

16. L'énergie océanique

16.3 – Distribution et quantification de l'énergie océanique

Daniel R. Rousse, ing., Ph.D.

Département de génie mécanique

Patrick Turcotte, ing.

Question



ENR2020

- Combien d'énergie pourrait être extraite annuellement des mers et océans avec les technologies actuelles?
 - a. Moins de 5 000 TW.h
 - b. Entre 5 000 et 10 000 TW.h
 - c. Entre 10 000 et 50 000 TW.h
 - d. Entre 50 000 et 100 000 TW.h
 - e. Plus de 100 000 TW.h

Plan de la présentation

- Introduction
- Énergie marémotrice
- Énergie hydrolienne
- Énergie houlomotrice
- Énergie thermique des mers
- Énergie osmotique des mers
- Conclusion

Plan de la présentation

- ***Introduction***
- Énergie marémotrice
- Énergie hydrolienne
- Énergie houlomotrice
- Énergie thermique des mers
- Énergie osmotique des mers
- Conclusion

Introduction

- Les océans du globe contiennent énormément d'énergie;
- Ils « entreposent » beaucoup d'énergie solaire;
- Ils « concentrent et entreposent » également de l'énergie éolienne;
- Une fraction de cette énergie est accessible et exploitable avec les technologies courantes;
- Dans cette présentation, ces quantités sont regardées de plus près, et leur distribution géographique est examinée;
- Quelques chiffres en guise de rappel et de contextualisation...

Introduction

- Consommation énergétique mondiale en 2019 (BP): 14 000 Mtep, soit 168 820 TW.h;
- Ceci représente une puissance moyenne de 19,3 TW;
- Quelques exemples de puissance **moyenne** typiques:
 - Centrale thermique (Shree Singaji, Inde): 2 500 MW
 - Centrale nucléaire (Belleville, France): 1 310 MW
 - Barrage hydroélectrique (Robert-Bourassa, Québec): 3 000 MW
 - Parc solaire (Mesquite, États-Unis): 130 MW
 - Parc éolien (Black Law, Écosse): 40 MW

Introduction

- Rappel de quelques facteurs de charge (EIA, 2019):
 - Thermique (gaz, charbon): 95%
 - Géothermique: 69,7%
 - Hydroélectrique: 41,2%
 - Nucléaire: 93,4%
 - Solaire (PV): 24,3%
 - Solaire (thermique): 23,6%
 - Éolien: 34,3%
- Les chiffres varient énormément; ceux-ci donnent une idée générale, un ordre de grandeur.

Introduction

- Le potentiel énergétique des océans est difficile à estimer, et la fraction qui peut être exploitée l'est encore plus;
- Cependant, nous disposons de quelques méthodes pour faire des estimés;
- Environ 179 000 TW de rayonnement solaire atteint la Terre, à l'extérieur de l'atmosphère;
- En moyenne, environ 89 000 TW de rayonnement solaire atteint la surface de la Terre;
- Les océans couvrent 71% de la surface terrestre; donc, environ 63 200 TW de rayonnement solaire atteint les océans;
- L'albedo moyen des océans est environ 0,06; donc environ 59 400 TW de rayonnement solaire est absorbé par les océans.

Introduction

- La majeure partie de cette énergie se retrouve transformée en énergie thermique, qui s'entrepose dans l'eau, crée des courants, alimente de l'évaporation, réchauffe l'air, etc.;
- Seule une **infime partie** de cette énergie est accessible, mais à l'échelle humaine, c'est une **énorme fraction** de notre consommation énergétique.
- Selon le World Energy Council, le potentiel exploitable actuellement serait estimé à 3,6 TW
- Selon l'UNESCO, le potentiel exploitable actuellement serait estimé à 6,4 TW

Introduction

- Quelques données...

Marine Energy Resource	Potential Generating Capacity
Tidal current	5000 GW
Wave power	1000–10,000 GW
Ocean thermal energy technology	2600 GW
Salinity gradient	2000 GW

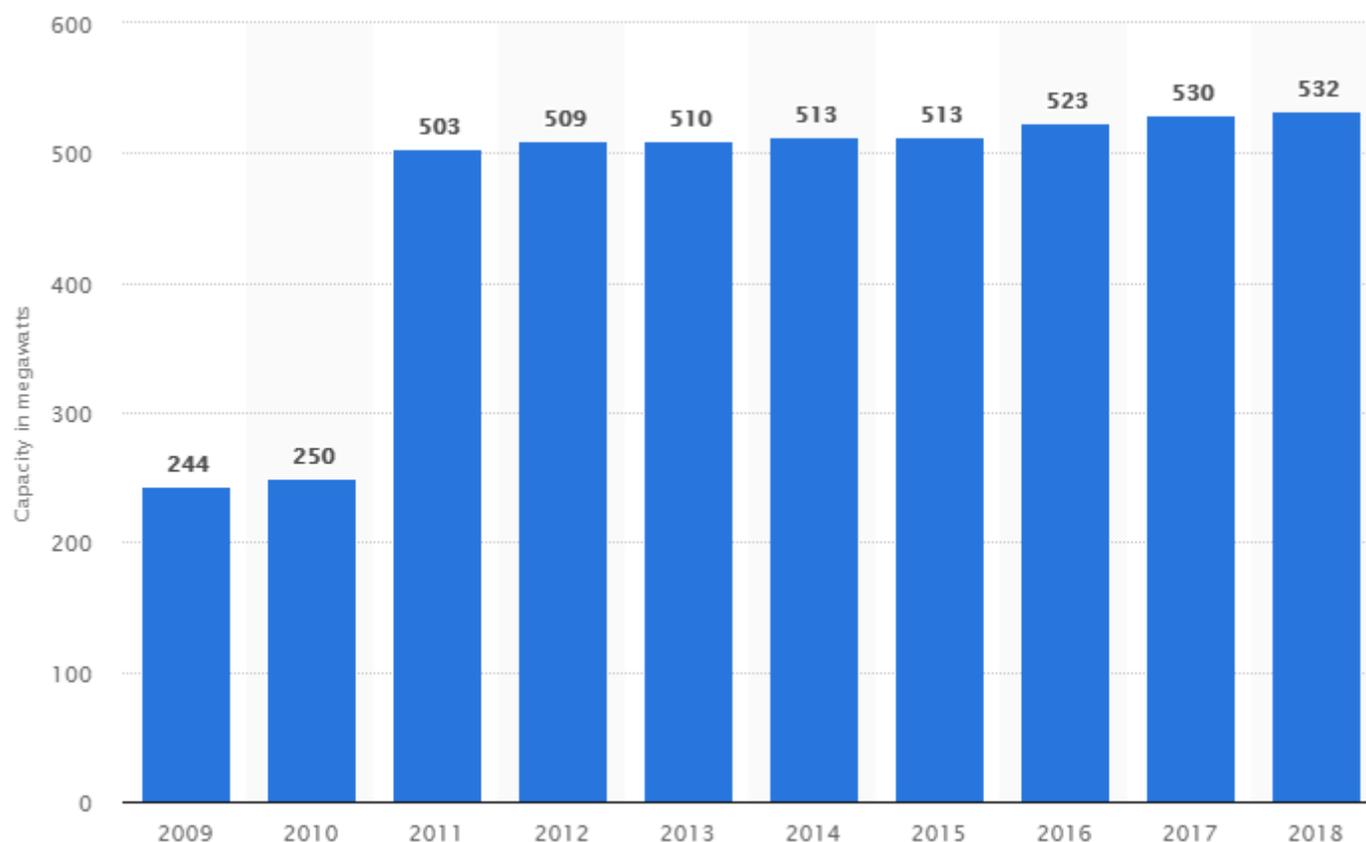
Type	Theoretical Reserves	Technologically Developable Capacity (GW)
Tidal energy	3,000	100
Wave energy	3,000	1,000
Ocean current energy	600	300
Energy from temperature differences	40,000	2,000
Energy from ocean salinity	30,000	3,000

