

16. L'énergie océanique

16.4 – Techniques d'exploitation de l'énergie océanique

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

Département de génie mécanique

Patrick Turcotte, ing.

Question

- Quel est le rendement approximatif des meilleurs systèmes de conversion d'énergie océanique en énergie électrique?
 - 0% à 20%
 - 20% à 40%
 - 40% à 60%
 - 60% à 80%
 - 80% à 100%



ENR2020

Plan de la présentation

- Introduction
- Turbines
- Convertisseurs mécaniques
- Machines thermiques
- Membranes osmotiques
- Conclusion

Plan de la présentation

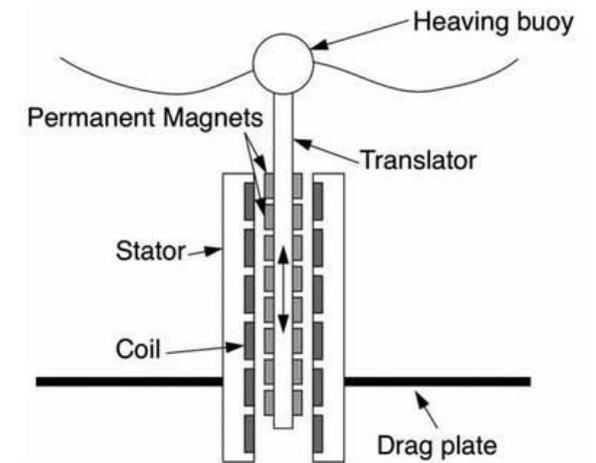
- ***Introduction***
- Turbines
- Convertisseurs mécaniques
- Machines thermiques
- Membranes osmotiques
- Conclusion

Introduction

- La diversité des formes d'énergie océanique implique une diversité de techniques permettant de l'exploiter;
- Même pour un type d'énergie spécifique, plusieurs approches sont généralement disponibles;
- Des facteurs comme l'environnement où celle-ci est exploitée et les priorités de l'exploitant viennent guider le choix d'une technique en particulier;
- Plusieurs des principes physiques et technologies discutés ici ont déjà été présentés au sein d'autres modules (énergies hydroélectrique, éolienne, géothermique, etc.).

Introduction

- Ultimement, la « devise internationale » de la production énergétique renouvelable est **l'électricité**; toutes les techniques présentées ici font éventuellement appel à un alternateur (ou génératrice) rotatif, qui ne sera pas discuté ici;
- Il y a deux petites exceptions:
 - Des génératrices linéaires peuvent être utilisées, réduisant drastiquement le nombre d'éléments mécaniques nécessaires;
 - Les centrales « osmotiques » à électrodialyse inversée (RED) passent directement de l'énergie chimique à l'énergie électrique



Plan de la présentation

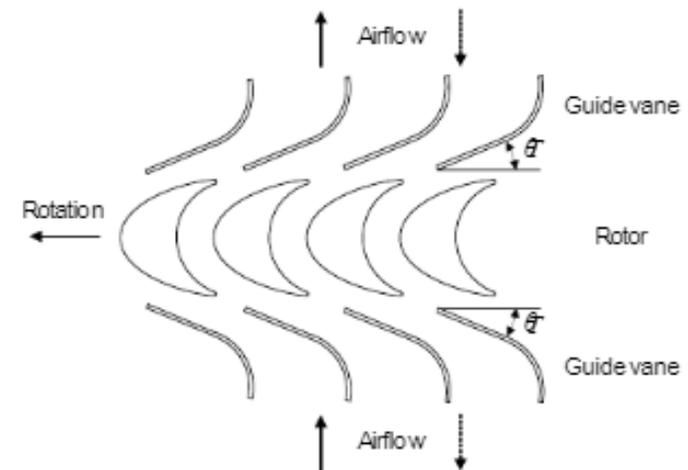
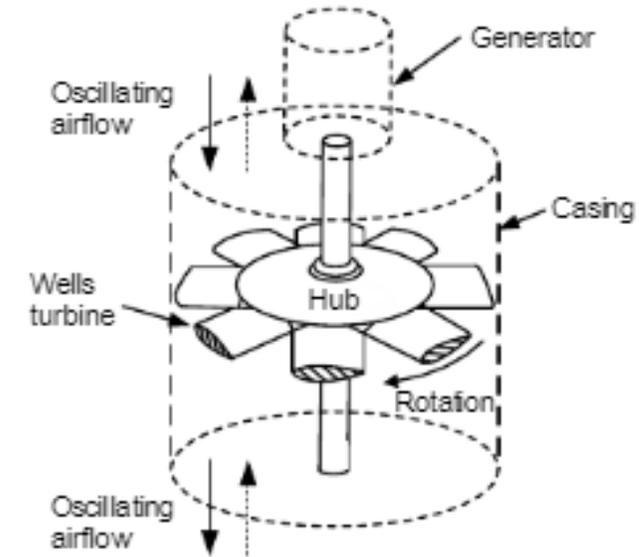
- Introduction
- ***Turbines***
- Convertisseurs mécaniques
- Machines thermiques
- Membranes osmotiques
- Conclusion

Turbines

- Une turbine est un système « dans lequel l'énergie d'un fluide moteur (eau, vapeur, gaz, etc.) fait tourner une roue mobile sur laquelle on recueille un travail. » (Larousse);
- Donc, les barrages marémoteurs, mais aussi les hydroliennes et les systèmes pneumatiques houlomoteurs **font tous usage de turbines;**
- Une turbine peut être à réaction (la trajectoire du fluide est déviée) ou à impulsion (le fluide pousse sur les éléments de la turbine), ou une combinaison des deux;
- Une multitude de modèles sont disponibles, selon les caractéristiques du fluide en mouvement.

Turbines

- Turbines à gaz:
 - Turbine Wells: peu efficace, mais simple et pratique. Les ailettes peuvent être ajustées, mais sont symétriques pour tourner dans le même sens, peu importe la direction de mouvement du fluide.
 - Turbine à impulsion: plus efficace, surtout lorsque les guides d'air s'ajustent aux conditions.



