

16. L'énergie océanique

16.2 – *Formes et sources de l'énergie océanique*

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

Département de génie mécanique

Patrick Turcotte, ing.

Question



ENR2020

- D'où provient l'énergie océanique?
 - a. Du mouvement perpétuel des eaux de la planète
 - b. De l'hydrogène contenu dans l'eau des océans
 - c. De l'énergie cinétique des fleuves qui se déversent dans les océans
 - d. De l'énergie géothermique qui réchauffe les océans
 - e. Aucune de ces réponses

Plan de la présentation

- Introduction et objectifs de la capsule
- Énergie marémotrice
- Énergie hydrolienne
- Énergie houlomotrice
- Énergie thermique des mers
- Énergie osmotique des mers
- Conclusion

Plan de la présentation

- ***Introduction et objectifs de la capsule***
- Énergie marémotrice
- Énergie hydrolienne
- Énergie houlomotrice
- Énergie thermique des mers
- Énergie osmotique des mers
- Conclusion

Introduction et objectifs de la capsule

- Les océans de notre planète recèlent d'énormes quantités d'énergie;
- Cette capsule vise à examiner les ressources principales qui peuvent être exploitées, ainsi que leurs caractéristiques:
 - Le ou les types d'énergie disponibles dans la ressource
 - D'où provient l'énergie disponible dans la ressource
 - Les techniques disponibles pour exploiter la ressource
 - Les contraintes liées à l'exploitation de la ressource
- Les techniques seront explorées plus avant dans les modules subséquents.

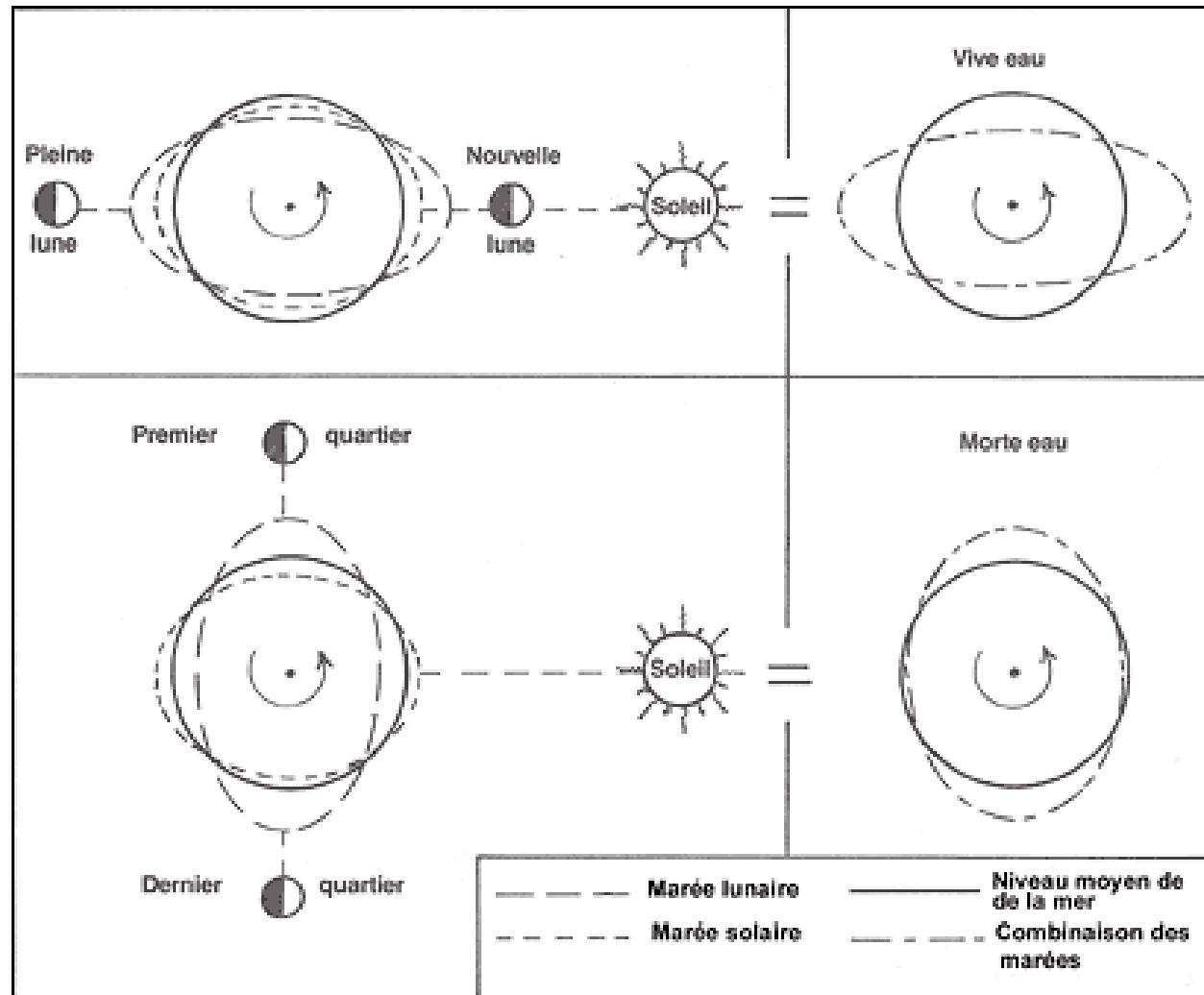
Plan de la présentation

- Introduction et objectifs de la capsule
- ***Énergie marémotrice***
- Énergie hydrolienne
- Énergie houlomotrice
- Énergie thermique des mers
- Énergie osmotique des mers
- Conclusion

Énergie marémotrice

- La Lune et, dans une moindre mesure, le Soleil exercent une force gravitationnelle sur les plans d'eau de la Terre, déplaçant ceux-ci;
- Durant une période de rotation terrestre par rapport à la Lune (24h 50 min), un point sur Terre passe généralement par deux points de marée haute, et deux points de marée basse;
- Dans certains cas, à cause de dispositions géographiques et topographiques particulières, une seule marée haute et une seule marée basse se produisent durant un cycle lunaire.

