

OCTOBRE 2023

Le vent en poupe

Comment le Canada atlantique peut
devenir une superpuissance énergétique

PAR PETER NICHOLSON



UNE DES PUBLICATIONS DU FPP
CONSACRÉES AU DYNAMISME ATLANTIQUE



Le Forum des politiques publiques (FPP) rassemble différents participants au processus d'élaboration des politiques. Il leur offre une tribune pour examiner des questions et apporter de nouveaux points de vue et de nouvelles idées dans le débat sur les politiques. Nous croyons que l'élaboration de bonnes politiques rendra le Canada meilleur.

130, rue Albert, bureau 1400
Ottawa (Ontario) K1P 5G4 Canada
Tél. : 613 238-7858
www.ppforum.ca/fr @ppforumca

© 2023, Forum des politiques publiques
ISBN: 978-1-77452-136-6



TABLE DES MATIÈRES

<i>BIOGRAPHIE DE L'AUTEUR</i>	5
<i>INTRODUCTION</i>	6
ENCADRÉ 1 L'énergie électrique en chiffres	11
<i>LE RÔLE DE L'ÉOLIEN DANS LE VIRAGE ÉNERGÉTIQUE MONDIAL</i>	13
<i>L'ÉOLIEN EN MER, UNE CHANCE À SAISIR POUR LE CANADA ATLANTIQUE</i>	17
Les ressources potentielles	19
ENCADRÉ 2 Le potentiel de l'énergie éolienne en mer : un exemple hypothétique.....	20
Les avantages de l'éolien en mer comme source d'énergie.....	22
Les avantages économiques.....	23

LE PLAN DE MISE EN ŒUVRE	25
Le marché, taille et accès.....	26
Des coûts compétitifs	27
ENCADRÉ 3 Transformer le vent en hydrogène vert	28
Les actifs complémentaires	33
Un soutien politique et réglementaire	34
ENCADRÉ 4 Les incitations fédérales directement liées à l'éolien en mer	35
ENCADRÉ 5 La boucle de l'atlantique, un élément essentiel de la stratégie éolienne en mer	42
CONCLUSION	44
REMERCIEMENTS	46
NOTES EN FIN DE TEXTE	47



Originaire de Halifax, **Peter Nicholson** a fait des études de physique (B. Sc., M. Sc., Université Dalhousie) et de mathématiques (Ph. D., Université Stanford). Il a occupé de nombreux postes dans l'administration, les entreprises, la recherche et l'enseignement supérieur. Au cours de sa carrière dans la fonction publique, il a notamment été chef de cabinet adjoint, chargé des politiques, au cabinet du premier ministre du Canada et conseiller spécial auprès du secrétaire général de l'OCDE à Paris. Dans le monde des affaires, il a occupé des postes de cadre supérieur à la Banque Scotia et à Bell Canada Enterprise. Il est actuellement président du conseil d'administration de l'Institut climatique du Canada; cependant, ce document reflète certaines de ses opinions personnelles, qui ne sont pas nécessairement celles de l'Institut. M. Nicholson est membre de l'Ordre du Canada et de l'Ordre de la Nouvelle-Écosse.



INTRODUCTION

À moins de 200 kilomètres de la côte de la Nouvelle-Écosse

se trouve la légendaire île de Sable, que des générations de marins ont surnommée le « cimetière de l'Atlantique » en raison des innombrables naufrages survenus sur ses récifs sablonneux. Célèbre pour son singulier troupeau de chevaux sauvages qui survivent aux conditions de vie difficiles de l'île depuis plus de 250 ans, ce mince croissant de sable est le seul promontoire du banc de l'île de Sable, un vaste plateau sous-marin. Ici, les vents de l'Atlantique Nord soufflent avec une force et une constance qui pourraient à l'avenir offrir à ces hauts-fonds une autre cause de célébrité : l'énergie renouvelable. En effet, le banc de l'île de Sable figure parmi les meilleurs sites au monde pour la production d'énergie éolienne. Ce banc et plusieurs autres zones dotées de ressources similaires au large de la côte du Canada atlantique ont le potentiel de faire de la région l'un des principaux centres mondiaux de développement de l'éolien en mer.

Le système énergétique mondial, force motrice de la civilisation humaine, en est aux premiers stades d'une profonde transformation : le passage d'une dépendance aux combustibles fossiles à des formes d'énergie qui n'émettent pas de

gaz à effet de serre susceptibles d'altérer le climat. Cette révolution offre au Canada atlantique une occasion unique de retrouver une vitalité économique comparable à celle de l'ère de la voile, en s'appuyant à nouveau sur la puissance du vent maritime.

Si le Canada veut atteindre son objectif d'élimination de ses émissions nettes de gaz à effet de serre d'ici à 2050, la [Régie de l'énergie du Canada](#) estime que l'éolien devra fournir environ 30 % de l'approvisionnement total en électricité, contre moins de 6 % en 2021.¹ La capacité globale du pays devant plus que doubler, il faudra donc multiplier par 10 la production d'énergie éolienne en moins de trois décennies. Une grande partie de cette production proviendra de parcs éoliens terrestres, mais l'installation de ces centrales entrera inévitablement en conflit avec d'autres utilisations du sol. C'est là qu'intervient l'éolien en mer.

Bien que son littoral soit l'un des plus longs et des plus venteux au monde, le Canada n'a pas encore une seule éolienne en service ou en construction dans ses eaux côtières. Près de 30 pays nous devancent. La mer du Nord, bordée par sept pays européens, abrite à elle seule des milliers d'éoliennes d'une capacité totale de 30 gigawatts (GW) d'énergie éolienne en mer, cette capacité devant être multipliée par cinq [d'ici à 2030](#)² (voir l'encadré 1 pour la terminologie). L'expansion rapide de l'éolien en mer dans des territoires comme ceux du Royaume-Uni, de l'Europe et de la Chine illustre la chance historique qui s'offre au Canada atlantique.

Quelle serait l'ampleur du projet? À lui seul, le banc de l'île de Sable pourrait recevoir au moins 1 000 turbines en mer d'une capacité de 15 mégawatts (MW) chacune, ce qui représente environ 70 000 gigawattheures (GWh) d'électricité propre

L'éolien en mer pourrait représenter pour le Canada atlantique ce qu'a été le pétrole pour le Texas ou l'hydroélectricité pour le Québec. Il s'agirait non d'un simple progrès, mais d'un progrès phénoménal.

et renouvelable chaque année. C'est suffisant pour alimenter 6,5 millions de foyers canadiens moyens et cela équivaut à près de deux fois l'électricité totale actuellement consommée dans le Canada atlantique chaque année. Le banc de l'île de Sable n'est d'ailleurs qu'un des nombreux sites potentiels de la région. L'éolien en mer pourrait représenter pour le Canada atlantique ce qu'a été le pétrole pour le Texas ou l'hydroélectricité pour le Québec. Il s'agirait non d'un simple progrès, mais d'un progrès phénoménal.

[La Feuille de route pour l'énergie propre au Canada atlantique](#) (fédérale et provinciale) a déjà reconnu les possibilités offertes par l'éolien, sur terre et en mer.³ Le gouvernement provincial de la Nouvelle-Écosse, par exemple, [s'est fixé pour objectif](#) d'autoriser une capacité de production en mer de 5 GW d'ici à 2030 et au moins un promoteur [a déjà déposé une offre](#) de service.^{4,5} D'autres ont proposé plusieurs projets éoliens terrestres qui produiraient de l'hydrogène « vert » par électrolyse de l'eau, principalement pour l'exportation vers l'Europe. Mais si ces projets ont le potentiel de contribuer à créer un écosystème éolien composé d'infrastructures, de compétences et d'autres capacités, l'hydrogène vert n'est qu'une pièce sur l'échiquier des possibilités en matière d'énergie propre.

Une vision beaucoup plus audacieuse s'offre à nous. Le développement massif de l'énergie éolienne au large des côtes du Canada atlantique peut jouer un rôle majeur dans la réalisation de l'objectif national de décarbonation, tout en jetant les bases du développement économique durable que la région recherche depuis des générations. Au-delà de la garantie d'un approvisionnement en électricité propre pour les Canadiens de l'Atlantique, les avantages pour la région seraient de trois ordres :

- **les activités de la chaîne d’approvisionnement créées pour mettre en place et maintenir un programme d’investissement de plusieurs milliards de dollars sur plusieurs décennies dans la production d’énergie éolienne en mer, qui créera des occasions d’affaires et des emplois dans toute la région (et au-delà);**
- **un nouveau flux de revenus provenant de la vente d’électricité à d’autres régions du Canada et éventuellement aux États-Unis;**
- **des investissements provenant de divers secteurs industriels à la recherche de juridictions stables disposant de sources d’énergie renouvelable propre de niveau international.**

Un tel tournant historique apportera immanquablement son lot de difficultés. On ne risque certes pas de manquer de vent dans l’Atlantique, mais le développement et l’intégration de l’éolien au réseau nord-américain nécessiteront d’énormes quantités de capitaux provenant de sources qui ont de nombreuses occasions d’affaires urgentes et concurrentes dans le monde entier. Par ailleurs, bien que l’implantation de centrales éoliennes puisse avoir lieu dans une vaste zone océanique, il faudra tenir compte à la fois de considérations environnementales et d’utilisations actuelles comme la pêche et la navigation. L’expérience d’autres pays montre qu’il est possible de le faire.

Le Canada est à la traîne. Jusqu’à récemment, notre riche dotation en combustibles fossiles et en énergie hydroélectrique nous disposaient peu à rechercher des solutions de remplacement. Aujourd’hui, alors qu’il reste peu de sites où implanter de nouvelles grandes centrales hydroélectriques et que le pays s’est engagé à décarboner, les priorités du Canada en matière de développement énergétique ont radicalement changé. Heureusement, la course mondiale au développement de l’éolien en mer ne fait que commencer, et se lancer à la

suite des premiers comporte des avantages : pouvoir tirer des leçons des autres, adopter des innovations, réaliser des économies d'échelle et éviter des impacts négatifs. Mais le sentiment d'urgence doit se renforcer. L'horloge climatique mondiale tourne. La transformation énergétique prend de l'ampleur et les contrats à long terme pour les intrants essentiels sont en cours de signature. Un retard d'un an aujourd'hui peut entraîner un retard de plusieurs années dans la réalisation des projets. Les processus sclérosés de réglementation et d'autorisation du Canada ne sont pas compatibles avec l'urgence du défi à relever et de la chance à saisir. La lutte contre le changement climatique devenant de plus en plus pressante, le Canada doit transformer ses ressources éoliennes inépuisables en électricité renouvelable à l'infini. Il nous faudra plus d'ambition et même de l'audace.

Le présent texte s'appuie sur les nombreux travaux déjà en cours et présente l'éolien en mer comme une opération vraiment transformatrice, capable de changer la donne en assurant un avenir prospère aux Canadiens de l'Atlantique. Bien qu'il soit impossible d'évaluer les besoins précis et de faire des recommandations politiques détaillées dans un seul document, ce texte donne un aperçu du rôle prépondérant de l'éolien dans le virage énergétique mondial et expose les possibilités particulières qui s'offrent au Canada atlantique. La dernière partie traite du marché potentiel de l'éolien en mer pour le Canada atlantique, de sa compétitivité sur le plan des coûts, des exigences du développement d'une chaîne d'approvisionnement régionale capable de soutenir un déploiement à grande échelle et, enfin, de la nécessité d'une politique de soutien et d'un environnement réglementaire.

Il s'agit de notre contribution à une vision beaucoup plus audacieuse et nécessaire de l'énergie propre.

Le Canada doit transformer ses ressources éoliennes inépuisables en électricité renouvelable à l'infini. Il nous faudra plus d'ambition et même de l'audace.

L'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE EN CHIFFRES

Les faits et chiffres relatifs à l'énergie peuvent prêter à confusion, notamment parce qu'ils sont exprimés dans diverses unités de mesure : mégawatts, giga-

wattheures, pétajoules, Btu, barils d'équivalent pétrole, etc. Lorsqu'il s'agit d'électricité, la puissance (c'est-à-dire l'énergie produite par unité de temps) est exprimée en divers multiples du watt : le kilowatt (kW), le mégawatt (MW), le gigawatt (GW) et le térawatt (TW), qui correspondent à des multiples successifs de 1 000. L'énergie est exprimée en unités de puissance multipliées par une unité de temps : par exemple, le kilowattheure (kWh) est la quantité d'énergie électrique produite par une source d'un kilowatt fonctionnant pendant une heure.

À l'échelle des systèmes électriques nationaux, la puissance est généralement exprimée en gigawatts (GW) ou en térawatts (TW); l'énergie totale produite ou consommée l'est en gigawattheures (GWh) ou en térawattheures (TWh) par an. Par exemple, la production mondiale d'énergie électrique en 2020 a été de 26 780 TWh, le Canada produisant environ 630 TWh, soit seulement 2,4 % du total mondial. Or, les Canadiens sont de grands consommateurs d'électricité, leur consommation par habitant étant près de cinq fois supérieure à la moyenne mondiale. Le ménage canadien moyen consomme environ [11 mégawattheures](#) (MWh) d'électricité par an, avec des variations importantes allant de 17,7 au Québec à 6,8 en Alberta.⁷



Les différentes sources de production d'électricité (hydraulique, nucléaire, gaz naturel, charbon, éolienne, solaire, géothermique, etc.) ne fonctionnent pas à plein rendement pendant chacune des 8 760 heures d'une année; toutes sont intermittentes à des degrés divers. **Une caractéristique importante est donc le « facteur de capacité », qui est le rapport entre la quantité réelle d'énergie fournie au cours d'une année type et la quantité qui aurait été produite si la source avait fonctionné à sa pleine capacité installée pendant toute l'année.** Par exemple, les éoliennes en mer ont généralement un facteur de capacité annuel compris entre 0,45 et 0,55, voire plus en hiver. Une turbine de 15 MW avec un facteur de capacité de 0,52, par exemple, devrait produire environ 68 330 MWh d'énergie en un an ($15 \times 0,52 \times 8\,760$). Les centrales nucléaires ont un facteur de capacité d'environ 0,9; les panneaux solaires se situent généralement entre 0,15 et 0,20 (au Canada); les grandes centrales hydroélectriques ont un facteur de capacité d'environ 0,7; les éoliennes terrestres, quant à elles, ont un facteur de capacité de 0,3 à 0,4. Le facteur de capacité moyen de l'ensemble du système électrique canadien, soit 150 GW, est d'environ 0,48. Ainsi, en plus de connaître la capacité installée d'une centrale de production donnée (généralement en MW ou GW), il faut également connaître son facteur de capacité pour estimer l'énergie réelle qu'elle peut produire au cours d'une année.





