



Rapport

Analyse comparative des coûts de production de l'électricité selon la source

H368317-0000-21A-066-0001

Ce rapport a été préparé par Hatch pour Hydroélectricité Canada avec le financement du
ministère des Ressources naturelles du Canada.

2023-10-27	0	Information	S. Bhan	M. Lee	J. Atkinson
DATE	RÉV.	ÉTAT	PRÉPARÉ PAR	VÉRIFIÉ PAR	APPROUVÉ PAR

AVIS IMPORTANT AU LECTEUR

Hatch Ltée (« **Hatch** ») a préparé le présent rapport à l'usage exclusif d'Hydroélectricité Canada (le « **Client** ») dans le cadre de la rédaction d'un livre blanc visant à présenter une analyse des coûts actuels et futurs de diverses sources de production d'électricité (le « **Projet** »).

Hatch reconnaît que le présent rapport peut être remis à des tiers à condition que ces derniers le consultent à leurs propres risques et soient réputés, en lien avec le présent rapport, (en vertu de la réception) a) reconnaître que Hatch n'a aucune obligation envers une autre partie que le Client et b) décharger Hatch de toute responsabilité.

Le rapport contient l'opinion exprimée selon le jugement professionnel et la diligence raisonnable de Hatch, en fonction des renseignements connus au moment de la préparation.

L'utilisation du rapport est assujettie aux conditions suivantes :

1. Il doit être lu en contexte et en respect des modalités du contrat correspondant entre Hatch et le Client (le « **Contrat** »), y compris toute méthodologie, procédure, technique, hypothèse et autre modalité ou condition pertinente précisée dans le Contrat.
2. Il doit être lu dans son ensemble, et ses sections ne doivent pas être lues ou invoquées hors de leur contexte.
3. Il est fondé sur les renseignements que le Client ou une tierce partie a fournis à Hatch; à moins d'indication contraire dans le Contrat, Hatch n'a pas vérifié l'exactitude, l'exhaustivité ou la validité de ces renseignements, et ne fait aucune déclaration quant à son exactitude et décline par les présentes toute responsabilité à cet égard.
4. Il est à noter que le présent rapport constitue principalement une étude d'analyse documentaire. Par conséquent, les conclusions et les estimations qui y sont présentées sont, en grande partie, fondées sur les données publiques et les renseignements recueillis durant l'étude pour appuyer le Projet. Le présent rapport ne donne aucune garantie implicite de l'exactitude des estimations avancées, et ne devrait pas servir de seul élément décisionnel pour la faisabilité d'autres projets. Il ne remplace en aucun cas une analyse complète de faisabilité réalisée conformément aux normes de l'industrie.

Table des matières

Sommaire	1
1. Introduction	3
2. Indicateurs des coûts de production	Error! Bookmark not defined.
3. Analyse documentaire	5
4. Comparaison des coûts moyens ajustés	Error! Bookmark not defined.
4.1 Coûts actuels	Error! Bookmark not defined.
4.2 Coûts prévisionnels.....	Error! Bookmark not defined.
4.3 Commentaire sur les coûts actuels et prévisionnels	Error! Bookmark not defined.
5. Le rôle de l'hydroélectricité dans un réseau carboneutre	Error! Bookmark not defined.
6. Conclusions	11

Liste des figures

Figure 1-1 : Sources de production d'électricité au Canada en 2020	Error! Bookmark not defined.
Figure 4-1 : Coût actualisé de l'électricité (dollars canadiens de 2022)	Error! Bookmark not defined.
Figure 4-2 : Coûts actualisés projetés (dollars canadiens de 2022)	Error! Bookmark not defined.

Sommaire

Hydroélectricité Canada a commandé le présent livre blanc pour présenter une analyse comparative de la production d'électricité actuelle et future provenant de diverses sources.

Ce livre blanc a pour but de fournir aux décideurs des données comparatives sur les coûts des diverses sources dans leur analyse des trajectoires de carboneutralité possibles pour les réseaux électriques au Canada.

Ses objectifs généraux étaient de réaliser une analyse documentaire pour appuyer la comparaison des coûts actuels et futurs de diverses sources de production et mettre en lumière l'importance de l'hydroélectricité dans une optique de carboneutralité.