Énergie marémotrice



Énergie marémotrice

- Fondamentalement, les marées peuvent être vues comme une énorme vague qui parcourt la planète (bien que ce soit la planète qui tourne sous la vague);
- Pour les grands plans d'eau comme les océans, ce déplacement représente **énormément d'énergie cinétique** et/ou d'**énergie potentielle**;
- Cette énergie est « retirée » de la friction entre les océans et la surface de la Terre, mais l'effet est négligeable
 - Sans intervention humaine, cette friction ralentit la Terre de 0,000016 secondes par an

Énergie marémotrice

- D'autres facteurs comme le vent et la pression atmosphérique peuvent affecter les marées, mais ceux-ci ne sont pas réguliers;
- Lorsque les bonnes conditions géographiques, topographiques et bathymétriques sont réunies, cette énergie peut être exploitée:
 - Détroits et embouchures
 - Baies encaissées
 - Eaux peu profondes
 - Etc.
- Malgré des amplitudes variables selon les conditions astronomiques et locales, ces phénomènes sont extrêmement **prévisibles et réguliers**, ce qui est un énorme avantage.

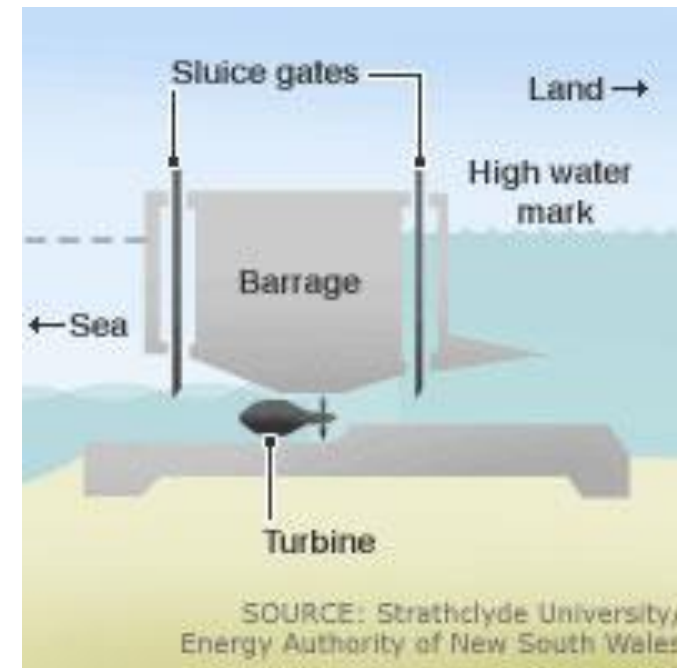
Énergie marémotrice

- Baie de Fundy, Nouveau-Brunswick
 - Des conditions idéales, et un effet de résonance, produisent des marées allant jusqu'à 16m



Énergie marémotrice

- L'énergie marémotrice peut être exploitée de diverses façons:
 - Barrages marémoteurs: embouchures



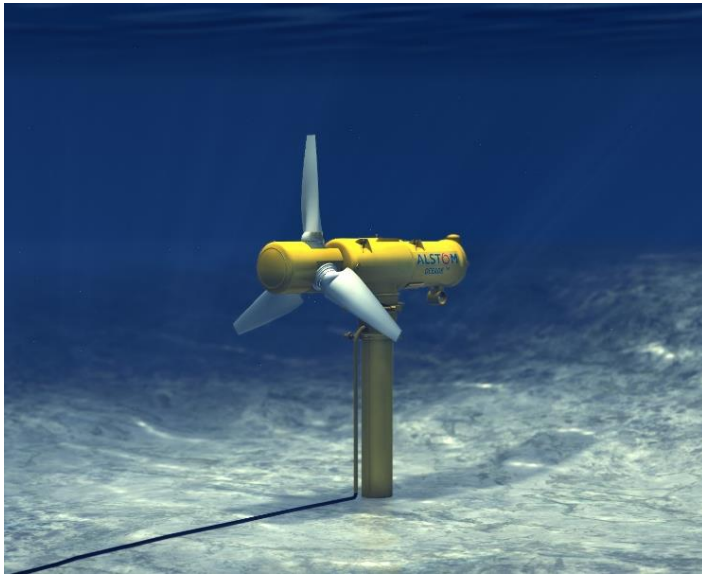
Énergie marémotrice

- L'énergie marémotrice peut être exploitée de diverses façons:
 - Barrages marémoteurs: lagons



Énergie marémotrice

- L'énergie marémotrice peut être exploitée de diverses façons:
 - Courants de marée



Énergie marémotrice

- Barrages marémoteurs:
 - Exploitent les différences de hauteur (jusqu'à 20 m)
 - Infrastructures très visibles, lourdes et coûteuses
 - Nécessitent des conditions topographiques et bathymétriques bien précises
 - Font usage de turbines forcées unidirectionnelles ou bidirectionnelles
 - Lourds impacts environnementaux