Source: UNESCO, ocean energy development.

Sources: *Ocean Energy, Opportunity, Present Status and Challenges*, International Energy Agency/Ocean Energy Systems, 2004–2006; and G. Bhuyan, *Ocean Energy: Global Technology Status, Opportunities and Challenges for Canada*, Powertech Labs Inc., 2005.

Introduction

- À ce jour, on exploite environ 532 MW d'énergie océanique (Statista, 2018):



Introduction

- Cette production **croît très lentement** depuis 10 ans;
- L'emphase a été mise sur le solaire et l'éolien, particulièrement suite à la chute des prix des panneaux photovoltaïques;
- La Corée du Sud (255 MW), la France (219 MW) et le Canada (23 MW) sont essentiellement les seuls joueurs à ce jour (IRENA, 2018).

Introduction

- Les investissements sont encore faibles (REN21, en milliards USD):

	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
New Investment by Technology											
 Wind power	72.5	97.8	83.3	78.3	83.3	111.1	119.7	123.5	133.4	132.7	142.7
 Solar power	63.6	102.0	160.1	144.0	120.4	147.8	176.6	145.9	180.8	143.5	141.0
 Biomass and waste-to-energy	13.4	17.3	20.9	15.4	14.6	13.1	10.4	15.2	7.4	11.5	11.2
 Biofuels	9.4	10.1	10.5	7.7	5.1	5.5	3.6	2.1	3.3	3.3	3.0
 Hydropower <50 MW	6.0	8.2	7.7	6.3	5.7	7.4	4.2	4.3	4.0	2.3	2.5
 Geothermal	2.5	2.8	3.8	1.7	2.4	2.9	2.5	2.7	2.4	2.5	1.2
 Ocean power	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.4	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2

Plan de la présentation

- Introduction
- ***Énergie marémotrice***
- Énergie hydrolienne
- Énergie houlomotrice
- Énergie thermique des mers
- Énergie osmotique des mers
- Conclusion

Énergie marémotrice

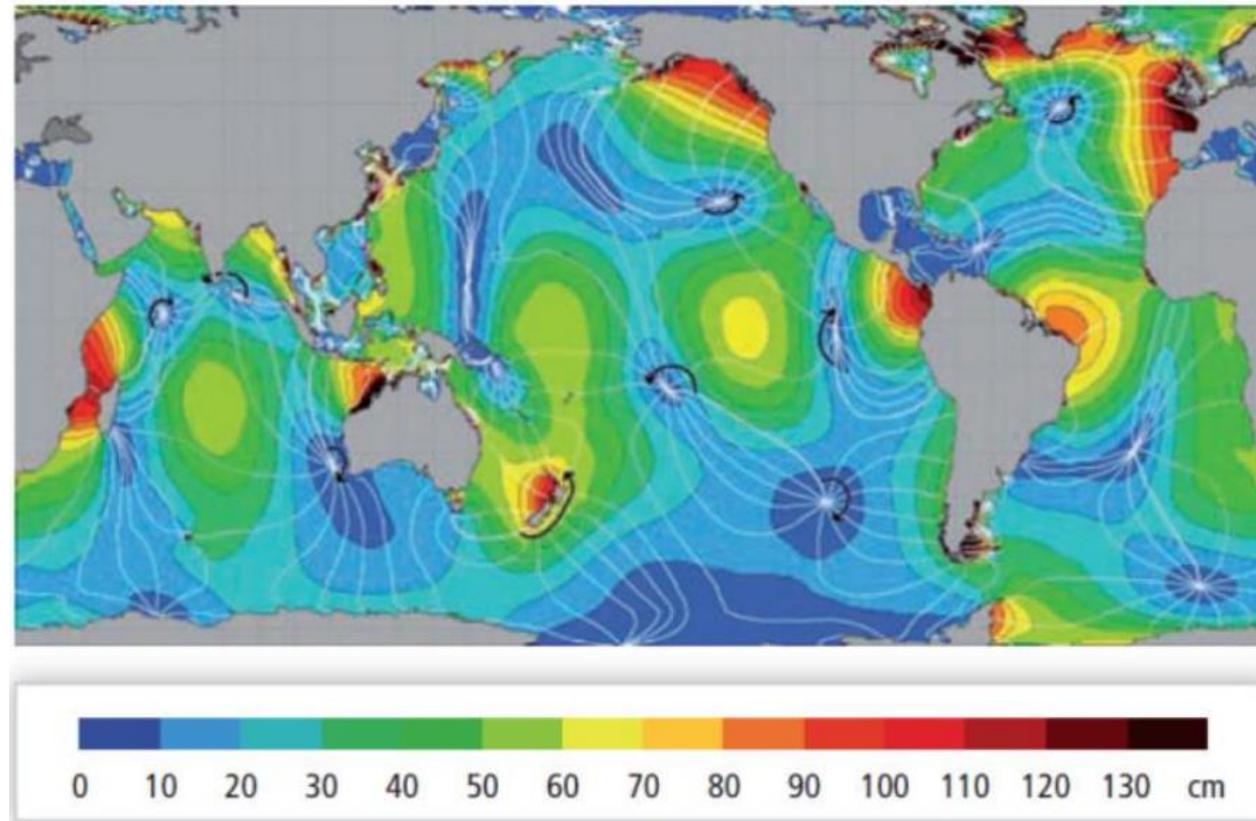
- L'énergie marémotrice est la forme d'énergie océanique la plus exploitée à ce jour – 99% de la production;
- Deux facteurs différents sont à prendre en compte selon l'approche d'exploitation:
 - Le différentiel de hauteur de marée (barrages)
 - La vitesse des courants de marée (hydroliennes) – au moins 2 m/s