Voici un résumé des principales constatations à la suite de cette analyse :

- Pour atteindre l'objectif de carboneutralité de l'électricité au Canada, il faudra remplacer environ 36,5 GW de capacité de production émettrice de gaz à effet de serre (GES) d'ici 2035.
- Une analyse comparative du coût actualisé de l'électricité (LCOE) de différentes sources de production d'électricité, selon les données disponibles, montre que l'électricité éolienne et solaire est généralement moins coûteuse que l'hydroélectricité et celle produite par d'autres technologies. Toutefois, cette comparaison exclut les coûts d'intégration de l'éolien et du solaire pour gérer la fiabilité du réseau.
- Un autre indicateur, le coût actualisé de l'électricité ajusté à la valeur (VALCOE), ramène le coût actualisé de différentes solutions de production sur une base comparable établie selon la valeur apportée par chaque solution de production au réseau interconnecté.
- Le VALCOE des énergies renouvelables non mobilisables est plus élevé que le LCOE en raison du coût d'intégration. Les coûts réels sont propres à chaque réseau, mais généralement, plus la source de production est variable et moins elle est corrélée à la demande en électricité, plus les coûts potentiels supplémentaires imposés au réseau seront élevés.
- L'hydroélectricité est une technologie qui a fait ses preuves et peut présenter un LCOE intéressant par rapport à celui des nouvelles technologies éoliennes et solaires. Les centrales hydroélectriques à réservoir offrent à la fois une flexibilité de mobilisation et une puissance garantie.
- Le réaménagement (prolongation de la durée de vie) et la modernisation des centrales hydroélectriques visant à augmenter la production d'énergie d'appoint présentent un LCOE très intéressant par rapport à celui de la construction de centrales.

- L'hydroélectricité a une grande variété de LCOE et, dans le futur, devrait rester concurrentielle avec les autres formes d'énergie renouvelable, particulièrement en raison des avantages de ses services auxiliaires.
- La production d'électricité à partir de combustibles fossiles étant appelée à diminuer progressivement, il faudra des ressources de production mobilisables et stables pour répondre à la demande de pointe. Le réaménagement et la modernisation des installations d'hydroélectricité pourraient fournir la capacité et la flexibilité attendue.
- L'hydroélectricité est une source d'énergie essentielle, représentant 90 % ou plus de la production dans certaines provinces.
- Selon une étude menée en 2023 par la Régie de l'énergie du Canada, la production d'hydroélectricité devrait augmenter d'environ 26 % (environ 21,2 GW) de 2021 à 2050. Cette augmentation proviendra de projets en cours et de la construction et du réaménagement de centrales d'hydroélectricité.
- L'hydroélectricité fournit une gamme de services essentiels au réseau, notamment la mobilisation, qui contribue à la stabilité et à la fiabilité, grâce à sa capacité à stocker l'eau pour s'adapter rapidement aux fluctuations et répondre sans délai à la demande de pointe. Ce service gagnera en importance à mesure que l'énergie solaire et éolienne intermittente s'ajoutera au réseau.
- Les investissements dans la production d'hydroélectricité par le déploiement de nouvelles centrales et la prolongation de la durée de vie ou la modernisation peuvent contribuer à l'atteinte des objectifs de carboneutralité de l'électricité au Canada.

1. Introduction

Hydroélectricité Canada a commandé le présent livre blanc pour présenter une analyse comparative de la production d'électricité actuelle et future provenant de diverses sources.

Le gouvernement fédéral canadien s'est engagé à rendre le réseau d'électricité carboneutre d'ici 2035 dans une optique de carboneutralité à l'échelle du pays en 2050¹.

En 2020, le Canada a produit 636 TWh d'électricité, provenant à environ 82,6 % de sources propres : l'hydroélectricité (60,2 %), le nucléaire (14,6 %), l'éolien (5,5 %), le solaire (0,7 %) et la biomasse (1,6 %)². Sa capacité installée totale était de 149 GW³. La répartition, représentée comme un pourcentage du total, de diverses sources d'électricité (capacité et production) est indiquée à la figure 1-1.

