

Ressources naturelles Canada
Gouvernement du Canada
Ottawa (Ontario)

Objet : Stratégie nationale sur l'électricité — Renforcer les capacités tout au long de la chaîne de valeur

Courriel : electricity-electricite@nrcan-rncan.gc.ca

Hydroélectricité Canada est heureuse de soumettre ses commentaires sur les enjeux de chaîne d'approvisionnement qui touchent le secteur de l'hydroélectricité.

À titre d'association nationale représentant l'industrie hydroélectrique canadienne — dont 70 producteurs d'électricité publics et privés, fabricants d'équipement et sociétés d'ingénierie —, Hydroélectricité Canada regroupe des membres qui représentent plus de 95 % de la puissance hydroélectrique installée au pays et exploitent plus de 600 centrales d'un océan à l'autre. Comme nos membres comptent à la fois des clients et des fabricants d'équipement, nous espérons que les commentaires qui suivent offriront une perspective globale utile à la mise en œuvre de la stratégie nationale sur l'électricité du Canada.

Le secteur de l'électricité connaît une forte hausse de la demande, attribuable à la fois à l'électrification de l'économie mondiale et à la multiplication des centres de données à grande échelle. Ces derniers exercent une pression particulière sur le secteur, car leurs promoteurs sont peu sensibles aux prix et imposent des échéanciers de développement serrés.

Par conséquent, la demande d'équipement spécialisé dépasse l'offre. En outre, les mesures commerciales, les droits de douane et les contrôles à l'importation et à l'exportation bouleversent les relations traditionnelles au sein des chaînes d'approvisionnement. Comme ces événements récents perturbent les relations établies et intensifient la concurrence, ils ont déjà — et devraient continuer d'avoir — des **répercussions importantes sur les coûts et les échéanciers des projets**.

Ces questions sont abordées plus précisément dans les réponses ci-dessous aux questions posées dans le Guide de discussion.

I. Thème de discussion : les défis de la chaîne d'approvisionnement

1) Quels sont les principaux risques liés à la chaîne d'approvisionnement auxquels le Canada fait face aujourd'hui?

Pour le secteur hydroélectrique, les principaux risques liés à la chaîne d'approvisionnement au Canada sont les suivants :

- 1) un nombre restreint de fournisseurs qualifiés pour certains équipements, ce qui crée une dépendance à l'égard d'une source unique;
- 2) de longs délais pour les procédés spécialisés;
- 3) la hausse des prix d'approvisionnement et les goulots d'étranglement chez les sous-traitants, attribuables à la croissance de la demande et à une exposition accrue aux perturbations commerciales et géopolitiques, y compris les restrictions imposées par les clients et les exigences de contenu national qui réduisent la marge de manœuvre en matière d'approvisionnement;

4) les contraintes liées à la main-d'œuvre qualifiée.

Contraintes chez les fournisseurs — Le défi dépasse la seule concurrence entre projets hydroélectriques. **L'hydroélectricité dépend des mêmes capacités industrielles rares que la production thermique et nucléaire, l'exploitation minière, le pétrole et le gaz, la défense et l'aérospatiale : grandes pièces moulées et forgées, alliages spéciaux, grandes pièces mécanosoudées, usinage de très grandes pièces, bobinage et isolation de précision, traitement thermique, contrôle non destructif, ingénierie spécialisée, surveillance de la qualité et main-d'œuvre expérimentée.** Les fournisseurs qui desservent plusieurs de ces secteurs répartissent leur capacité limitée selon l'adéquation technique, l'attrait commercial, la certitude des échéanciers et les engagements fermes des clients. Une poussée de la demande dans un seul secteur peut donc accaparer la capacité disponible ou allonger les délais des autres.

Intelligence artificielle — Cette concurrence devrait s'intensifier avec la construction rapide de centres de données liée à l'IA, qui accroît à la fois les besoins en production, en raccordements au réseau, en postes, en transformateurs, en appareillage de commutation, en refroidissement et en alimentation de secours. Les centres de données se disputent directement l'équipement électrique, les ressources de construction et la main-d'œuvre spécialisée, tout en accélérant les investissements dans l'hydroélectricité, le nucléaire, le gaz naturel et les infrastructures de réseau. La capacité des fournisseurs devient ainsi une contrainte intersectorielle et mondiale, non un enjeu propre à l'hydroélectricité ou à l'électricité.

Risque géopolitique — Le risque géopolitique réduit la prévisibilité des chaînes d'approvisionnement mondiales. Conflits régionaux, sanctions, droits de douane, contrôles à l'exportation, alliances commerciales changeantes, restrictions sur les matériaux et technologies critiques et perturbations des routes maritimes peuvent rapidement nuire à la disponibilité, aux coûts et aux délais. Ils peuvent aussi compromettre une stratégie d'approvisionnement éprouvée en limitant l'accès à un fournisseur, à un sous-traitant, à une matière première ou à un corridor de transport. D'où l'importance de diversifier les sources, d'avoir une visibilité au-delà des fournisseurs de premier rang, de planifier par scénarios et de qualifier des solutions de rechange au Canada ou dans des pays alliés.