LE RÔLE DE L'ÉOLIEN DANS LE VIRAGE ÉNERGÉTIQUE MONDIAL

Le virage mondial vers l'énergie propre qui est en cours constituera la plus grande entreprise de l'histoire de l'humanité. Il est essentielle à la préservation d'un climat supportable et d'un air pur respirable. Il est stimulée par les progrès technologiques qui, dans de nombreux

endroits, ont déjà rendu les énergies renouvelables propres [plus rentables](#) que les combustibles fossiles.⁸ La combinaison des impératifs environnementaux et économiques fait en sorte qu'on ne peut arrêter la transformation. Seul le calendrier précis reste à déterminer.

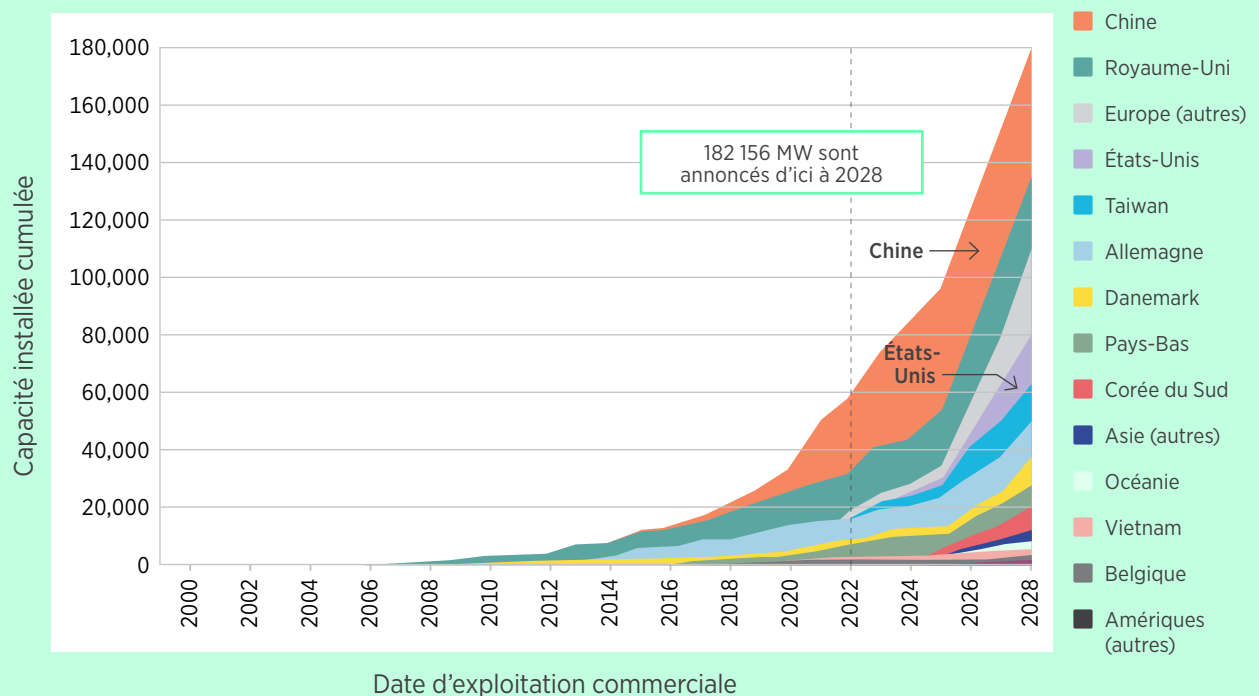
Le nouveau système énergétique sera dominé par l'électricité, qui remplacera à terme les combustibles fossiles dans les transports et les processus industriels ainsi que dans le chauffage et la climatisation des bâtiments. L'électricité présente des avantages inégalés sur plusieurs plans : utilisation polyvalente et efficace, transport instantané et production propre et renouvelable. Le monde produira donc beaucoup plus

d'électricité à mesure que les combustibles fossiles seront remplacés et que les économies mondiales continueront de croître.

L'Agence internationale de l'énergie (AIE), considérée comme la principale autorité en matière d'évolution de l'énergie au niveau mondial, [a calculé un scénario](#) selon lequel, d'ici à 2050, les émissions nettes de gaz à effet de

Le développement mondial de l'éolien en mer

D'après la date d'exploitation commerciale annoncée par le promoteur d'ici à 2028



SOURCE : [Offshore Wind Market Report \(édition 2023\)](#) (page 76)

serre du système énergétique mondial seraient nulles.⁹ En 2050, la production mondiale d'électricité serait environ 2,6 fois supérieure aux 29 000 TWh produits en 2022. Dans ce scénario, la production éolienne (sur terre et en mer) serait multipliée par près de 11, passant de 7 % de la production mondiale d'électricité en 2022 à 31 % en 2050 (elle en représentait 6 % en 2020). Que cette dernière projection de l'AIE se confirme ou non, elle constitue la meilleure image existante de la direction que prend le monde et fournit une base crédible pour la planification stratégique à long terme.

Mettant en place de très petits projets au départ, le Danemark a été le pionnier de l'éolien en mer dans les années 1990. Pour les pays riverains de la mer du Nord, l'impulsion donnée à la décarbonation de la production énergétique a conduit, après 2010, à une expansion très rapide de l'éolien en mer, car la surface disponible sur terre pour les centrales solaires et éoliennes était limitée. Les hauts-fonds et les conditions venteuses de la mer du Nord se sont avérés idéaux.

En 2022, [la capacité mondiale de production](#) d'énergie éolienne en mer s'élevait à un peu moins de 60 GW,

soit environ 7 % de la capacité totale de production d'énergie éolienne.¹⁰ La Chine, malgré ses émissions massives de gaz à effet de serre, est de loin le chef de file mondial, ayant installé 45 % de la capacité en mer mondiale. Le Royaume-Uni vient ensuite avec 23 %. Sur la base des dates de livraison prévues, la capacité en mer devrait tripler pour atteindre 182 GW d'ici à 2028, plus du double de cette capacité étant en cours de développement. Il s'agit là d'un bon indicateur d'un essor continu, malgré la récente hausse des coûts qui a conduit des promoteurs à [se retirer de certains projets](#).¹¹ Au niveau mondial, le rythme de construction d'éoliennes en mer [devrait atteindre](#) environ 45 GW *par an* d'ici à 2030.¹² Les États-Unis, par exemple, ont un [plan ambitieux](#) qui vise l'installation de 30 GW d'énergie éolienne en mer d'ici à 2030, en grande partie dans le golfe du Maine et au large des côtes, du Massachusetts jusqu'au New Jersey – mais l'objectif de 2030 est susceptible d'être revu à la baisse étant donné l'incertitude récente quant aux coûts.¹³

L'objectif des États-Unis est dérisoire si on le compare à l'ambition de l'Europe occidentale, exposée dans la « [déclaration d'Ostende de 2023](#) » et signée par neuf pays riverains de la mer du Nord

ou adjacents à elle.¹⁴ Cette déclaration stipule notamment que :

« Nous développerons conjointement la mer du Nord pour en faire la “centrale électrique verte” de l’Europe, une filière d’énergie renouvelable en mer qui reliera nos pays en mettant l’accent sur des projets et des plateformes en mer hybrides/polyvalents et transfrontaliers ainsi que sur l’hydrogène renouvelable à grande échelle grâce à l’éolien en mer [...] Nous encourageons toutes les institutions concernées à éliminer tous les freins et les obstacles liés aux procédures d’autorisation afin d’accélérer la transition verte [...] Nous visons à plus que doubler notre capacité d’éolien en mer pour 2030, pour qu’elle atteigne au moins 300 GW d’ici à 2050. »

L’ampleur du développement international démontre que la technologie éolienne en mer est fiable et commercialement viable. En fait, 27 % de la consommation d’électricité du Royaume-Uni en 2022 provenait de l’énergie éolienne, se répartissant à peu près également entre l’éolien terrestre et l’éolien en mer, bien que l’éolien en mer connaisse une croissance beaucoup plus rapide. Par ailleurs, l’expérience

L’éolien en mer est sans doute le moyen d’opérer le virage énergétique qui apporterait le moins de perturbations.

internationale semble indiquer que l’impact du développement de l’éolien en mer sur l’environnement et sur les activités maritimes potentiellement concurrentes, telles que la pêche et la navigation, peut demeurer acceptable. En effet, l’éolien en mer est sans doute le moyen d’opérer le virage énergétique qui apporterait le moins de perturbations. À mesure que l’éolien progresse au niveau international, la conjonction des économies d’échelle, de l’expérience opérationnelle, du développement des chaînes d’approvisionnement et de l’amélioration continue de la technologie fera baisser les coûts et donnera confiance aux investisseurs. Le Canada atlantique peut surfer sur cette vague mondiale.

L'ÉOLIEN EN MER, UNE CHANCE À SAISIR POUR LE CANADA ATLANTIQUE

Au début de l'année, la Régie de l'énergie du Canada (REC) a [publié deux scénarios](#) définissant des trajectoires compatibles avec des émissions nettes de GES nulles d'ici à 2050.¹⁵ Ces scénarios s'inspirent du scénario de carboneutralité (« Net Zero ») de l'Agence internationale de l'énergie pour le contexte mondial, mais ils sont beaucoup plus détaillés pour le Canada, y compris au niveau provincial. La REC prévoit que la production d'électricité fera plus que doubler entre 2021 et 2050. Pour reprendre les termes du Forum des politiques publiques, la réalisation de cette projection représente le « [projet du siècle](#) » pour le Canada.¹⁶

Dans les scénarios de carboneutralité de la REC, au moins *la moitié* de l'augmentation nette de la production annu-



elle d'électricité entre 2021 et 2050 sera assurée par l'éolien (*voir le graphique ci-dessous*). La production totale d'électricité au Canada devrait augmenter de 667 TWh entre 2021 et 2050, tandis que celle d'énergie éolienne devrait augmenter de 334 TWh, passant de 36 TWh à 370 TWh en moins de 30 ans. Le volume d'énergie éolienne dont le Canada aura besoin soulève la question de ses sources. Il existe un bon potentiel de développement terrestre dans de nombreuses régions du pays, y compris dans le Canada atlantique, mais l'implantation de grands parcs éoliens se heurte souvent à une [résistance](#)

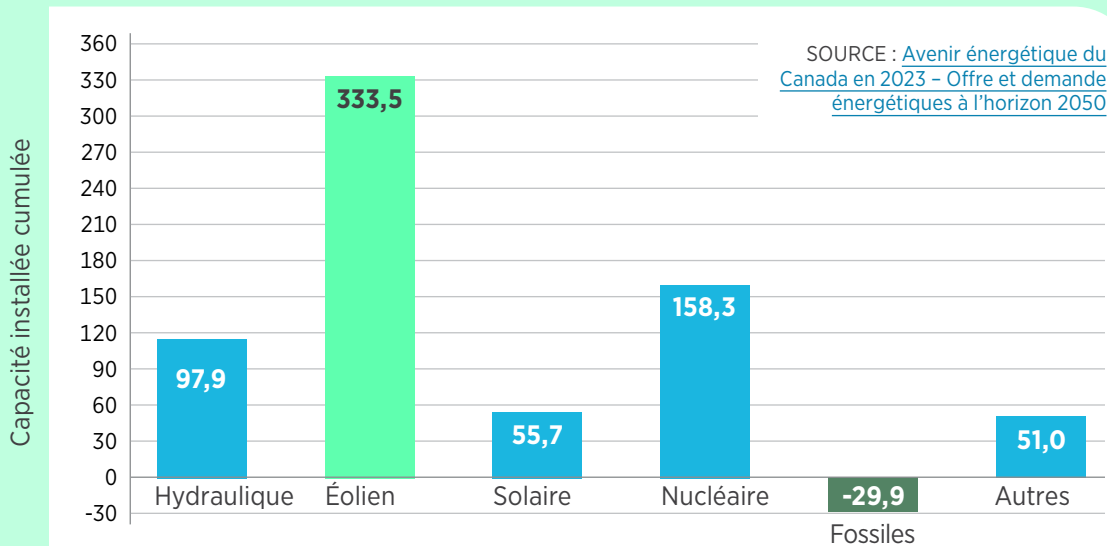
[locale](#) liée à des conflits d'utilisation des sols et à des préoccupations d'ordre esthétique, environnemental et même sanitaire.¹⁷ Il est presque certain que cette opposition s'accroîtra à mesure que la mise en œuvre s'accélérera.