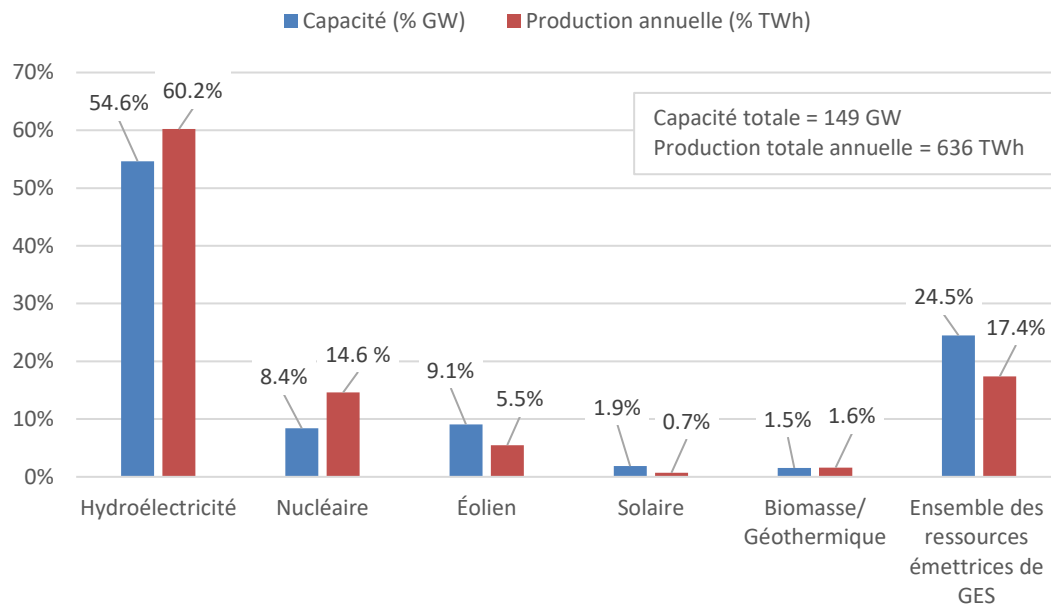


Figure 1-1 : Sources de production d'électricité au Canada en 2020

Selon les différentes sources d'électricité au Canada, pour atteindre l'objectif de carboneutralité à l'échelle du réseau, une grande partie de la capacité de production actuelle produisant des gaz à effet de serre (GES) (soit environ 36,5 GW) devra être remplacée par des sources propres de production provenant de l'hydroélectricité, l'éolien, le solaire, la biomasse, l'énergie géothermique, l'hydrogène et le nucléaire. L'économie jouera un rôle majeur dans le choix des sources d'énergie de substitution.

Le présent livre blanc a pour but de fournir aux décideurs des données comparatives sur les coûts des diverses sources dans leur analyse des trajectoires de carboneutralité possibles pour les réseaux électriques au Canada.

Voici les sujets abordés dans ce document :

- Les indicateurs de coûts utilisés pour comparer les prix de production d'électricité;
- Une analyse documentaire pour appuyer la comparaison du coût actualisé de l'électricité (LCOE) de diverses sources de production;
- Une comparaison des LCOE de diverses sources d'électricité;
- Un commentaire sur les coûts actuels et futurs;
- Une réflexion sur le rôle de l'hydroélectricité dans la trajectoire vers l'électricité carboneutre.

2. Indicateurs des coûts de production

Divers indicateurs peuvent être utilisés pour comparer les coûts de technologies de production d'électricité différentes lorsque l'on considère investir dans l'expansion de la capacité de production.

Le LCOE est l'approche habituelle et commune qui renvoie aux recettes estimatives nécessaires pour la construction et l'exploitation d'une installation de production d'électricité sur une période de rétablissement donnée, généralement la durée de vie estimée de l'actif. Il représente les recettes moyennes par unité d'électricité. Ce calcul utilise la valeur actualisée des flux de trésorerie pour estimer la valeur actualisée nette des coûts généraux de production, divisés par la production actualisée sur la durée de vie de l'actif pour arriver à un LCOE en dollars sur MWh. Cet indicateur est utilisé fréquemment pour évaluer la concurrence globale de différentes technologies de production^{4, 5}.

Dans la mesure où chaque option dont il est question a des caractéristiques opérationnelles semblables, le LCOE est un indicateur utile de comparaison. Par exemple, le fonctionnement d'une centrale au gaz naturel dans le réseau ressemble à celui d'une centrale hydroélectrique – les deux fournissent une capacité garantie à la demande et des services de suivi de la charge ainsi que tous les services auxiliaires du réseau, ce qui justifie le recours à cet indicateur.

Le LCOE se révèle toutefois moins utile pour comparer des ressources ayant différents attributs et profils opérationnels. Il a ses limites et n'est pas représentatif de la valeur économique ou des coûts potentiels indirects au réseau causés par l'intégration de technologies d'énergies renouvelables variables.

Le coût actualisé de l'électricité ajusté à la valeur (VALCOE) est un autre indicateur conçu par l'Agence internationale de l'énergie (AIE), qui ajoute des éléments supplémentaires au LCOE, comme la capacité et la flexibilité^{5, 6}.

Le VALCOE est un indicateur plus polyvalent conçu pour servir de complément au LCOE; il tient compte d'autres coûts du réseau, selon le réseau où se situe la source, pour mieux représenter les coûts et la valeur donnée au système. Cette approche permet une meilleure comparaison de différentes technologies de production d'énergie et surtout entre les énergies renouvelables variables (comme l'éolien et le solaire) ainsi que des technologies mobilisables (comme les installations à cycle combiné et au gaz naturel ou les centrales hydroélectriques à réservoir)⁷.