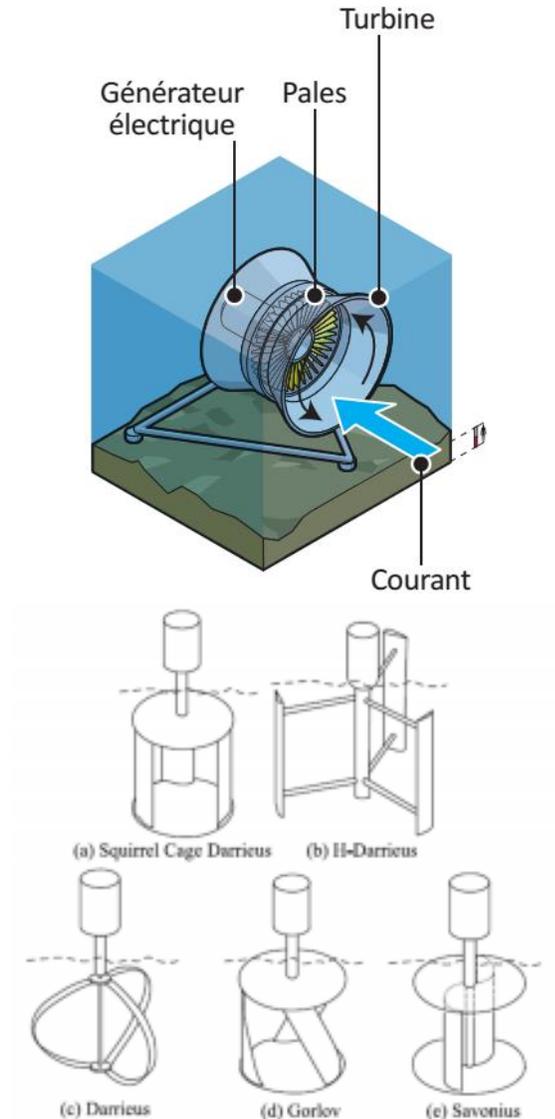
Turbines

- Turbines à liquide:
 - Turbine Pelton: plus efficace avec un grand dénivelé et un faible débit
 - Turbine Kaplan: plus efficace avec un faible dénivelé et un haut débit
 - Turbine Francis: moins efficace, mais composants simples et robustes et réagit bien à diverses conditions
- La Turbine Kaplan est un choix naturel pour la plupart des applications d'énergie océanique.



Turbines

- Les hydroliennes représentent un cas particulier, puisqu'elles sont en « eau libre », et sont généralement qualifiées d'hélices;
- Cependant, certains modèles utilisent un carénage et une turbine de style Kaplan, ce qui réduit l'impact de la limite de Betz en l'appliquant à une plus grande surface;
- Comme les éoliennes, elles peuvent être horizontales ou verticales (bon comportement à basse vitesse, omnidirectionnelles, plus simples à produire et entretenir).



Turbines

- La vis d'Archimède a également été mentionnée:



- Puisque les turbines réduisent l'énergie contenue dans l'eau, d'autres structures peuvent bénéficier d'une proximité – par exemple, des structures éoliennes marines.