Énergie marémotrice

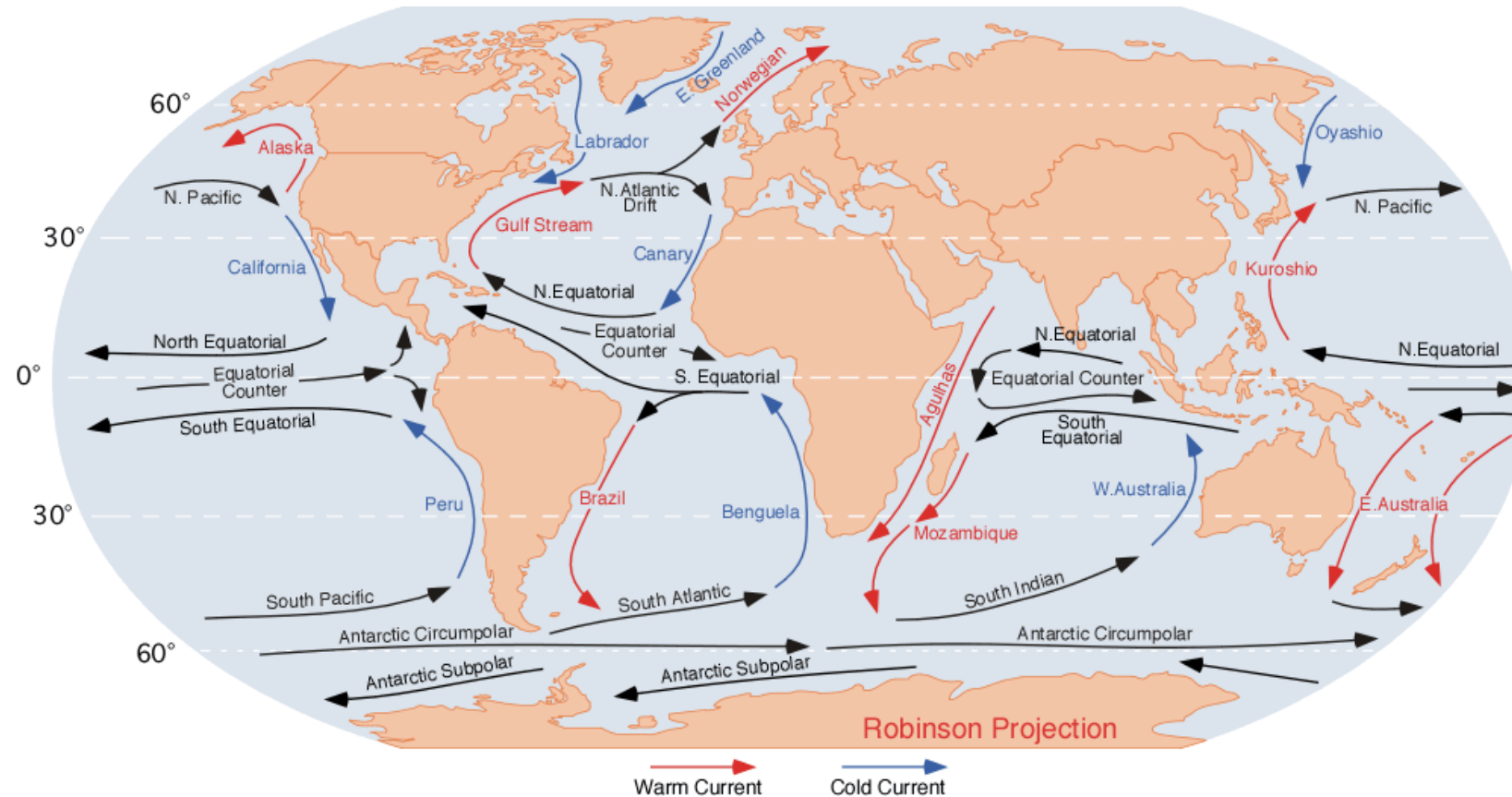
- Courants de marée:
 - Exploitent les déplacements d'eau (jusqu'à 12 nœuds, ou 6 m/s)
 - Infrastructures plus légères et très discrètes, mais moins efficaces
 - Beaucoup moins de contraintes au niveau de l'emplacement
 - Font usage de turbines libres unidirectionnelles ou bidirectionnelles, de membranes ondulantes, ou autres
 - Les impacts environnementaux sont légers
 - L'environnement sous-marin est très dur sur l'équipement
 - Certains de ces équipements s'apparentent aux hydroliennes de courant et de rivière

Plan de la présentation

- Introduction et objectifs de la capsule
- Énergie marémotrice
- ***Énergie hydrolienne***
- Énergie houlomotrice
- Énergie thermique des mers
- Énergie osmotique des mers
- Conclusion

Énergie hydrolienne

- Des courants parcourent les océans du globe terrestre.



Énergie hydrolienne

- L'énergie des courants provient principalement de trois sources:
 - Les vents (et donc, le Soleil) créent des mouvements horizontaux de l'eau en surface (0-400m)
 - Les différences de température et de salinité de l'eau (et donc, le Soleil) créent des différences de densité qui créent des mouvements verticaux de l'eau (800m et plus) – c'est la circulation thermohaline
- Combinées au profil géographique et bathymétriques des océans, ces forces génèrent les courants.

Énergie hydrolienne

- Ces courants sont **constants et puissants**;
- Ils sont surtout présents en périphérie des océans, mais néanmoins en eaux libres, c'est-à-dire à distance des côtes;
- Une unité non-SI existe pour mesurer les courants – le **sverdrup (Sv)**, équivalent à 10^6 m^3 par seconde
 - Le Gulf Stream varie entre 30 et 150 Sv
 - L'apport total des rivières aux océans est de 1,2 Sv
 - L'évaporation globale est de 13 Sv

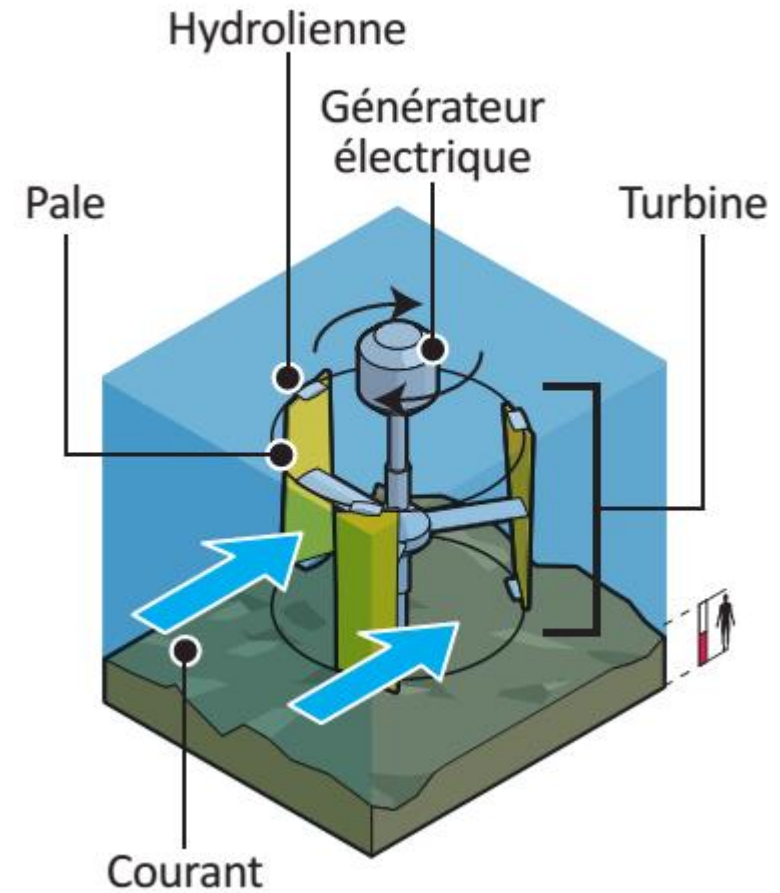
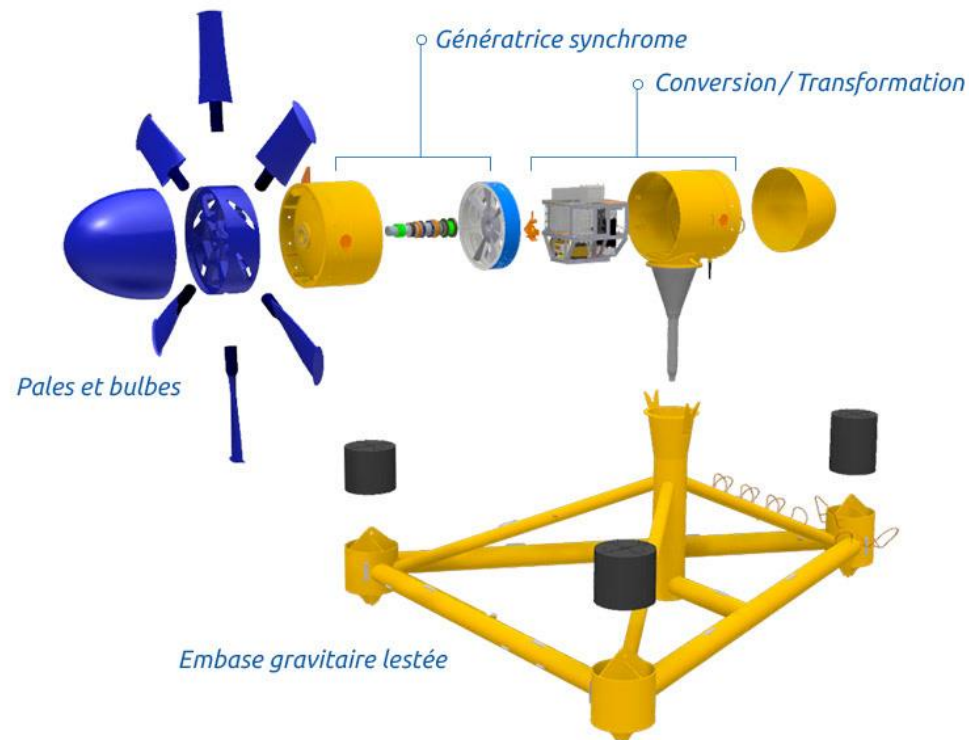