Par exemple, une centrale solaire à l'échelle du réseau n'est pas mobilisable et produit seulement durant les heures de clarté (avec l'intensité de l'insolation qui affecte la production d'énergie). L'indicateur du LCOE tiendrait seulement compte du coût du moment où l'énergie est produite, et non lorsqu'elle est nécessaire. L'indicateur du VALCOE prendrait en compte les coûts supplémentaires indirects pour le système, par exemple, le stockage supplémentaire, étant donné que la centrale solaire est non mobilisable.

Plus la source de production est variable, et moins elle est corrélée à la demande en électricité, plus les coûts supplémentaires imposés à l'ensemble du réseau sont élevés, selon l'endroit où est située la ressource. Ces coûts supplémentaires dépendent de la quantité de production renouvelable variable et du système dans lequel la technologie est déployée⁷.

Alors que le déploiement de la production de ressources variables renouvelables non mobilisables augmente dans tous les systèmes, la valeur des ressources mobilisables disponibles dans ce système, comme l'hydroélectricité, augmentera, puisqu'une plus grande flexibilité et la mise à disposition d'une capacité garantie seront une nécessité pour répondre aux besoins des clients.

Compte tenu de l'analyse documentaire et de la disponibilité des données publiées, le présent livre blanc met l'accent sur l'approche du LCOE. Étant donné l'accessibilité restreinte des données publiées sur le VALCOE, une comparaison basée sur cet indicateur dépasserait la portée de cette analyse documentaire.

3. Analyse documentaire

De nombreuses organisations fournissent des données de LCOE sur divers types de production. Pour cette analyse, nous avons pris en compte ces publications clés :

- Ressources naturelles Canada, *Cahier d'information sur l'énergie 2022-2023*²

- Agence internationale de l'énergie (AIE) – *World Energy Outlook 2022*⁶
- Lazard – *Levelized Cost of Energy Comparison*, version 16, 2023⁸
- National Renewable Energy Laboratory (NREL) – *Annual Technology Baseline*, 2023⁹
- United States Energy Information Administration (EIA) – *Annual Energy Outlook 2023*¹⁰
- Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems, *Levelized Cost of Electricity Renewable Energy Technologies*, 2021¹¹
- NREL – *Levelized Cost of Energy Calculator*¹²

Dans la plupart des publications, les coûts se présentaient sous forme de fourchette (haut et bas) en 2020, 2021 ou 2022 en dollars canadiens (CAD), en dollars américains (USD) ou en euros (EUR). Pour permettre une comparaison relative, ils ont été convertis en dollars canadiens de 2022 en utilisant les taux d'indexation et les taux de change appropriés. Dans certaines publications, lorsque des projections de coûts futurs sont disponibles, nous avons également présenté ces coûts en dollars canadiens de 2022 à des fins de comparaison.

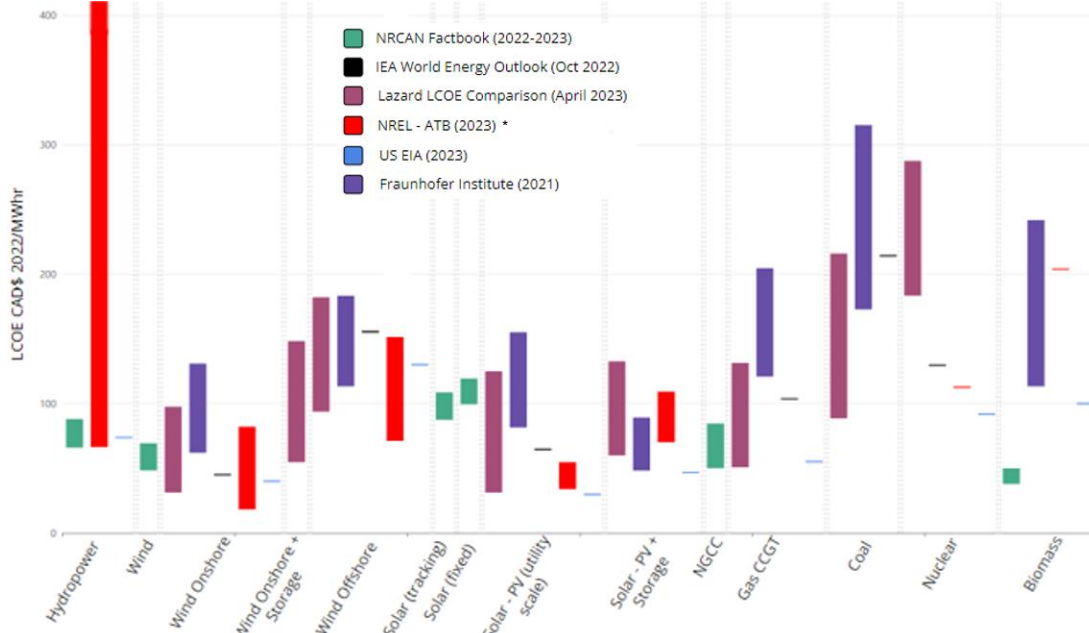
À des fins de comparaison avec les nouvelles installations d'hydroélectricité, le LCOE du réaménagement (prolongation de la durée de vie) et de la modernisation a également été estimé selon les données internes de Hatch. Il a été estimé à l'aide du calculateur du NREL, en fonction de différents coûts d'investissement et d'exploitation. Selon l'analyse, il serait (si l'on exclut les grands travaux de génie civil) de 27 \$/MWh à 40 \$/MWh pour la prolongation de la durée de vie et de 28 \$/MWh à 48 \$/MWh pour la modernisation.