À tout le moins, le mouvement des riverains contestataires, qui s'étend même à la [réticence de certains gouvernements provinciaux](#), retardera la construction et découragera l'investissement.¹⁸ Cette situation est certes regrettable pour les objectifs du Canada en matière d'émissions, mais elle crée une importante ouverture pour le développement de l'éolien en mer dans le Canada atlantique, dans une mesure

bien supérieure aux besoins prévus de la région en matière de production d'électricité : selon les prévisions de la REC, ces besoins augmenteront de 60 %, passant de 62 TWh en 2021 à 100 TWh en 2050.¹⁹

Cette occasion à saisir, véritablement transformatrice, consistera à fournir aux *réseaux nord-américains* de l'électricité produite en mer; l'éolien ne servirait donc pas uniquement pour la [production d'hydrogène vert](#) qui, jusqu'à présent, a été [promue comme la principale utilisation](#) dans le Canada atlantique.^{18,19} Les facteurs particuliers qui justifient ce type de vision audacieuse sont les suivants.

Augmentation de la production d'électricité de 2021 à 2050 selon la source d'énergie Total canadien (TWh)



LES RESSOURCES POTENTIELLES

Selon les estimations du potentiel technique du développement de l'éolien en mer au Canada, le pays dispose d'une quantité pratiquement illimitée lorsqu'on inclut toutes les côtes et les Grands Lacs : par exemple, [une étude récente](#) a estimé qu'il est théoriquement possible de produire 20 000 TWh par an, soit environ 30 fois la production actuelle d'électricité au Canada.²² Le potentiel commercial serait bien inférieur aux estimations théoriques, mais il existe néanmoins plusieurs zones au large de la côte atlantique, notamment le golfe du Saint-Laurent, qui offrent certaines des meilleures conditions éoliennes au monde et qui pourraient accueillir de très grandes centrales de production énergétique.

Au départ, les zones les plus prometteuses – compte tenu de la vitesse et de la régularité du vent, de la profondeur de l'eau, des conditions du milieu marin et de l'impact potentiel sur d'autres utilisations et sur les écosystèmes – semblent se situer sur la [plate-forme néo-écossaise](#), et plus précisément sur le banc de l'île de Sable et le banc du Milieu (*voir l'encadré 2*).²³ Il s'agit de

deux grandes zones libres de glace et dont la profondeur inférieure à 60 mètres permettrait de fixer des éoliennes sur les fonds marins. Elles sont beaucoup plus éloignées du rivage que la plupart des centrales actuelles, qui se trouvent généralement à une distance de 10 à 50 km. Mais si la distance fait augmenter les coûts, l'éloignement des côtes présente l'avantage non négligeable d'offrir des vitesses de vent plus élevées et plus régulières et de réduire le risque d'interférer avec d'autres activités marines ou de se heurter à la résistance des riverains contestataires.²⁴

Ces deux zones, parmi d'autres, ont été identifiées dans une [étude récente](#) réalisée pour Net-Zero Atlantic par la société de conseil danoise [Aegir](#).^{25,26} Cette étude se limitait aux zones adjacentes à la Nouvelle-Écosse : il faudrait mener d'autres études similaires pour repérer les sites potentiels sur toute la côte atlantique et dans le golfe du Saint-Laurent. Bien que le golfe et les zones plus septentrionales soient exposés à la glace de mer et au givrage des pales des turbines, [l'expérience finlandaise](#) permet de penser que ces défis peuvent être relevés à un coût qui, en fonction d'autres facteurs, peut encore être commercialement viable.²⁷

LE POTENTIEL DE L'ÉNERGIE ÉOLIENNE EN MER

Un exemple hypothétique

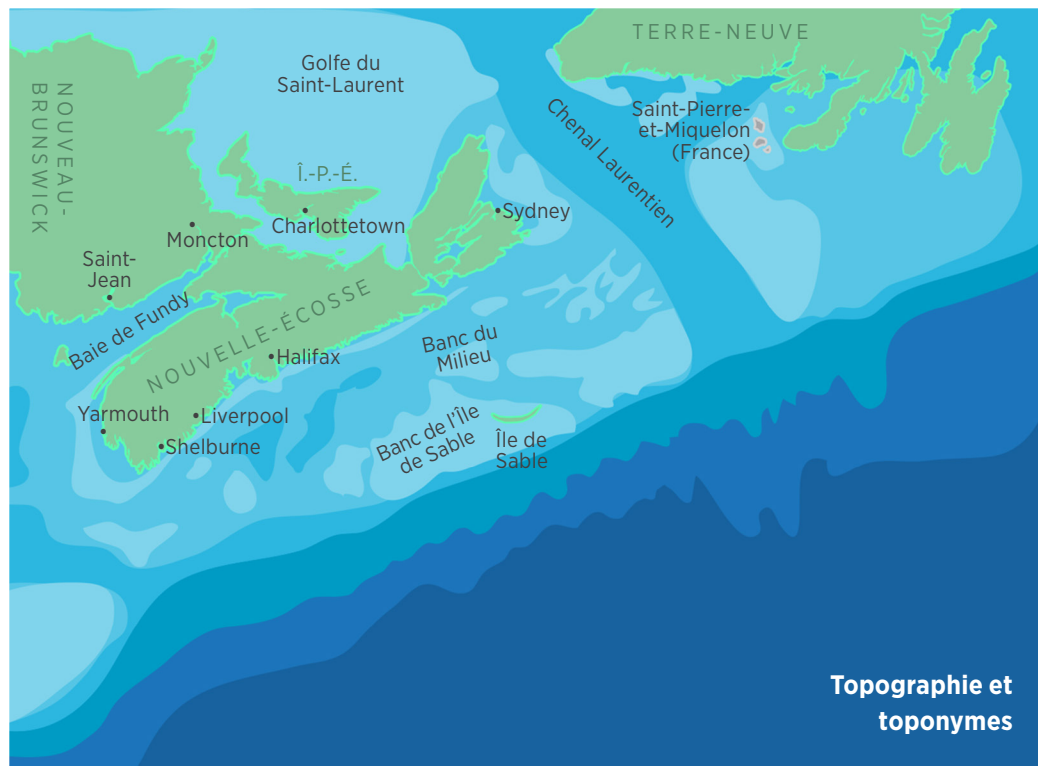
L'exemple suivant donne une idée des possibilités qu'offrirait un développement important de l'éolien en mer sur la côte est du Canada.

À des fins d'illustration, supposons l'existence de plusieurs centrales en mer d'une « capacité nominale » totale de 15 000 MW (15 GW). (On estime, par exemple, que **le banc de l'île de Sable pourrait accueillir des parcs éoliens totalisant au moins 15 GW dans une zone de plus de 8 000 km²** où la profondeur de l'eau de moins de 60 mètres permettrait l'installation de turbines ancrées aux fonds marins.) Le potentiel ultime de la côte du Canada atlantique serait bien supérieur à 15 GW, mais l'ampleur du développement éventuel dépendrait de facteurs économiques et réglementaires. Le développement complet s'étalerait sur plusieurs décennies.

Sur une année, un parc éolien en mer aurait en moyenne un « facteur de charge » allant de 0,50 à plus de 0,55, de sorte que l'énergie totale produite serait probablement supérieure à la moitié de la capacité installée maximale. En supposant l'utilisation de turbines individuelles d'une capacité installée de 15 MW (l'échelle actuellement promise par les fabricants en Europe et en Chine), le parc contiendrait 1 000 turbines et couvrirait une surface totale de 3 500 à 4 000 km². Actuellement, [le plus grand parc éolien en mer du monde](#) (Hollandse Kust Zuid) a une capacité de 1,5 GW générée par 139 turbines, chacune d'une capacité d'un peu moins de 11 MW.²⁸

L'énergie électrique annuelle totale générée par une capacité installée de 15 GW serait d'environ 70 000 GWh, soit près du double de la





consommation actuelle des provinces atlantiques et plus de 10 % de toute l'électricité actuellement produite au Canada. Un parc de cette ampleur dépendrait donc d'un marché d'exportation pour l'électricité excédentaire par rapport aux besoins régionaux.



Au fur et à mesure du développement de [plateformes d'éoliennes flottantes](#), qui sont ancrées aux fonds marins par des câbles, et de la diminution de leur [coût prévisionnel](#), il ne serait plus nécessaire d'implanter les éoliennes dans des hauts-fonds.^{29,30} Une zone côtière beaucoup plus vaste s'ouvrirait ainsi au développement potentiel, limité uniquement par la demande du marché et la compétitivité des coûts.

LES AVANTAGES DE L'ÉOLIEN EN MER COMME SOURCE D'ÉNERGIE

L'une des raisons pour lesquelles l'éolien en mer est une source d'énergie si attrayante est qu'il est extrêmement propre, avec une [empreinte de GES typique sur le cycle de vie](#) d'environ 10 grammes de CO₂ par kWh d'électricité produite.³¹ Cela signifie qu'un parc de 1 GW — suffisant pour fournir de l'électricité à près d'un tiers des ménages du Canada atlantique — produirait, en comptabilisant l'ensemble du cycle de vie, environ 45 tonnes de CO₂ par an, soit à peu près l'équivalent de [10 voitures à essence](#).³² Aucune source d'énergie importante n'est plus respectueuse du climat.

Un autre avantage clé de l'énergie éolienne en mer est qu'elle est plus puissante et plus fiable que les sources terrestres typiques et beaucoup moins intermittente que l'énergie solaire. En outre, elle est plus puissante pendant les mois les plus froids, lorsque la demande est la plus forte au Canada, ce qui la rend complémentaire de l'énergie solaire. L'effet de la vitesse variable du vent sur la production d'électricité peut être compensé par le stockage dans des batteries; par ailleurs, il est possible de minimiser les [pertes dues à la réduction forcée de la production en permettant à un parc éolien en mer](#) d'utiliser l'énergie, lorsqu'elle est excédentaire, afin de produire de l'hydrogène.^{33,34} Parmi les sources d'électricité intermittentes, l'éolien en mer est celle qui s'adapte au réseau de la façon la plus économique. De fait, l'éolien en mer du Canada atlantique contribuerait à équilibrer les variations de la production des sources d'énergie intermittentes au Canada, en s'appuyant sur une zone géographique très vaste.

Aucune source d'énergie n'est totalement exempte d'impact sur le milieu environnant; c'est également le cas de l'éolien en mer qui peut affecter les mammifères marins, les poissons, les oiseaux et la

flore sous-marine. Ces impacts ont été [largement étudiés](#) dans le contexte des parcs existants et prévus, en particulier au Royaume-Uni, en Europe occidentale et aux États-Unis.³⁵ Bien que de nombreuses incertitudes subsistent, l'expérience du Danemark, qui possède la plus longue expérience au monde en matière d'éolien en mer, permet de penser que [l'impact environnemental](#) est à la fois modéré et gérable.³⁶

Il est important de reconnaître que cet impact ne peut être envisagé hors de tout contexte. Il faut évaluer les risques par rapport aux avantages, en particulier l'avantage de l'utilisation de l'éolien en mer dans l'atténuation du changement climatique, la plus grande menace environnementale qui soit.

LES AVANTAGES ÉCONOMIQUES

L'installation et la maintenance d'une production éolienne en mer massive créeront beaucoup d'emplois et d'importants revenus pendant plusieurs décennies au cours de la phase de construction, et indéfiniment avec l'activité continue de maintenance et de remplacement. Par exemple, le développement de la production d'énergie éolienne en mer de 15 GW créerait

environ [30 000 emplois directs](#) par an pendant les années de construction et d'installation, et environ 1 200 emplois permanents pour l'exploitation et la maintenance.^{37,38} Le nombre d'emplois occupés par des Canadiens de l'Atlantique dépendrait bien sûr de l'investissement local dans la chaîne d'approvisionnement et de la disponibilité des compétences; il faudrait développer ces dernières grâce à des programmes de formation ciblés pour contrer le risque de pénurie qui pourrait sérieusement perturber le rythme du développement.

Si le Canada atlantique devenait un centre important pour le développement de l'éolien en mer, un [écosystème de la chaîne d'approvisionnement](#) se développerait naturellement, comprenant la fabrication de composants, la logistique, l'entretien en mer et les systèmes de surveillance.³⁹ Ces activités seraient complétées par la planification et la gestion de projets, diverses disciplines de génie-conseil, le développement et la formation de ressources humaines spécialisées, des services financiers spécialisés, ainsi que la recherche et le développement. Bon nombre de ces compétences permettraient de soutenir un nouveau secteur d'exportation

du Canada atlantique pour répondre au développement mondial de l'éolien en mer.

À mesure que le monde passe à l'énergie décarbonée, les régions qui disposent d'un approvisionnement important et fiable en électricité propre deviendront progressivement des lieux plus attrayants pour toutes sortes d'activités à forte intensité énergétique, à l'instar de l'énergie hydraulique abondante qui a fait du Québec un centre mondial de [l'industrie de l'aluminium](#) et de ses productions dérivées.⁴⁰ L'éolien en mer excédentaire, associé à l'accès immédiat aux ports en eau profonde, améliorera considérablement l'attrait des investissements et la vitalité des exportations du Canada atlantique.

Les parcs éoliens en mer seront installés dans les zones précises où les conditions sont réunies pour optimiser les critères commerciaux et l'homologation réglementaire. Mais de même que la marée soulève tous les navires, la prospérité apportée par l'éolien en mer à grande échelle s'étendrait aux quatre provinces atlantiques, et même au-delà des frontières de la région. En outre, la géographie compacte du Canada atlantique facilite la diffusion

des avantages. Les infrastructures de communication et de transport, y compris les services aériens régionaux, s'étofferaient pour former un dense réseau d'interconnexions, ce qui renforcerait encore la capacité économique de la région.