Pénurie de main-d'œuvre qualifiée — Autre risque, sans doute celui que l'investissement en capital permet le moins facilement de résoudre : la pénurie de main-d'œuvre industrielle qualifiée et la faiblesse de la relève. Soudeurs, machinistes, mécaniciens industriels de chantier, électriciens industriels, chaudronniers, monteurs, bobineurs, peintres et inspecteurs se font déjà rares. La démographie aggrave la situation : quelque 700 000 gens de métier qualifiés devraient prendre leur retraite au Canada cette décennie, alors que moins de la moitié des apprentis inscrits terminent leur formation. Parallèlement, les jeunes générations se tournent vers des carrières en logiciel, en IA, en biomédecine et dans d'autres domaines technologiques, perçues comme plus modernes, mieux rémunérées et plus souples que le travail en atelier ou sur le terrain. La relève dans la fabrication lourde ne se forme donc pas au rythme requis, et les métiers les plus exposés sont précisément ceux dont dépend notre industrie.

Accroître la capacité ne suffit pas à accroître la production : une machine-outil, un four ou un atelier ne produisent rien sans opérateur, programmeur, soudeur ou inspecteur certifié, et ces qualifications s'acquièrent en années, non en mois. **L'automatisation facilite le travail répétitif à grand volume, mais notre industrie produit souvent des pièces grandes, uniques, à tolérances serrées et finies à la main : soudage sur le terrain, assemblage, rubanage et bobinage, réglage de grandes pièces** sur

des aléseuses, **meulage des aubes et inspection visuelle et dimensionnelle** de composants uniques. Ces tâches ne peuvent pas être entièrement automatisées et reposent sur un savoir tacite que les travailleurs emportent avec eux à la retraite. Toute stratégie nationale visant à accroître la capacité manufacturière doit donc **financer la relève — apprentissage**, heures de **formation** parrainées **par les employeurs**, **immigration** arrimée à des métiers précis **et promotion des carrières industrielles** auprès des jeunes Canadiens — **avec le même sérieux que l'équipement et les installations**.

Le carnet de commandes et la demande crédible associée aux projets à venir devraient être gérés comme un portefeuille unifié. Il faut pour cela cerner tôt les besoins de capacité à risque élevé, modéliser la demande des secteurs concurrents lorsque c'est possible, réserver progressivement la capacité de fabrication, ainsi que maintenir et développer des sources d'approvisionnement de rechange et des fournisseurs qualifiés.

Ce constat confirme aussi la nécessité que les services publics d'électricité et les gouvernements fassent connaître plus tôt leurs besoins, puisque l'industrie ne peut investir dans de nouvelles capacités au Canada que si le signal de la demande à long terme est suffisamment crédible pour justifier des investissements dans les installations, l'équipement, les qualifications et la main-d'œuvre.

2) Quels composants, matériaux ou équipements sont actuellement les plus difficiles à obtenir? Quelles catégories d'équipement présentent le risque d'approvisionnement le plus élevé?

Les équipements de grande taille et de forte puissance sont généralement les plus difficiles à obtenir :

- Turbines
- Alternateurs
- Grands transformateurs de puissance
- Appareillage de commutation haute tension
- Autres équipements électriques spécialisés pour lesquels la capacité des fournisseurs est limitée et les délais de livraison sont longs.

Dans notre domaine d'activité — l'équipement hydroélectrique —, les catégories les plus à risque sont celles qui exigent des équipements ou des procédés spécialisés, qui dépendent d'une source unique ou d'un choix restreint, ou qui se heurtent à une rareté connue ou à une dépendance envers la capacité de sous-traitants ou une matière première spécialisée. Nos groupes critiques actuels comprennent notamment :

- Grandes pièces mécanosoudées
- Capacité de tournage vertical de grande dimension (plus de 8 m)
- Capacité d'usinage horizontal de grande dimension (plus de 6 m)
- Paliers en polytétrafluoroéthylène (PTFE)
- Refroidisseurs
- Enroulements d'alternateur

Les autres catégories d'équipement hydroélectrique à risque moyen comprennent :

- Tôles de stator
- Résines
- Remise à neuf d'arbres
- Joints d'arbre en carbone
- Services de main-d'œuvre sur le chantier (décontamination, peinture)

- Remise à neuf des aubes directrices
- Paliers garnis de régule
- Pièces moulées
- Détecteurs de température à résistance (DTR) d'encoche de stator

Bien souvent, l'enjeu n'est pas de trouver un fournisseur, mais d'obtenir un créneau de production.

3) Quels composants électriques essentiels peut-on actuellement obtenir en quantité suffisante auprès de fabricants canadiens?

Le Canada n'a ni la capacité ni le savoir-faire nécessaires pour répondre à la demande de l'industrie dans le cas de nombreux composants électriques essentiels.