Les exploitants de centrales hydroélectriques devraient tenir compte de la valeur de la capacité supplémentaire pouvant être obtenue par le réaménagement, en particulier pour les centrales à stockage flexible. Il peut s'agir de moyens rentables d'accroître la capacité et le stockage.

4. Comparaison des coûts actualisés de l'électricité

4.1 Coûts actuels

Selon l'analyse documentaire, un résumé de la comparaison des LCOE de différentes organisations, convertis en dollars canadiens de 2022, est présenté en figure 4-1. Puisque les valeurs des LCOE ont varié de façon importante, la figure 4-1 présente les données des LCOE par technologie de production et par organisation, ce qui met en lumière de possibles tendances par technologie de production et par organisation. Les sources potentielles de variation sont notamment l'emplacement du site et le type de technologie, ainsi que la durée des cycles de vie et les taux d'escompte.

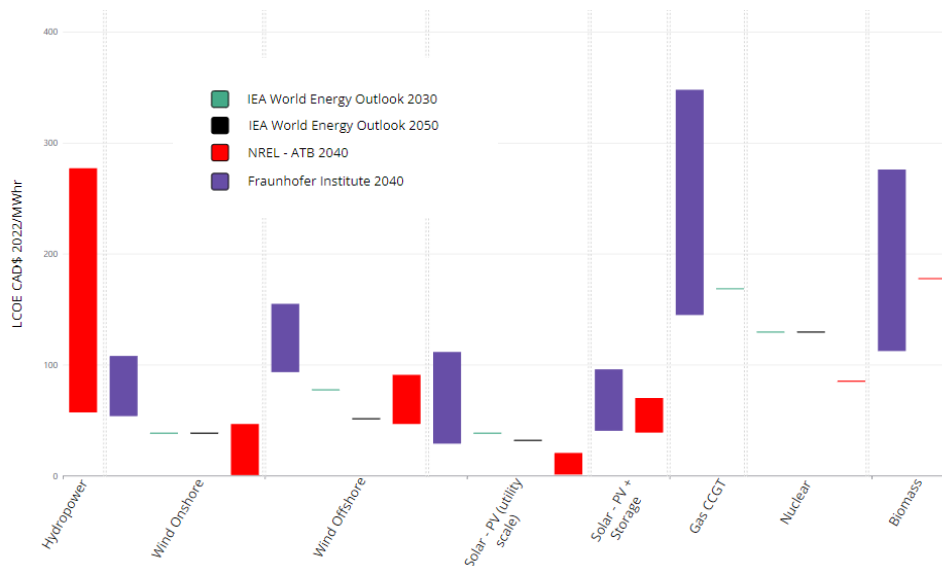


* Les données du NREL présentent un large éventail de valeurs, y compris ce qui semble être des données aberrantes. Cette gamme de valeurs reflète trois types de sites : les barrages hors service (lacs), les barrages hors service (écluses) et les nouveaux sites au fil de l'eau, dont les fourchettes de LCOE correspondantes sont (en dollars canadiens de 2022) : 102-310, 91-417 et 78-122, respectivement (en prenant le cas modéré). Les coûts les plus élevés de ces fourchettes sont associés à des installations de faible hauteur de chute et de faible capacité (environ 10 MW ou moins). Les valeurs maximales et minimales ont été incluses pour des raisons de cohérence entre les sources de données.

Figure 4-1 : Coût actualisé de l'électricité (dollars canadiens de 2022)

4.2 Coûts prévisionnels

Selon les données disponibles, la figure 4-2 compare le LCOE prévisionnel des mêmes sources d'électricité dans 10 à 30 ans (2030, 2040, et 2050). Cette comparaison repose sur moins de sources de données publiées.



* Les données du NREL comprennent diverses hypothèses financières qui ont une incidence sur le LCOE (voir les études de cas et les méthodes financières du NREL).

