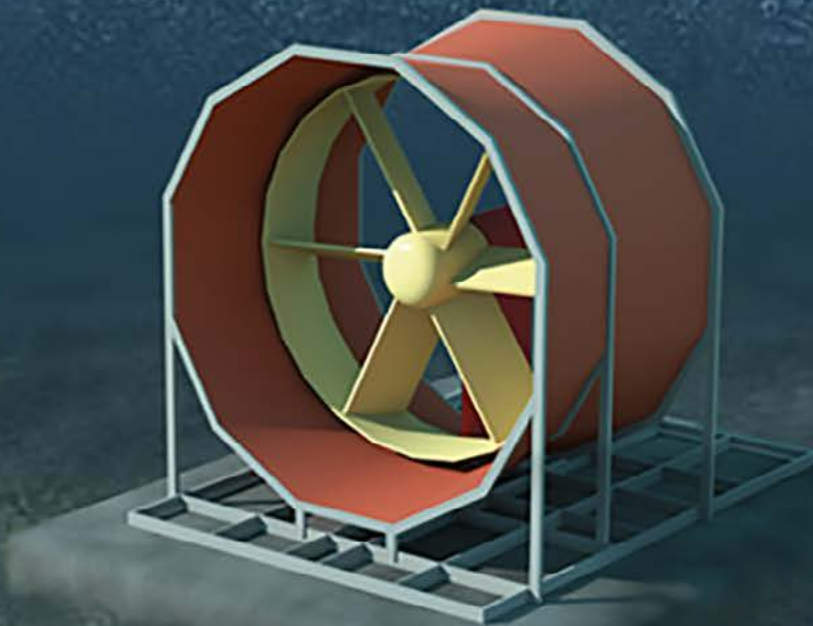


FILIÈRE D'ÉNERGIE RENOUVELABLE

# L'ÉNERGIE HYDROLIENNE



# L'ÉNERGIE DE L'EAU



**ÉNERGIE HYDROLIENNE :**  
ÉNERGIE CINÉTIQUE  
DU COURANT DES  
MERS, DES MARÉES,  
DES RIVIÈRES OU DES  
FLEUVES QUI, AU MOYEN  
D'UNE TURBINE, EST  
TRANSFORMÉE EN  
ÉLECTRICITÉ.

## ÉTAT DE LA SITUATION

À l'heure actuelle, les hydroliennes en mer font l'objet d'un développement important en raison de la qualité de la ressource (profondeur et vitesse du courant) – leur puissance nominale peut atteindre 1 MW et plus. Les hydroliennes en rivière et en fleuve (profondeur moindre) sont nécessairement de plus petit calibre – leur puissance nominale dépasse rarement 400 kW, même dans un courant extrême de 4,5 m/s.

Au Québec, la filière hydrolienne est rendue à l'étape de l'expérimentation ou de la précommercialisation. En septembre 2010, un premier prototype industriel a été raccordé au réseau d'Hydro-Québec. L'hydrolienne de RER Hydro était immergée dans le Saint-Laurent, à la hauteur du Vieux-Port de Montréal. D'une capacité prévue de 100 kW, elle a injecté de l'électricité dans le réseau d'Hydro-Québec de 2010 à 2013.



En couverture : Modèle d'hydrolienne à axe horizontal.

Ci-contre : Installation de l'hydrolienne de RER Hydro dans le Saint-Laurent, à la hauteur du Vieux-Port de Montréal.

## POTENTIEL HYDROLIEN

En théorie, le potentiel hydrolien mondial du courant des marées et des océans, près des côtes, se situe à 7 800 TWh/an. C'est l'équivalent de quelque 40 % de la production d'électricité mondiale en 2013. Le potentiel hydrolien du courant des marées seulement représente de 10 à 15 % du total. Distribuée de façon inégale sur la Terre, la ressource dépend notamment de la morphologie sous-marine locale (bathymétrie), près des côtes.

### Hydroliennes en rivière

Le potentiel du Canada est estimé à 15 000 MW. Celui du Québec, qui reçoit environ 35 % du ruissellement annuel de tout le territoire canadien, serait proportionnellement de 5 250 MW. Compte tenu de la faisabilité technique (10-15 %), il se situerait entre 525 MW et 788 MW.