Le Canada dispose de capacités appréciables dans les domaines suivants :

- Bobines imprégnées de résine et enroulements à barres
- Systèmes d'isolation
- Essais
- Certains travaux de remise à neuf d'alternateurs
- Approvisionnement en acier
- Mécanosoudage et usinage de grandes pièces

Toutefois, « quantités suffisantes » dépend du calendrier, de la tension, de la famille de conception, des dimensions, de l'état de qualification et de la concurrence d'autres projets. La capacité canadienne peut répondre à une part importante de la demande, mais elle ne suffit pas encore à éliminer le recours à des sources internationales qualifiées, notamment pour les tôles de stator, les enroulements spécialisés haute tension et les pôles de rotor.

Au-delà de l'équipement de production, d'autres composants sont essentiels au raccordement au réseau : transformateurs, systèmes d'excitation, convertisseurs statiques de fréquence, appareillage de commutation, disjoncteurs, tableaux, armoires de commande, systèmes de protection et de contrôle-commande, câblage et jeux de barres.

Ce sont souvent leurs sous-composants qui constituent la véritable contrainte :

- Traversées
- Changeurs de prises en charge
- Acier électrique à grains orientés
- Conducteurs et enroulements en cuivre
- Huiles et matériaux isolants
- Transformateurs de mesure
- Relais
- Disjoncteurs
- Contacteurs
- Variateurs
- Automates programmables
- Cartes électroniques de commande

Le Canada dispose de capacités d'assemblage, de construction de panneaux, d'intégration et d'essai dans plusieurs de ces domaines, mais il demeure tributaire de sources mondiales pour des matières premières, des composants électroniques et des sous-ensembles spécialisés essentiels. De plus, ce segment subit désormais la plus forte pression de la demande à l'échelle mondiale, sous l'effet de la

modernisation des réseaux et de la croissance des centres de données, sans parler des tensions géopolitiques.

4) Où se trouvent les plus grandes lacunes de l'écosystème manufacturier canadien?

Depuis la fermeture de la Canadian Steel Foundries, à Montréal, en 2003, le Canada n'est plus en mesure de couler et de forger les grands composants d'équipement, et sa capacité de production de grands transformateurs de puissance demeure limitée. Si le Canada dispose de solides capacités en construction, en ingénierie et en services hydroélectriques, ainsi que dans certains créneaux de fabrication de câbles, de pompes et de transformateurs, sa capacité de production de composants plus grands et hautement spécialisés reste restreinte, ce qui maintient ces catégories dans la dépendance envers des fournisseurs étrangers.

Les plus grandes lacunes se situent dans la fabrication lourde spécialisée, et plus particulièrement dans l'usinage de grandes pièces (plus de 8 m). Le Canada manque également de grandes fonderies capables de couler des pièces de plus de 90 tonnes en acier inoxydable fortement allié, conformément aux exigences de qualité de l'industrie hydroélectrique.

Notre industrie s'appuie fortement sur des partenaires bien établis en Europe et en Asie pour les grandes pièces moulées destinées aux roues de turbine ainsi que pour les grandes pièces forgées destinées aux arbres de turbine et d'alternateur.

Le Canada demeure aussi très dépendant de FEO étrangers de premier rang pour l'équipement hydroélectrique essentiel. Les grands groupes turbine-alternateur sont dominés par des FEO de propriété étrangère, qui peuvent se retirer du marché, y réduire leur présence ou ne pas soumissionner dans certaines régions du Canada. Vu le petit nombre de fournisseurs qualifiés, le désengagement d'un seul acteur peut réduire fortement la concurrence et la capacité disponible, avec des répercussions en cascade sur l'ensemble de la chaîne d'approvisionnement hydroélectrique canadienne.

II. Thème de discussion : les leçons tirées à l'échelle mondiale et les risques

1) Quelles leçons faut-il tirer des récentes perturbations des chaînes d'approvisionnement mondiales?

Les droits de douane, les conflits géopolitiques et la demande concurrente de secteurs voisins ont fait grimper considérablement la demande tout en compromettant la disponibilité de composants essentiels. Ces événements récents ont montré à quel point les coûts, les échéanciers et la sécurité de l'approvisionnement peuvent être touchés rapidement.

Deuxième leçon : une perturbation de la chaîne d'approvisionnement ne commence généralement pas chez un fournisseur de premier rang. Elle survient plus en amont : dans une fonderie, une forge, un laminier à tôles, chez un producteur d'alliages spéciaux, dans un atelier de revêtement ou de traitement thermique, chez un fabricant de composants électroniques, ou encore dans une mine ou une raffinerie qui fournit un minéral critique.

Troisième leçon : la résilience doit se concevoir des années à l'avance plutôt que s'improviser en pleine crise. Il faut pour cela associer chaque pièce critique à ses dépendances envers les sous-traitants, qualifier des sources et des matériaux de rechange avant d'en avoir besoin, privilégier des conceptions et des spécifications qui offrent plus d'une option d'approvisionnement, constituer des stocks tampons pour les articles à fort impact et difficilement substituables, prévoir dans les contrats les risques de force majeure, d'indexation des prix et de changement législatif, et réserver tôt de la capacité auprès de partenaires de confiance.