Le développement de l'éolien en mer à très grande échelle pourrait faire pour le Canada atlantique ce que l'industrie pétrolière et gazière a fait pour l'Ouest canadien : il changerait la donne économique pour la région et ferait d'elle, pour reprendre les termes de la « déclaration d'Ostende », la centrale électrique verte du Canada. Il serait regrettable que l'esprit de clocher et le manque de vision – toujours un risque – fassent obstacle à la collaboration interprovinciale qui sera nécessaire pour tirer pleinement parti des possibilités offertes par le développement de l'énergie éolienne en mer à l'échelle mondiale.



LE PLAN DE MISE EN ŒUVRE

L'Europe, l'Asie et les États-Unis se sont déjà résolument engagés dans le développement de l'éolien en mer.

Les contrats commerciaux conclus sur différents marchés et les plans ambitieux de développement majeur démontrent la compétitivité de l'éolien en mer en matière de coûts. La technologie a fait ses preuves et continue de s'améliorer. Les incidences sur l'environnement et les activités maritimes semblent gérables.

Le défi pour le Canada atlantique est de transformer cette possibilité en réalité. Il faudra pour cela attirer de très gros

investissements, dans un contexte de concurrence intense pour l'obtention des capitaux nécessaires au financement du virage énergétique mondial. Le succès dépend de plusieurs facteurs :

- **Le marché, taille et accès;**
- **Des coûts compétitifs;**
- **La présence d'actifs complémentaires;**
- **Un soutien politique et réglementaire.**

Chacun de ces facteurs est nécessaire et aucun n'est suffisant en soi.

LE MARCHÉ, TAILLE ET ACCÈS

Comme nous l'avons vu plus haut, les projections de l'Agence internationale de l'énergie et de la Régie canadienne de l'énergie ne laissent planer aucun doute sur le fait que la demande d'énergie éolienne sera très importante si nous voulons parvenir à la carboneutralité d'ici à 2050.

Il existe également un marché potentiellement important pour l'hydrogène vert, à la fois pour une utilisation domestique et, sous la forme d'ammoniac « vert », pour l'exportation à l'étranger. Plusieurs projets d'éoliennes terrestres sont déjà proposés pour répondre à cette demande, mais lorsqu'une [économie de l'hydrogène se matérialisera](#), il y aura également un vaste marché pour les éoliennes en mer qui produiront cet hydrogène (*voir l'encadré 3*).⁴¹

Le marché potentiel de loin le plus important pour l'éolien en mer de l'Atlantique consiste à combler :

1. **la demande régionale croissante à mesure que l'économie se développe et que les combustibles fossiles sont éliminés;**
2. **les énormes besoins futurs en éner-**

gie éolienne du reste du Canada et en particulier de l'Ontario;⁴²

3. **et, éventuellement, la demande d'électricité en forte augmentation dans le nord-est des États-Unis.**

Les points 2) et 3) nécessitent une importante capacité de transport pour relier le Canada atlantique au Québec et au nord-est des États-Unis (ce qui, pour cette région, se ferait soit directement soit via le Québec). La possibilité d'un transport sous-marin de grande capacité reliant directement l'éolien de la plate-forme néo-écossaise à la Nouvelle-Angleterre a été analysée dans un récent [rapport](#) réalisé pour le compte de la coalition New England-Maritimes Offshore Energy Corridor (NEMOEC).⁴³

Bien que les États-Unis aient leurs propres plans ambitieux de développement de l'éolien en mer, les projets proposés jusqu'à présent sur la côte nord-est se sont heurtés à une [opposition locale](#) considérable, qui est politiquement importante même si les riverains sont souvent mal informés.⁴⁴ Si cette opposition entraîne des retards importants ou l'annulation des projets, le Canada atlantique aura la possibilité d'exporter une grande quantité d'électricité. Les considérations juridiques et politiques

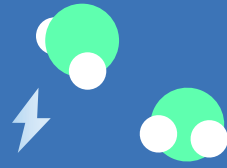
qui touchent l'exportation potentielle d'énergie verte vers les États du nord-est sont complexes. Au niveau fédéral américain, il ne semble pas y avoir d'obstacles majeurs. Mais la plupart des gouvernements des États ont adopté des stratégies visant à promouvoir l'énergie verte, y compris l'éolien en mer, et [ont mis en place des restrictions](#) qui pourraient rendre difficile, voire impossible, l'importation d'énergie verte en provenance du Canada.⁴⁵ À l'heure actuelle, les marchés les plus accessibles dans le nord-est semblent être le Massachusetts et le Connecticut.

Quoi qu'il en soit, la capacité du Canada atlantique à fournir de grandes quantités d'électricité d'origine éolienne au reste du Canada nécessitera, comme première étape essentielle, l'achèvement de la « boucle de l'Atlantique » (*voir l'encadré 5*). Ce projet d'une importance cruciale doit être vu comme fournissant une capacité de transport à *double sens* complémentaire, l'énergie hydroélectrique allant vers la région et l'énergie éolienne allant vers le Québec et au-delà. Étant donné que le Québec dispose d'[options limitées](#) pour implanter de nouvelles grandes centrales hydroélectriques, mais que la province connaît un besoin rapidement croissant d'électricité propre, il semble y avoir une complémentarité

stratégique entre la demande future du Québec et l'offre potentielle d'énergie en mer du Canada atlantique.⁴⁶ Selon l'ampleur du développement de l'éolien en mer, la boucle de l'Atlantique telle qu'elle est actuellement envisagée devrait être complétée par une capacité de transport beaucoup plus importante vers l'extérieur de la région.

DES COÛTS COMPÉTITIFS

La construction de centrales éoliennes en mer nécessite d'importants investissements et repose sur une durée de vie des turbines qui serait de 20 à 30 ans.⁴⁷ Les investissements de ce type nécessitent ordinairement des contrats à long terme négociés avec des clients fiables, généralement des compagnies d'électricité, même si, à mesure que l'économie s'électrifie, de grands utilisateurs tels que les géants de l'informatique concluent parfois des contrats directement avec les centrales éoliennes. Quoi qu'il en soit, les clients disposent presque toujours d'autres sources de production d'électricité. Le fournisseur d'énergie éolienne en mer doit donc proposer des conditions concurrentielles, généralement fixées par voie d'enchères.



TRANSFORMER LE VENT EN HYDROGÈNE VERT

À la suite d'un accord de coopération conclu en août 2022 entre le Canada et l'Allemagne,

les offres de service se sont multipliées pour utiliser l'énergie éolienne dans le Canada atlantique afin de produire de l'hydrogène « vert », principalement pour l'exportation vers l'Europe. Dans un premier temps, les projets ont visé à implanter des parcs éoliens terrestres afin de produire de l'hydrogène par électrolyse de l'eau, évitant ainsi les émissions de CO² générées par la production conventionnelle d'hydrogène « gris » à partir de gaz naturel. En septembre 2022, le gouvernement de la Nouvelle-Écosse a annoncé un objectif de 5 GW d'éolien en mer d'ici à 2030, déclarant que : « L'utilisation la plus prometteuse de l'énergie éolienne en mer est la production d'électricité renouvelable pour produire de l'hydrogène vert destiné à la province et à l'exportation. »⁴⁹ La Régie cana-

dienne de l'énergie a prévu que la production canadienne d'hydrogène passerait de 3 mégatonnes (Mt) actuellement à environ 14 Mt d'ici à 2050 (toutes à émissions faibles ou nulles), dont environ 5 Mt seraient destinées à l'exportation.

Le problème est le coût. L'hydrogène vert coûte actuellement environ 5 \$ US par kilogramme, soit près de cinq fois le coût de l'hydrogène produit à partir du gaz naturel.⁵⁰ Ce montant reflète le coût actuel des électrolyseurs (qui devrait baisser nettement) et le fait que l'on consomme environ 50 kWh d'électricité pour produire 1 kg d'hydrogène vert. Le volume d'énergie nécessaire pour produire de l'hydrogène vert à grande échelle est ahurissant : par exemple, pour produire 5 Mt d'hydrogène électrolytique par an, il faudrait une capacité éolienne en mer d'environ 60 GW, soit environ 40 % de la capacité totale actuelle de



production d'électricité du Canada. La viabilité économique de l'hydrogène vert dépend donc essentiellement d'une électricité abondante, propre et bon marché. Les gouvernements du monde entier offrent des incitations financières très importantes pour donner un coup de fouet à la production d'hydrogène vert, dans l'espoir que les coûts baisseront rapidement grâce aux économies d'échelle et à l'innovation technologique. Le gouvernement canadien, par exemple, a prévu une aide de plus de 17 milliards de dollars jusqu'en 2035.

L'hydrogène étant difficile à transporter sur de très longues distances, les projets d'exportation du Canada atlantique convertiront l'hydrogène vert en ammoniac (NH_3), plus dense, avant de l'expédier outre-mer.

Mais la conversion de l'électricité en ammoniac entraîne la perte d'environ la moitié de l'énergie utilisée, et si l'ammoniac était reconverti en

hydrogène à destination, seul un quart de l'énergie électrique d'origine serait conservé.⁵¹ C'est pourquoi l'importateur utilise généralement l'ammoniac « vert » directement, par exemple pour la production d'engrais.⁵² Bien que très dispendieux sur le plan énergétique, l'hydrogène vert peut quand même être rentable si le client est prêt à payer suffisamment pour l'avantage environnemental, ou si l'électricité qui sert à sa production est bon marché et suffisamment abondante, ou encore si les subventions gouvernementales sont suffisamment importantes. Au vu du nombre de projets en cours dans le monde, la concurrence en matière de prix et de subventions sera féroce.⁵³ Par conséquent, dans certains cercles, on se montre sceptique quant au fait que la production d'hydrogène vert pour l'exportation serait la première utilisation optimale des ressources éoliennes en mer du Canada atlantique.⁵⁴



Après des années de [réduction constante](#),⁵⁵ le coût de mise en œuvre de l'éolien en mer a récemment connu une forte augmentation, principalement en raison de l'inflation du coût des matériaux (en particulier de l'acier), de la concurrence pour les intrants rares et de l'augmentation des taux d'intérêt. Cette situation a incité les promoteurs de certains projets en cours aux États-Unis à demander une [renégociation des contrats](#) à des prix plus élevés par kWh. Cependant, la pression sur les coûts s'atténue déjà, tout en conduisant à des solutions techniques innovantes et au développement de nouvelles sources d'approvisionnement en matériaux et en compétences.⁵⁷

Le coût direct de la production d'énergie éolienne en mer dépend du coût :

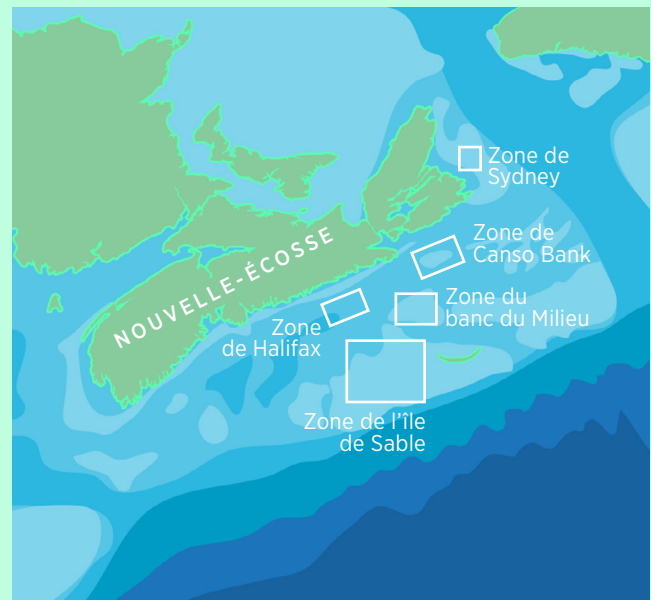
- **des turbines, des sous-stations et des lignes de transport jusqu'à la côte;**
- **de l'installation initiale;**
- **de la maintenance, de l'exploitation annuelle;**
- **du démantèlement éventuel;**
- **du financement (fonds empruntés et fonds propres).**


Le coût de production, généralement exprimé sous forme de moyenne

Les zones de la plate-forme néo-écossaise présentant un fort potentiel pour l'éolien en mer

COÛT ACTUALISÉ DE L'ÉLECTRICITÉ (CAD/MWh)

60 90 105 125



 Zones combinant des contraintes relativement faibles et des perspectives relativement attrayantes

SOURCE : AEGIR [Value Mapping Nova Scotia's Offshore Wind Resources](#) (page 24)

annuelle, en cents par kWh (ou \$/MWh), est appelé coût actualisé de l'électricité (LCoE); ce paramètre peut servir à comparer l'économie de différentes technologies de production. Le coût actualisé de l'électricité dépend d'un grand nombre de facteurs locaux, y compris des diverses

formes de subventions publiques, de sorte qu'il varie considérablement d'une technologie de production à l'autre.

