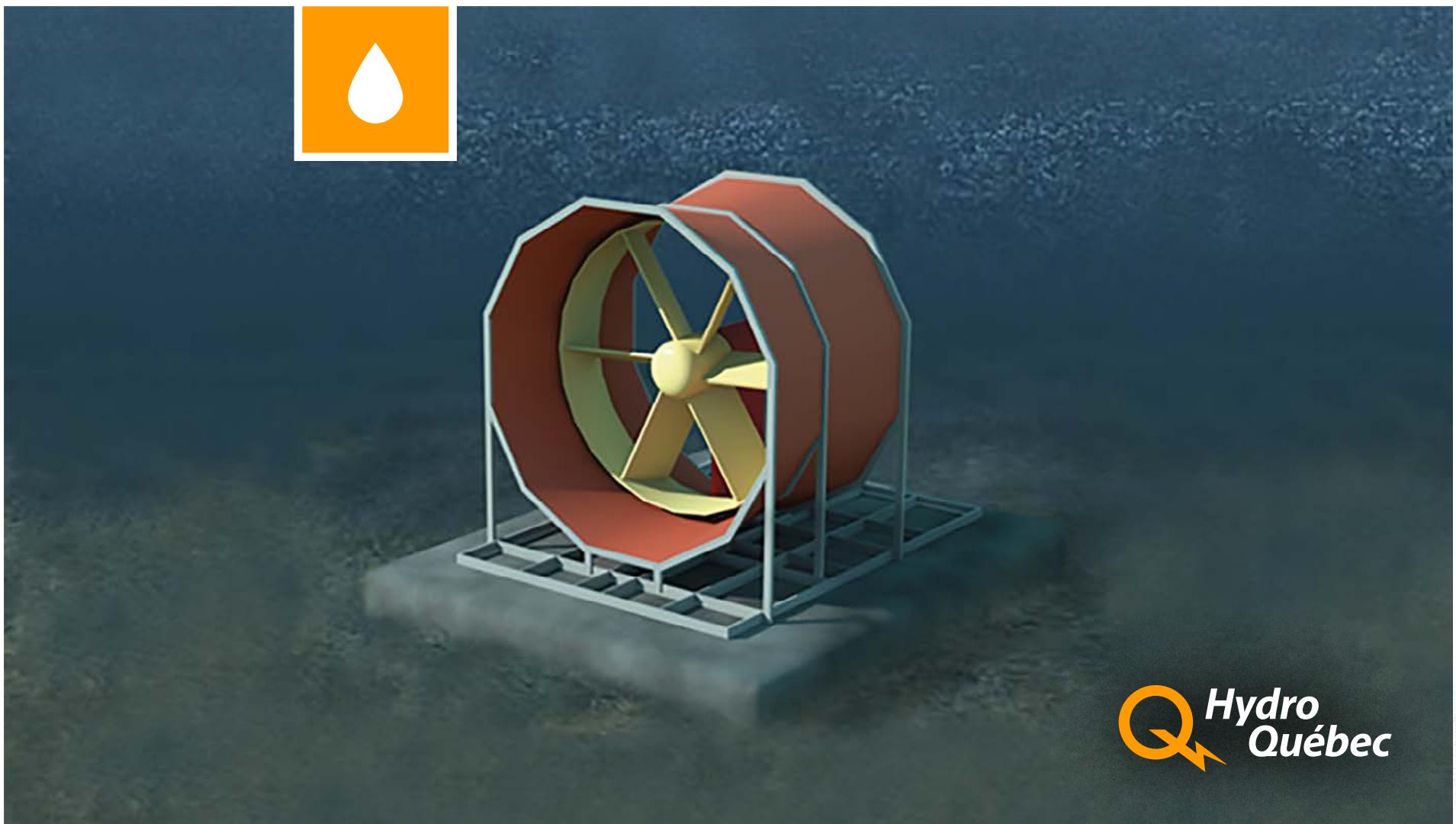


FILIÈRE D'ÉNERGIE RENOUVELABLE

L'ÉNERGIE HYDROLIENNE



Q *Hydro
Québec*

L'ÉNERGIE DE L'EAU



QU'EST-CE QUE L'ÉNERGIE HYDROLIENNE ?

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

L'hydrienne 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'hydriennes:

- l'hydrienne à axe vertical,
- l'hydrienne à axe horizontal,
- l'hydrienne à aile oscillante.