Il faut aussi investir dans les relations avec les fournisseurs et dans la transparence, car en période de pénurie, la capacité disponible va aux clients visibles, prévisibles et engagés.

2) Quelles leçons le Canada peut-il tirer d'autres pays qui ont réussi à renforcer leurs chaînes d'approvisionnement?

D'autres pays sont passés d'encouragements généraux à des mécanismes et à des politiques concrets qui permettent à l'industrie d'investir en toute confiance. L'applicabilité de ces politiques, en tout ou en partie, au contexte canadien mérite un examen plus approfondi.

Ces exemples montrent que le soutien public est le plus utile lorsqu'il transforme une demande future incertaine en engagements assez concrets pour justifier l'investissement privé. Pour le Canada, l'enjeu est de rendre la capacité bancable, réservée et mobilisable au moment où les projets d'électricité en auront besoin.

Établir des cibles de capacité contraignantes afin de créer un signal de demande propice à l'investissement. Le règlement de l'Union européenne pour une industrie « zéro net » vise une production intérieure couvrant au moins 40 % des besoins annuels de déploiement d'ici 2030, en incluant explicitement les technologies de réseau et d'hydroélectricité. Le règlement européen sur les matières premières critiques y ajoute des valeurs de référence pour l'extraction, la transformation et le recyclage, ainsi qu'un plafond de dépendance envers un seul pays tiers. Des cibles publiées donnent aux fabricants un objectif concret sur lequel miser.

Le Canada affiche une ambition comparable du côté de la demande : la Loi canadienne sur la responsabilité en matière de carboneutralité inscrit dans la loi l'objectif de carboneutralité d'ici 2050, assorti de cibles intermédiaires quinquennales; le Règlement sur l'électricité propre trace la voie vers un réseau carboneutre; et la stratégie nationale sur l'électricité vise approximativement à doubler l'approvisionnement en électricité du Canada d'ici 2050, en complément du Cadre stratégique de la politique d'approvisionnement « Achetez canadien », de la Stratégie canadienne sur les minéraux critiques, de la Loi visant à bâtir le Canada et du Bureau des grands projets. La différence est que les cibles canadiennes portent sur les émissions, la capacité de production et l'accélération des approbations, alors que l'UE fixe aussi une cible mesurable pour la capacité manufacturière intérieure nécessaire à leur atteinte. Doubler **l'approvisionnement en électricité** n'est possible que si **la base industrielle peut fabriquer l'équipement nécessaire; la lacune à combler est donc l'absence d'une cible de capacité pour** la fabrication d'équipement de réseau et d'équipement **hydroélectrique**.

Accorder aux fournisseurs des droits prioritaires, plutôt que de simples prévisions. Au Royaume-Uni, le gestionnaire de réseau de transport National Grid a conclu un partenariat de plusieurs milliards de livres pour ses travaux de transport d'électricité : il accorde le statut de partenaire régional de réalisation, assorti d'un droit de premier refus sur les travaux de postes électriques, précisément pour donner aux fournisseurs la confiance nécessaire pour investir dans leur capacité. Il s'agit d'une réservation de capacité appliquée à l'échelle des infrastructures nationales.

Permettre à l'État de détenir et de revendre des droits de capacité. La réserve stratégique de minéraux critiques de l'Australie acquiert des droits sur la production intérieure et les revend à des pays partenaires, partageant ainsi un risque qu'aucun acheteur ne pourrait assumer seul.

Échanger du financement public contre des engagements de garantie d'approvisionnement. La législation japonaise sur la sécurité économique désigne certains produits critiques et accorde du financement public aux entreprises qui déposent des plans de garantie d'approvisionnement — un modèle pratique pour réduire le risque lié à la capacité réservée avant l'attribution d'un projet.

Payer pour les résultats livrés, et non pour des promesses. En Inde, les incitatifs liés à la production sont versés selon la production supplémentaire effectivement réalisée, plutôt que sous forme de subventions initiales. Le programme d'incitatifs liés à la production verse des incitatifs en espèces de 4 % à 18 % sur les ventes supplémentaires au-delà d'une année de référence, dans 14 secteurs. Sa caractéristique clé est que les incitatifs sont liés à la performance et versés sur la production réalisée

— non sous forme de subventions initiales —, ce qui répond à l’objection de prudence budgétaire qu’un auditoire gouvernemental canadien pourrait soulever.

Le point commun : aucun de ces pays n’a visé l’autosuffisance complète. Chacun conjugue des capacités nationales ciblées et un accès fiable à la capacité de pays alliés — l’équilibre même que le Canada devrait rechercher, en concentrant son soutien sur les goulots d’étranglement là où la demande à long terme est visible et durable.

3) Dans quels segments de la chaîne d’approvisionnement le Canada jouit-il d’un avantage commercial distinct, ou d’une réelle possibilité d’en acquérir un?