Énergie hydrolienne

- D'un point de vue physique, l'exploitation du gisement hydrolien est très similaire à l'exploitation du gisement éolien;
- Cependant, la densité relative de l'eau (>750 fois celle de l'air) permet l'utilisation de mécanismes plus lents, ce qui élimine de nombreux problèmes techniques;
- Les courants sont très prévisibles et constants comparativement au vent, offrant une source d'énergie beaucoup plus stable et fiable.

Énergie hydrolienne

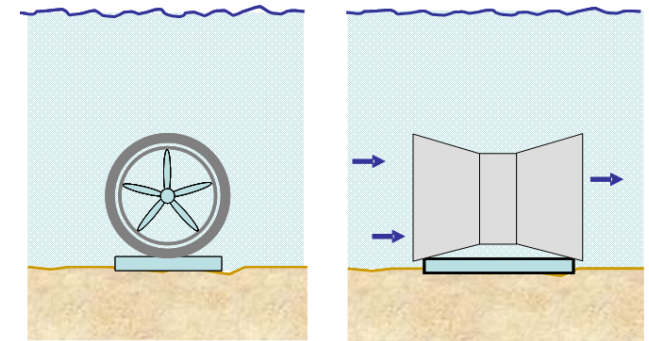
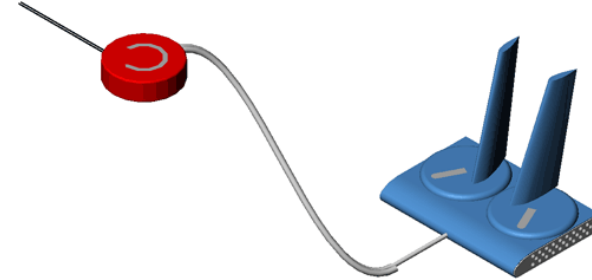
- Technologies d'exploitation



Énergie hydrolienne

- Technologies d'exploitation

- Turbines à axe horizontal
- Turbines à axe vertical
- Hydroptères oscillants (ou *hydrofoils*) ou membranes oscillantes
- Turbines venturi ou carénées
- Vis d'Archimède
- Cerfs-volants



Énergie hydrolienne

- Les infrastructures requises sont flexibles et s'ajustent bien aux besoins;
- Elles peuvent également être discrètes, et l'impact environnemental est généralement réduit;
- De nombreux systèmes de conversion et de nombreux positionnements peuvent être utilisés;
- Cependant, les grands gisements d'énergie hydrolienne sont généralement loin des côtes, ce qui présente d'autres défis d'installation et de transport de l'énergie générée;
- L'environnement sous-marin est très dur sur l'équipement.

Plan de la présentation

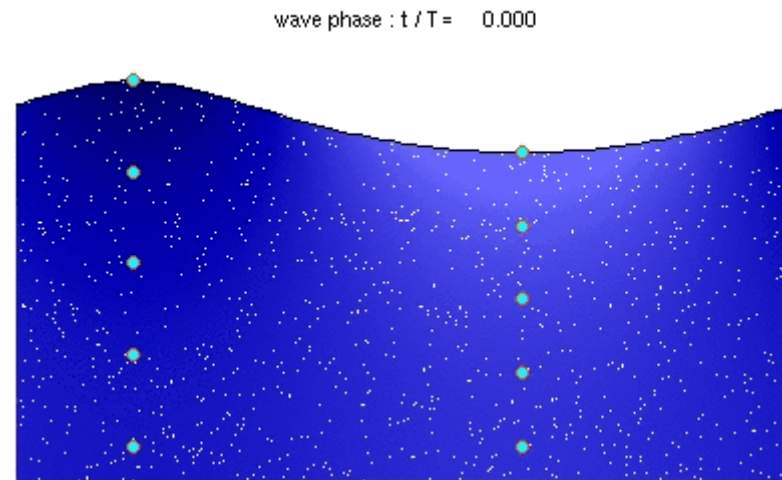
- Introduction et objectifs de la capsule
- Énergie marémotrice
- Énergie hydrolienne
- ***Énergie houlomotrice***
- Énergie thermique des mers
- Énergie osmotique des mers
- Conclusion

Énergie houlomotrice

- L'énergie houlomotrice est l'énergie des **vagues**;
- Celles-ci sont créées d'abord par la friction du vent à la surface de l'eau, transmettant de l'énergie cinétique de l'air à l'eau;
- Une fois une certaine hauteur atteinte, le différentiel de pression atmosphérique entre l'arrière et l'avant de la vague amplifie le transfert d'énergie cinétique de l'air à l'eau;
- Cette énergie provient donc ultimement du Soleil;
- Des vagues peuvent également être créées par l'activité sismique et tectonique de la croûte terrestre, mais celles-ci sont ponctuelles et essentiellement impossibles à exploiter.

Énergie houlomotrice

- Une vague est une onde; elle ne représente pas un déplacement net d'eau, mais seulement un déplacement d'énergie;
- Les molécules d'eau effectuent un mouvement circulaire ou elliptique, avec un déplacement net faible ou nul (dérive de Stokes).