Énergie marémotrice

- Le cas de l'énergie marémotrice des barrages est paradoxal. En 2020, il représente la quasi-totalité de l'énergie océanique exploitée commercialement; cependant, son potentiel est considéré comme étant très limité, à cause des contraintes géographiques;
- Usine marémotrice de la Rance (France): puissance moyenne de 57 MW, puissance nominale de 240 MW;
- Usine Sihwa (Corée du Sud): puissance nominale de 254 MW;
- Les lagunes de marées ont plus de flexibilité, mais sont encore peu exploitées.

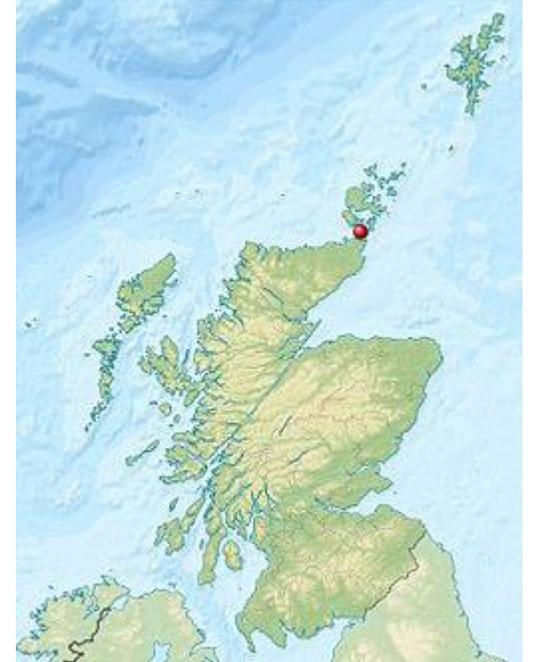
Énergie marémotrice

- L'amplitude des marées varie énormément d'un point du globe à l'autre (NASA, 2006):



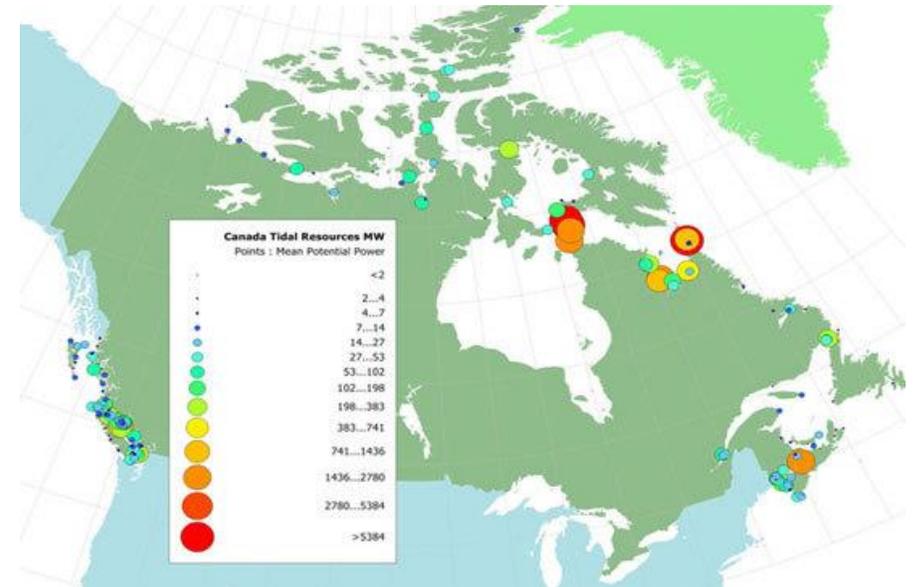
Énergie marémotrice

- Le potentiel des courants de marée est très grand, mais demande un contexte géographique spécifique;
- Estimé mondial exploitable: 90-100 GW
- Estimé exploitable pour le Royaume-Uni: 10 GW
- Estimé exploitable pour le Pentland Firth (Écosse): 1,9 GW
- Un rétrécissement de 13 km de largeur sépare la Mer du Nord de l'Océan Atlantique.
- Énergie totale générée mondialement en 2019: 45 GW.h (5 MW de puissance moyenne)



Énergie marémotrice

- Estimé exploitable pour la Baie de Fundy (Canada): 2,5 GW (sur un potentiel de 8 GW)
- Estimé exploitable pour la Chine: 3,5 GW
- Bons candidats: Australie, Nouvelle-Zélande, Canada, Argentine, Russie, France, Inde et Corée du Sud