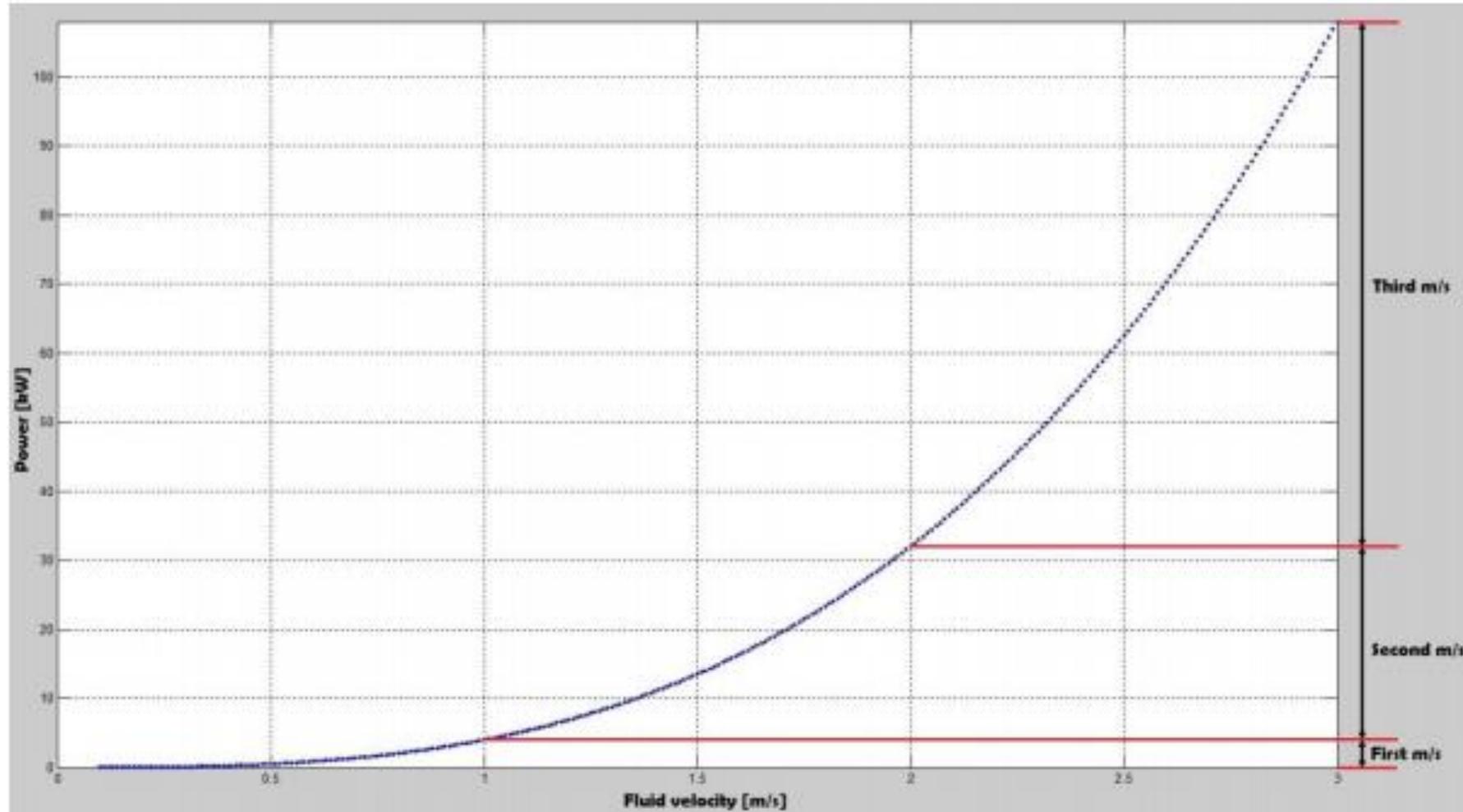
Turbines

- Les formules étudiées en énergie éolienne s'appliquent aussi avec l'eau:

$$P_{cin} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot V^3$$

- « V » est généralement nettement plus petit dans l'eau que dans l'air (1-4 m/s vs. 5-20 m/s), mais beaucoup plus constant;
- « A » est généralement plus petit dans l'eau que dans l'air, car les structures sont moins grandes;
- « ρ » est nettement plus grand dans l'eau que dans l'air (1000 kg/m³ vs. 1,225 kg/m³), ce qui compense pour les vitesses plus petites.

Turbines



Turbines

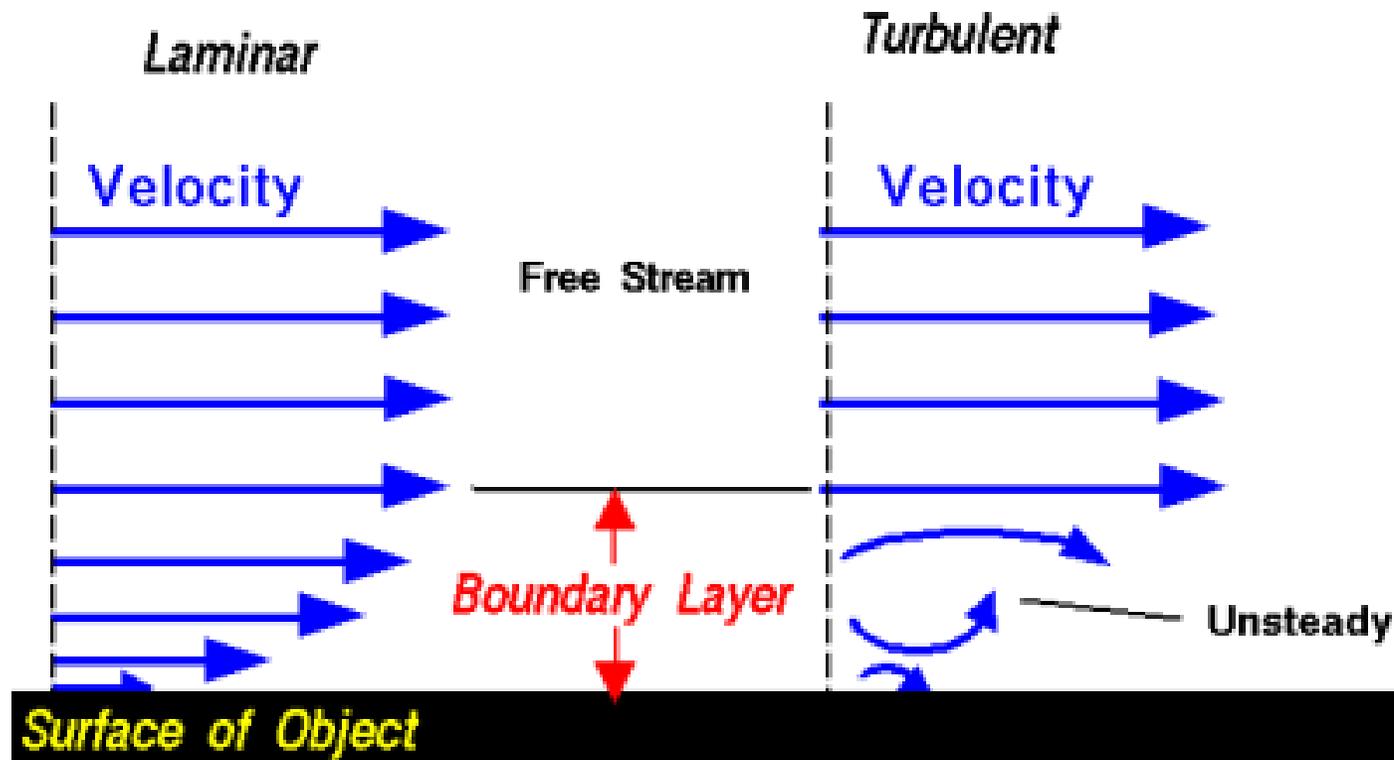
- Tel que mentionné, la limite de Betz s'applique:

$$C_{P,max} = \frac{16}{27} = 59,3\%$$

- Tout comme les concepts de densité de puissance, de facteur de charge, de courbe de puissance, etc.;
- À cause de la masse volumique élevée de l'eau, une turbine appropriée peut fonctionner avec une vitesse de fluide beaucoup plus basse, et rarement (ou jamais) atteindre sa vitesse maximale;
- La plupart des turbines entraînent directement un alternateur.