Le Canada possède un net avantage en ce qui concerne la connaissance du cycle de vie des installations hydroélectriques, l’ingénierie de remise à neuf, le service sur le terrain, les interventions pendant les arrêts, la surveillance de la qualité et l’intégration d’équipement pour un vaste parc installé. **Il a aussi la possibilité d’accroître ses capacités nationales en mécanosoudage et en usinage de grandes pièces, en systèmes de bobinage et d’isolation d’alternateurs, en remise à neuf de paliers, en vannes et en travaux de réparation spécialisés, là où la proximité et la rapidité d’intervention créent de la valeur.**

La possibilité la plus intéressante ne consiste pas forcément à reproduire au pays chaque intrant mondial, mais plutôt à bâtir un solide pôle canadien d’ingénierie, de remise à neuf, de fabrication critique, d’essais et de service rapide, appuyé par des sources fiables de pays alliés pour certaines pièces moulées et forgées, certaines tôles et certains produits de base.

Le Canada dispose aussi d’un avantage sous-exploité : son réseau d’accords commerciaux correspond aux régions où se trouvent nos besoins d’approvisionnement. L’AECG a éliminé les droits de douane sur environ 98 % des lignes tarifaires entre le Canada et l’Union européenne, tandis que le PTPGP donne accès à l’Asie-Pacifique, notamment au Japon, à la Malaisie, au Vietnam, à Singapour et à l’Australie. Cet accès préférentiel à l’Europe, à l’Asie-Pacifique et à l’Amérique du Nord constitue un avantage structurel à protéger et à mettre en valeur.

C’est précisément d’Europe et d’Asie que proviennent nos grandes pièces moulées et forgées, nos tôles et nos composants spécialisés. La possibilité d’importer ces intrants à droits faibles ou nuls, avec des règles d’origine et des dispositions de cumul avantageuses, réduit notre coût rendu, améliore la compétitivité de l’équipement assemblé et intégré au Canada et procure une souplesse d’approvisionnement dont bien des administrations ne disposent pas.

Le gouvernement a l’occasion d’exploiter cet avantage de façon plus délibérée. **Le maintien de droits faibles ou nuls** sur les intrants manufacturiers, les biens d’équipement et les composants qui ne sont pas produits au Canada — et **l’assurance que les droits de douane et les contre-mesures tarifaires ne pénalisent pas involontairement les fabricants canadiens** qui importent ce qu’ils ne peuvent se procurer au pays — renforceraient les capacités nationales. Le Canada se positionnerait ainsi comme un endroit efficace pour fabriquer, intégrer et exporter de l’équipement hydroélectrique et de réseau, en s’appuyant sur l’approvisionnement de pays alliés pendant que la base industrielle nationale se développe dans les domaines où cela est stratégiquement pertinent.

III. Thème de discussion : la recherche et l’analyse

1) Sur quoi vos organisations concentrent-elles leurs efforts dans le secteur? Où voyez-vous des lacunes dans les connaissances?

La recherche et le développement progressent actuellement dans plusieurs directions à la fois dans notre secteur.

À l’échelle internationale, les travaux portent sur quatre grands axes :

- **La numérisation et les jumeaux numériques** des groupes hydroélectriques, qui associent les machines physiques à des modèles de calcul en temps réel pour soutenir la surveillance de l'état, la maintenance prédictive et la gestion de l'ensemble du cycle de vie;
- **Les technologies de flexibilité**, comme les groupes à vitesse variable et l'exploitation en court-circuit hydraulique, démontrées à l'échelle de centrales dans le cadre du programme XFLEX HYDRO de l'Union européenne, qui élargissent la plage d'exploitation des centrales à réserve pompée et permettent une régulation plus fine de la production comme de la consommation;
- **La performance environnementale**, notamment des roues de turbine conçues pour préserver les poissons et une meilleure teneur en oxygène dissous;
- **Les technologies de réparation de pointe**, comme le rechargement laser, le rechargement par arc plasma transféré et la projection à froid, qui permettent de remettre en état les roues, les joints d'arbre et les surfaces d'usure plutôt que de les remplacer.

Une bonne part de ces efforts découle de l'âge du parc installé et de la reconnaissance du fait que **prolonger la vie des actifs existants et les moderniser est souvent plus rapide et moins gourmand en matériaux que d'en construire de nouveaux.**

Stabilisation du réseau pour mieux intégrer l'éolien et le solaire — La stabilisation du réseau constitue un domaine étroitement lié. À mesure que l'éolien et le solaire raccordés par onduleurs supplantent la production synchrone, le réseau perd l'inertie, la puissance de court-circuit et le soutien dynamique de la tension que les machines tournantes fournissent depuis toujours, comme sous-produit de la production d'électricité. Parmi les technologies mises au point pour remplacer ces services figurent les compensateurs synchrones, les onduleurs formateurs de réseau et l'inertie synthétique, les dispositifs FACTS comme les STATCOM et les compensateurs statiques de puissance réactive, la réponse rapide en fréquence, les stabilisateurs de puissance et la commande étendue au moyen d'unités de mesure de phaseurs. Ces technologies concernent directement l'hydroélectricité, puisque les groupes hydroélectriques fournissent déjà, de façon intrinsèque, de l'inertie, de la puissance réactive et une réponse rapide, et qu'on peut les adapter davantage grâce à l'exploitation en mode compensateur, à la vitesse variable et à la modernisation des systèmes d'excitation et de contrôle-commande. **L'hydroélectricité n'est donc pas seulement un actif de production, mais aussi un actif de stabilité de plus en plus précieux — un argument qui mérite plus de visibilité dans la planification énergétique canadienne.**