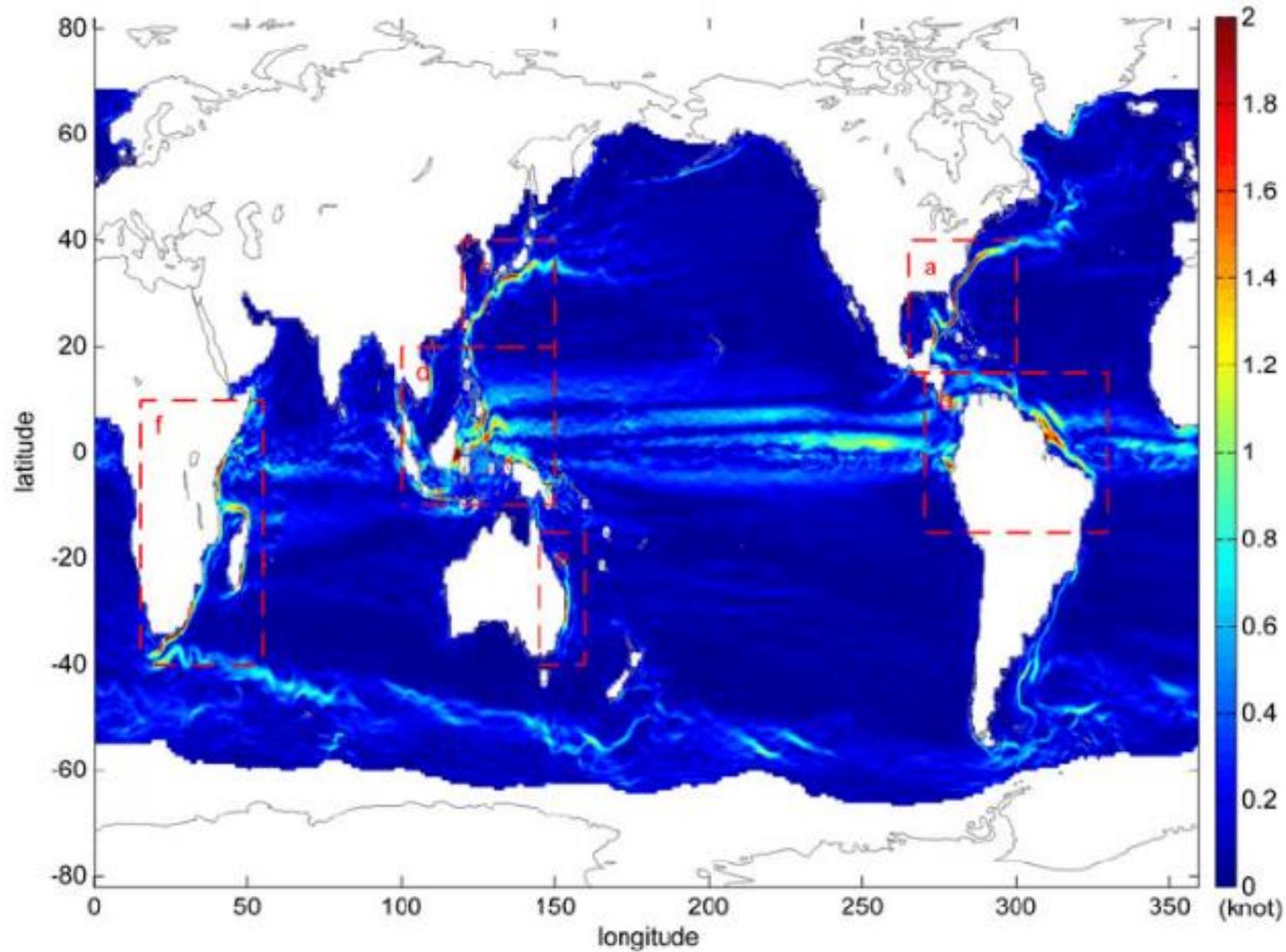
Plan de la présentation

- Introduction
- Énergie marémotrice
- ***Énergie hydrolienne***
- Énergie houlomotrice
- Énergie thermique des mers
- Énergie osmotique des mers
- Conclusion

Énergie hydrolienne

- Le potentiel énergétique des courants marins est élevé: 600 à 5000 GW selon les sources, dont 300 GW serait exploitable;
- Les courants de vitesse élevée sont concentrés en six zones géographiques (voir carte), et sont des zones côtières, ce qui facilite l'exploitation;
- En 2020, on ne retrouve que des prototypes et des preuves de concept à très petite échelle, à vocation scientifique (quelques MW).

Énergie hydrolienne



Plan de la présentation

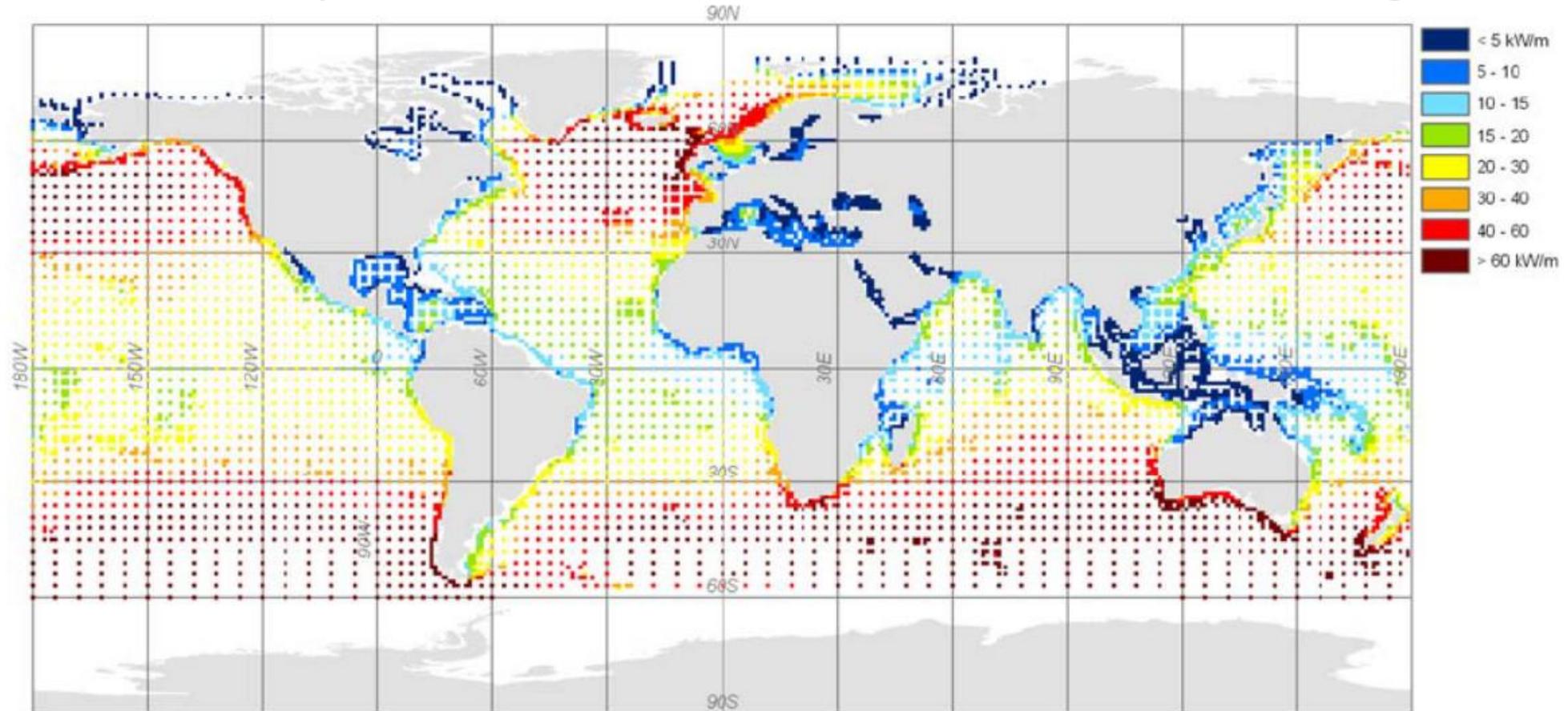
- Introduction
- Énergie marémotrice
- Énergie hydrolienne
- ***Énergie houlomotrice***
- Énergie thermique des mers
- Énergie osmotique des mers
- Conclusion