### Hydroliennes en mer

- Selon le Centre d'hydraulique canadien du Conseil national de recherches Canada, le Canada possède 190 sites d'une capacité théorique supérieure à 1 MW. Son [potentiel](#) s'élève à 42 000 MW.
- Le Québec aurait un potentiel théorique de 4 288 MW (38 TWh/an), dont seulement une partie (10-15 %) serait réalisable sur le plan technique. Il est à noter que la ressource se trouve à plus de 97 % près de la côte de la baie d'Ungava, une région très éloignée du réseau d'Hydro-Québec et des grands centres de consommation.

### RENDEMENT ET COÛTS

- **Hydroliennes en rivière** – Les bonnes conditions d'exploitation (profondeur > 6 m et vitesse du courant > 2 m/s) sont rarement réunies. En outre, bien que leur rendement de conversion énergétique soit de 30 à 40 %, leur taux de captage de l'énergie cinétique totale d'un cours d'eau n'atteint au plus que 15 %, car une importante quantité d'eau est déviée autour des hydroliennes. Une fois que la filière sera parvenue à maturité, le coût estimé de l'électricité produite par une hydrolienne en rivière serait supérieur à 15 ¢/kWh.
- **Hydroliennes en mer** – Les rendements de conversion énergétique sont identiques à ceux des hydroliennes en rivière, mais les machines sont généralement beaucoup plus grosses et génèrent des puissances électriques qui se mesurent en mégawatts. La filière étant jeune, les coûts d'investissement sont élevés pour le moment et diffèrent selon les promoteurs. Une fois que la filière sera parvenue à maturité, le coût de production brut sera supérieur à

11 ¢/kWh et le coût d'installation variera entre 3 000 \$ et 5 000 \$/kW, selon une majorité de promoteurs. Les coûts estimés de l'hydrolienne en mer sont comparables à ceux de l'éolienne en mer. Un jour, la filière hydrolienne pourrait faire l'objet d'une légère baisse de coûts, bénéficiant des avancées technologiques de la filière éolienne dans le domaine du raccordement sous-marin.

### AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS

- Production plus prévisible que celle de l'éolien.
- Pas d'ouvrage de retenue et peu ou pas d'ouvrage de génie civil.
- Présence discrète, voire invisible, en raison de l'immersion quasi totale des composants de l'hydrolienne.
- Exploitation de la turbine en conditions hivernales possiblement problématique. Pour optimiser la production d'énergie sur une année, il faudrait tenir compte des variations locales des niveaux d'eau – un enjeu complexe.



La capacité prévue de l'hydrolienne de RER Hydro était de 100 kW.

### POUR EN SAVOIR D'AVANTAGE

- [Types d'hydroliennes](#)
- [Potentiel hydrolien du Canada](#)
- [Scénarios envisagés](#)
- [Changements climatiques et qualité de l'air](#)
- [Analyse du cycle de vie](#)
- [Écosystèmes et biodiversité](#)
- [Santé et qualité de vie](#)
- [Aménagement du territoire](#)
- [Économie régionale](#)
- [Acceptabilité sociale](#)

### DÉVELOPPEMENT DURABLE

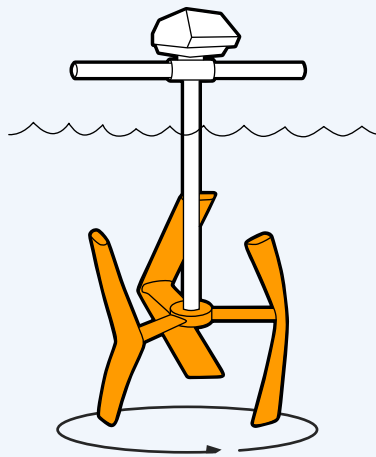
Puisqu'il existe actuellement très peu d'hydroliennes en exploitation dans le monde, les enjeux de développement durable ne sont pas encore bien documentés. Voici les principaux impacts potentiels :