Turbines

- Pour maximiser la puissance disponible, la distance au fond doit être prise en compte:



Plan de la présentation

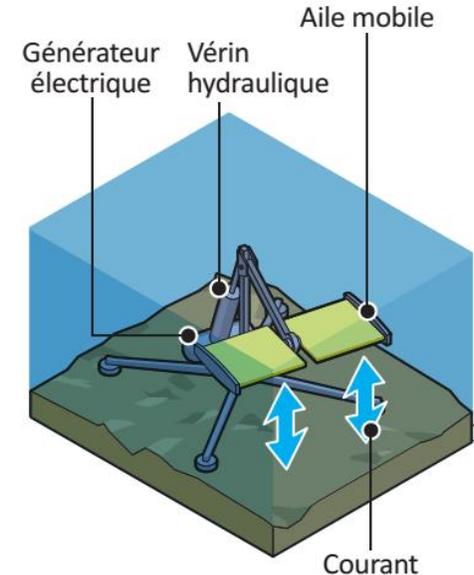
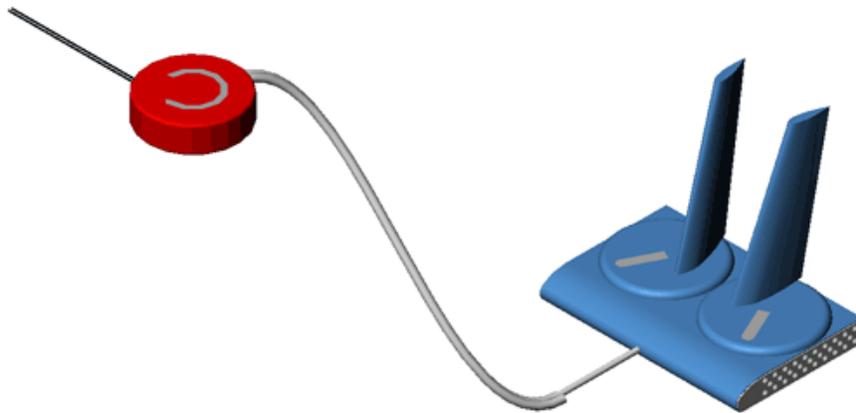
- Introduction
- Turbines
- ***Convertisseurs mécaniques***
- Machines thermiques
- Membranes osmotiques
- Conclusion

Convertisseurs mécaniques

- La génération d'électricité est généralement effectuée à l'aide d'alternateurs; un mouvement rotatif est donc privilégié, d'où l'importance des turbines, qui sont un choix judicieux pour de nombreux scénarios;
- Cependant, particulièrement pour l'énergie houlomotrice, les turbines ne sont pas toujours la meilleure solution;
- D'autres mécanismes sont donc utilisés pour convertir divers mouvements en un mouvement qui peut être exploité – certains mécaniques, certains pneumatiques, et certains hydrauliques, et souvent en combinaison.

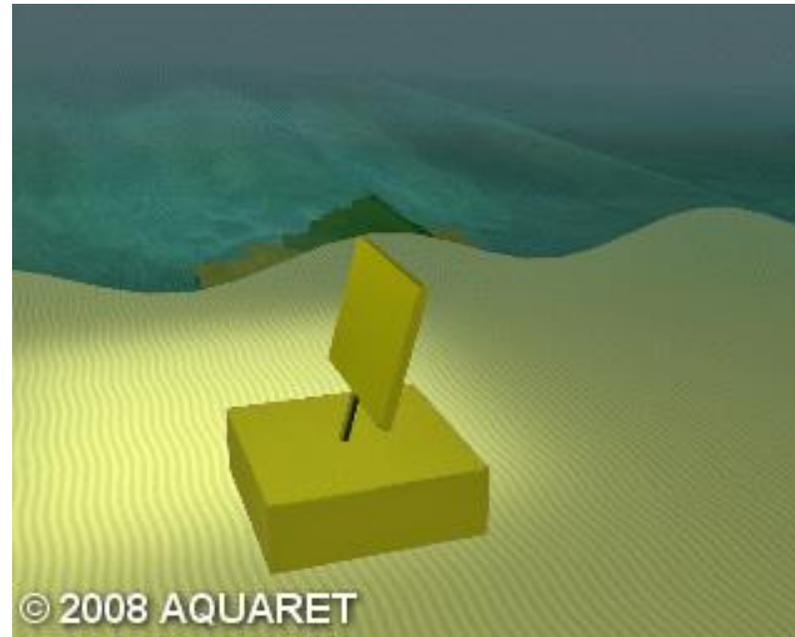
Convertisseurs mécaniques

- Les **hydroptères oscillatoires** (ou *hydrofoils*) ont des systèmes mécaniques qui exploitent l'énergie des courants marins, généralement pour activer un mécanisme hydraulique;
- Ceux-ci peuvent être verticaux ou horizontaux.



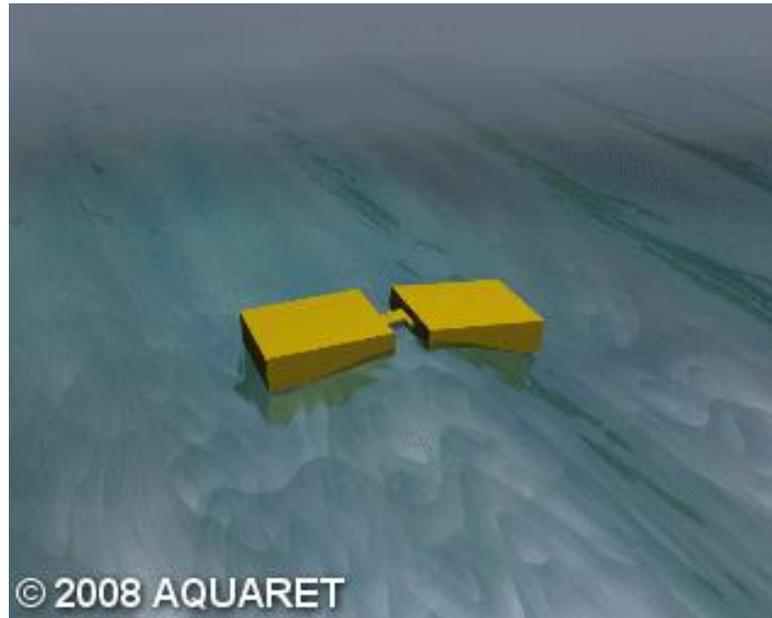
Convertisseurs mécaniques

- Des systèmes à **paroi oscillante** exploitent l'énergie houlomotrice, en faisant également appel à un système hydraulique pour convertir le va-et-vient, dans la plupart des cas:



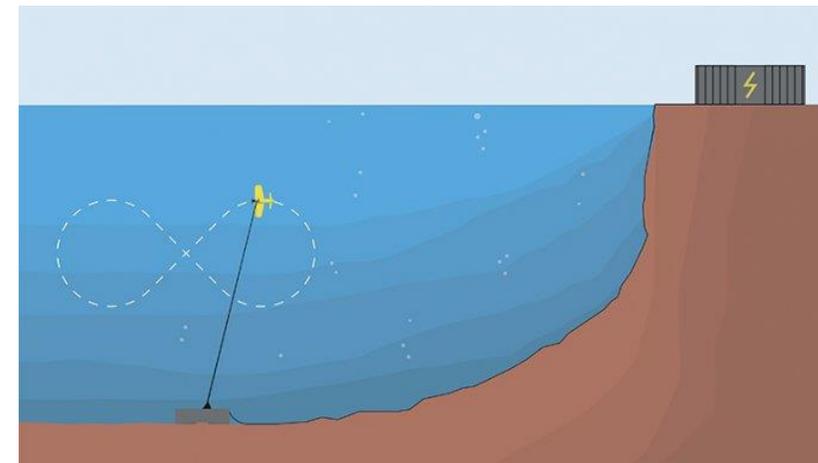
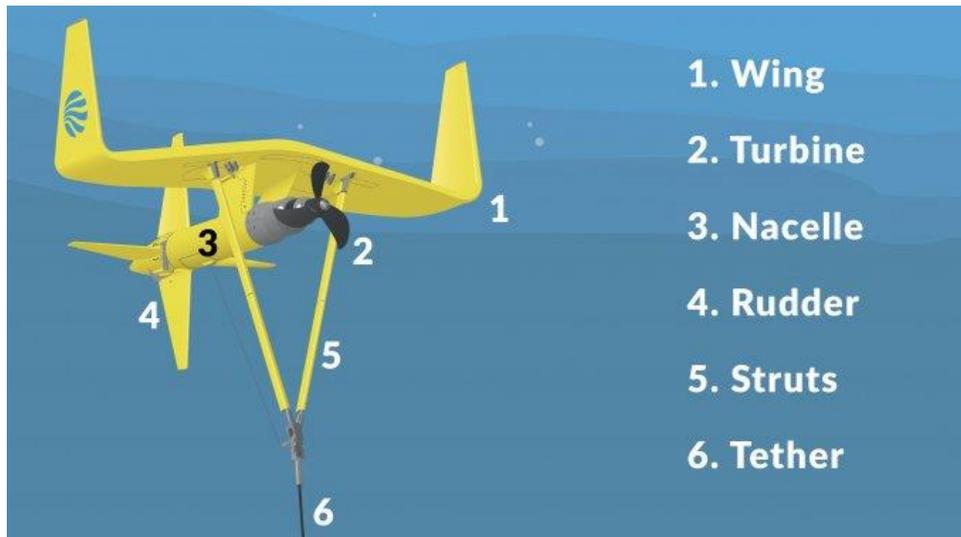
Convertisseurs mécaniques

- Des systèmes à déformation (ou articulés) comme la **chaîne flottante** (aussi appelé serpent de mer) transmettent l'énergie houlomotrice à un système hydraulique:



Convertisseurs mécaniques

- Les **cerfs-volants sous-marins** ne font appel aux mêmes principes que leurs cousins utilisés en énergie éolienne; ils utilisent la portance sur l'aile pour se déplacer à une vitesse supérieure à celle du courant, faisant tourner une turbine à bord:



Plan de la présentation

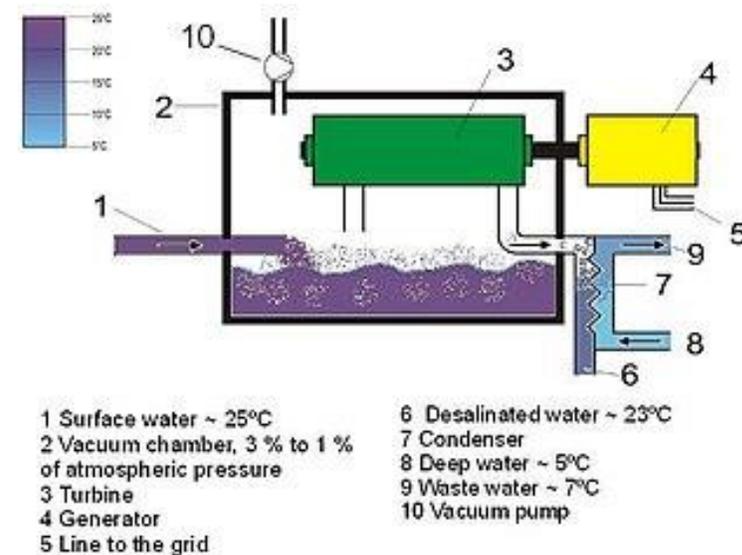
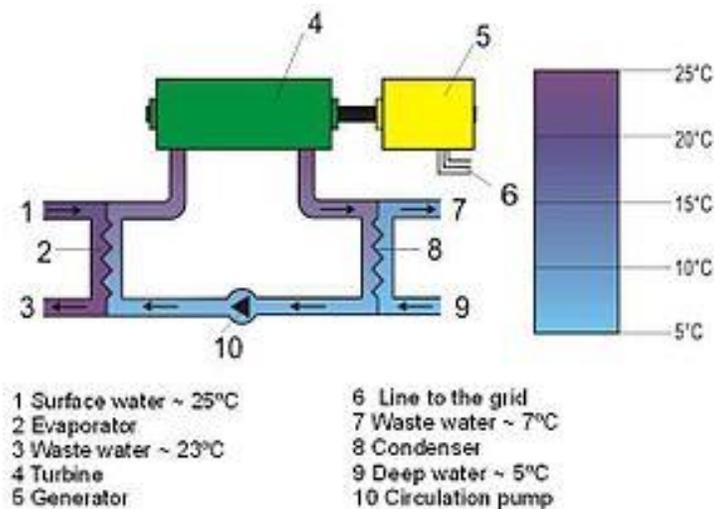
- Introduction
- Turbines
- Convertisseurs mécaniques
- ***Machines thermiques***
- Membranes osmotiques
- Conclusion