Énergie houlomotrice

- Les caractéristiques des vagues sont imparties par divers facteurs:
 - La vitesse du vent par rapport à celle des vagues
 - La distance sur laquelle le vent a pu parcourir une ligne droite et ininterrompue
 - La largeur de la zone d'influence du vent sur l'eau
 - Le temps pendant lequel le vent a exercé une influence sur l'eau
 - La profondeur de l'eau
- Les vagues océaniques ont une hauteur entre 0,3m et plus de 30m, et une longueur d'onde (la distance entre deux crêtes successives) de 8m à plus de 200m;
- La densité de puissance potentielle est très élevée (aisément 20 fois plus que le solaire et l'éolien).

Énergie houlomotrice

- L'exploitation de cette ressource doit évidemment se faire près de la surface de l'eau;
- Elle peut se faire près des côtes (plus pratique pour l'installation et l'entretien des infrastructures, et pour le transport de l'énergie) ou en eaux plus profondes (quantité d'énergie plus élevée);
- L'interaction avec les fonds marins transforme et diversifie les vagues (la vague « touche » le fond lorsque la profondeur de l'eau est égale à la moitié de la longueur d'onde)
- Cette énergie cinétique de va-et-vient n'est pas aussi facile à harnacher que les courants, par exemple, mais divers mécanismes existent.

Énergie houlomotrice

- Corps flottants: le mouvement de haut en bas d'un flotteur est converti, directement ou indirectement, en énergie électrique.



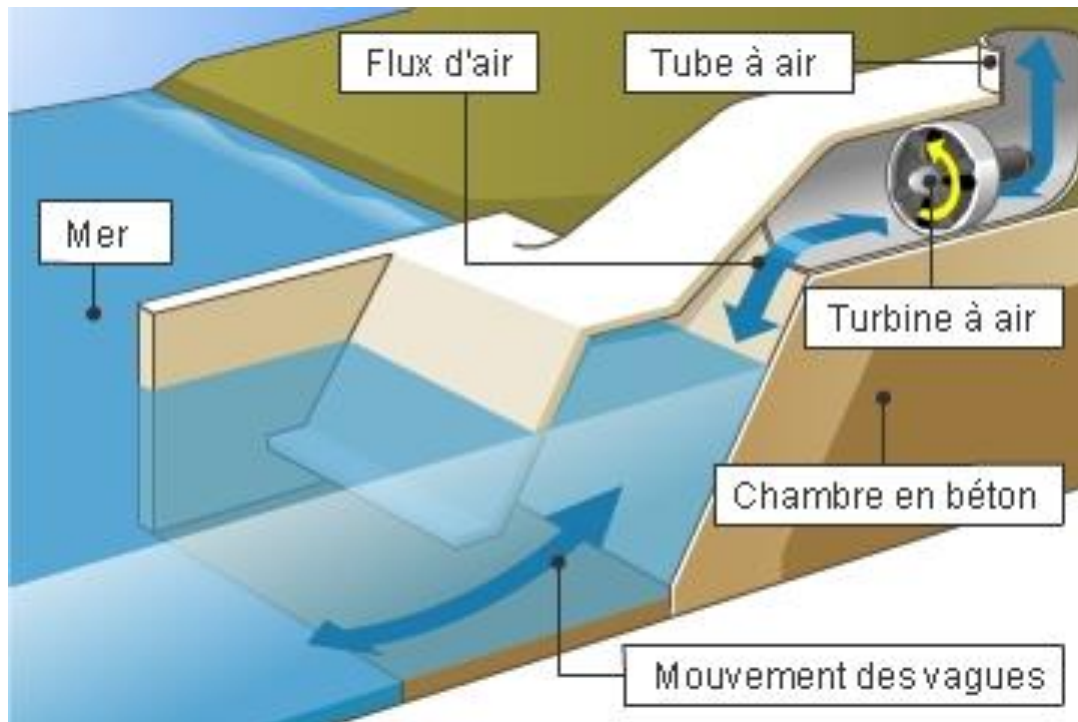
Énergie houlomotrice

- Systèmes à déferlement (ou piège à déferlement): les vagues remplissent un réservoir d'eau en hauteur, dont la vidange active une turbine.



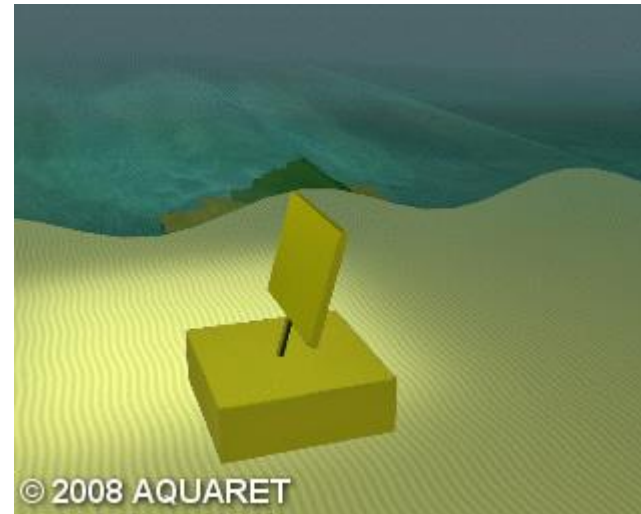
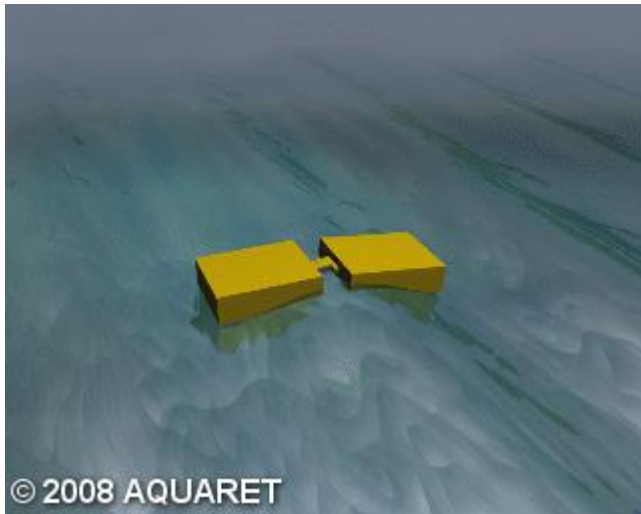
Énergie houlomotrice

- Colonnes d'eau oscillantes: le mouvement de l'eau fait varier la pression de l'air, et cet air met une turbine en mouvement.



Énergie houlomotrice

- Dispositifs à structure articulée: le mouvement de l'eau modifie l'angle de deux (ou plus) segments d'un mécanisme; ces flexions sont converties, directement ou indirectement, en énergie électrique.