ÉTAT DE LA SITUATION

Les principaux pays qui développent cette énergie sont le Royaume-Uni, l'Irlande, la France, l'Espagne, la Chine, le Japon, la Corée du Sud, le Canada et les États-Unis. Le Royaume-Uni agit à titre de leader, car l'énergie des vagues et l'énergie des



En couverture: Modèle d'hydrienne à axe horizontal.

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

marées y sont abondantes. L'European Marine Energy Centre, en Écosse, est très actif dans la recherche et le développement en matière d'énergie hydrienne. Plus de 50 % du potentiel théorique aux États-Unis se trouve en Alaska, ce qui fait de celui-ci l'État privilégié pour les projets de démonstration et de commercialisation. Depuis 2011, plusieurs fabricants de turbines hydrauliques se sont impliqués dans le développement de turbines hydrocinétiques. Certains d'entre eux ne l'ont fait que peu de temps toutefois (ex.: Siemens).

POTENTIEL HYDROLIEN

Le Royaume-Uni est l'un des pays où le potentiel théorique est le plus élevé, d'où la réalisation de plusieurs projets de démonstration. Bien que des projets d'exploitation commerciale y aient aussi vu le jour depuis 2016, ce secteur est encore embryonnaire. Les autres principaux territoires ayant un potentiel intéressant, tous types d'énergie hydrienne confondus, sont les suivants:

- le Canada, notamment dans la baie d'Ungava, au Québec, et la baie de Fundy, en Nouvelle-Écosse;
- les États-Unis, principalement en Alaska;
- l'Argentine;
- la Russie, dans le fjord de Kislaya Guba;
- la France, dans le fleuve Rance;
- l'Australie;
- la Nouvelle-Zélande;
- l'Inde;
- la Corée du Sud, dans le lac Sihwa.

On estime que le [potentiel hydronien mondial \(ressource théorique\) du courant type des marées](#) pourrait atteindre 17 500 TWh/an (Stelzenmuller et Aliseda, 2014)¹. C'est l'énergie marémotrice qui offre le plus de potentiel à l'échelle mondiale.

Au Canada, le potentiel hydronien est estimé à 42 000 MW pour le courant des marées et à 15 000 MW pour celui des rivières. Pour ce qui est du Québec, il se situe environ à 4 288 MW (38 TWh/an) et à 1000 MW respectivement. À ce jour, Hydro-Québec a testé plusieurs hydroliennes dans le fleuve Saint-Laurent.

RENDEMENT ET COÛTS

Le coût de la production d'électricité par kilowattheure d'une centrale faisant fonctionner au minimum dix hydroliennes installées en chapelet est de 0,25 \$ US pour les courants océaniques, de 0,41 \$ US pour les courants des marées et de 0,80 \$ US pour les courants fluviaux (Neary et coll., 2014).

1. En bref, elle tient compte des coûts de fabrication, d'installation, d'exploitation et de maintenance et du potentiel annuel de production. La valeur en \$/kWh est la valeur minimale critique pour le seuil de rentabilité (*break-even*).

AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS

Les turbines à impulsions radiales (de type «*cross-flow*») sont généralement moins performantes que les turbines à flux axial (de type «*axial-flow*»). En revanche, peu importe le sens de l'écoulement de l'eau, elles produiront de l'électricité, un avantage non négligeable pour l'exploitation du courant des marées (Laws et Ebbs, 2016).

La majorité des efforts de recherche et de développement portent sur l'énergie du courant des marées, au détriment de celle des courants fluviaux et océaniques. Les raisons en sont fort simples : les coûts d'exploitation et la quantité d'énergie disponible. Par exemple, même si les hydroliennes en océan peuvent produire de grandes quantités d'énergie, les coûts de production par kilowattheure demeurent trop élevés en raison des coûts exorbitants associés à l'installation et à l'exploitation. Pour ce qui est des rivières, peu de sites offrent des vitesses d'écoulement suffisantes et relativement constantes durant l'année entière pour produire de l'électricité à un coût abordable (Laws et Ebbs, 2016).