Dans un rapport sur [l'année 2023](#), le cabinet de conseil Lazard, une sommité en matière d'analyse des coûts de l'énergie, a mentionné des coûts actualisés allant de 7 à 14 cents américains par kWh pour la production éolienne en mer; de 2,4 à 7,5 cents pour l'éolien terrestre; et de 4,6 à 10,2 cents pour l'énergie solaire (avec stockage).⁵⁸ Il est clair que la production d'énergie éolienne en mer est aujourd'hui nettement plus coûteuse que la production d'énergie terrestre. Mais son coût diminuera au fur et à mesure que les économies d'échelle et l'apprentissage par la pratique se développeront, et que l'on introduira des innovations permettant de réduire les coûts, notamment des turbines beaucoup plus grandes. La dernière [analyse de l'évolution des coûts](#) réalisée par le National Renewable Energy Laboratory (NREL) des États-Unis prévoit une diminution du coût de l'éolien en mer de plus de 25 % (par rapport à 2021) d'ici à 2030, et de près de 45 % d'ici à 2050.⁵⁹

Bien que le coût actualisé de l'éolien en mer soit généralement plus élevé que celui des centrales terrestres, la régu-

larité relative du vent maritime et le fait qu'il soit le plus fort en hiver, lorsque la demande d'électricité au Canada est la plus élevée, font en sorte que l'éolien en mer est plus facilement pris en charge par le réseau que l'éolien ou le solaire terrestres : c'est un avantage qui deviendra de plus en plus important à mesure que l'éolien et le solaire contribueront à une part beaucoup plus importante de la production d'électricité. En bref, la compétitivité des différentes sources de production dépend de l'ensemble du système et pas seulement de la rentabilité d'une centrale particulière.

Sans une analyse détaillée de l'ingénierie et de la chaîne d'approvisionnement, il est impossible de déterminer avec précision le coût futur de l'électricité éolienne en mer au Canada atlantique. Dans son étude consacrée aux sites potentiels de production d'énergie éolienne sur la plate-forme néo-écossaise, la société de conseil Aegir a estimé, sur la base de l'expérience européenne, que le coût actualisé d'une centrale éolienne sur le banc de l'île de Sable et le banc du Milieu (*voir la carte ci-dessus*) serait d'environ 6,5 cents (canadiens) par kWh. Ce coût serait légèrement inférieur aux [estimations récentes](#) du coût actualisé pour les projets en mer du Nord.⁶⁰ L'analyse d'Aegir supposait



Navire spécialisé dans l'installation d'éoliennes en mer

Avec l'aimable autorisation de [Dominion Energy](#), par l'intermédiaire de [Offshore Magazine](#)

une puissance de 2 GW sur chaque site, fournie par 100 turbines de 20 MW, dont l'exploitation commerciale commencera en 2035. Les coûts estimés seraient probablement plus élevés aujourd'hui en raison de la récente accélération de l'inflation, mais il en va de même pour les coûts des autres nouvelles sources d'électricité. La faisabilité commerciale sera également fortement influencée par les politiques gouvernementales, et en particulier par les incitations fiscales et autres, du type de celles annoncées dans le [budget fédéral de 2023](#)⁶¹ et résumées dans l'encadré 4.

Il ne faut pas oublier que le virage énergétique est une entreprise mondiale d'une ampleur et d'une portée sans précédent qui s'étendra sur plusieurs décennies. Le chemin sera inévitablement semé d'embûches qui feront fluctuer les évaluations de faisabilité à court terme en fonction de facteurs transitoires. C'est pourquoi il est essentiel d'avoir une vision à long terme, ancrée dans les grands paramètres économiques et environnementaux. De ce point de vue, les [perspectives de croissance](#) de l'éolien en mer restent extrêmement prometteuses.⁶²

LES ACTIFS COMPLÉMENTAIRES

L'éolien en mer nécessitera une infrastructure de soutien dans le Canada atlantique, notamment :

- **des installations portuaires capables d'accueillir des turbines gigantesques;**
- **divers éléments de la chaîne d'approvisionnement;**
- **des travailleurs qualifiés pour toutes les phases de l'installation et de la maintenance (des capacités locales pour la plupart des tâches seront finalement développées);**
- **des services techniques et environnementaux;**
- **de la recherche et du développement.**

Grâce à son héritage maritime séculaire, le Canada atlantique est extrêmement bien placé pour accueillir l'industrie moderne de l'éolien en mer. La région dispose de plusieurs ports en eau profonde : Saint-Jean de Terre-Neuve, Sydney, Point Tupper/Port Hawkesbury, Saint-Jean et Halifax peuvent recevoir les gigantesques navires spécialisés nécessaires au transport des turbines vers les sites d'installation. Halifax a récemment accueilli des navires d'ins-

Grâce à son héritage maritime séculaire, le Canada atlantique est extrêmement bien placé pour accueillir l'industrie moderne de l'éolien en mer.

tallation desservant le nouveau parc éolien de [Vineyard 1](#), au large des côtes du Massachusetts.⁶³ La raison en est que les États-Unis manquent de navires d'installation de turbines construits sur leur territoire, alors qu'une loi américaine obscure empêche les navires construits à l'étranger de naviguer d'un point à l'autre du territoire américain. Les États-Unis [finiront par construire](#) ces navires d'installation,⁶⁴ mais en attendant, les ports du Canada atlantique ont une occasion unique d'acquérir une expérience qui pourra être mise à profit dans nos propres centrales en mer.

L'industrie pétrolière et gazière en mer a créé une main-d'œuvre aux compétences transférables dans la région, en particulier à Terre-Neuve-et-Labrador. Les régions de Halifax et de Saint-Jean de Terre-Neuve, entre autres, ont un secteur des technologies océaniques dynamique qui pourrait facilement

s'adapter aux besoins de l'éolien en mer. En outre, le Canada atlantique a acquis au fil des ans une vaste expérience en matière de centrales éoliennes terrestres, dont une partie pourrait être transférée au développement en mer.

Les universités et les collèges communautaires des quatre provinces offrent des formations et des capacités de recherche marine qui permettraient de répondre à de nombreuses exigences; ces capacités seraient encore renforcées avec un développement important de l'éolien en mer. Il existe également une intéressante possibilité de collaboration officielle avec des communautés de recherche universitaires et gouvernementales américaines. Les universités du nord-est et des organisations comme le National Renewable Energy Laboratory ([NREL](#)) sont profondément engagées dans la recherche sur le développement de l'éolien en mer dans le golfe du Maine et le long de la côte est des États-Unis; ces régions ont manifestement beaucoup en commun avec la côte atlantique du Canada.

Enfin, plusieurs entreprises situées ailleurs au Canada se spécialisent dans divers éléments de la chaîne d'approvisionnement en énergie éolienne, y compris certains aspects de l'éolien en

mer. [Northland Power](#), par exemple, est une société internationale du secteur de l'énergie qui a des projets d'éolien en mer (en exploitation ou prévus) en Europe et en Asie; [LM Wind Power](#) (une usine de General Electric à Gaspé, au Québec) fabrique des pales d'éoliennes pour les centrales en mer américaines et européennes.^{65,66} L'absence d'une chaîne d'approvisionnement bien développée pour l'éolien en mer au Canada est manifestement due à l'absence, à ce jour, de centrales éoliennes en mer dans ce pays; cette situation évoluerait rapidement une fois qu'on aurait commencé une implantation *durable* importante.⁶⁷

UN SOUTIEN POLITIQUE ET RÉGLEMENTAIRE

Le gouvernement fédéral et les gouvernements des provinces de l'Atlantique doivent être prêts à coopérer pour attirer les investissements privés massifs nécessaires au développement des vastes possibilités offertes par l'éolien en mer du Canada atlantique. Les gouvernements devront s'engager à soutenir le développement à long terme et à l'échelle mondiale de l'éolien en mer afin de mobiliser les capitaux et l'expertise internationale nécessaires.

Les initiatives politiques et réglementaires suivantes seront d'une importance cruciale :

- **les incitations fiscales;**
- **les concessions, la réglementation et les modalités d'application de la Loi sur l'évaluation d'impact (fédérale);**
- **la réglementation provinciale du réseau public de distribution d'électricité (y compris les interconnexions au sein du Canada atlantique et avec le reste du Canada et l'est des États-Unis).**

Les incitations fiscales – Pour que le Canada atteigne son objectif de carboneutralité, la capacité d'énergie éolienne en mer sur la côte atlantique doit être considérée comme un atout national et non simplement régional. Les incitations fiscales fédérales actuelles en faveur de l'énergie verte semblent suffisantes

pour lancer le mouvement; elles permettent d'égaliser les chances avec les incitations offertes par la loi américaine sur la réduction de l'inflation, promulguée il y a un an (*voir l'encadré 4*). Si l'on considère l'importance nationale d'un développement potentiellement massif de l'éolien en mer, un soutien plus adapté de la part du gouvernement fédéral serait justifié.

Les projets d'éolien exigeant des capitaux importants, leur coût est beaucoup plus élevé en début de période. Le promoteur d'une installation est donc soumis à un risque substantiel, en particulier dans le Canada atlantique où il n'y a pas d'expérience antérieure dans le domaine de l'éolien en mer. Lorsque le secteur a commencé à se développer en Europe, le risque lié aux projets était généralement atténué par la garantie gouvernementale d'un

LES INCITATIONS FÉDÉRALES DIRECTEMENT LIÉES À L'ÉOLIEN EN MER

Le budget fédéral de 2023 comporte un [engagement majeur](#) envers l'avenir de l'énergie propre, soulignant notamment que « le Canada a le potentiel de devenir une superpuissance en électricité propre, dotée d'un réseau électrique pancanadien plus abordable, plus durable et plus sécuritaire ». ⁶⁸ Cet engagement s'accompagne de crédits d'impôt, de dépenses de programmes

et d'investissements majeurs. Bien qu'elles ne visent évidemment pas exclusivement le développement de l'éolien en mer, les mesures suivantes sont taillées sur mesure pour soutenir la vision exposée dans ce document :

- **La Banque de l'infrastructure du Canada met l'accent sur l'électricité propre :** la BIC investira au moins 10 milliards de dollars dans chacun des domaines prioritaires que sont l'énergie propre et l'infrastructure verte, soit au moins 20 milliards de dollars pour soutenir la construction de grands projets d'électricité propre et d'infrastructure de croissance propre (comme les parcs éoliens en mer).
- **Un crédit d'impôt à l'investissement dans l'électricité propre :** un crédit d'impôt remboursable de 15 % pour les investissements dans des systèmes de production d'électricité non polluante, des systèmes de stockage d'électricité stationnaires et des équipements de transport d'électricité entre provinces (coût estimé sur 10 ans : 25,7 milliards de dollars).
- **Le Fonds de croissance du Canada :** un véhicule d'investissement public indépendant d'une valeur de 15 milliards de dollars qui contribuera à attirer des capitaux privés pour construire l'économie propre du Canada en utilisant des instruments d'investissement (comme les « contrats pour la différence » britanniques); ceux-ci absorbent certains risques afin d'encourager l'investissement privé dans des projets et des chaînes d'approvisionnement à faible émission de carbone.
- **Un crédit d'impôt à l'investissement dans l'hydrogène propre :** le soutien varie entre 15 % et 40 % des coûts du projet, en fonction de la teneur en carbone de la méthode de production (coût estimé sur 10 ans : 17,7 milliards de dollars).
- **Des projets d'électricité propre :** 3 milliards de dollars sur 13 ans, notamment un soutien continu à l'innovation dans les réseaux et de nouveaux investissements dans des activités scientifiques pour contribuer à tirer parti du

potentiel éolien en mer du Canada, en particulier au large des côtes de la Nouvelle-Écosse et de Terre-Neuve-et-Labrador.

- **Un crédit d'impôt à l'investissement dans la fabrication de technologies propres :** un crédit d'impôt remboursable égal à 30 % du coût des investissements dans la nouvelle machinerie et les nouveaux équipements utilisés pour fabriquer ou transformer des technologies propres clés, y compris probablement des éléments

de la chaîne d'approvisionnement de l'éolien en mer (coût estimé sur 10 ans : 11,1 milliards de dollars).

- **Des projets de technologies propres :** 500 millions de dollars sur 10 ans pour le Fonds stratégique pour l'innovation afin d'attirer et de stimuler des investissements commerciaux de haute qualité pour soutenir le développement et l'application de technologies propres au Canada, y compris probablement les intrants de la technologie éolienne en mer.

prix fixe pour l'énergie produite sur un certain nombre d'années; c'est ce que l'on appelle le tarif de rachat garanti. Cette certitude a attiré les promoteurs et rendu les projets bancables. À mesure que le secteur éolien européen prenait de la maturité, les méthodes de tarification sont devenues plus adaptées au marché et plus efficaces. Le Royaume-Uni, par exemple, utilise désormais un modèle de « [contrat pour la différence](#) » (CfD) qui, par le moyen

d'une vente aux enchères, détermine un prix de référence fixe pour l'électricité, le « prix d'exercice ».⁶⁹ Par la suite, si le prix courant de l'électricité est inférieur au prix d'exercice, le fournisseur d'éolien en mer reçoit un paiement complémentaire égal à la différence; si le prix courant dépasse le prix d'exercice, le fournisseur rembourse l'excédent.

[L'expérience européenne](#) semble indiquer qu'au départ, les promo-

teurs d'éoliennes en mer seront plus susceptibles d'être attirés au Canada atlantique par un tarif de rachat incitatif, qui évoluerait ensuite vers un CfD et finalement vers un modèle entièrement non subventionné.^{70,71} D'autres modèles, comme des contrats d'achat négociés, sont également possibles. [Le Conseil consultatif canadien de l'électricité](#), récemment nommé, soumettra son avis au ministre des Ressources naturelles à cet égard.⁷²

Les concessions, la réglementation et les études d'impact – L'autorité compétente pour le développement des énergies renouvelables en mer est le gouvernement fédéral, par l'intermédiaire de la Régie canadienne de l'énergie (RCE). En Nouvelle-Écosse et à Terre-Neuve-et-Labrador, où la gestion conjointe fédérale-provinciale est depuis longtemps assurée par des offices des hydrocarbures extracôtiers, le gouvernement fédéral a accepté de confier l'autorité réglementaire en matière d'éolien extracôtier à des offices redéfinis, gérés conjointement par le gouvernement fédéral et la province concernée : la Régie de l'énergie extracôtière Canada-Nouvelle-Écosse et la [Régie de l'énergie extracôtière Canada-Terre-Neuve-et-Labrador](#).^{74,75}

Les ministres fédéral et provinciaux lanceront conjointement des appels d'offres et approuveront les concessions pour les centrales éoliennes en mer dans les eaux adjacentes aux deux provinces.⁷⁶ Cette fusion des autorités fédérale et provinciales crée en fait un « guichet unique », qui sera considéré par les promoteurs de projets comme un avantage important de l'investissement dans l'éolien en mer au Canada atlantique.