Énergie houlomotrice

- Le potentiel énergétique des vagues est très élevé: 1 000 à 10 000 GW selon les sources, dont jusqu'à 1 000 GW serait exploitable;
- Les zones les mieux desservies sont l'ouest de l'Europe, la côte Pacifique des Amériques, le sud de l'Afrique, l'Australie et la Nouvelle-Zélande (voir carte);
- En 2020, on ne retrouve que des prototypes et des preuves de concept à très petite échelle, à vocation scientifique (quelques MW).

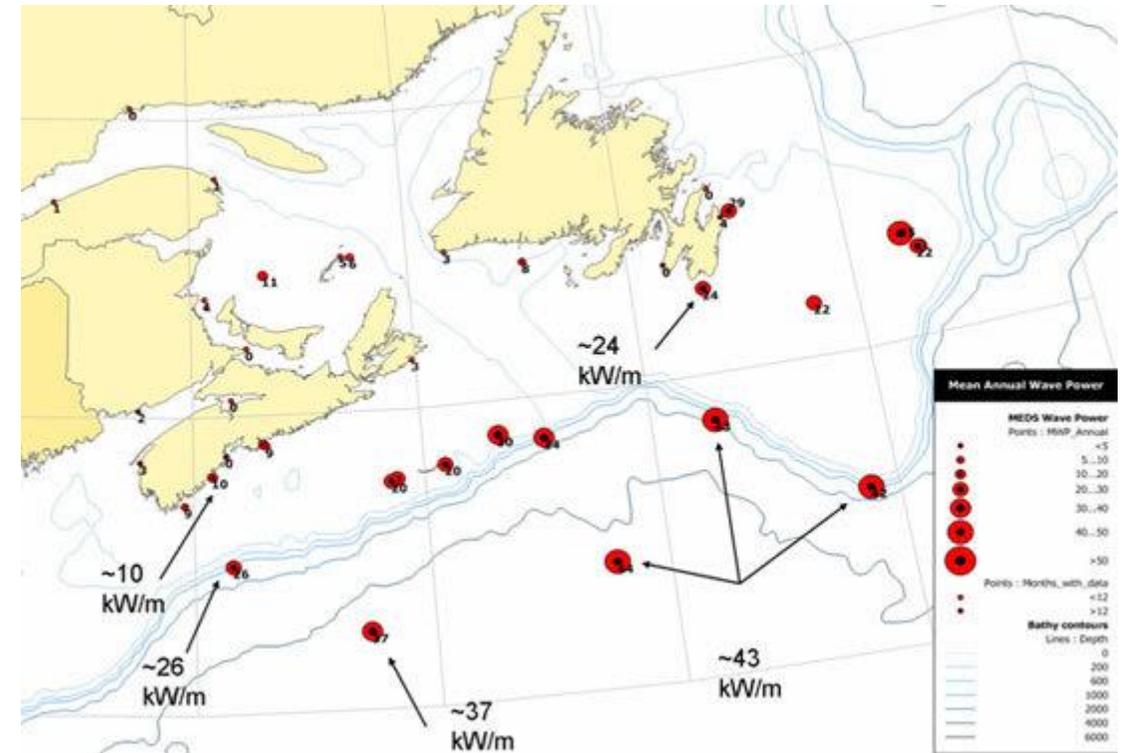
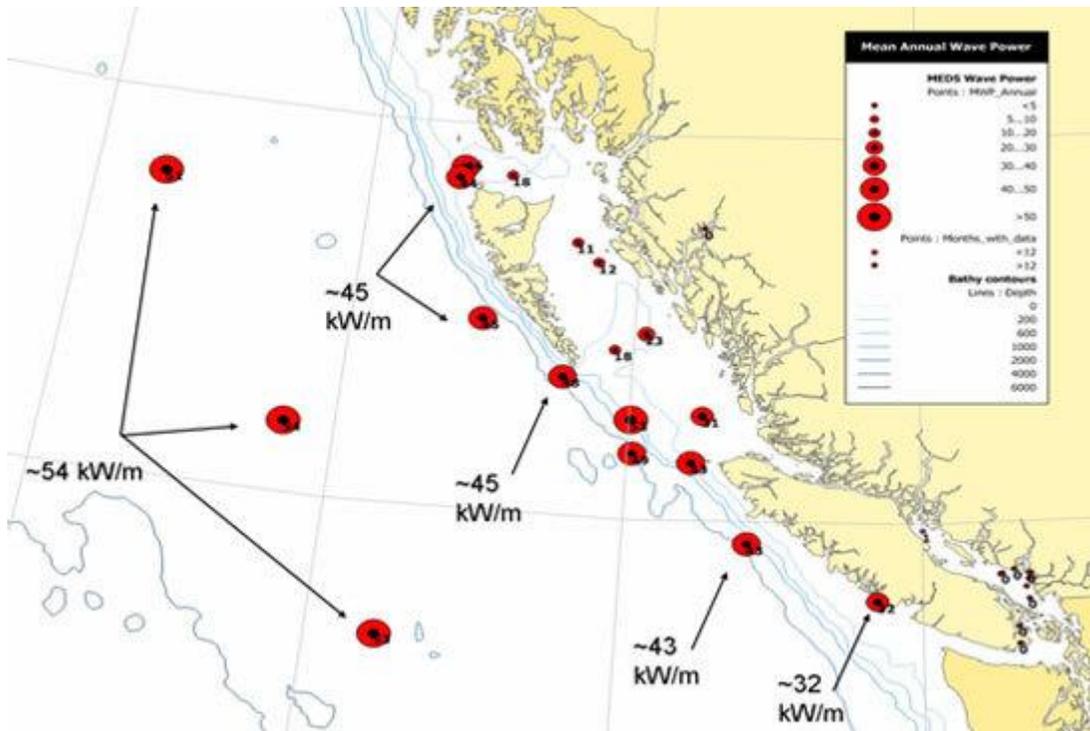
Énergie houlomotrice