- Modification du courant, effet de sillage et de masquage du bruit.
- Modification de la dynamique sédimentaire pouvant affecter le régime estuarien touché.
- Modification des substrats, du transport et des dépôts de sédiments – variable selon le type d'ancrage et de câble sous-marin.
- Modification d'habitats, dont ceux des organismes benthiques.
- Modification de la végétation pouvant affecter la faune aquatique.
- Interférence avec la circulation et la migration de certaines espèces aquatiques, en raison notamment des champs électromagnétiques émanant des câbles électriques.
- Risques de blessure et de mortalité des animaux en cas de contact avec des appareils en mouvement.
- Nuisance sonore pendant la construction et l'exploitation.
- Conflits possibles avec les activités de navigation, de pêche, de plaisance, etc.
- Zéro émission de gaz à effet de serre et de contaminants atmosphériques lors de l'exploitation.
- Faible empreinte environnementale durant le cycle de vie.

# UNE RESSOURCE DURABLE

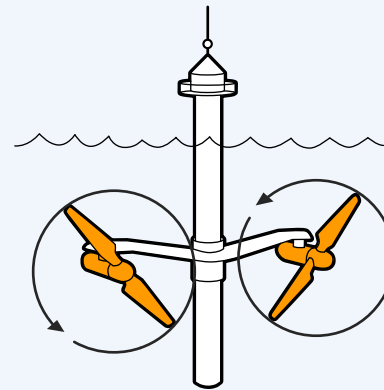
## Types d'hydroliennes

L'hydrolienne permet de transformer l'énergie de l'eau – comme le fait l'éolienne avec l'énergie du vent – en énergie mécanique, qui sera transformée elle-même en énergie électrique. Il existe trois grands types d'hydroliennes :



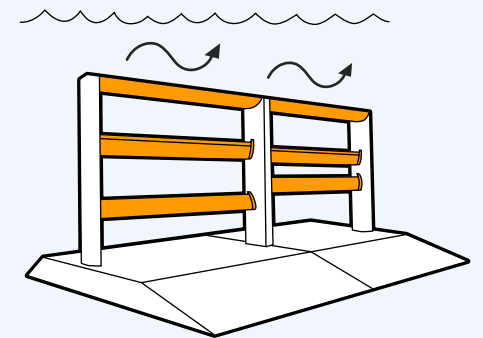
### Hydrolienne à axe vertical

Son fonctionnement est similaire à celui d'une éolienne à axe vertical. La turbine démarre sous la poussée de l'eau et entraîne un alternateur qui sert à produire de l'électricité. Le tout est fixé à une base flottante amarrée.



### Hydrolienne à axe horizontal

Son fonctionnement est similaire à celui d'une éolienne à axe horizontal. Elle peut être fixée notamment au fond marin, à une base flottante amarrée ou à un pilier rigide sortant de l'eau. Le modèle fixé au fond marin est le plus courant, plus difficile d'accès, mais plus discret visuellement. Il s'agit à l'heure actuelle du principal type d'hydrolienne en développement à l'échelle mondiale.



### Hydrolienne à aile oscillante

Imite le battement de la nageoire d'un poisson. Une pale est attachée à un bras qui monte et descend sous la poussée de l'eau. Le mouvement actionne une génératrice qui sert à produire de l'électricité.

## Potentiel hydrolien du Canada

### POTENTIEL DU COURANT DES MARÉES PAR PROVINCES ET PAR TERRITOIRES

TERRITOIRE OU PROVINCE	POTENTIEL DU COURANT DES MARÉES (MW)	NOMBRE DE SITES	PUISSANCE MOYENNE (MW)
Territoires du Nord-Ouest	35	4	9
Colombie-Britannique	4 015	89	45
Québec	4 288	16	268
Nunavut	30 567	34	899
Nouveau-Brunswick	636	14	45
Île-du-Prince-Édouard	33	4	8
Nouvelle-Écosse	2 122	15	141
Terre-Neuve-et-Labrador	544	15	36
<b>Total</b>	<b>42 240</b>	<b>191</b>	<b>221</b>