Qualification des matériaux et des procédés pour réduire les risques liés à la chaîne d'approvisionnement — Nos membres s'emploient à réduire les risques liés à la chaîne d'approvisionnement par la qualification des matériaux et des procédés. Nous travaillons à qualifier de nouveaux matériaux isolants pour nos enroulements, précisément pour nous affranchir de la dépendance envers une source unique dans un segment où l'approvisionnement en mica, en amont, est concentré et s'est déjà révélé fragile. Nous qualifions également des technologies de fabrication additive pour le régule et le PTFE, ce qui répond à la fois à une contrainte de capacité et au petit nombre de fournisseurs spécialisés offrant peu de solutions de rechange. Plus largement, nous recourons à l'impression 3D lorsque cela se justifie sur les plans technique et économique — par exemple pour l'outillage, les petits composants ou les composants désuets, ainsi que pour certaines réparations —, car elle peut réduire les délais, diminuer la dépendance envers une seule filière de fabrication et assurer la fourniture de pièces qui ne sont plus offertes sur le marché pour les groupes

plus anciens. **Dans chaque cas, l'objectif est le même : transformer une dépendance technique envers une source unique en un choix qualifié entre plusieurs options.**

Lacunes dans les connaissances

Les lacunes que nous observons se situent principalement dans trois domaines :

- Les parcours de qualification : il n'existe au Canada aucun cadre commun ni mécanisme de financement pour valider de nouveaux matériaux et procédés dans les infrastructures essentielles, et les critères d'acceptation varient d'un service public d'électricité à l'autre; chaque FEO assume donc seul la totalité des coûts et de la durée de la qualification, qui s'étend souvent sur plusieurs années pour un système d'isolation ou un procédé de réparation structurelle.
- Les connaissances liées aux métiers spécialisés, comme il est mentionné plus haut.
- L'interface entre la technologie et la chaîne d'approvisionnement : il existe très peu d'analyses sur l'incidence des choix de conception et de matériaux sur le risque d'approvisionnement, ou sur les investissements en R-D qui permettraient le plus efficacement de réduire ce risque.

Comblar ces lacunes permettrait à l'industrie et au gouvernement d'orienter le financement de la recherche vers les contraintes qui freinent la réalisation des projets, plutôt que vers la technologie en vase clos.

Une partie de la solution réside dans des collaborations sur lesquelles le Canada est déjà bien placé pour miser. Travailler avec des universités et des instituts de recherche canadiens — Polytechnique Montréal, l'École de technologie supérieure (ÉTS), l'Université Laval et d'autres établissements possédant une expertise reconnue en hydraulique, en matériaux et en machines électriques —, ainsi qu'avec les capacités de recherche des services publics d'électricité, comme l'IREQ, le centre de recherche d'Hydro-Québec, permettrait de mettre en commun la caractérisation des matériaux, le vieillissement accéléré, les essais et la modélisation, plutôt que de laisser chaque FEO les reproduire séparément. L'IREQ dispose d'infrastructures de laboratoire, de capacités d'essai en isolation et en haute tension et d'une expérience de validation sur le terrain qu'aucun fabricant ne peut reproduire seul. Des programmes conjoints donneraient aussi aux services publics d'électricité une confiance précoce dans les solutions de rechange en cours de qualification, ce qui constitue souvent le véritable obstacle à leur adoption.

Ce type de travail en consortium est aussi le moyen le plus efficace de former la prochaine génération d'ingénieurs et de technologues dans un domaine où le savoir spécialisé est concentré entre les mains d'un petit groupe d'experts vieillissant.

Le soutien gouvernemental rendrait cette approche réalisable :

- Un cofinancement ciblé de programmes de qualification préconcurrentiels, dont les coûts seraient partagés entre les programmes fédéraux, les services publics d'électricité, les instituts de recherche et l'industrie, répartirait le coût et le risque liés à la validation de nouveaux matériaux, de technologies de réparation et de procédés de fabrication, et raccourcirait les cycles de qualification pluriannuels qui découragent actuellement le recours à une deuxième source.

- Un soutien aux infrastructures d'essai partagées, aux essais de premier article et aux projets de démonstration sur des installations en exploitation, ainsi qu'aux chaires de recherche et aux stages industrie-université dans les technologies d'équipement hydroélectrique et électrique aurait un effet direct et mesurable sur la résilience de la chaîne d'approvisionnement. Chaque qualification réussie transformerait alors une dépendance envers une source unique en un véritable choix d'approvisionnement, tout en formant la relève.

2) Quels cadres et quelles méthodes d'analyse utilisez-vous dans vos travaux?