- Puissance moyenne en kW/m linéaire de front de vague:



Énergie houlomotrice

- Puissance moyenne en kW/m linéaire de front de vague (côtes Pacifique et Atlantique du Canada):



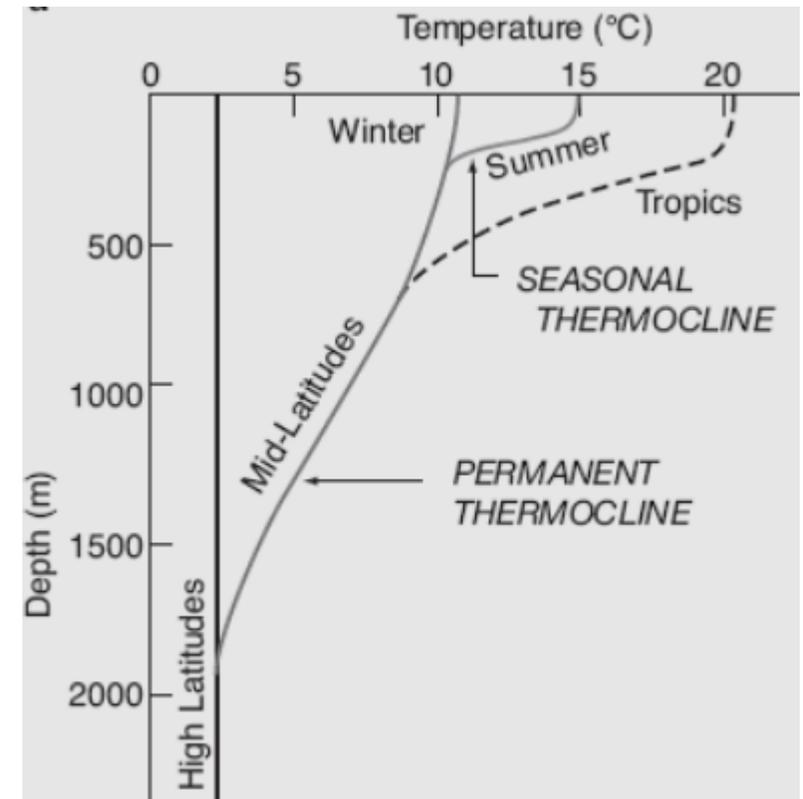
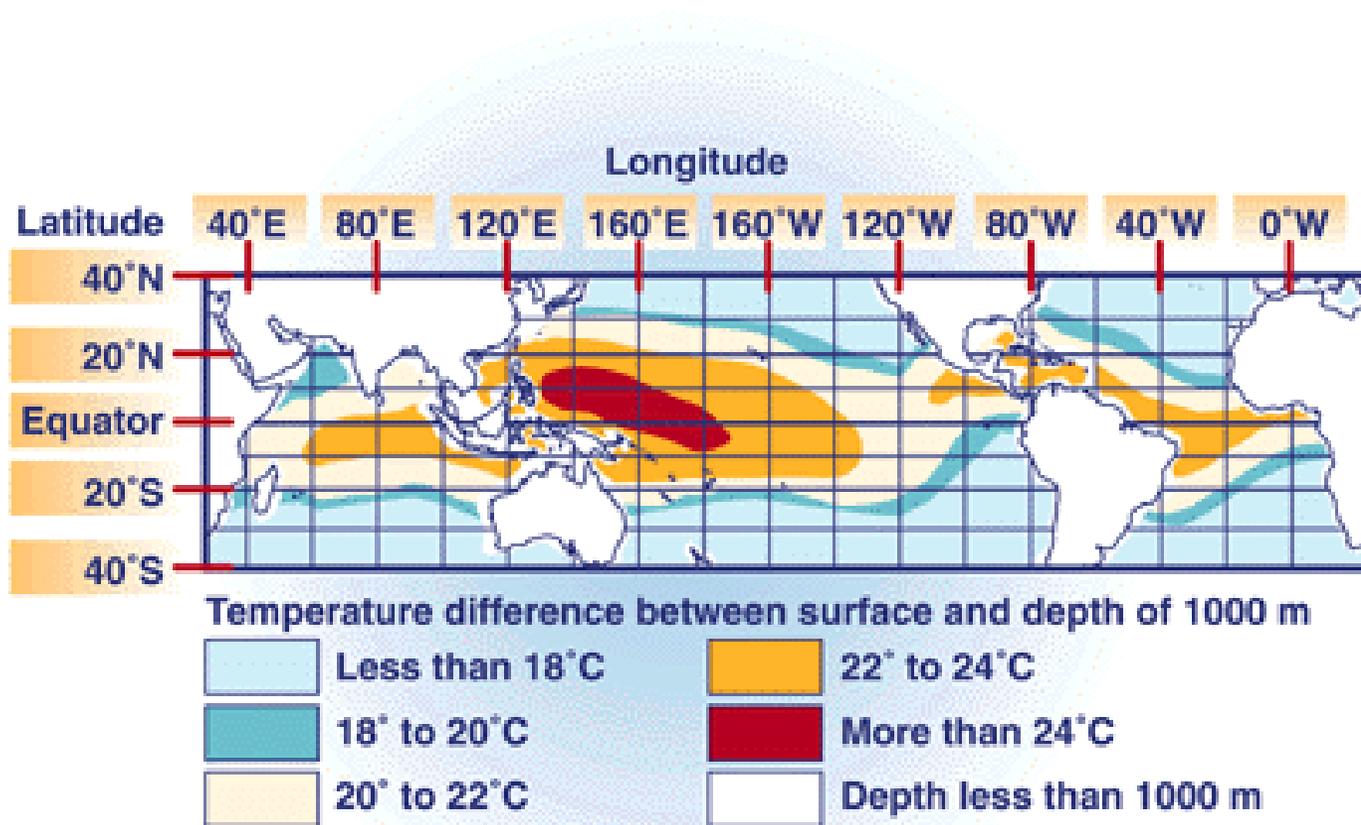
Plan de la présentation

- Introduction
- Énergie marémotrice
- Énergie hydrolienne
- Énergie houlomotrice
- ***Énergie thermique des mers***
- Énergie osmotique des mers
- Conclusion

Énergie thermique des mers

- Le potentiel de l'ÉTM est énorme: environ 2000 GW serait exploitable;
- Les meilleures ressources se retrouvent autour de l'équateur, grâce à la température élevée des eaux de surface
- La température des eaux très profondes est uniforme peu importe la latitude et la saison;
- L'océan Pacifique offre de meilleures opportunités que l'Atlantique ou l'océan Indien;
- En 2020, on ne retrouve que des prototypes et des preuves de concept à très petite échelle, à vocation scientifique (quelques centaines de kW).