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



POUR EN SAVOIR DAVANTAGE

- Types d'hydroliennes
- Potentiel hydrolien du Canada
- Un site de grande qualité
- 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

À l'étape de la précommercialisation, les premiers tests de démonstration sont généralement effectués sur une seule hydrolienne. Certains projets cherchent à capter toute l'énergie cinétique d'un écoulement à l'aide de plusieurs hydroliennes disposées en chapelet. Bien qu'elles soient essentielles d'un point de vue environnemental, les innombrables études sur la faune et la flore, et sur le transport des sédiments, ralentissent la réalisation des projets. De plus, les délais pour l'obtention des permis d'exploitation sont souvent longs, pouvant atteindre plusieurs années. Par comparaison, les technologies hydroliennes sont actuellement rendues au stade où étaient celles de l'éolien il y a une quinzaine d'années.

Pour les hydroliennes exploitant le courant des marées, 76 % sont à axe horizontal, 12 % à axe vertical, et 12 % d'autres types (à aile oscillante, à effet Venturi, etc.). Les trois quarts des investissements en recherche et en développement sont consacrés aux hydroliennes à axe horizontal.

En général, les hydroliennes flottantes sont plus faciles à installer et à entretenir que celles qui sont fixées dans le fond de l'eau (Laws et Ebbs, 2016).

DÉVELOPPEMENT DURABLE

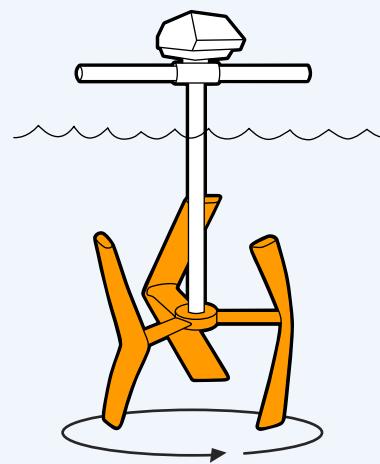
Puisqu'il existe actuellement très peu d'hydroliennes en exploitation dans le monde, les enjeux de développement durable ne sont pas encore bien documentés. Voici les principaux impacts potentiels :

- Modification du courant, effet de sillage et de masquage du bruit.
- Modification de la dynamique sédimentaire pouvant affecter le régime estuaire 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

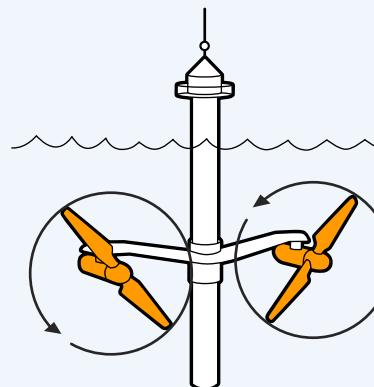
Types d'hydroliennes

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:



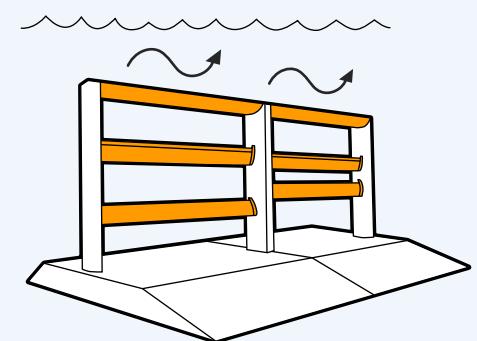
Hydrolienne à axe vertical

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

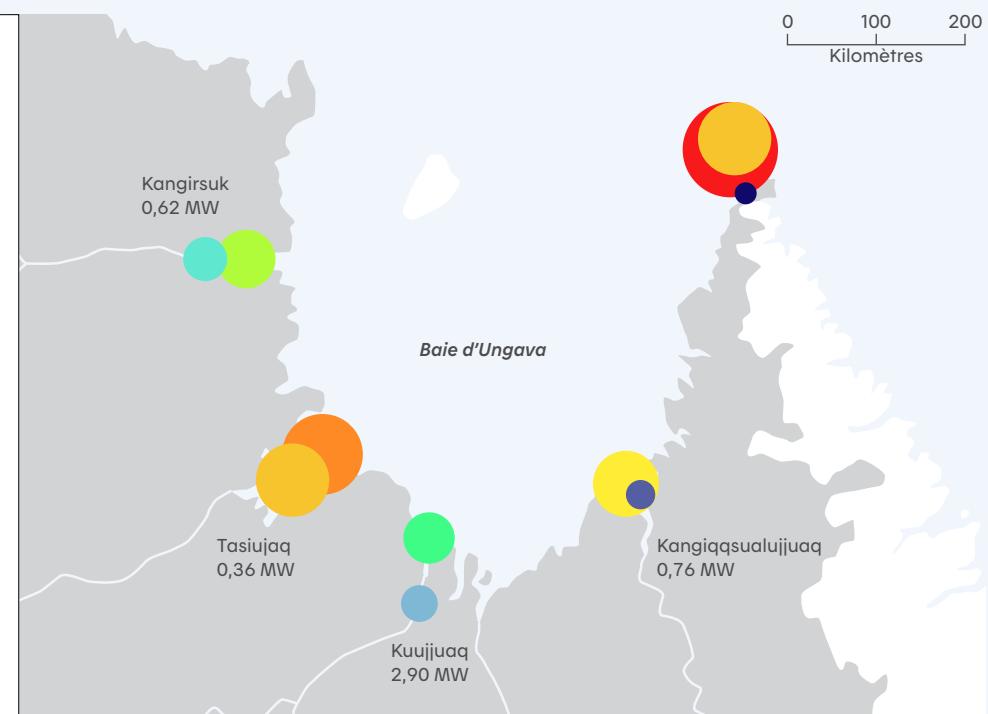
TERRITOIRE OU PROVINCE	POTENTIEL DU COURANT DES MARÉES (MW)	NOMBRE DE SITES	PUISANCE MOYENNE (MW)
Territoires du Nord-Ouest	35	4	9
Colombie-Britannique	4 015	89	45
Québec	4 288	16	268
Nunavut	30 567	34	899
Nouveau-Brunswick	636	14	45
Île-du-Prince-Édouard	33	4	8
Nouvelle-Écosse	2 122	15	141
Terre-Neuve-et-Labrador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

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. 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.

POTENTIEL HYDROLIEN DU COURANT DES MARÉES ET DES RIVIÈRES DANS LA RÉGION DE LA BAIE D'UNGAVA

Courant des marées	Évaluation du potentiel hydrolien (MW)
• Au moins huit sites de qualité totalisant un potentiel théorique d'environ 4 200 MW.	● 7-14
• Quatre sites situés à moins de 15 km des centrales diesels d'Hydro-Québec.	● 15-27
• La disponibilité de la ressource (> 4 200 MW) excède largement la demande actuelle (<10 MW).	● 28-53
Courant des rivières	Évaluation du potentiel hydrolien (MW)
• La plupart des villages desservis par Hydro-Québec sont situés près de cours d'eau importants.	● 54-102
• Le potentiel hydrolien du courant des rivières est à confirmer, mais il devrait excéder les besoins en énergie de la région.	● 103-198
• Le courant des marées est potentiellement exploitable dans beaucoup de rivières.	● 199-383
	● 384-741
	● 742-1 436
	● 1 437-2 780
	● 2 781-5 384
	● > 5 384



Sources: CANMET-CHC et HQD

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.
- 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).

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.