Dans notre secteur, **le recours à l'IA** illustre bien ces méthodes d'analyse : il permet de repérer des fournisseurs potentiels, des capacités de fabrication qualifiées et d'autres sources de matériaux, bien au-delà de notre base de fournisseurs établie.

Traditionnellement, la prospection de marché reposait sur les réseaux personnels de nos acheteurs et de nos ingénieurs, les salons professionnels et les recommandations de fournisseurs existants. Cette méthode était efficace, mais lente et inévitablement biaisée en faveur des entreprises que nous connaissions déjà. Les outils d'IA nous permettent de balayer rapidement un champ beaucoup plus vaste : repérer les entreprises dotées des bons procédés, d'équipement de la bonne taille, des certifications et de l'expérience sectorielle voulues, y compris dans des secteurs voisins de l'hydroélectricité comme le nucléaire, l'exploitation minière, la défense et l'industrie lourde, où les capacités sous-jacentes sont transférables. Ces outils sont tout aussi utiles pour la recherche de matériaux : ils permettent de trouver des nuances de remplacement, d'autres spécifications et des producteurs dans d'autres régions lorsqu'un matériau se raréfie. Le résultat n'est pas une décision, mais une liste de départ que nos équipes d'ingénierie, de qualité et d'approvisionnement valident ensuite au moyen du processus de qualification habituel, y compris des audits et des essais. Ce qui change, c'est la rapidité et l'étendue de la prospection — exactement ce qui compte lorsqu'une source unique devient indisponible et qu'il faut trouver rapidement une solution de rechange crédible.

Du côté des risques, des outils simples et transparents peuvent mieux convenir que des modèles complexes, puisque l'objectif est d'éclairer la prise de décision. Les services publics d'électricité et les fabricants commencent par décomposer la portée des travaux en familles de produits : pièces moulées, pièces forgées, grandes pièces mécanosoudées, usinage, enroulements et isolation, paliers, refroidisseurs, composants électriques, services sur le chantier. Ils évaluent ensuite chacune selon un petit nombre de facteurs : la fréquence des besoins, la probabilité qu'une capacité qualifiée soit disponible au moment voulu, le degré de concentration de la base de fournisseurs, la durée et la fiabilité des délais de livraison, l'exposition géographique et géopolitique, et les conséquences d'un retard sur le projet.

Cette démarche produit une cote de risque et une carte thermique simple qui montre d'un coup d'œil quelles familles de produits sont critiques, lesquelles présentent un risque moyen et lesquelles peuvent être gérées de façon conventionnelle. Nous appliquons ensuite une logique d'atténuation uniforme : réserver tôt la capacité, développer ou qualifier une deuxième source, ajuster la spécification ou la conception lorsque cela élimine une contrainte, constituer des stocks de matériaux stratégiques, ou encore accepter et surveiller le risque lorsque l'exposition est tolérable. Chaque famille de produits a un responsable, une mesure d'atténuation et une date de révision.

IV. Thème de discussion : perspectives et possibilités

1) Où se situe la fine pointe du développement technologique dans la chaîne d’approvisionnement électrique? Y a-t-il de nouvelles technologies en développement que le gouvernement du Canada devrait surveiller?

Pour la chaîne d’approvisionnement hydroélectrique, la fine pointe comprend :

- Outils numériques de gestion du cycle de vie
- Jumeaux numériques
- Inspection assistée par l’IA
- Maintenance prédictive
- Automatisation avancée et systèmes de soutien au réseau
- Procédés modernisés de bobinage, d’isolation et de traitement des matériaux.

Comme les centrales hydroélectriques peuvent durer 100 ans ou plus, les technologies qui prolongent la durée de vie utile des actifs existants, améliorent la visibilité sur leur état et en assouplissent l’exploitation peuvent être aussi importantes que le nouvel équipement de production. Le gouvernement devrait aussi suivre de près les technologies qui accroissent la productivité et la traçabilité de la fabrication, notamment l’usinage avancé, l’inspection robotisée, les registres numériques de qualité et les normes d’échange de données qui permettent une définition technique précoce, sans attendre les dessins définitifs.

2) Comment le gouvernement du Canada pourrait-il mieux jouer son rôle pour que le Canada contribue au développement des technologies de pointe?

Le gouvernement fédéral peut soutenir la collaboration entre les services publics d’électricité, les FEO, les universités, les centres de recherche et les fabricants; créer des voies d’approvisionnement pour les innovations canadiennes; et financer les métiers spécialisés et la base de connaissances en ingénierie nécessaires pour soutenir la croissance ambitieuse de notre industrie.

Les programmes devraient tenir compte du fait que ces démarches sont de longue haleine et soutenir l’ensemble du parcours, de la conception jusqu’à l’approbation et à l’application par l’utilisateur final.

3) Quelles modifications des politiques fédérales profiteraient le plus à la résilience de la chaîne d’approvisionnement?