Énergie thermique des mers



Plan de la présentation

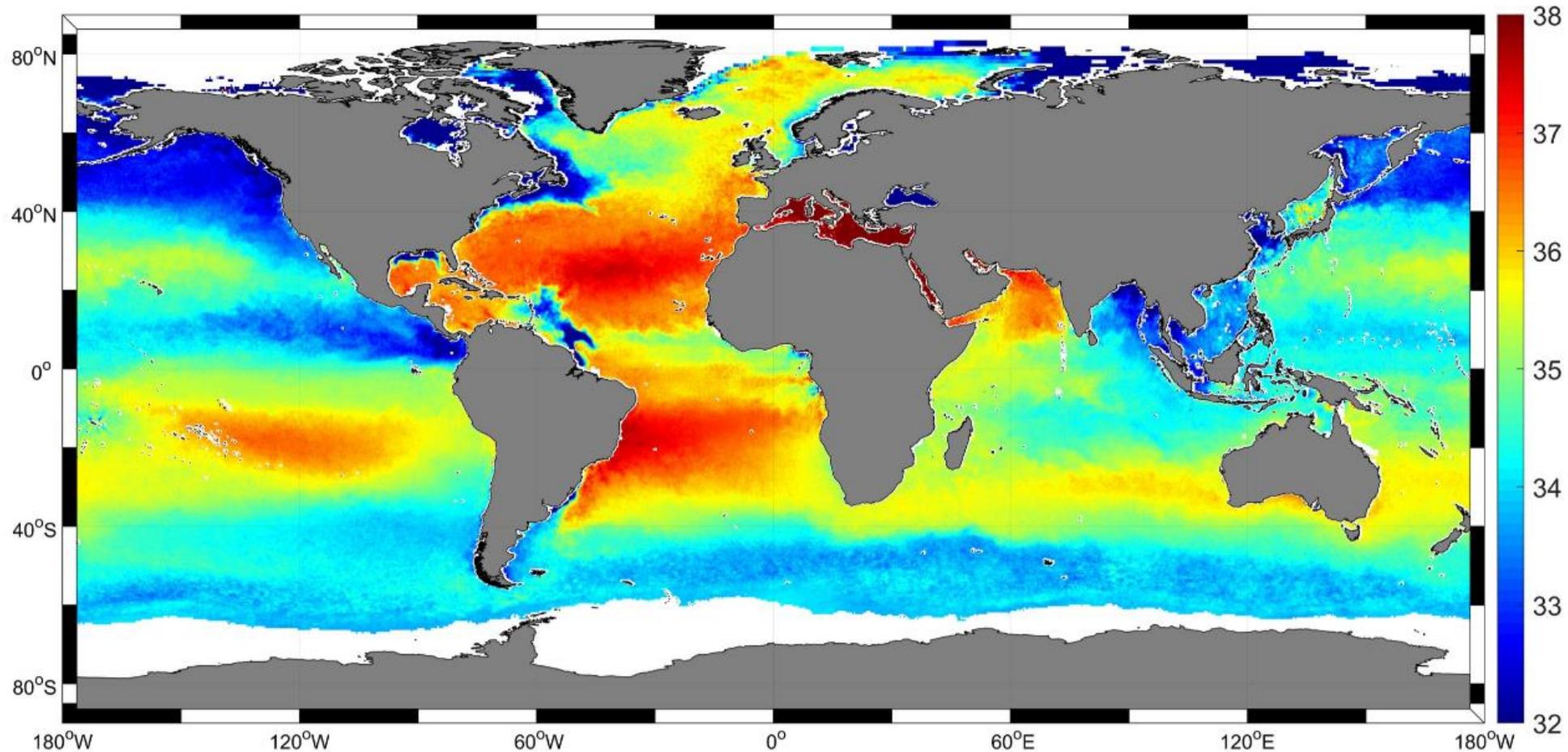
- Introduction
- Énergie marémotrice
- Énergie hydrolienne
- Énergie houlomotrice
- Énergie thermique des mers
- ***Énergie osmotique des mers***
- Conclusion

Énergie osmotique des mers

- Le potentiel osmotique des océans est énorme: plus de 20 000 GW, dont 2 000 à 3 000 GW serait exploitable;
- Les sites favorables à l'exploitation de cette énergie sont ceux où un fleuve ou grande rivière se jette abruptement dans l'océan, avec un brassage minimal des eaux;
- La salinité des océans n'est pas partout égale (voir carte), mais ces variations ne jouent pas un grand rôle dans les performances du système;
- En 2020, on ne retrouve que des prototypes et des preuves de concept à très petite échelle, à vocation scientifique (quelques centaines de kW).