## Scénarios envisagés

En 2008, l'Electric Power Research Institute (EPRI, États-Unis) et le Carbon Trust (Grande-Bretagne) ont estimé qu'à long terme les coûts de l'hydrolien en mer et de l'éolien en mer seraient similaires et sensiblement plus élevés que celui de l'éolien terrestre. En 2013 et en 2014, le coût de l'électricité produite par les hydroliennes commerciales ou précommerciales en mer variait entre 33 ¢ et 66 ¢/kWh selon le type de modèle et la qualité de la ressource au site exploité. Quant à l'espace qu'elles occupent, les hydroliennes en mer ont une densité surfacique en énergie supérieure (30-50 MW/km<sup>2</sup>) à celle des éoliennes terrestres (10-20 MW/km<sup>2</sup>).

Selon le Carbon Trust, les hydroliennes en mer deviendront aussi performantes que les éoliennes terrestres, pour les sites présentant les meilleurs potentiels de densité énergétique.

### Un site de grande qualité

Le passage Minas de la baie de Fundy est un site idéal pour la production d'énergie hydrolienne. Le Fundy Ocean Research Centre for Energy (FORCE) y exploite une installation en vue d'un premier déploiement d'hydroliennes au Canada en 2015 et en 2016. Pour ce projet, l'EPRI a déterminé un coût de production brut d'électricité variant entre 3,9 ¢ et 4,6 ¢/kWh à long terme. Toutefois, on a démontré depuis que cette évaluation sous-estime grandement les coûts d'installation, d'exploitation et d'entretien dans ce milieu marin.

D'autres projets sont menés dans la baie de Fundy visant un coût d'environ 15 ¢/kWh lors d'un premier déploiement d'hydroliennes. C'est l'équivalent des coûts annoncés de l'électricité qui serait produite par des centrales hydroélectriques projetées sur le cours inférieur du fleuve Churchill.

## Changements climatiques et qualité de l'air

Pour la filière hydrolienne, les émissions de gaz à effet de serre et de contaminants atmosphériques sont associées à la fabrication et à l'installation de l'équipement. En exploitation, les hydroliennes ne génèrent pas d'émissions.

## Analyse du cycle de vie

Il existe très peu d'études du cycle de vie des hydroliennes. Les principaux impacts environnementaux de la filière hydrolienne, dont les émissions de gaz à effet de serre, seraient similaires à ceux de la filière de la grande éolienne terrestre et de la filière hydroélectrique. Les matériaux utilisés, la fabrication et le transport des équipements sont les éléments qui comptent le plus dans l'analyse du cycle de vie de cette filière.

## Écosystèmes et biodiversité

Les impacts environnementaux de l'implantation d'hydroliennes sont mal connus, faute de suivi environnemental pour un nombre suffisant de projets. Voici des exemples d'impacts potentiels :

- La création de zones de turbulences par les turbines pourrait empêcher le dépôt de sédiments, voire le développement de la flore. À la longue, cela pourrait générer la formation de zones mortes ou perturber les organismes de fond (benthos) peu mobiles. Cela pourrait aussi entraîner

la mise en suspension de plus de nutriments, favorisant le plancton qui nourrit certaines espèces de poissons au détriment d'autres espèces.

- La captation de l'énergie du courant par les hydroliennes pourrait mener à une diminution de l'énergie nécessaire au brassage des nutriments. Elle entraînerait aussi une baisse du courant résiduel, que les espèces migratrices utilisent pour se déplacer.
- Pendant la mise en place des fondations et des ancrages, il pourrait se produire une perturbation du fond marin et une remise en suspension de matériaux. L'impact, temporaire, serait faible si les zones plus sensibles étaient évitées. Selon les sites, la communauté benthique prendrait de deux à dix ans après les travaux pour revenir à son état initial.
- Les poissons, les mammifères marins et les oiseaux plongeurs pourraient heurter les hydroliennes. Or, les risques de collision devraient être très faibles, car les poissons de petite et moyenne taille seraient repoussés par les remous dus au mouvement des pales. Les animaux de grande taille, qui ont déjà tendance à éviter les bateaux et leurs hélices, pourraient avoir le même réflexe à l'égard des turbines. Certains modèles d'hydroliennes font tourner leur hélice très lentement, ce qui réduirait beaucoup les risques. Cependant, le risque de collision des animaux de grande taille, tout en restant faible, pourrait augmenter en fonction de la taille du rotor.
- Les produits d'entretien utilisés pour empêcher le développement d'algues et d'organismes sur l'hydrolienne pourraient affecter la faune et la flore aquatiques. En cas de fuite de produits chimiques ou d'huile, les quantités libérées représenteraient une nuisance pour l'environnement, mais de faible ampleur étant donné les petites quantités employées.