Énergie houlomotrice

- Les infrastructures requises sont flexibles et s'ajustent bien aux besoins, mais sont mécaniquement plus complexes que pour l'énergie hydrolienne;
- L'impact environnemental est généralement faible;
- Cependant, elles peuvent difficilement être discrètes, étant donné que les vagues sont en surface;
- La ressource est disponible en haute mer autant que près des côtes;
- De nombreux systèmes de conversion et de nombreux positionnements peuvent être utilisés;
- L'équipement peut être moins submergé, facilitant l'entretien.

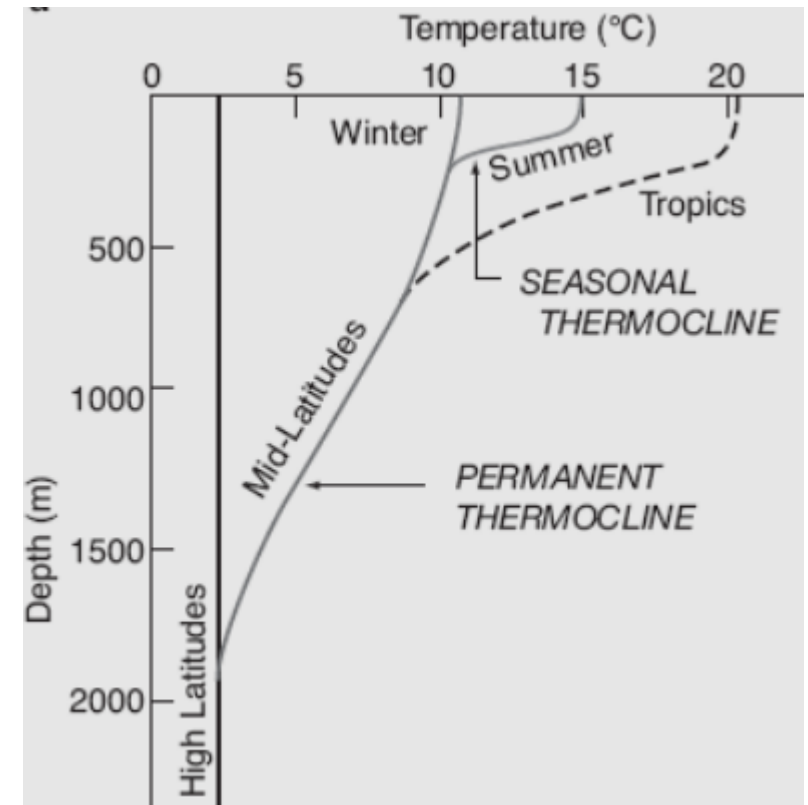
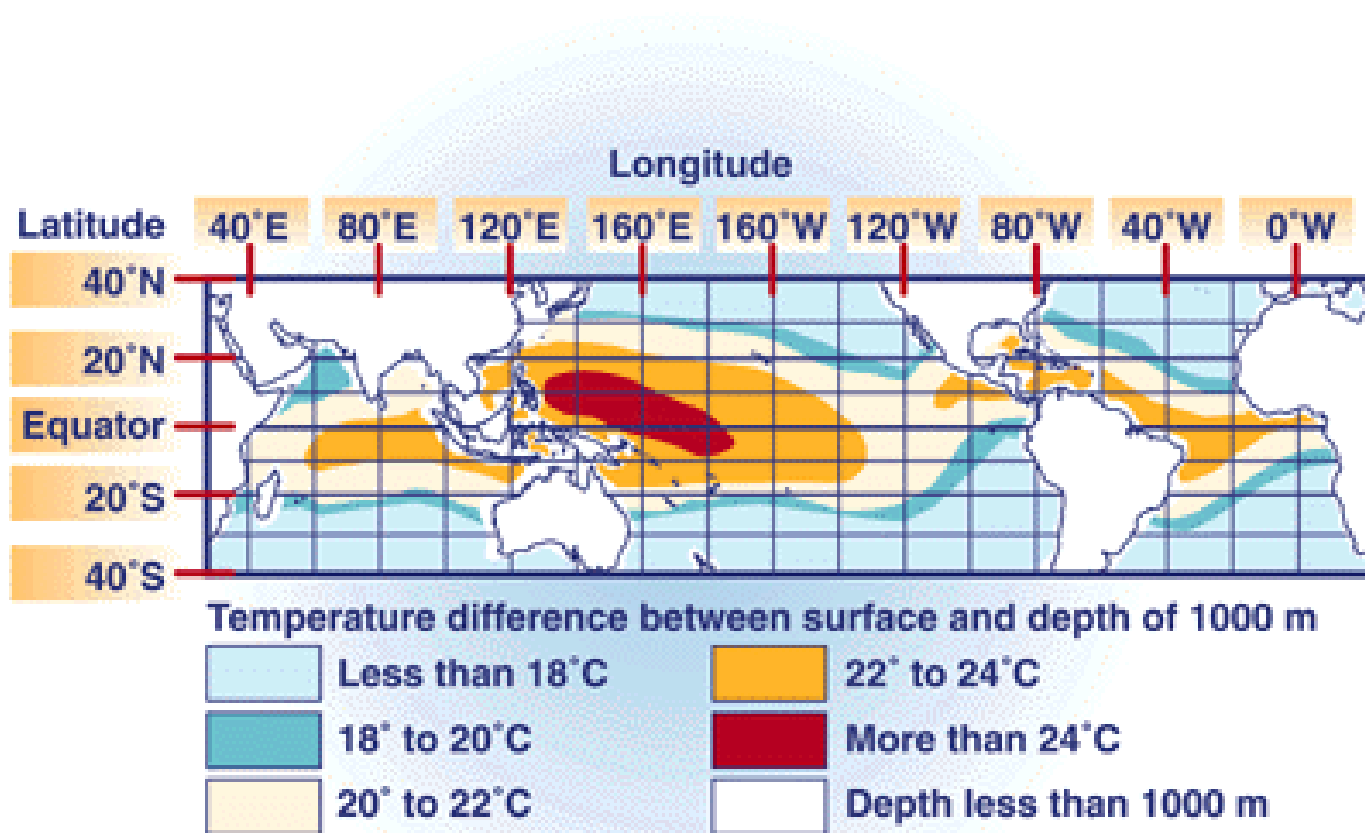
Plan de la présentation

- Introduction et objectifs de la capsule
- Énergie marémotrice
- Énergie hydrolienne
- Énergie houlomotrice
- ***Énergie thermique des mers***
- Énergie osmotique des mers
- Conclusion

