. « Profil énergétique et programme de microgénération. » <https://yukon.ca>



Le logo Zurich et Zurich sont des marques déposées de Zurich Insurance Company Ltd.

Cette publication a été préparée par Zurich Resilience Solutions, une division de Zurich Canadian Holdings Limited (« Zurich Resilience Solutions ») et Zurich Insurance Company Ltd (succursale canadienne) (« Zurich Canada »), en partenariat avec Sussex Strategy Group Inc. (« Sussex Strategy »). Les opinions exprimées dans ce document sont celles de Zurich Resilience Solutions et Zurich Canada à la date de rédaction et sont susceptibles d'être modifiées sans préavis. Cette publication est produite uniquement à des fins d'information. Toutes les informations contenues dans cette publication ont été compilées et obtenues auprès de sources jugées fiables et crédibles, mais aucune déclaration ou garantie, expresse ou implicite, n'est donnée par Zurich Resilience Solutions, Zurich Canada ou l'une de ses sociétés affiliées (« Zurich ») quant à leur exactitude ou exhaustivité. Cette publication ne constitue pas un conseil juridique, en souscription, financier, en investissement ou tout autre type de conseil professionnel. Zurich décline toute responsabilité découlant de l'utilisation ou de la confiance accordée à cette publication. Certaines déclarations contenues dans cette publication sont des déclarations prospectives, notamment, mais sans s'y limiter, celles qui prédisent ou indiquent des événements, tendances, plans, développements ou objectifs futurs. Il ne faut pas accorder une confiance excessive à ces déclarations car, de par leur nature, elles sont soumises à des risques et incertitudes connus et inconnus et peuvent être affectées par de nombreux facteurs imprévus. Le contenu de cette publication n'est pas non plus lié à un produit d'assurance spécifique et ne garantit aucune couverture en vertu d'une police d'assurance. Cette publication ne peut être distribuée ou reproduite, en tout ou en partie, sur d'autres canaux de communication, sans l'autorisation écrite préalable de Zurich Resilience Solutions ou Zurich Canada. Zurich n'accepte aucune responsabilité pour toute perte résultant de l'utilisation ou de la distribution de cette publication. Cette publication ne constitue ni une offre ni une invitation à la vente ou à l'achat de valeurs mobilières dans aucune juridiction.

©2025 Zurich Insurance Company Ltd. Tous droits réservés.

Sussex Strategy Group

En tant que premier cabinet de relations publiques au Canada, Sussex s'est forgé une réputation d'excellence, de confiance et d'innovation depuis plus de 25 ans. Sussex accompagne ses clients du secteur de l'énergie dans un contexte en pleine mutation, marqué par l'émergence de nouvelles technologies, l'évolution des marchés et des politiques. À l'avant-garde de la transition énergétique canadienne, Sussex propose des stratégies permettant de gérer les risques, de saisir les opportunités et de favoriser une croissance durable, tant dans les secteurs traditionnels que dans les industries émergentes.

sussex