- Selon les matériaux utilisés pour leurs fondations, la présence des hydroliennes pourrait avoir un effet de récif, c'est-à-dire qu'il pourrait y avoir localement une augmentation de la population des espèces présentes et de la biomasse, favorisant l'implantation de coraux.
- En raison de leurs fréquences différentes, les bruits de fonctionnement de l'hydrolienne et les sons émis par les cétacés n'interféreraient pas entre eux. Par contre, lors du battage des pieux de fondation, les mammifères marins et les poissons fuiraient les lieux sur une distance atteignant jusqu'à 20 km. L'impact des bruits sur la reproduction reste préoccupant, car certains poissons pourraient emprunter des chemins sous-marins à des moments pouvant coïncider avec la période des travaux. Dans quelques cas, la présence de bruit pourrait entraîner un effet de barrière pour des animaux.
- Les champs électromagnétiques émanant des connexions et des câbles électriques pourraient interférer avec les champs électromagnétiques qu'utilisent les poissons, comme les requins, pour localiser leurs proies ou pour s'orienter en période de migration.
- La zone exclusive délimitée pour une hydrolienne pourrait avoir un effet de réserve (aire protégée similaire à une réserve faunique) pour la faune aquatique, ce qui pourrait être bénéfique pour les poissons. Cependant, cet effet de réserve semble moins évident pour les parcs hydroliens de petite dimension.

## Santé et qualité de vie

Étant immergées, les hydroliennes ne produisent pas de bruits audibles à la surface. Aucun impact n'est prévu sur la santé humaine ou la qualité de vie.

## Aménagement du territoire

En général, l'équipement hydrolien est peu visible. Toutefois selon le milieu, les besoins d'entretien pourraient nécessiter l'installation d'une structure émergeant de l'eau, ce qui produirait un effet visuel minime, mais tout de même inesthétique. D'autres équipements situés sur la terre ferme, tels que le poste de transformation et le raccordement au réseau électrique, pourraient avoir un impact visuel plus important sur le paysage.

En outre, un parc hydrolien pourrait toucher des activités comme :

- La pêche – l'interdiction de pêche près des hydroliennes peut contribuer à créer un effet de réserve, occasionnant une augmentation des populations de poissons autour du site. Toutefois, cette hypothèse est peu documentée.
- Les sports nautiques (voile, plongée) et le tourisme littoral.
- La navigation commerciale, militaire et de plaisance.
- Les travaux d'archéologie (protection du patrimoine) et les zones réservées (base d'hydravions, dépôts de dragage).
- Les communications (câbles sous-marins, faisceaux hertziens).
- Les cultures marines (conchyliculture, pisciculture, algoculture).

## Économie régionale

Les retombées économiques locales peuvent être importantes si le propriétaire, l'installateur et le matériel de l'hydrolienne proviennent du milieu d'accueil. De plus, l'entretien de l'équipement serait facilement réalisable par le milieu, et les ressources seraient souvent disponibles.

## Acceptabilité sociale

Plusieurs actions pourraient favoriser l'acceptabilité sociale des projets hydroliens. Par exemple :

- Réduire les conflits d'usages auprès des utilisateurs (voir [Aménagement du territoire](#)).
- Se concerter avec les usagers, tels que les pêcheurs professionnels, entre autres pour définir l'emplacement des hydroliennes et des câbles électriques.