Machines thermiques

- L'exploitation de l'énergie thermique des mers repose sur de purs principes **thermodynamiques**, similaires à ceux déjà explorés dans le cadre du cours;
- Contrairement à la géothermie haute température, on travaille ici avec un **différentiel de température faible** (15-20K), mais avec **d'énormes quantités de liquide**;
- Le rendement des systèmes d'extraction de l'énergie thermique des mers est autour de 6 à 8%, à cause du faible différentiel de température.

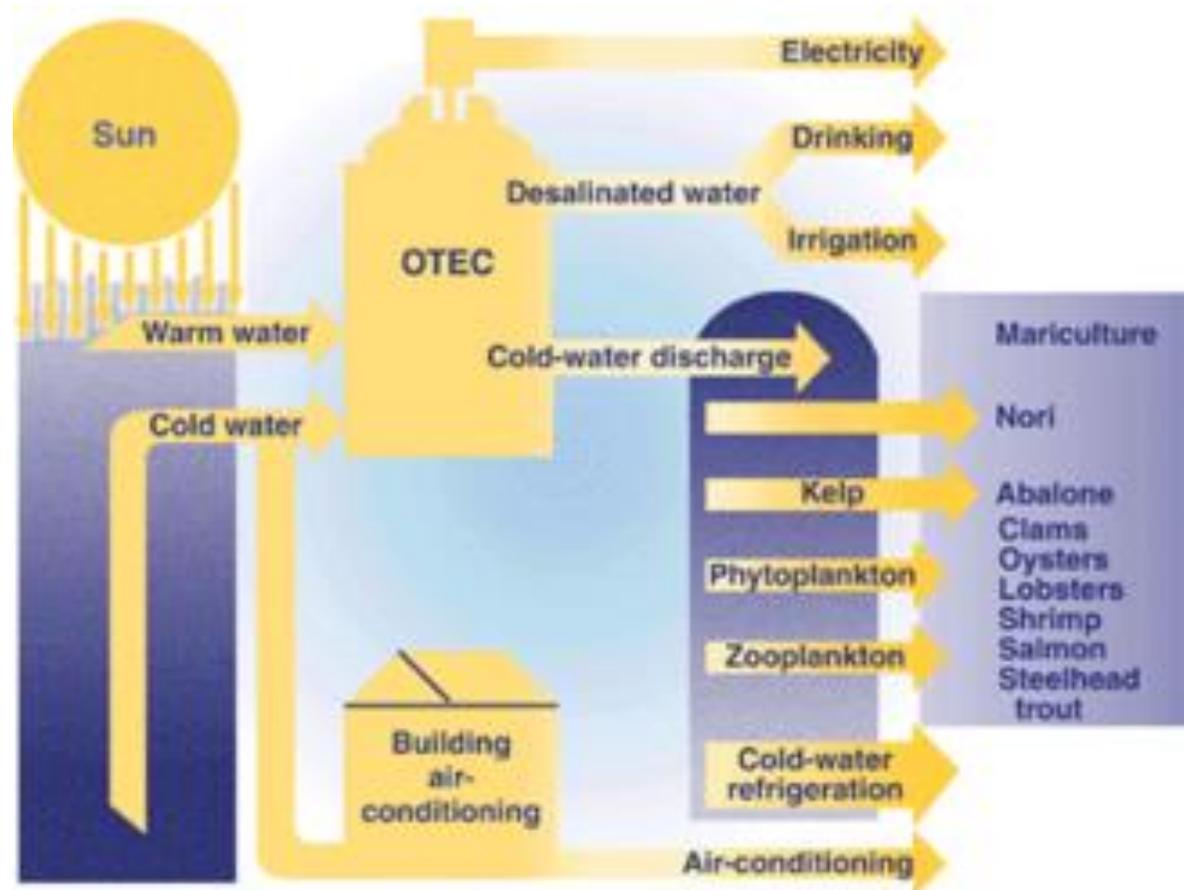
Machines thermiques

- Si on simplifie, de l'eau chaude extraite en surface devient un peu moins chaude, de l'eau froide extraite en profondeur devient un peu moins froide, et on fait tourner une turbine avec l'énergie extraite;
- Le système peut être en circuit fermé ou ouvert.