La [Loi sur l'évaluation d'impact](#) (fédérale) exige que des études soient menées pour évaluer les effets environnementaux, sanitaires, sociaux et économiques des grands projets potentiels, tels que les centrales éoliennes en mer, afin de guider les décisions en matière de concessions et de réglementation.⁷⁷ Les gouvernements du Canada, de la Nouvelle-Écosse et de Terre-Neuve-et-Labrador ont nommé des comités chargés de réaliser des évaluations régionales du développement de l'éolien en mer dans les eaux situées au large de chaque province. Les évaluations, d'une durée de 18 mois, devraient être achevées d'ici à septembre 2024.

[L'entente définitive et le mandat entre les gouvernements du Canada et de](#)

[la Nouvelle-Écosse](#) prévoient une étude détaillée d'un très large éventail d'impacts potentiels pour lesquels les preuves scientifiques sont souvent sommaires ou inconnues. Inévitablement, l'implantation d'éoliennes en mer entraînera des répercussions sur l'environnement et les espèces marines adjacents; par ailleurs, elle entrera potentiellement en conflit avec des utilisations telles que la pêche commerciale, la navigation, le tourisme et l'activité militaire. Heureusement, certaines zones présentant un fort potentiel pour l'implantation d'éoliennes ont déjà été étudiées dans le cadre de l'exploitation du pétrole et du gaz.

Jusqu'à présent, l'expérience internationale permet de penser qu'il est possible d'atténuer ou de compenser les impacts négatifs. Néanmoins, il faut tenir compte des caractéristiques propres aux zones côtières du Canada atlantique en ce qui concerne les autres utilisations marines susceptibles d'être touchées, en particulier la pêche. La consultation des parties directement concernées et une information transparente du public seront nécessaires pour garantir une procédure régulière et obtenir un large soutien public. Là encore, l'expérience acquise ailleurs (y compris récemment dans le nord-est

Les investissements nécessaires au développement à grande échelle de l'éolien en mer ne peuvent être fermement garantis tant que l'on n'a pas la certitude que l'autorisation réglementaire sera accordée.

des États-Unis) peut [inspirer de meilleures pratiques](#).⁷⁸

Les investissements nécessaires au développement à grande échelle de l'éolien en mer ne peuvent être fermement garantis tant que l'on n'a pas la certitude que l'autorisation réglementaire sera accordée. L'expérience acquise à ce jour montre que le [processus d'évaluation de l'impact](#) est long et sujet à de nombreux retards imprévisibles. Le gouvernement fédéral a reconnu le problème et a promis de le résoudre.⁸⁰

Il est clair que les processus d'évaluation de l'impact de l'éolien en mer doivent être menés à bien aussi efficacement que possible, en appliquant rigoureusement les calendriers et en reconnaissant que certains compromis seront nécessaires. Les concessions qui

seront accordées par la suite devront l'être sans délai. Il y a urgence à agir. Les émissions de GES continueront de s'accumuler chaque jour tant que nous n'aurons pas mis en place une technologie d'atténuation. De plus, l'énorme investissement à mobiliser est, chaque jour, attiré par d'autres occasions d'affaires. L'heure n'est pas au statu quo.

La réglementation des provinces et du réseau public de distribution d'électricité

– Une fois que l'énergie produite en mer est injectée dans le réseau terrestre, elle est soumise aux instances de régulation des services publics de chaque province, et donc indirectement aux gouvernements provinciaux. Ces instances de régulation sont chargées de servir l'intérêt public, ce qui signifie à l'heure actuelle que les compagnies d'électricité doivent fournir de l'énergie de manière fiable et rentable, sous réserve d'un rendement des investissements raisonnable. Les instances de régulation sont conservatrices par mandat, et donc conservatrices par nature.

Cette situation pose un dilemme pour un pays comme le Canada qui tente un virage énergétique fondamental. Ce « projet du siècle » exige une vision audacieuse et un parti pris pour l'action.

La réglementation traditionnelle des services publics d'électricité n'est pas adaptée à cet objectif. L'époque exige une conception plus large de l'intérêt public. Les provinces doivent donc redonner à leurs instances de régulation le mandat de soutenir la transformation du système d'énergie électrique, sous réserve du maintien de la sécurité d'approvisionnement. L'Institut climatique du Canada a formulé des recommandations en ce sens dans un rapport intitulé « [Volte-face](#) ». ⁸¹

Les principales énergies renouvelables propres – éolienne et solaire – sont intrinsèquement intermittentes, mais les pics et les creux peuvent être équilibrés et les coûts réduits si :

- **les réseaux sont interconnectés;**
- **le surplus d'électricité peut être stocké temporairement ;**
- **la technologie permet de rendre le réseau et ses clients plus « intelligents » afin d'équilibrer au mieux la charge et la production en temps réel;**
- **la puissance garantie est suffisante pour répondre aux exigences de fiabilité.**

Cela nécessite à la fois de nouveaux investissements et une coopération entre les gouvernements provinciaux

pour moderniser et intégrer les réseaux, et pour rendre disponible à l'extérieur des provinces atlantiques le surplus d'énergie que l'éolien en mer pourrait fournir. L'achèvement à venir de la boucle de l'Atlantique (*voir l'encadré 5*) offre un exemple de ce qui est nécessaire.

Chaque gouvernement provincial devrait reconnaître que la collaboration est dans l'intérêt de ses résidents, compte tenu de l'urgence d'enrayer le changement climatique et des possibilités économiques sans précédent créées par la transformation mondiale du secteur de l'énergie électrique. En outre, la nécessité d'atteindre les objectifs nationaux en matière de lutte contre le changement climatique justifie un engagement proactif du gouvernement fédéral pour encourager la coopération interprovinciale. Il existe toujours un risque que le partage des compétences fédérales et provinciales en matière d'énergie conduise à une voie sans issue en raison de perceptions conflictuelles de l'intérêt public ou d'interprétations différentes des faits. L'impasse dans laquelle se trouve la boucle de l'Atlantique, illustrée par [la décision de la Nouvelle-Écosse](#) de ne pas participer au projet proposé, en est un exemple.⁸²

Il n'y a pas de réponse facile à l'énigme séculaire du fédéralisme canadien.

Chaque gouvernement provincial devrait reconnaître que la collaboration est dans l'intérêt de ses résidents, compte tenu de l'urgence d'enrayer le changement climatique.

D'une part, la Constitution confère au Parlement fédéral un « pouvoir déclaratoire » lui permettant d'outrepasser les compétences provinciales pour tout sujet déclaré « être pour l'avantage général du Canada ou [...] de deux ou d'un plus grand nombre des provinces ». ⁸³ Mais d'autre part, dans un contexte politique, le pouvoir déclaratoire revient en fait à une option « nucléaire ». Son utilisation risquerait d'empoisonner le puits dans les circonstances actuelles (le nécessaire virage vert du système énergétique canadien) qui ne laissent pas d'autre choix que la coopération intergouvernementale. Les gouvernements doivent être prêts à intervenir en qualité de partenaires. Avec un leadership éclairé qui reconnaît l'extrême importance de l'enjeu, cette coopération serait perçue comme étant dans l'intérêt de tous.

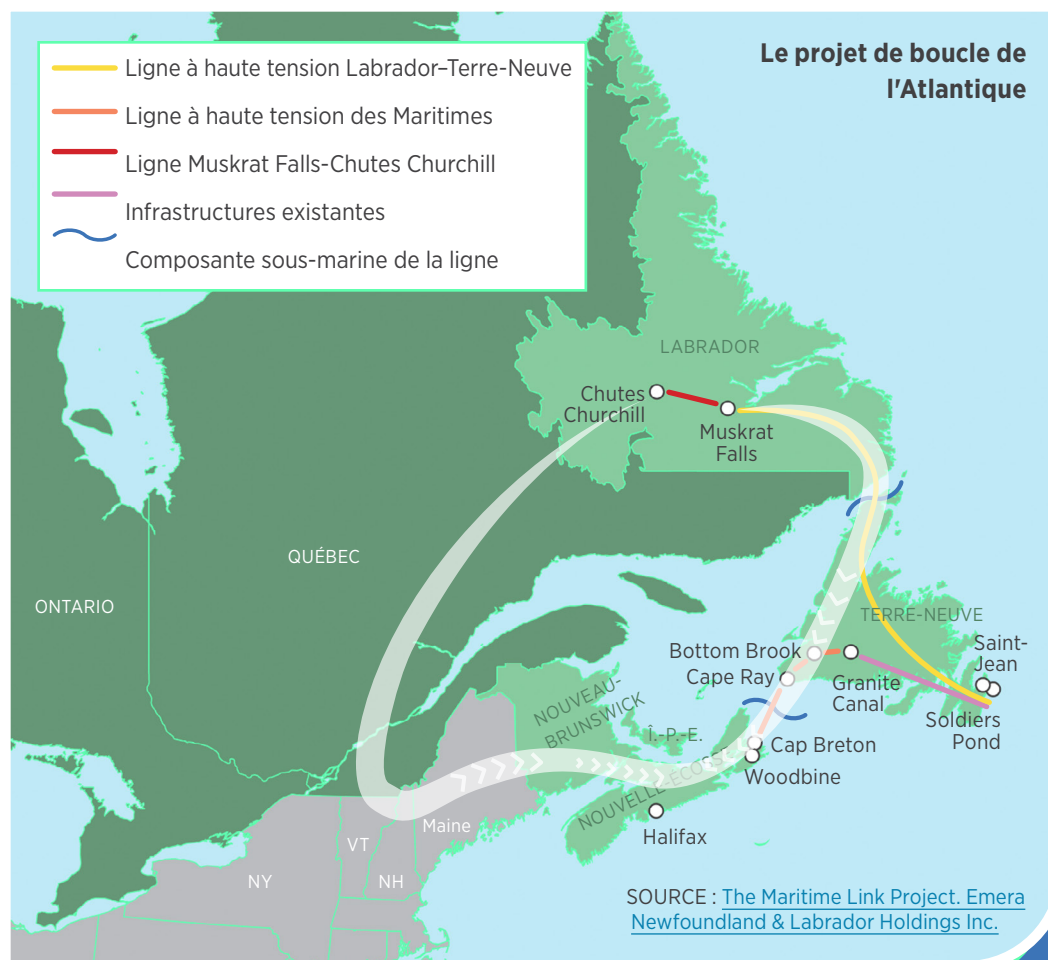
LE PROJET DE BOUCLE DE L'ATLANTIQUE

Un élément essentiel de la stratégie éolienne en mer

La boucle de l'Atlantique consisterait en une série de lignes de transport à haute tension qui relierait les centrales d'Hydro-Québec au Nouveau-Brunswick, ainsi qu'en une ligne de capacité accrue entre le Nouveau-Brunswick et la Nouvelle-Écosse.⁸⁴ Les nouvelles lignes de transport viendraient

boucler la boucle en complétant les lignes existantes qui relient le réseau du fleuve Churchill (au Labrador) à l'île de Terre-Neuve et, via une « ligne des Maritimes » sous-marine, à la Nouvelle-Écosse.

Une fois achevée, la boucle de l'Atlantique permettrait d'accéder





à l'énergie propre et renouvelable d'Hydro-Québec pour faciliter le remplacement de la production (à partir de sources fossiles) du Nouveau-Brunswick et de la Nouvelle-Écosse dans les années 2030-2035, conformément aux objectifs provinciaux et au nouveau [règlement fédéral sur l'électricité propre](#).⁸⁵ La conception bidirectionnelle des installations de transport permettrait également l'exportation d'électricité propre du Canada atlantique vers le Québec et, via les lignes existantes, vers l'Ontario et le nord-est des États-Unis. Pour cette raison, une boucle de l'Atlantique d'une capacité suffisante serait un élément essentiel d'un plan plus vaste visant à permettre un développement majeur de l'éolien en mer, bien au-delà des besoins du seul Canada atlantique. C'est pourquoi la boucle de l'Atlantique doit être considérée comme l'un des éléments essentiels d'une stratégie nationale en matière d'énergie propre.

Comme d'habitude, la pierre d'achoppement est le coût et la question de savoir qui le supportera. Le gouvernement fédéral estime que le projet coûterait [6,8 milliards de dollars](#), dont 4,5 milliards pourraient être financés par un prêt sur 50 ans de la Banque de l'infrastructure du Canada.⁸⁶ Néanmoins, les gouvernements de la Nouvelle-Écosse et du Nouveau-Brunswick n'ont pas signé, invoquant l'incertitude quant au coût éventuel et à la nature de l'accord d'achat d'électricité qui devrait être négocié avec Hydro-Québec. En attendant, le temps presse pour trouver une solution concrète qui permette de répondre aux exigences de la décarbonation dans les délais impartis.

Une boucle de l'Atlantique solide, associée au développement de l'éolien en mer à grande échelle, serait le complément idéal de l'énergie hydroélectrique du Québec et du Labrador : une combinaison gagnante pour tous.