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. Clean Current. [Environment](http://www.cleancurrent.com/environment). (En ligne). Sans date. <http://www.cleancurrent.com/environment>. Site consulté le 10 novembre 2014.
2. Douglas, C.A., Harrison, G.P., Chick, J.-P. 2008. [Life cycle assessment of the Seagen marine current turbine](http://pim.sagepub.com/content/222/1/1.full.pdf). *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.
3. Electric Power Research Institute. [North America Tidal In-Stream Energy Conversion Technology Feasibility Study](http://oceanenergy.epris.com/attachments/streamenergy/reports/008_Summary_Tidal_Report_06-10-06.pdf). (En ligne). 2006. http://oceanenergy.epris.com/attachments/streamenergy/reports/008_Summary_Tidal_Report_06-10-06.pdf. Document consulté le 10 novembre 2014.
4. Electric Power Research Institute. [Ocean Energy Web Page](http://oceanenergy.epris.com/). (En ligne). Sans date. <http://oceanenergy.epris.com/>. Site consulté le 10 novembre 2014.
5. Force. [Imagine the power of the highest tides in the world – Imagine the technology to harness it](http://fundyforce.ca/). (En ligne). Sans date. <http://fundyforce.ca/>. Site consulté le 10 novembre 2014.
6. France Énergies Marines. [Guide d'évaluation des impacts environnementaux pour les technologies hydroliennes en mer](http://archimer.ifremer.fr/doc/00179/29025/27456.pdf). (En ligne). 2013. <http://archimer.ifremer.fr/doc/00179/29025/27456.pdf>. Document consulté le 10 novembre 2014.
7. Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC). [Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation. Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/SRREN_Full_Report-1.pdf). (En ligne). 2012. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/SRREN_Full_Report-1.pdf. Document consulté le 5 janvier 2021.
8. Agence de la transition écologique (ADEME), établissement public sous la tutelle du ministère de la Transition écologique et du ministère de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation. [Énergies marines renouvelables – Étude méthodologique des impacts environnementaux et socio-économiques](https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/20140404_Etude-NRJmarines.pdf). (En ligne). 2012. https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/20140404_Etude-NRJmarines.pdf. Document consulté le 5 janvier 2021
9. Ministère de l'Énergie, 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](https://www.vie-publique.fr/sites/default/files/rapport/pdf/134000275.pdf). (En ligne). 2013. <https://www.vie-publique.fr/sites/default/files/rapport/pdf/134000275.pdf>. Document consulté le 10 novembre 2014.
10. Ocean Energy Systems. [Ocean Energy Waves, Tidal & Currents, Salinity, Thermal](http://www.ocean-energy-systems.org/ocean-energy-waves-tidal-currents-salinity-thermal). (En ligne). Sans date. <http://www.ocean-energy-systems.org/ocean-energy-waves-tidal-currents-salinity-thermal>. Site consulté le 10 novembre 2014.
11. Si-Ocean. [Accelerating the Deployment of Ocean Energy in Europe](http://www.si-ocean.eu/en/Technology-Assessment/Strategic-Technology-Agenda). (En ligne). Sans date. <http://www.si-ocean.eu/en/Technology-Assessment/Strategic-Technology-Agenda>. Site consulté le 10 novembre 2014.
12. Gouvernement du Canada. [En quoi consiste l'énergie marine ?](https://www.rncan.gc.ca/energie/sources-denergie-et-reseau-de-distribution/energies-renouvelables/energie-des-oceans/en-quoi-consiste-lenergie-marine/7372) (En ligne). 2017. <https://www.rncan.gc.ca/energie/sources-denergie-et-reseau-de-distribution/energies-renouvelables/energie-des-oceans/en-quoi-consiste-lenergie-marine/7372>. Site consulté le 5 janvier 2021
13. 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](http://depts.washington.edu/nmmrc/workshop/docs.html#report). (En ligne). 2011. <http://depts.washington.edu/nmmrc/workshop/docs.html#report>. Document consulté le 10 novembre 2014.
14. JENNE, D. S., Y.-H. YU, et V. NEARY. 2015. « [Levelized cost of energy analysis of marine and Hydrokinetic reference models](https://www.nrel.gov/docs/fy15osti/64013.pdf) ». (En ligne). Dans 3rd *Marine Energy Technology Symposium*, 27-29 avril, Washington (DC). <https://www.nrel.gov/docs/fy15osti/64013.pdf>. Document consulté le 3 décembre 2020.
15. LABONTE, A., et autres. 2013. « [Standardized constant performance reporting for marine and hydrokinetic technologies](https://www.researchgate.net/publication/299410672_STANDARDIZED_COST_AND_PERFORMANCE_REPORTING_FOR_MARINE_AND_HYDROKINETIC TECHNOLOGIES) ». (En ligne). Dans *Proceedings of the 1st Marine Energy Technology Symposium*, 10-11 avril, Washington (DC). https://www.researchgate.net/publication/299410672_STANDARDIZED_COST_AND_PERFORMANCE_REPORTING_FOR_MARINE_AND_HYDROKINETIC TECHNOLOGIES. Document consulté le 3 décembre 2020.
16. LAWS, N. D., et B.P. EBBS. 2016. « [Hydrokinetic energy conversion: Technology, research, and outlook](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032115015725) ». (En ligne). *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, n° 57, p. 1245-1259. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032115015725>. Site consulté le 3 décembre 2020.
17. NEARY, V. S., et coll. 2014. « [Methodology for Design and Economic Analysis of Marine Energy Conversion \(MEC\) Technologies](https://energy.sandia.gov/wp-content/gallery/uploads/SAND2014-9040-RMP-REPORT.pdf) ». (En ligne). <https://energy.sandia.gov/wp-content/gallery/uploads/SAND2014-9040-RMP-REPORT.pdf>. Document consulté le 3 décembre 2020.
18. STELZENMULLER, N., and A. ALISEDA. 2014. [Marine Hydrokinetic Turbine Array Performance and Wake Characteristics](#). Rapport technique. DOEERE – Programme d'énergie éolienne et hydraulique.