Les plus grands avantages découleraient de **portefeuilles pluriannuels prévisibles de projets d’infrastructure, d’approbations de projets plus rapides et mieux coordonnées, et de programmes qui soutiennent le renforcement des capacités avant l’attribution des projets.**

Des incitatifs ciblés, comme des crédits ou remboursements d’impôt et des subventions, devraient aider les entreprises canadiennes à acquérir de l’équipement spécialisé, à agrandir leurs installations, à qualifier leurs procédés et à former une main-d’œuvre aux compétences rares.

La politique d’approvisionnement devrait tenir compte de la résilience, de la valeur sur le cycle de vie, des capacités nationales et du risque de livraison, et pas seulement du prix initial, tout en évitant des règles de contenu local rigides là où il n’existe aucune capacité canadienne qualifiée.

Le gouvernement peut également faciliter l'établissement de prévisions communes de la demande, la cartographie des fournisseurs, l'uniformisation des attentes en matière de qualification et l'accès à des capacités spécialisées dans des pays alliés.

4) Y a-t-il autre chose que le gouvernement fédéral devrait comprendre au sujet des chaînes d'approvisionnement du réseau électrique, alors que le Canada se prépare à une forte croissance de la demande d'électricité et à la modernisation du réseau?

Calendrier et état de préparation — L'un des principaux enjeux est celui du calendrier et de l'état de préparation. La capacité de fabrication de l'équipement hydroélectrique et de réseau essentiel doit souvent être réservée des années avant les dessins définitifs ou le lancement officiel des projets, et plusieurs grands programmes se disputeront les mêmes fonderies, machines-outils, lignes de bobinage, spécialistes et fournisseurs qualifiés. Des perspectives nationales crédibles en matière de demande permettraient aux fabricants d'investir et aux FEO de réserver de la capacité en courant moins de risques commerciaux. La résilience doit aussi être envisagée comme le résultat de tout un écosystème : la capacité d'ingénierie, les approbations des clients, les matières premières, les sous-traitants, la surveillance de la qualité, le transport et les ressources sur le terrain doivent tous être alignés.

Préserver la possibilité de s'approvisionner à l'échelle mondiale — En outre, le Canada devrait conserver la latitude de recourir à des sources mondiales qualifiées tout en développant délibérément, et suffisamment tôt, ses capacités nationales là où se trouvent les goulots d'étranglement et où la demande à long terme est visible et durable.

Soutenir le développement de la main-d'œuvre qualifiée — De nombreuses industries, dont la production et la distribution d'électricité, l'exploitation minière, la défense et les infrastructures, partagent des fournisseurs et des matériaux critiques, ainsi que le même bassin de travailleurs qualifiés. Sans augmentation nette des talents techniques, la concurrence pour ces travailleurs amènera les secteurs à se cannibaliser et freinera la croissance économique et industrielle dans son ensemble.

Conclusion

Le Canada ne réalisera son ambition d'électrifier son économie, de moderniser son réseau et d'accroître considérablement sa production d'électricité que s'il accorde la même attention aux chaînes d'approvisionnement industrielles et à la main-d'œuvre qui rendent cette croissance possible. Dans le secteur de l'hydroélectricité, les contraintes les plus importantes ne tiennent pas à un manque de demande ou de capacités techniques, mais plutôt à une capacité de fabrication limitée dans des domaines critiques, à une concurrence accrue pour l'équipement et la main-d'œuvre spécialisés et à une exposition croissante aux perturbations des chaînes d'approvisionnement mondiales.

Pour réussir, la stratégie nationale sur l'électricité doit donc porter à la fois sur le déploiement des infrastructures et sur l'état de préparation des chaînes d'approvisionnement. Elle exige des signaux clairs de la demande à long terme, des politiques qui favorisent l'investissement dans la capacité de fabrication et le développement de la main-d'œuvre, un soutien aux programmes de qualification et d'innovation, ainsi que des modes d'approvisionnement qui valorisent la robustesse des chaînes d'approvisionnement et la certitude de livraison au même titre que les coûts. Elle exige aussi de maintenir l'accès à des chaînes d'approvisionnement internationales fiables tout en renforçant de façon stratégique les capacités nationales dans les domaines où le Canada peut bâtir un avantage concurrentiel durable.

L'hydroélectricité occupe une position unique pour répondre aux besoins futurs du Canada en électricité grâce à une production fiable, à des services de stabilité du réseau et à la modernisation d'un vaste parc d'actifs existant. Avec le bon cadre stratégique, le Canada peut miser sur son expertise en ingénierie, ses capacités industrielles, ses établissements de recherche et ses relations commerciales pour bâtir une chaîne d'approvisionnement en électricité plus résiliente, tout en créant au pays des débouchés économiques à forte valeur ajoutée.

Hydroélectricité Canada remercie Ressources naturelles Canada de l'occasion qui lui est donnée de contribuer à cette réflexion et se réjouit de poursuivre sa collaboration avec Ressources naturelles Canada et Innovation, Sciences et Développement économique Canada afin de faire progresser l'élaboration d'une stratégie nationale sur l'électricité qui soutienne à la fois la croissance et la résilience du secteur canadien de l'électricité.