Figure 4-2 : Coûts actualisés projetés (dollars canadiens de 2022)

4.3 Commentaire sur les coûts actuels et prévisionnels

Selon les données de diverses publications de référence et les technologies de production, on note les aspects suivants :

- Solaire – Différentes configurations d'énergie solaire ont le LCOE le plus bas. Puisque le solaire n'est pas mobilisable et que le facteur de capacité au Canada est relativement bas (10 à 25 % selon le lieu), l'ajout du stockage par batterie peut rehausser la valeur de cette source d'énergie. On note que les données de RNCAN indiquent que le LCOE du solaire peut être plus élevé que celui de l'hydroélectricité.
- Éolien – L'énergie éolienne est un proche compétiteur de l'énergie solaire, mais comporte le même inconvénient, soit celui d'être non mobilisable. Il lui faut donc l'appui d'une source mobilisable. Le LCOE de l'éolien maritime est plus bas que celui de l'éolien terrestre. Le facteur de capacité de l'éolien maritime varie de 28 à 35 %, alors que celui de l'éolien terrestre varie de 40 à 44 %. Le LCOE de l'éolien terrestre est plus élevé que celui de l'éolien maritime. L'éolien terrestre n'est actuellement pas sur le marché au Canada.
- Hydroélectricité – L'hydroélectricité est une technologie mature qui peut présenter un LCOE concurrentiel par rapport aux nouvelles énergies comme l'éolien et le solaire. Les installations dotées de réservoirs de stockage sont également mobilisables, ce qui en fait un bon complément aux technologies variables et non mobilisables que sont l'éolien et le

solaire. Les centrales hydroélectriques fournissent également des services auxiliaires pour maintenir la fiabilité du réseau. Le réaménagement (prolongation de la durée de vie) des installations existantes a un LCOE très concurrentiel. Si la modernisation ou la construction de centrales peut générer de la capacité supplémentaire, il s'agirait d'une source de flexibilité et de capacité garantie abordable qui permettrait le déploiement d'une production variable supplémentaire.

- Biomasse – En général, la biomasse présente un LCOE plus élevé que les autres énergies renouvelables. Les centrales électriques alimentées à la biomasse sont mobilisables et le Canada regorge de cette ressource. Combinée à la capture et à la séquestration du dioxyde de carbone (à un LCOE plus élevé), la biomasse peut devenir une source d'émissions de GES négatives nettes.
- Nucléaire – D'après certaines sources de données, le LCOE du nucléaire peut être inférieur à celui d'autres sources de production thermique, le réaménagement des centrales existantes étant généralement intéressant. L'investissement dans le développement de petits réacteurs nucléaires modulaires est d'un intérêt majeur à l'échelle mondiale pour contribuer à la réduction des émissions et à la fiabilité du système électrique⁵.
- Turbine à gaz – Bien que la production par turbine à combustion (simple ou à cycle combiné) soit une technologie bien maîtrisée et mobilisable, les restrictions proposées sur la production sans dispositif d'atténuation limiteront son utilisation pour répondre à la demande de pointe ou d'urgence au Canada. L'utilisation à long terme de la production au gaz naturel à cycle combiné nécessitera le captage et la séquestration du carbone (CSC) pour compenser les émissions de GES, ce qui augmentera considérablement le coût (à un LCOE plus élevé) de cette solution. Les technologies énergétiques propres qui pourront remplacer l'électricité émettrice de GES de manière économique sont l'énergie solaire, l'énergie éolienne, l'énergie nucléaire et l'hydroélectricité.
- LCOE prévisionnel – L'énergie solaire, avec ou sans stockage sur batterie, suivie de l'énergie éolienne, devrait continuer à être les sources d'électricité renouvelables les moins chères. L'hydroélectricité, qui présente un large éventail de LCOE, devrait rester concurrentielle par rapport aux autres formes d'énergie renouvelable, surtout si l'on tient compte de ses avantages en matière de services auxiliaires. Diverses publications sur les LCOE excluent les technologies de turbines à charbon et à gaz émettrices de GES des futurs scénarios de carboneutralité.