Énergie thermique des mers

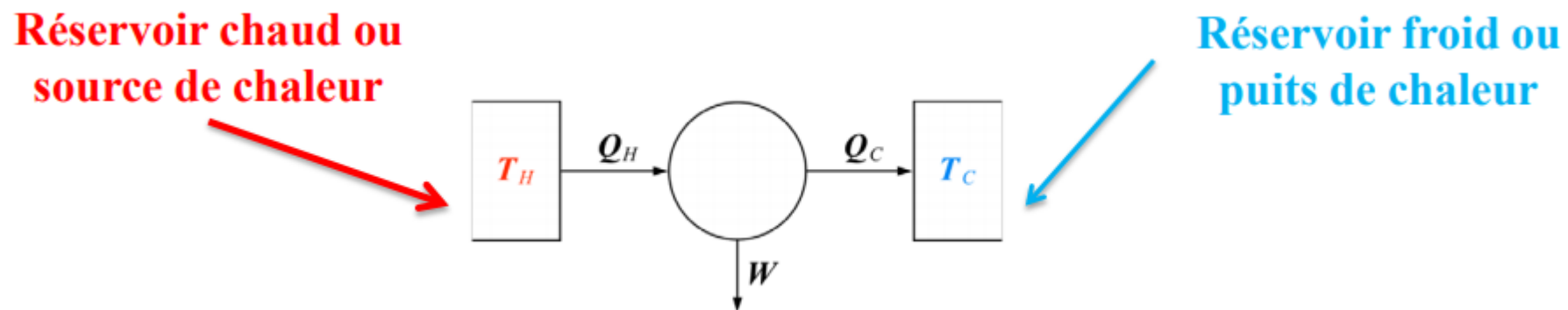
- Les eaux de surface des plans d'eau sont réchauffées par le Soleil, tandis que les eaux profondes sont généralement froides;
- Ce gradient thermique peut aisément atteindre 20K entre la surface et une profondeur de 1000m dans les zones intertropicales, et est extrêmement constant, grâce à la grande capacité thermique de l'eau;
- Un tel différentiel, bien que faible, peut être exploité par un cycle thermodynamique classique;
- Cette ressource énergétique est appelée l'énergie thermique des mers, ou ETM (OTEC, en anglais, pour *Ocean Thermal Energy Conversion*).

Énergie thermique des mers



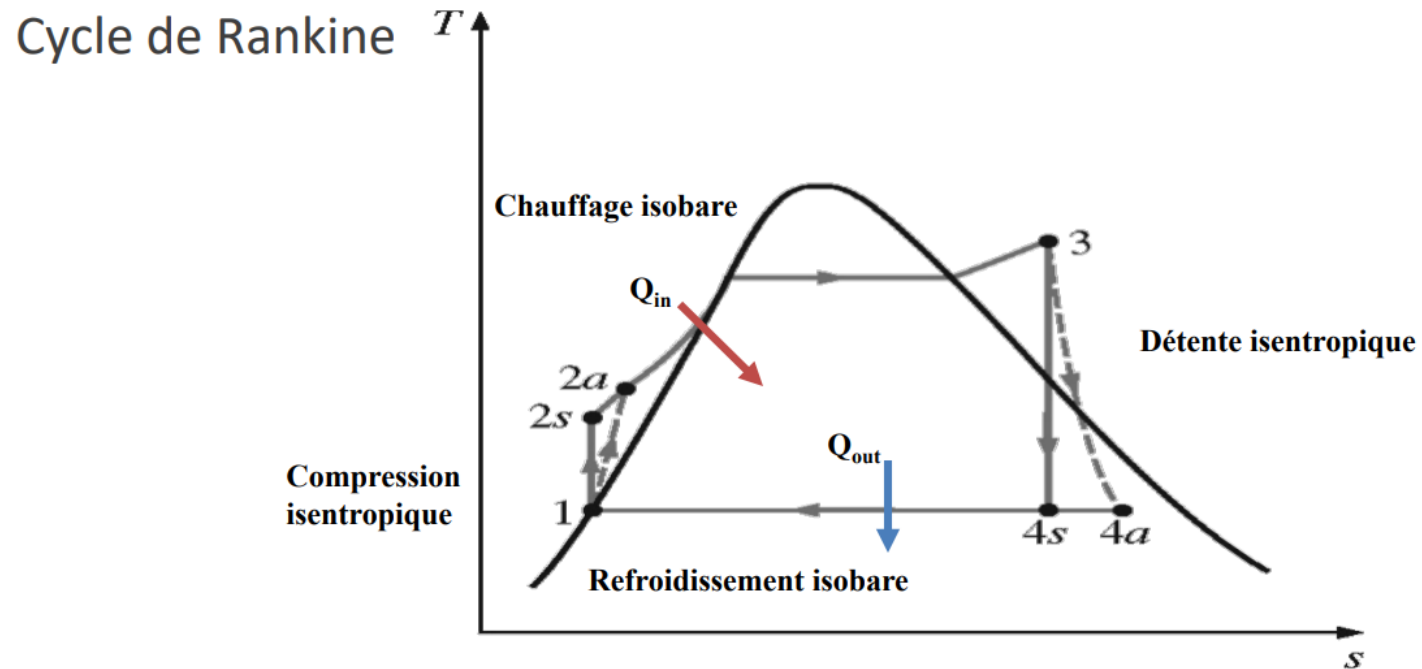
Énergie thermique des mers

- Cette énergie thermique provient du Soleil;
- Le différentiel thermique étant très modeste, de grandes quantités d'eau sont donc nécessaires pour extraire des quantités d'énergie qui en valent la peine.