### RÉFÉRENCES

1. Centre hydraulique canadien. [Inventory of Canada's Marine Renewable Energy Ressources](#). (En ligne). 2006. <http://www.marinerenewables.ca/wp-content/uploads/2012/11/Inventory-of-Canadas-Marine-Renewable-Energy-Resources.pdf>. Document consulté le 10 novembre 2014.
2. Clean Current. [Environment](#). (En ligne). Sans date. <http://www.cleancurrent.com/environment>. Site consulté le 10 novembre 2014.
3. Douglas, C.A., Harrison, G.P., Chick, J.-P. 2008. [Life cycle assessment of the Seagen marine current turbine](#). *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part M: Journal of Engineering for the Maritime Environment*, vol. 222 (1). (En ligne). <http://pim.sagepub.com/content/222/1/1.full.pdf>. Document consulté le 10 novembre 2014.
4. Electric Power Research Institute. [North America Tidal In-Stream Energy Conversion Technology Feasibility Study](#). (En ligne). 2006. [http://oceanenergy.epri.com/attachments/streamenergy/reports/008\\_Summary\\_Tidal\\_Report\\_06-10-06.pdf](http://oceanenergy.epri.com/attachments/streamenergy/reports/008_Summary_Tidal_Report_06-10-06.pdf). Document consulté le 10 novembre 2014.
5. Electric Power Research Institute. [Ocean Energy Web Page](#). (En ligne). Sans date. <http://oceanenergy.epri.com/>. Site consulté le 10 novembre 2014.
6. Force. [Imagine the power of the highest tides in the world – Imagine the technology to harness it](#). (En ligne). Sans date. <http://fundyforce.ca/>. Site consulté le 10 novembre 2014.
7. France Énergies Marines. [Guide d'évaluation des impacts environnementaux pour les technologies hydroliennes en mer](#). (En ligne). 2013. <http://archimer.ifremer.fr/doc/00179/29025/27456.pdf>. Document consulté le 10 novembre 2014.
8. Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. [Sources d'énergie renouvelable et atténuation du changement climatique](#). (En ligne). 2011. [http://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/srren/srren\\_report\\_fr.pdf](http://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/srren/srren_report_fr.pdf). Document consulté le 10 novembre 2014.
9. Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie. [Énergies marines renouvelables – Étude méthodologique des impacts environnementaux et socio-économiques](#). (En ligne). 2012. [http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/120615\\_etude\\_version\\_finale.pdf](http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/120615_etude_version_finale.pdf). Document consulté le 10 novembre 2014.
10. Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie, Ministère de l'Économie et des Finances, Ministère du Redressement productif. [Rapport de la mission d'étude sur les énergies marines renouvelables](#). (En ligne). 2013. [http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/RAPPORT\\_ENERGIES\\_MARINES\\_2013.pdf](http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/RAPPORT_ENERGIES_MARINES_2013.pdf). Document consulté le 10 novembre 2014.
11. Ocean Energy Systems. [Ocean Energy Waves, Tidal & Currents, Salinity, Thermal](#). (En ligne). Sans date. [http://www.ocean-energy-systems.org/oes\\_reports/annex\\_i\\_reports/](http://www.ocean-energy-systems.org/oes_reports/annex_i_reports/). Site consulté le 10 novembre 2014.
12. Si-Ocean. [Accelerating the Deployment of Ocean Energy in Europe](#). (En ligne). Sans date. <http://www.si-ocean.eu/en/Technology-Assessment/Strategic-Technology-Agenda/>. Site consulté le 10 novembre 2014.
13. The Ocean Renewable Energy Group. [Énergie renouvelable des océans au Canada – Exploiter l'énergie des vagues et des marées](#). (En ligne). Sans date. <http://www.marinerenewables.ca/wp-content/uploads/2012/12/Energie-renouvelable-des-océans-au-Canada.pdf>. Document consulté le 10 novembre 2014.
14. U.S. Department of Commerce, National Oceanic and Atmospheric Administration, National Marine Fisheries Service. [Environmental Effects of Tidal Energy Development – Proceedings of a Scientific Workshop](#). (En ligne). 2011. <http://depts.washington.edu/nnmrec/workshop/docs.html#report>. Document consulté le 10 novembre 2014.