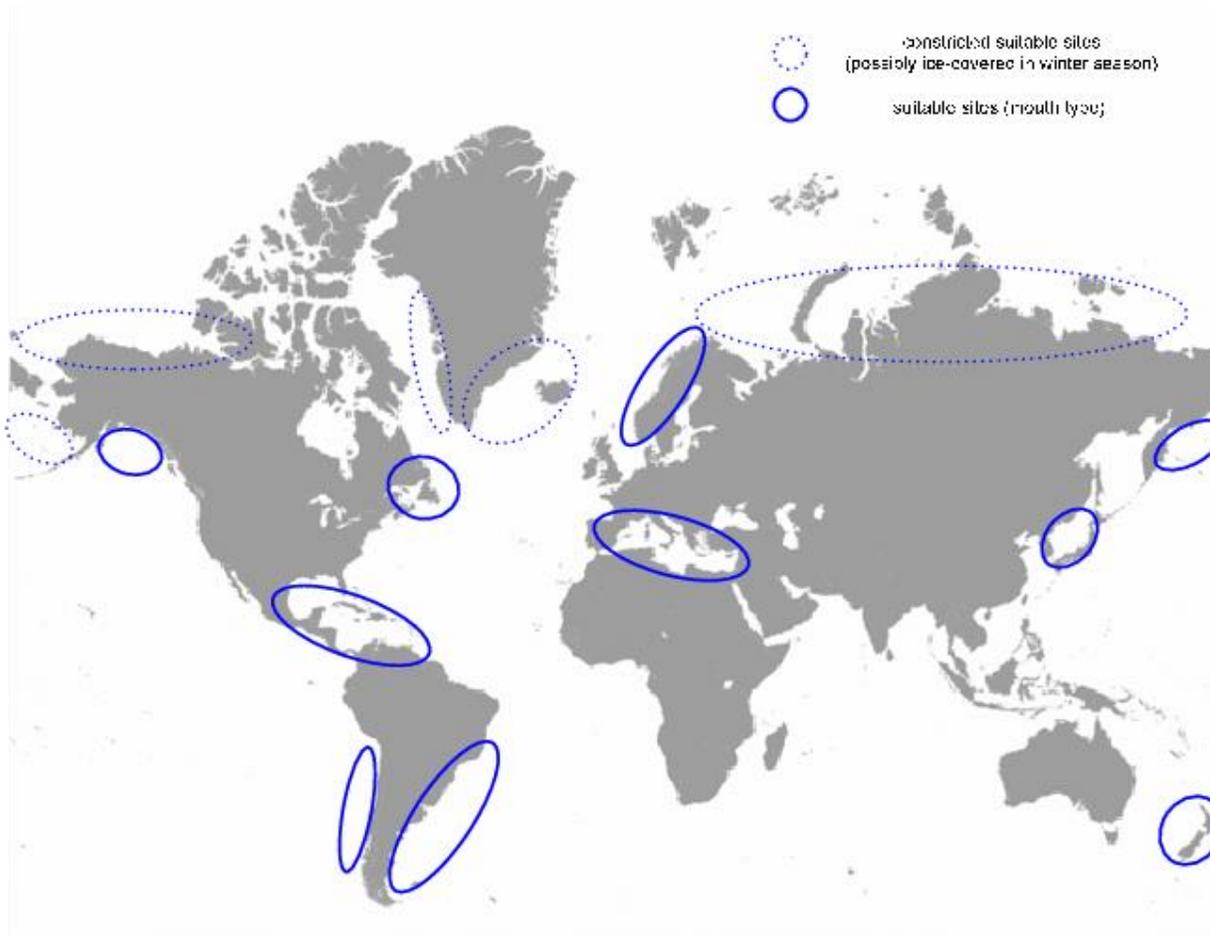
Énergie osmotique des mers

- Salinité des océans



Énergie osmotique des mers

- Emplacements à bon potentiel



Continent	theoretical potential	
	[GW _G]	[TWh _G /a]
Europe	241	2.109
Africa	307	2.690
Asia	1.015	8.890
North America	479	4.195
South America	969	8.492
Australia*	147	1.291
World	3.158	27.667

*: incl. Oceania

Énergie osmotique des mers

- Emplacements à bon potentiel



Plan de la présentation

- Introduction
- Énergie marémotrice
- Énergie hydrolienne
- Énergie houlomotrice
- Énergie thermique des mers
- Énergie osmotique des mers
- ***Conclusion***

Conclusion

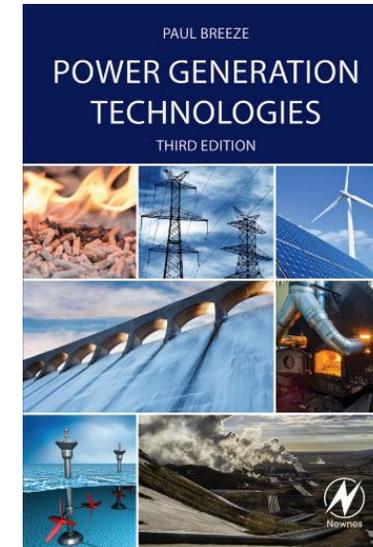
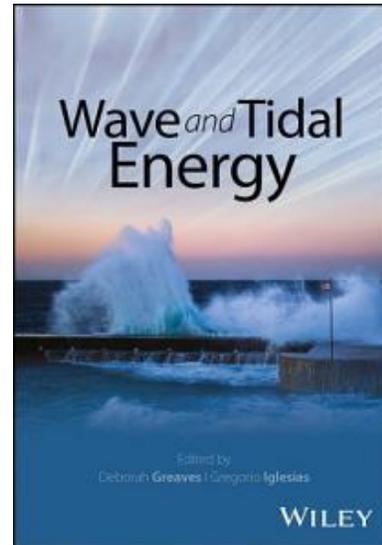
- Le potentiel énergétique des océans est immense, et une grande partie est accessible avec les technologies actuelles;
- La plupart des régions côtières ont accès à une forme ou l'autre de la ressource;
- De nombreuses recherches et expérimentations ont été effectués dans les 50 dernières années, mais l'exploitation commerciale est quasi-inexistante;
- L'industrie est présentée comme étant constamment sur le bord de décoller, depuis des décennies.

Ressources sur le web

- <https://www.offshore-energy.biz/estimate-of-global-potential-tidal-resources/>
- <http://large.stanford.edu/courses/2018/ph240/rogers2/docs/wec-2016.pdf>
- https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/gsr_2020_full_report_en.pdf
- https://www.oceanenergy-europe.eu/wp-content/uploads/2020/03/OEE_Trends-Stats_2019_Web.pdf

Livres

- Greaves, D., Iglesias, G., 2018. *Wave and tidal energy*, Hoboken, U.S.A.: Wiley, 691 p.



- Breeze, P. A., 2019. *Power Generation Technologies, 3rd Edition*, Oxford, U.K.: Newnes, 462 p.



Merci de votre attention !

Si vous avez des questions à formuler, veuillez les poser par écrit et spécifier le nom et le numéro de la présentation. Nous vous répondrons le plus rapidement possible.

Période de questions



Sources

- https://en.wikipedia.org/wiki/Pentland_Firth
- <https://www.nrcan.gc.ca/energy/energy-sources-distribution/renewables/marine-energy/what-marine-renewable-energy/7371>
- <https://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/energie-houlomotrice-ou-energie-des-vagues>
- https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/gsr_2020_full_report_en.pdf
- <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-098330-1.00014-4>
- https://www.researchgate.net/publication/282551464_Global_Energy-saving_Map_of_Strong_Ocean_Currents
- <https://www.nrcan.gc.ca/energy/energy-sources-distribution/renewables/marine-energy/what-marine-renewable-energy/7371>
- https://www.researchgate.net/publication/303159993_Osmotic_power_plants_Potential_analysis_and_site_criteria
- https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2014/Jun/Salinity_Energy_v4_WEB.pdf
- <https://phys.org/news/2019-05-largest-sea-surface-salinity-dataset-date.html>