5. Le rôle de l'hydroélectricité dans un réseau carboneutre

L'hydroélectricité, en tant que source d'électricité renouvelable, peut jouer un rôle important dans l'atteinte des objectifs de carboneutralité selon ce qui suit :

- En 2020, l'hydroélectricité représentait 72,8 % de l'électricité de sources renouvelables produite annuellement au Canada.
- L'hydroélectricité est une source d'électricité centrale dans plusieurs provinces, représentant plus de 90 % de la production en Colombie-Britannique, au Manitoba, au Québec et à Terre-Neuve-et-Labrador¹³.
- L'hydroélectricité n'est pas émettrice et se caractérise par une flexibilité de mobilisation et une puissance garantie¹³.
- Selon une étude menée en 2023 par la Régie de l'énergie du Canada, la production d'hydroélectricité devrait augmenter d'environ 26 % (environ 21,2 GW) de 2021 à 2050. Cette augmentation viendra de projets en cours ou à venir, de la modernisation des centrales hydroélectriques existantes et de l'agrandissement des installations existantes¹³.
- Historiquement, les centrales hydroélectriques fournissaient des services essentiels pour le réseau (stabilité et rétablissement de la fréquence, chargement du système pour les imprévus et la variabilité de la demande nette, contrôle du voltage et capacité de démarrage à froid) pour veiller à la stabilité et la fiabilité des réseaux électriques.
- Une capacité garantie supplémentaire sera nécessaire pour remplacer la capacité garantie de la production désuète de combustibles fossiles, et pour répondre à la demande croissante associée à l'électrification, puisque les énergies renouvelables variables sans stockage ne seront pas assez mobilisables.
- Au Canada, la majorité des centrales hydroélectriques ont entre 30 et 100 ans. De nombreuses centrales auront besoin de réaménagement ou de modernisation en profondeur dans les 10 à 20 prochaines années. Les plus vieilles centrales pourront bénéficier des avancées dans la conception des turbines et voir une augmentation potentielle de leur capacité et de leur efficacité. La conception de nouvelles turbines ou de nouveaux générateurs électriques peut être optimisée en capacité et en efficacité pour produire de l'énergie supplémentaire. Ces projets présentent un LCOE ou un VALCOE beaucoup plus bas (lorsque l'on tient compte de la capacité et de la flexibilité) que les nouvelles installations.
- L'hydroélectricité fournit des services essentiels pour le maintien de l'équilibre et de la fiabilité du réseau, étant donné sa capacité à stocker l'eau et à répondre rapidement à la demande variable et croissante en électricité.
- Le renforcement, la rénovation et l'installation de nouvelles installations de transport entre les provinces canadiennes riches en hydroélectricité (Colombie-Britannique, Manitoba, Québec et Terre-Neuve) et les provinces voisines avec une forte pénétration

de la production solaire et éolienne variable doivent être pris en compte dans la planification à long terme d'un réseau électrique carboneutre.

- L'hydroélectricité peut être mobilisable et supporter les variations quotidiennes et saisonnières du solaire et de l'éolien. C'est essentiel pour équilibrer la demande et l'approvisionnement en électricité.
- Les centrales hydroélectriques peuvent avoir une durée de vie d'une centaine d'années, voire davantage.

6. Conclusions

Le présent livre blanc avait pour objectifs généraux de réaliser une analyse documentaire pour comparer les coûts actuels et futurs de diverses sources de production et souligner l'importance de l'hydroélectricité dans une trajectoire d'électricité carboneutre.

Voici un résumé des principales constatations :

- Pour atteindre l'objectif de carboneutralité de l'électricité au Canada, il faudra remplacer environ 36,5 GW de capacité de production d'électricité émettrice de GES d'ici 2035.

Une analyse comparative du LCOE de diverses sources de production d'électricité, selon les données disponibles, montre que l'électricité éolienne et solaire est généralement moins coûteuse que l'hydroélectricité et que celle produite par d'autres technologies. Toutefois, cette comparaison exclut les coûts d'intégration de l'éolien et du solaire pour gérer la fiabilité du réseau.

- Un autre indicateur, le coût actualisé de l'électricité ajusté à la valeur (VALCOE), ramène le coût actualisé de différentes solutions de production sur une base comparable établie selon la valeur apportée par chaque solution de production au réseau interconnecté.
- Le VALCOE des énergies renouvelables non mobilisables est plus élevé que le LCOE en raison du coût d'intégration. Les coûts réels sont propres à chaque réseau, mais généralement, plus la source de production est variable et moins elle est corrélée à la demande en électricité, plus les coûts potentiels supplémentaires imposés au réseau seront élevés.
- L'hydroélectricité est une technologie qui a fait ses preuves et peut présenter un LCOE intéressant par rapport à celui des nouvelles technologies éoliennes et solaires. Les centrales hydroélectriques à réservoir offrent à la fois une flexibilité de mobilisation et une puissance garantie.
- Le réaménagement (prolongation de la durée de vie) et la modernisation des centrales hydroélectriques visant à augmenter la production d'énergie d'appoint présentent un LCOE très intéressant par rapport à celui de la construction de centrales.