CONCLUSION

Le virage vers l'énergie propre — la plus grande entreprise de l'histoire de l'humanité — offre au Canada atlantique l'occasion de figurer parmi les chefs de file mondiaux. Le développement à grande échelle du potentiel d'éolien en mer de classe mondiale du Canada atlantique donnerait un nouvel élan à l'économie de la région; il la rapprocherait également nettement de l'exigence du Canada en matière d'électricité propre, qui est d'atteindre la carboneutralité d'ici à 2050. Ce qui manque dans le débat — lacune que ce document cherche à combler —, c'est une pleine reconnaissance de l'ampleur et de la portée de cette occasion sans précédent. Il suffit de penser à [l'ambition collective](#) des pays européens riverains de la mer du Nord pour se rendre compte de ce qui serait possible chez nous.⁸⁷

Le développement de l'éolien en mer dans l'Atlantique doit donc être considéré comme bien plus qu'un projet régional. Il faut y voir un projet national au service des objectifs climatiques à long terme du Canada. Une stratégie de développement globale est nécessaire, comprenant des objectifs de capacité précis qui soient réalistes à court terme et visionnaires à long terme, jusqu'en 2050 et au-delà. Nous devrions viser une capacité installée de 10 à 15 GW d'ici à 2035-2040, avec l'espoir d'en installer bien davantage

Nous devrions viser une capacité installée de 10 à 15 GW d'ici à 2035-2040, avec l'espoir d'en installer bien davantage au-delà.

au-delà. Ce chiffre illustre l'ampleur et l'engagement à long terme nécessaires pour attirer les acteurs mondiaux du secteur de l'éolien en mer, sans lesquels on ne pourrait saisir cette occasion et la concrétiser.⁸⁸

Une telle ambition dépasserait de loin les besoins énergétiques nationaux du Canada atlantique, y compris les perspectives de production et d'exportation d'hydrogène vert. En effet, l'objectif premier devrait être de fournir un volume substantiel d'électricité propre au réseau national et, éventuellement, au nord-est des États-Unis. Il existe donc une possibilité de partenariat réciproque gagnant-gagnant avec le Québec, à la fois client et fournisseur, et connecteur principal des marchés nord-américains de l'électricité.

Depuis l'ère de la voile au XIX^e siècle, l'économie du Canada atlantique est à la recherche d'une nouvelle source de dynamisme. Une fois de plus, le vent peut changer la donne.

REMERCIEMENTS

MCKENNA FAMILY FUND

Arthur, Sandra et Sarah
Irving

Joyce Family
Foundation

L'honorable Margaret
McCain

L'honorable Frank
McKenna

Oceans Capital
Investment Ltd.

Gerry Pond

Joseph Shannon

McInnes Cooper

Groupe TD Bank

ÉQUIPE FPP

Edward Greenspon
Président-directeur
général

Alison Uncles
Vice-présidente, Médias
et communications, FPP

Gareth Chappell
Directeur, Planification
et Opérations

Carole Lee Reinhardt
Directrice, Atlantique

Colin Campbell
Directeur de la
publication

Alishya Weiland
Responsable des
politiques

Lacy Atalick
Éditrice du numérique

Naushin Ahmed
Gestionnaire,
Production et
Gestion de marque

COLLABORATEURS

Mark Stevenson
Éditeur

Anita Murray
Révision

Emmanuelle Demange
Traduction

Una Janićijević
Illustration et
conception graphique

NOTES EN FIN DE TEXTE

- 1 Régie de l'énergie du Canada (16 août 2023). *Avenir énergétique du Canada en 2023 – Offre et demande énergétiques à l'horizon 2050*. Gouvernement du Canada. <https://www.cer-rec.gc.ca/fr/donnees-analyse/avenir-energetique-canada/2023/>
- 2 Musial, W. et al. (2023). *Offshore Wind Market Report: 2023 Edition*. Ministère de l'Énergie des États-Unis. <https://www.energy.gov/sites/default/files/2023-08/offshore-wind-market-report-2023-edition-summary.pdf>
- 3 Ressources naturelles Canada (2022). *Feuille de route pour l'énergie propre au Canada Atlantique*. Gouvernement du Canada. <https://ressources-naturelles.canada.ca/cartes-outils-et-publications/publications/publications-de-lenergie/feuille-de-route-sur-lenergie-propre-pour-le-canada-atlantique/24191>
- 4 Gouvernement de la Nouvelle-Écosse (Mai 2023). *Nova Scotia Offshore Wind Roadmap*. <https://novascotia.ca/offshore-wind/docs/offshore-wind-roadmap.pdf>
- 5 Withers, P. (23 août 2023). "Pioneer" Canadian offshore wind farm announced in Halifax. Société Radio-Canada. <https://www.cbc.ca/news/canada/nova-scotia/offshore-wind-farm-unveiled-halifax-1.6945106>
- 6 Mclaughlin, B. (2 février 2023). Atlantic Canada: wind, hydrogen and the folks working to realize the potential. *Atlantic Business*. <https://atlanticbusinessmagazine.ca/article/atlantic-canada-wind-hydrogen-and-the-folks-working-to-realize-the-potential/>
- 7 Statistique Canada (2022). *Consommation d'énergie des ménages, Canada et les provinces*. Gouvernement du Canada. https://www150.statcan.gc.ca/t1/tbl1/fr/cv.action?pid=2510006001&request_locale=fr

- 8 Roser, M. (1^{er} décembre 2020). Why did renewables become so cheap so fast? *Our World in Data*. <https://ourworldindata.org/cheap-renewables-growth>
- 9 Agence internationale de l'énergie (Mise à jour 2023). *Net Zero Roadmap: A Global Pathway to Keep the 1.5 °C Goal in Reach*. https://iea.blob.core.windows.net/assets/d0ba63c5-9d93-4457-be03-da0f1405a5dd/NetZeroRoadmap_AGlobalPathwaytoKeepthe1.5CGoalinReach-2023Update.pdf
- 10 Musial, W. (20 juillet 2023). *Offshore Wind Energy Outlook*. National Renewable Energy Laboratory. https://cnee.colostate.edu/wp-content/uploads/2023/07/CELA-July-2023_-_Offshore-Wind.pdf
- 11 Denning, L. (1^{er} août 2023). *Offshore Wind Industry Is Caught In a Financial Hurricane*. Bloomberg. <https://www.bloomberg.com/opinion/articles/2023-08-01/offshore-wind-industry-is-caught-in-a-financial-hurricane#xj4y7vzkg>
- 12 The Maritime Executive (26 février 2023). *China Now Has Nearly Half of the World's Offshore Wind Capacity*. <https://maritime-executive.com/article/china-now-has-nearly-half-of-the-world-s-offshore-wind-capacity>
- 13 Office of Energy Efficiency & Renewable Energy (23 janvier 2023). *National Offshore Wind Research and Development Consortium Announces U.S. Offshore Wind Supply Chain Road Map*. Ministère de l'Énergie des États-Unis. <https://www.energy.gov/eere/articles/national-offshore-wind-research-and-development-consortium-announces-us-offshore-wind>
- 14 Ostend Declaration on The North Seas as Europe's Green Power Plant (24 avril 2023). https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/1154445/ostend-leaders-declaration.pdf
- 15 Régie de l'énergie du Canada (16 août 2023). *Avenir énergétique du Canada en 2023 – Offre et demande énergétiques à l'horizon 2050*. Gouvernement du Canada. <https://www.cer-rec.gc.ca/fr/donnees-analyse/avenir-energetique-canada/2023/>

- 16 Annesley, J., Campbell, D., Golshan, A. et Greenspon, E. (19 juillet 2023). *Project of the Century: A Blueprint for Growing Canada's Clean Electricity Supply – and Fast*. Forum des politiques publiques. <https://ppforum.ca/publications/net-zero-electricity-canada-capacity/>
- 17 Boyle, D. (14 janvier 2021). *Ontario town reignites opposition to wind farm after court overturns cancellation*. True North / National Wind Watch. <https://www.wind-watch.org/news/2021/01/15/ontario-town-reignites-opposition-to-wind-farm-after-court-overturns-cancellation/>
- 18 Beer, M. (3 août 2023). *Alberta Slaps 7-Month Moratorium on Solar and Wind, Puts Booming Industry at Risk*. The Energy Mix. <https://www.theenergymix.com/2023/08/03/alberta-slaps-6-month-moratorium-on-solar-and-wind-puts-booming-industry-at-risk/>
- 19 On inclut généralement dans le Canada atlantique les trois provinces maritimes et Terre-Neuve-et-Labrador; les statistiques sur le Canada atlantique présentées dans ce document concernent ces juridictions en particulier. Mais dans le contexte de l'éolien en mer, il faut également englober dans la région les parties du Québec situées dans le golfe du Saint-Laurent et en bordure de celui-ci.
- 20 Ouziel, S. et Avelar, L. (29 juin 2021). *4 technologies that are accelerating the green hydrogen revolution*. Forum économique mondial. <https://www.weforum.org/agenda/2021/06/4-technologies-accelerating-green-hydrogen-revolution/>
- 21 Gouvernement de la Nouvelle-Écosse (20 septembre 2022). *Province Sets Offshore Wind Target*. <https://novascotia.ca/news/release/?id=20220920003>
- 22 Dong, C., Huang, G. et Cheng, G. (1^{er} décembre 2021). Offshore wind can power Canada. *ScienceDirect*, 236. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360544221016704X>

- 23 Pêches et Océans Canada (2018). *La plate-forme néo-écossaise : atlas des activités humaines*. Gouvernement du Canada. <https://www.dfo-mpo.gc.ca/oceans/publications/scotian-atlas-ecossais/index-fra.html>
- 24 L'économie d'une éolienne est très sensible à la vitesse moyenne du vent. L'énergie produite par une éolienne d'une capacité donnée est plus ou moins proportionnelle au cube (puissance trois) de la vitesse du vent. Une éolienne située dans une zone comme le banc de l'île de Sable, où la vitesse moyenne du vent est d'environ 11 m/sec, produira environ 80 % d'énergie en plus qu'une éolienne similaire dans une zone où la vitesse moyenne est, disons, de 9 m/sec $[(11/9)^3 = 1,83]$.
- 25 Aegir (20 avril 2023). *Value Mapping Nova Scotia's Offshore Wind Resources*. <https://netzeroatlantic.ca/sites/default/files/2023-04/Value%20Mapping%20Nova%20Scotia%20Offshore%20Wind%20Resources.pdf>
- 26 Aegir (n.d.). *Offshore wind intelligence*. <https://www.aegirinsights.com/>
- 27 The Maritime Executive (17 février 2023). *Finland Provides Grant to Develop Wind Farm in Freezing Sea Conditions*. <https://maritime-executive.com/article/finland-provides-grant-to-develop-wind-farm-in-freezing-sea-conditions>
- 28 Lewis, M. (14 juin 2023). *The world's largest wind farm is on the homestretch*. Electrek. <https://electrek.co/2023/06/14/worlds-largest-wind-farm/>
- 29 Baraniuk, C. (1er juillet 2022). *The Race to Build Wind Farms That Float on the Open Sea*. Wired. <https://www.wired.com/story/floating-wind-turbines/>
- 30 Ministère de l'Énergie des États-Unis (Septembre 2022). *Floating Offshore Wind Shot: Unlocking the Power of Floating Offshore Wind Energy*. <https://www.energy.gov/sites/default/files/2022-09/floating-offshore-wind-shot-fact-sheet.pdf>
- 31 National Renewable Energy Laboratory (n.d.). *Life Cycle Assessment Harmonization*. <https://www.nrel.gov/analysis/life-cycle-assessment.html>

- 32 Environmental Protection Agency (28 août 2023). *Greenhouse Gas Emissions from a Typical Passenger Vehicle*. <https://www.epa.gov/greenvehicles/greenhouse-gas-emissions-typical-passenger-vehicle>
- 33 Drax (8 août 2022). *Cost of turning off UK wind farms reached record high in 2021*. https://www.drax.com/press_release/cost-of-turning-off-uk-wind-farms-reached-record-high-in-2021/
- 34 Giampieri, A., Ling-Chin, J. et Roskilly, A.P. (16 février 2023). Techno-economic assessment of offshore wind-to-hydrogen scenarios: A UK case study. *ScienceDirect*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360319923006316>
- 35 Galparsoro, I. et al. (10 août 2022). Reviewing the ecological impacts of offshore wind farms. <https://www.nature.com/articles/s44183-022-00003-5>
- 36 Danish Energy Agency (2019). *Environmental Impacts of Offshore Wind Farms: Assessment and Long-term Monitoring in Denmark*. https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Globalcooperation/Short_materials/environmental_impacts_of_offshore_wind_farms.pdf
- 37 Stefek, J. et al. (Octobre 2022). *U.S. Offshore Wind Workforce Assessment*. NREL. <https://www.nrel.gov/docs/fy23osti/81798.pdf>
- 38 Les chiffres relatifs à l'emploi sont basés sur l'analyse détaillée du NREL aux États-Unis (ibid.) dans le contexte de l'objectif d'installer 30 GW d'énergie éolienne en mer d'ici à 2030. Les chiffres cités ci-dessus pour le Canada atlantique, basés sur 15 GW installés, sont calculés au prorata pour être la moitié de ceux estimés dans l'étude du NREL. <https://www.nrel.gov/docs/fy23osti/81798.pdf>
- 39 Laurie, C. (31 janvier 2023). *Road Map Defines Path to a U.S. Offshore Wind Energy Supply Chain*. NREL. <https://www.nrel.gov/news/program/2023/road-map-defines-path-to-a-us-offshore-wind-energy-supply-chain.html>