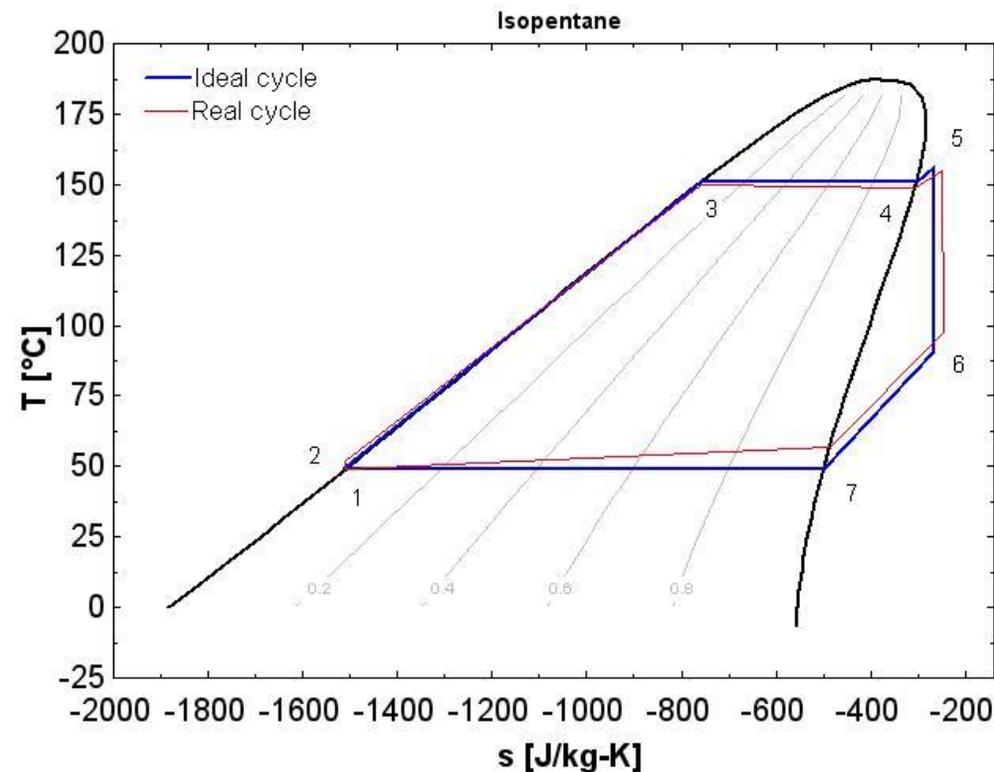
Machines thermiques

- On peut également bénéficier de nombreux sous-produits:



Machines thermiques

- Ces systèmes suivent généralement le cycle de Rankine, standard ou organique, à basse température:

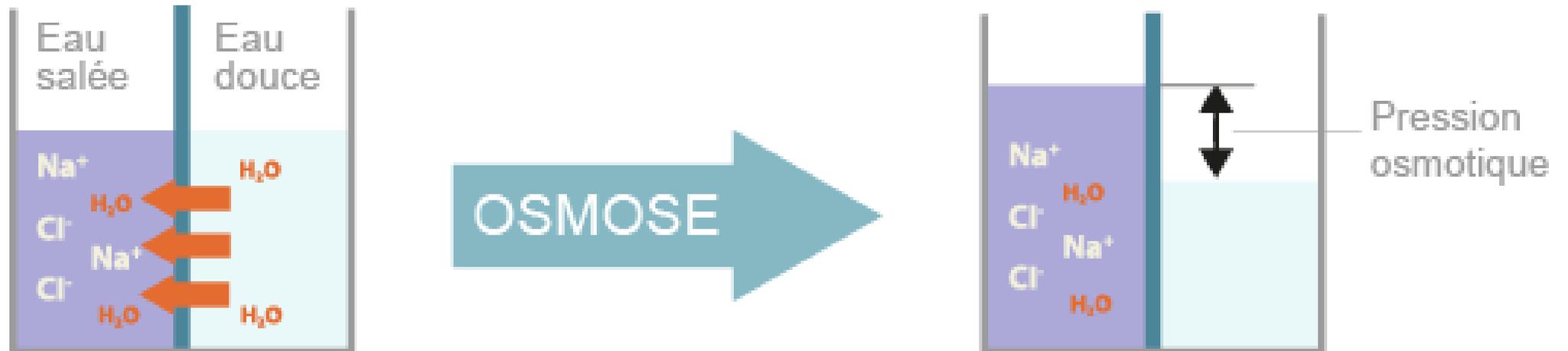


Plan de la présentation

- Introduction
- Turbines
- Convertisseurs mécaniques
- Machines thermiques
- ***Membranes osmotiques***
- Conclusion

Membranes osmotiques

- La différence de salinité des eaux peut être exploitée à l'aide du phénomène de l'osmose:



Membranes osmotiques

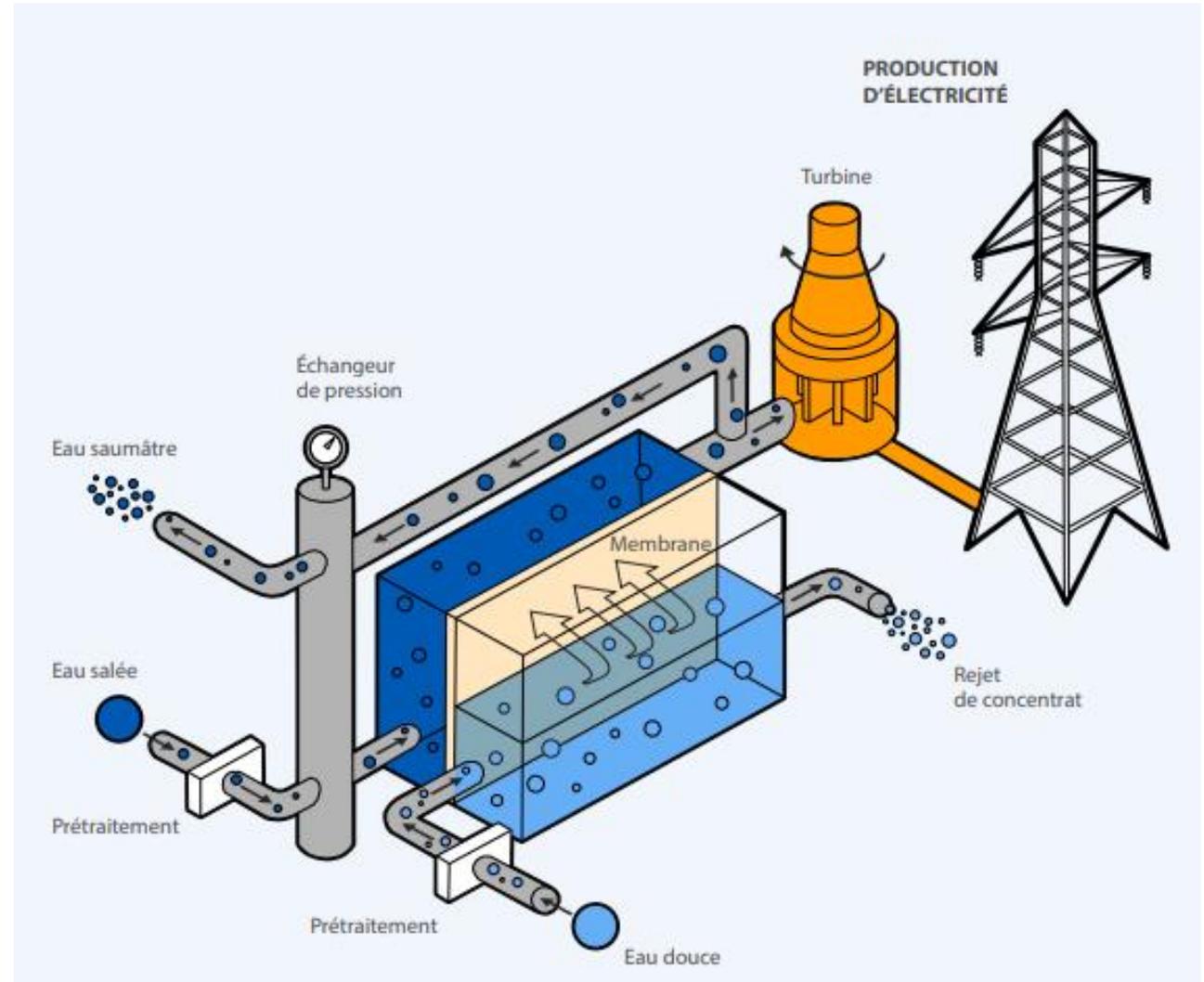
- Les deux solutions doivent être séparées par une membrane semi-perméable (ou « sélective ») qui laisse passer le solvant (eau), mais pas le soluté (principalement des ions Na^+ et Cl^- , dans le cas présent), essentiellement sur la base de leurs tailles respectives;
- L'acétate de cellulose est le matériau principal à ce jour, mais de nouveaux matériaux sont testés;
- En plus du différentiel de concentration (salinité) et des performances de la membrane, le troisième grand facteur qui détermine la pression osmotique est la surface de contact, i.e. la superficie de la membrane.