- L'hydroélectricité a un vaste éventail de LCOE et, à l'avenir, devrait demeurer concurrentielle avec les autres formes d'électricité renouvelables, en particulier considérant ses avantages en matière de services auxiliaires.
- La production d'électricité à partir de combustibles fossiles étant appelée à diminuer progressivement, il faudra des ressources de production mobilisables et stables pour répondre à la demande de pointe. Le réaménagement et la modernisation des installations d'hydroélectricité pourraient fournir la capacité et la flexibilité attendue.
- L'hydroélectricité est une source d'énergie essentielle, représentant 90 % ou plus de la production dans certaines provinces.
- Selon une étude menée en 2023 par la Régie de l'énergie du Canada, la production d'hydroélectricité devrait augmenter d'environ 26 % (environ 21,2 GW) de 2021 à 2050. Cette augmentation proviendra de projets en cours et de la construction et du réaménagement de centrales d'hydroélectricité.
- L'hydroélectricité fournit un éventail de services essentiels au réseau, notamment la mobilisation, qui contribue à la stabilité et à la fiabilité, grâce à sa capacité à stocker l'eau pour s'adapter rapidement aux fluctuations et répondre sans délai à la demande de pointe. Ce service gagnera en importance à mesure que l'énergie solaire et éolienne intermittente s'ajoutera au réseau.
- Les investissements dans la production d'hydroélectricité par le déploiement de nouvelles centrales et la prolongation de la durée de vie ou la modernisation peuvent contribuer à l'atteinte des objectifs de carboneutralité de l'électricité au Canada.

-
- ¹ *Avenir énergétique du Canada en 2020*, Régie de l'énergie du Canada, Régie – Avenir énergétique du Canada en 2020 (cer-rec.gc.ca), dernière modification le 5 mai 2023, <https://www.cer-rec.gc.ca/fr/donnees-analyse/avenir-energetique-canada/2020/index.html>
 - ² *Cahier d'information sur l'énergie*, Ressources naturelles Canada, consulté en août 2023, https://publications.gc.ca/collections/collection_2022/rncan-nrcan/M136-1-2022-fra.pdf
 - ³ *Fiche de renseignements Avenir énergétique du Canada en 2021 : Électricité*, Régie de l'énergie du Canada, dernière modification le 24 mai 2022, <https://www.cer-rec.gc.ca/fr/donnees-analyse/avenir-energetique-canada/electricite-2021/index.html>
 - ⁴ *Levelized Costs of New Generation Resources in the Annual Energy Outlook 2023*, Agence d'information sur l'énergie, mars 2022, https://www.eia.gov/outlooks/aeo/pdf/electricity_generation.pdf
 - ⁵ *Projected Costs of Generating Electricity*, édition 2020, Agence internationale de l'énergie, Agence pour l'énergie nucléaire, consulté en septembre 2023, <https://iea.blob.core.windows.net/assets/ae17da3d-e8a5-4163-a3ec-2e6fb0b5677d/Projected-Costs-of-Generating-Electricity-2020.pdf>
 - ⁶ *World Energy Outlook 2022*, Agence internationale de l'énergie, novembre 2022, <https://iea.blob.core.windows.net/assets/830fe099-5530-48f2-a7c1-11f35d510983/WorldEnergyOutlook2022.pdf>
 - ⁷ *Using System Levelized Cost, Levelized Avoided Cost and Value-Adjusted Levelized Cost to Evaluate Electricity Generation Technologies*, Canadian Energy Research Institute, Doluweera, Ganesh, avril 2020.
 - ⁸ « Lazard's Levelized Cost of Energy Analysis – Version 16.0 », avril 2023, <https://www.lazard.com/media/typdggmm/lazards-lcoeplus-april-2023.pdf>
 - ⁹ *2023 Electricity ATB Technologies and Data Overview*, National Renewable Energy Laboratory (NREL), 2023, consulté en août 2023, <https://atb.nrel.gov/electricity/2023/index>
 - ¹⁰ *Levelized Cost of New Generation in the Annual Energy Outlook 2023*, EIA, avril 2023, https://www.eia.gov/outlooks/aeo/electricity_generation/pdf/AEO2023_LCOE_report.pdf
 - ¹¹ *Levelized Cost of Electricity Renewable Energy Technologies*, Institut Fraunhofer, juin 2021, https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/en/documents/publications/studies/EN2021_Fraunhofer-ISE_LCOE_Renewable_Energy_Technologies.pdf
 - ¹² *Levelized Cost of Energy Calculator*, National Renewable Energy Laboratory (NREL), consulté en août 2023, <https://www.nrel.gov/analysis/tech-lcoe.html>
 - ¹³ *Avenir énergétique du Canada 2023*, Régie de l'énergie du Canada, consulté en juin 2023, <https://www.cer-rec.gc.ca/fr/donnees-analyse/avenir-energetique-canada/2023/avenir-energetique-canada-2023.pdf>