- 40 Investissement Québec (n.d.). *L'aluminium au Québec : une filière de calibre mondial*. <https://www.investquebec.com/international/en/industries/aluminum.html>
- 41 Agence internationale de l'énergie (2019). *The Future of Hydrogen*. <https://www.iea.org/reports/the-future-of-hydrogen>
- 42 Selon les scénarios « Net Zero » (de carboneutralité) de la REC, l'approvisionnement en énergie éolienne de l'Ontario passerait de 12,5 TWh en 2021 à 220 TWh en 2050, ce qui représenterait 62 % de l'augmentation de 334 TWh de l'électricité d'origine éolienne au Canada.
- 43 Coalition NEMOEC (4 mai 2023). *A New England - Maritimes Offshore Energy Corridor Builds Regional Resilience for a Clean Energy Future*. https://nemoec.com/wp-content/uploads/2023/05/Power-Advisory-NEMOEC-Shared-Tx-White-Paper_final.pdf
- 44 Selig, K. (8 août 2023). The future of East Coast wind power could ride on this Jersey beach town. *The Washington Post*. <https://www.washingtonpost.com/climate-environment/2023/08/08/offshore-wind-energy-east-coast/>
- 45 Reid, D. et al. (2021). *Access to US Markets (Offshore Wind)*. Net-Zero Atlantic. <https://netzeroatlantic.ca/fr/node/517>
- 46 Lowrie, M. (3 janvier 2022). Quebec's Hydropower Era Ends as Last Big Megaproject Nears Completion. *La Presse canadienne*. <https://www.theenergymix.com/2022/01/03/quebecs-hydropower-era-ends-as-last-big-megaproject-nears-completion/>
- 47 Pour les projets éoliens en mer installés en 2022, le coût d'investissement se situe en moyenne entre 3 000 et 4 000 dollars par kW (ou 3 à 4 milliards de dollars par GW). <https://www.energy.gov/eere/wind/articles/offshore-wind-market-report-2023-edition>

- 48 Mclaughlin, B. (2 février 2023). Atlantic Canada: wind, hydrogen and the folks working to realize the potential. *Atlantic Business*.
<https://atlanticbusinessmagazine.ca/article/atlantic-canada-wind-hydrogen-and-the-folks-working-to-realize-the-potential/>
- 49 Gouvernement de la Nouvelle-Écosse (20 septembre 2022). *Province Sets Offshore Wind Target*. <https://novascotia.ca/news/release/?id=20220920003>
- 50 Heid, B. et al. (25 octobre 2022). *Five charts on hydrogen's role in a net-zero future*. McKinsey & Company. <https://www.mckinsey.com/capabilities/sustainability/our-insights/five-charts-on-hydrogens-role-in-a-net-zero-future>
- 51 Agence internationale pour les énergies renouvelables (2021). *Green hydrogen supply: A guide to policy making*. https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2021/May/IRENA_Green_Hydrogen_Supply_2021.pdf
- 52 The Royal Society (2021). *The role of hydrogen and ammonia in meeting the net zero challenge*. <https://royalsociety.org/-/media/policy/projects/climate-change-science-solutions/climate-science-solutions-hydrogen-ammonia.pdf>
- 53 Bearak, M. (11 mars 2023). Inside the Global Race to Turn Water Into Fuel. *The New York Times*. <https://www.nytimes.com/2023/03/11/climate/green-hydrogen-energy.html>
- 54 Baxter, J. (8 août 2023). “Not smart for Nova Scotia”: looking under the hood of the hydrogen hype. *Halifax Examiner*. <https://www.halifaxexaminer.ca/environment/climate/not-smart-for-nova-scotia-looking-under-the-hood-of-the-hydrogen-hype/>
- 55 Our World in Data (n.d.). *Levelized cost of energy by technology, World*. <https://ourworldindata.org/grapher/levelized-cost-of-energy>

- 56 S&P Global. (16 juin 2023). *Offshore wind contract disputes proliferate as high costs jeopardize US buildout*. <https://www.spglobal.com/marketintelligence/en/news-insights/latest-news-headlines/offshore-wind-contract-disputes-proliferate-as-high-costs-jeopardize-us-buildout-76164337>
- 57 Fickling, D. (26 juillet 2023). *How Offshore Wind Can Survive Its Spell in the Doldrums*. Bloomberg / The Washington Post. https://www.washingtonpost.com/business/energy/2023/07/26/alternative-energy-offshore-wind-farms-can-come-out-of-the-doldrums/4dfce5ee-2bfa-11ee-a948-a5b8a9b62d84_story.html
- 58 Bilicic, G. et Scroggins, S. (Avril 2023). *2023 Levelized Cost Of Energy+*. Lazard. <https://www.lazard.com/research-insights/2023-levelized-cost-of-energyplus/>
- 59 National Renewable Energy Laboratory (n.d.). *Financial Cases and Methods*. https://atb.nrel.gov/electricity/2023/financial_cases_&_methods
- 60 Jensen, M.K. (30 août 2022). *LCOE Update of recent trends (Offshore)*. Aegir. <https://www.nrel.gov/wind/assets/pdfs/engineering-wkshp2022-1-1-jensen.pdf>
- 61 Ministère des Finances (28 mars 2023). *Le Plan pour le Canada : une énergie abordable, de bons emplois et une économie propre en croissance*. Gouvernement du Canada. <https://www.budget.canada.ca/2023/report-rapport/chap3-fr.html>
- 62 Musial, W. (20 juillet 2023). *Offshore Wind Energy Outlook*. National Renewable Energy Laboratory. https://cnee.colostate.edu/wp-content/uploads/2023/07/CELA-July-2023_-Offshore-Wind.pdf
- 63 Vineyard Wind (n.d.). *Vineyard Wind 1 Overview*. <https://www.vineyardwind.com/vineyardwind-1>
- 64 McGowan, E. (8 mars 2022). *Giant, turbine-installing ship is Dominion Energy's \$500M bet on U.S. offshore wind*. Energy News Network. <https://energynews.us/2022/03/08/giant-turbine-installing-ship-is-dominion-energys-500m-bet-on-u-s-offshore-wind/>

- 65 Northland Power (n.d.). *About Northland*. <https://www.northlandpower.com/en/about-northland/about-northland.aspx>
- 66 Premier ministre du Canada (14 juillet 2021). *Soutenir la fabrication liée à l'énergie renouvelable au Québec pour créer des emplois et bâtir un avenir plus propre*. Gouvernement du Canada. <https://www.pm.gc.ca/fr/nouvelles/communiqués/2021/07/14/soutenir-la-fabrication-liee-lenergie-renouvelable-au-quebec-creer>
- 67 Par exemple, la compagnie maritime canadienne CSL possède déjà des navires qui transportent des composants d'éoliennes et des agrégats utilisés pour ancrer les turbines au fond de la mer. <https://cslships.com/fr/flotte/navires-polyvalents-mpp/>
- 68 Ministère des Finances (28 mars 2023). *Le Plan pour le Canada : une énergie abordable, de bons emplois et une économie propre en croissance*. Gouvernement du Canada. <https://www.budget.canada.ca/2023/report-rapport/chap3-fr.html>
- 69 Department for Energy Security and Net Zero (8 septembre 2023). *Contracts for Difference*. Gouvernement du Royaume-Uni. <https://www.gov.uk/government/collections/contracts-for-difference>
- 70 Aegir (Mars 2021). *Stimulating Offshore Wind in Nova Scotia*. <https://netzeroatlantic.ca/sites/default/files/2022-12/Stimulating%20Offshore%20Wind%20Development%20in%20Nova%20Scotia%20-%20Final%20Report.pdf>
- 71 Les modèles de tarif de rachat garanti et de CfD ne sont pas les seules méthodes qui ont été mises en œuvre (ibid.). Aux États-Unis, par exemple, les certificats d'énergie renouvelable sont le mécanisme de choix. <https://www.epa.gov/green-power-markets/renewable-energy-certificates-recs>

- 72** Ressources naturelles Canada (5 mai 2023). *Le ministre Wilkinson lance le Conseil consultatif canadien de l'électricité pour contribuer à bâtir un avenir fondé sur l'électricité propre au Canada.* <https://www.canada.ca/fr/ressources-naturelles-canada/nouvelles/2023/05/le-ministre-wilkinson-lance-le-conseil-consultatif-canadien-de-lelectricite-pour-contribuer-a-batir-un-avenir-fonde-sur-lelectricite-propre-au-canada.html>
- 73** Certaines zones maritimes au large des côtes (par exemple, certaines baies) relèvent de la compétence de la province adjacente en ce qui concerne les concessions octroyées aux centrales de production d'énergie. Par exemple, le projet néo-écossais Offshore Wind Roadmap (mai 2023) évoque la possibilité d'approuver des centrales éoliennes en mer relativement petites, soumises à l'autorité de la loi provinciale sur les énergies renouvelables marines (Marine Renewable Energy Act), dans les eaux littorales déclarées relever de la compétence de la province.
- 74** Canada-Nova Scotia Offshore Petroleum Board (n.d.). *Canada-Nova Scotia Offshore Energy Regulator (CNSOER) Updates.* <https://www.cnsopb.ns.ca/canada-nova-scotia-offshore-energy-regulator-cnsoer-updates>
- 75** Ressources naturelles Canada (5 avril 2022). *Le Canada et Terre-Neuve-et-Labrador annoncent leur intention d'élargir le mandat du régime sur l'énergie extracôtère pour appuyer la transition vers une économie propre et la création d'emplois durables.* Gouvernement du Canada. <https://www.canada.ca/fr/ressources-naturelles-canada/nouvelles/2022/04/le-canada-et-terre-neuve-et-labrador-annoncent-leur-intention-delargir-le-mandat-du-regime-sur-lenergie-extracotiere-pour-appuyer-la-transition-ver.html>
- 76** Pour les eaux adjacentes au Nouveau-Brunswick et à l'Île-du-Prince-Édouard, l'autorité réglementaire en matière d'énergie renouvelable demeure la RCE.
- 77** Gouvernement du Canada (2019). *Loi sur l'évaluation d'impact.* <https://laws-lois.justice.gc.ca/fra/lois/i-2.75/>

- 78** Marine Renewables Canada (25 novembre 2020). *Offshore Wind Stakeholder Engagement Plan for Nova Scotia*. Net-Zero Atlantic. <https://netzeroatlantic.ca/sites/default/files/2023-03/OSW%20Stakeholder%20Engagement%20Plan%20-%20Final%20Report.pdf>
- 79** Orenstein, M. (30 avril 2023). *Federal Impact Assessment Act Under Review: Measuring Progress on Projects and Timelines*. Canada West Foundation. <https://cwf.ca/research/publications/report-federal-impact-assessment-act-under-review/>
- 80** Dans le budget 2023, le gouvernement s'est engagé à présenter, d'ici à la fin de l'année 2023, un plan concret visant à améliorer l'efficacité des processus d'évaluation de l'impact et d'autorisation pour les grands projets; il visera la clarification et la réduction des délais, la remédiation à l'inefficacité et l'amélioration de l'engagement et des partenariats.
- 81** Institut climatique du Canada (Mai 2022). *Volte-face : comment alimenter un Canada carboneutre*. <https://climateinstitute.ca/wp-content/uploads/2022/05/Electric-Federalism-May-4-2022.pdf>
- 82** Villeneuve, J. (11 octobre 2023). *La Nouvelle-Écosse dit non à la boucle de l'Atlantique et mise sur l'éolien*. ICI Nouvelle-Écosse. <https://ici.radio-canada.ca/nouvelle/2017059/energie-propre-eolien-boucle-atlantique>
- 83** L'article 92 énumère les sujets soumis au contrôle exclusif de la législation provinciale, mais le paragraphe 92 (10) prévoit des exceptions explicites, notamment : « Les travaux qui, bien qu'entièrement situés dans la province, seront avant ou après leur exécution déclarés par le Parlement du Canada être pour l'avantage général du Canada, ou pour l'avantage de deux ou d'un plus grand nombre des provinces. » L'article 91 confère au Parlement fédéral un pouvoir résiduaire défini comme suit : « faire des lois pour la paix, l'ordre et le bon gouvernement du Canada, relativement à toutes les matières ne tombant pas dans les catégories de sujets par la présente loi exclusivement assignés aux législatures des provinces. »

- 84** Peu de détails concernant la boucle de l'Atlantique ont été rendus publics, notamment le(s) tracé(s) potentiel(s), et plus particulièrement la question de savoir si elle serait entièrement située au Canada ou si elle passerait par le Maine.
- 85** Gouvernement du Canada (25 août 2023). *Règlement sur l'électricité propre*. <https://www.canada.ca/fr/services/environnement/meteo/changementsclimatiques/plan-climatique/reglement-electricite-propre.html>
- 86** Withers, P. (16 juin 2023). *Ottawa, Nova Scotia at odds over \$4.5B for Atlantic Loop*. Société Radio-Canada. <https://www.cbc.ca/news/canada/nova-scotia/ottawa-nova-scotia-atlantic-loop-4-5-billion-dollars-1.6878555>
- 87** Department for Energy Security and Net Zero (3 mai 2023). *Developing the North Seas as a green power plant of Europe: North Sea Summit declarations*. Gouvernement du Royaume-Uni. <https://www.gov.uk/government/publications/developing-the-north-seas-as-a-green-power-plant-of-europe-north-sea-summit-declarations>
- 88** Les principaux promoteurs mondiaux de l'éolien en mer sont, par exemple, Orsted (Danemark), RWE (Allemagne), Iberdrola (Espagne) et Northland Power (Canada). La société canadienne Brookfield Renewable Partners possède de nombreux actifs dans le domaine des énergies renouvelables dans le monde entier; bien qu'elle n'ait pas mis l'accent sur l'énergie éolienne en mer jusqu'à présent, elle dispose d'une grande expertise en la matière.



**FORUM DES
POLITIQUES
PUBLIQUES**