Membranes osmotiques

- En 2020, la performance des membranes pouvant être fabriquées à une échelle industrielle est inférieure à $5\text{W}/\text{m}^2$;
- Par exemple, une centrale de 25 MW nécessiterait plus 5 millions de mètres carrés de membrane;
- Un mètre carré de membrane coûte environ USD \$25 en 2020;
- La salinité moyenne de l'eau de mer est 35 g/l, soit environ 0,6 mol/l; à 293K, la pression osmotique potentielle est d'environ 28 bars;
- Une pression de 12 bars est équivalente à une chute d'eau verticale de 120m dans un barrage hydroélectrique.

Membranes osmotiques

- La pression est finalement exploitée à l'aide d'une turbine et d'un alternateur:



Plan de la présentation

- Introduction
- Turbines
- Convertisseurs mécaniques
- Machines thermiques
- Membranes osmotiques
- ***Conclusion***

Conclusion

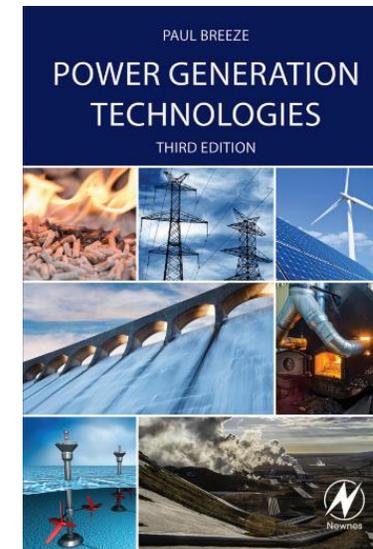
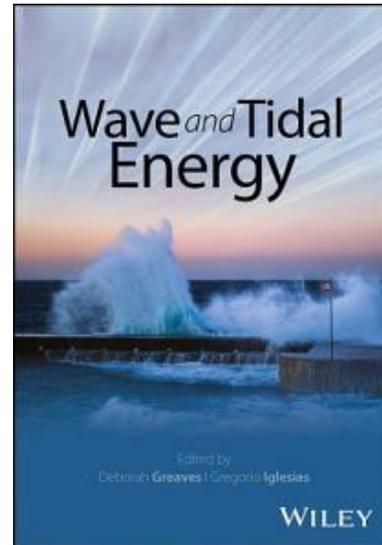
- L'exploitation de l'énergie océanique fait appel à diverses technologies, qui sont pour la plupart établies et éprouvées;
- Plusieurs des défis liés au milieu sous-marin ont déjà été rencontrés et résolus par l'exploitation pétrolière;
- Une combinaison de techniques et de technologies peut créer une synergie très avantageuse;
- Les domaines de recherche principaux sont l'amélioration des performances et la baisse des coûts des membranes osmotiques, et de nouveaux matériaux et composites.

Ressources sur le web

- <http://large.stanford.edu/courses/2018/ph240/rogers2/docs/wec-2016.pdf>
- https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2014/Wave-Energy_V4_web.pdf
- <https://heliciel.com/helice/eolienne%20hydrolienne/Hydrolienne-turbines.htm>
- <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1258678/FULLTEXT01.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

- <http://www.hydroquebec.com/learning/hydroelectricite/types-turbines.html>
- <http://isomase.org/OMAsE/Vol.3-2016/Section-1/3-7.pdf>
- <http://emr-brest.e-monsite.com/pages/hydrolien.html>
- <https://www.sciencedirect.com/topics/earth-and-planetary-sciences/ocean-thermal-energy-conversion>
- https://en.wikipedia.org/wiki/Ocean_thermal_energy_conversion
- https://en.wikipedia.org/wiki/Organic_Rankine_cycle
- <https://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/energie-osmotique>
- <https://www.hydroquebec.com/data/developpement-durable/pdf/fiche-osmotique.pdf>
- <https://minesto.com/our-technology>