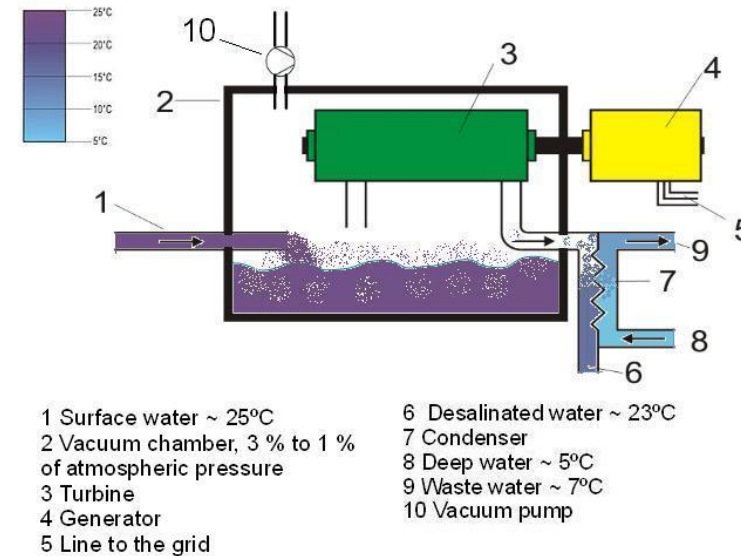
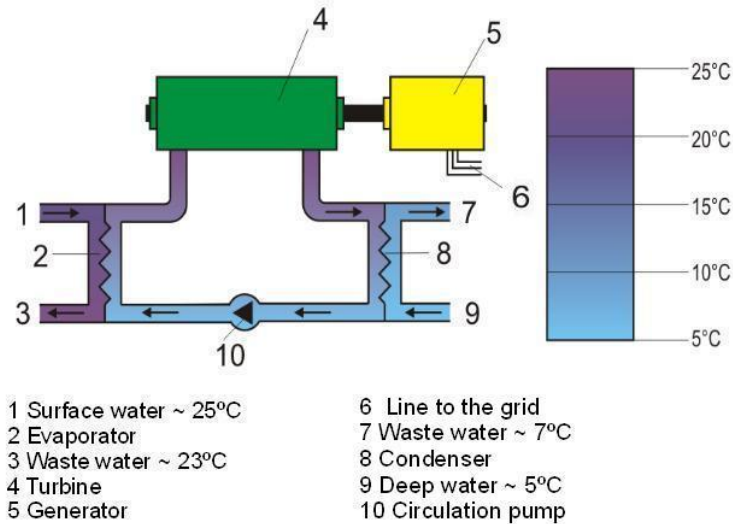
Énergie thermique des mers

- On fait généralement appel au cycle de Rankine, soit avec de l'eau, soit avec un fluide réfrigérant comme l'ammoniac ou le R-134a.



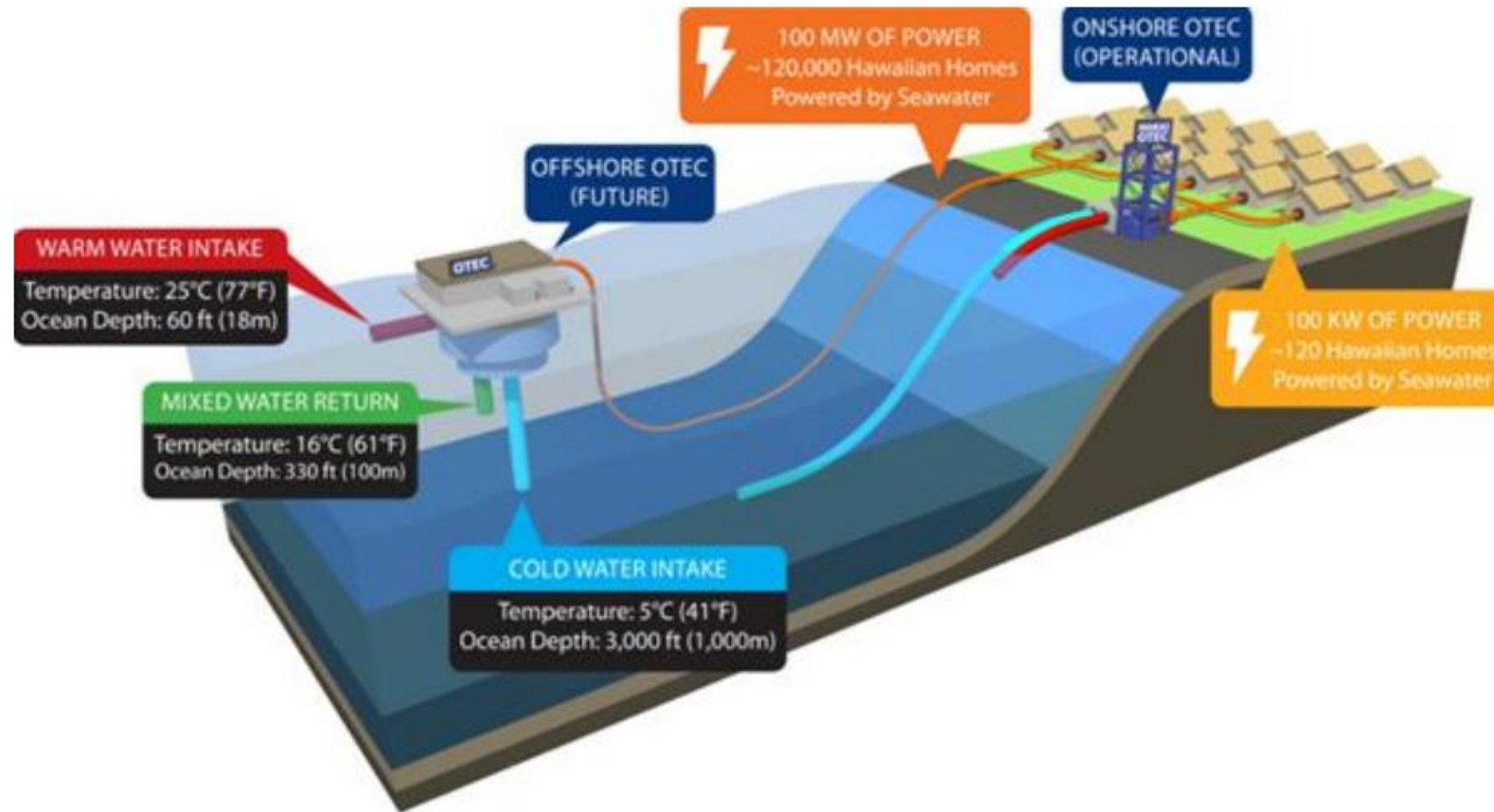
Énergie thermique des mers

- On peut travailler en cycle fermé (réfrigérant) ou ouvert (eau).



Énergie thermique des mers

- Illustration du projet Makai (Hawaii, États-Unis):



Énergie thermique des mers

- L'exploitation de cette ressource est limitée aux emplacements où l'eau de surface est chaude, et où on dispose d'eau froide en profondeur;
- Dans les cas où le plateau continental chute abruptement, l'ETM peut être exploitée près des côtes;
- Les infrastructures peuvent être installées en surface, sous l'eau, ou sur terre;
- Les impacts environnementaux sont réduits mais non-négligeables;
- Les systèmes en cycle ouvert peuvent produire de l'eau distillée à partir de la vapeur;
- L'eau froide n'a pas nécessairement besoin d'être rejetée dans l'océan, elle peut être exploitée à d'autres fins (climatisation, etc.).

Plan de la présentation

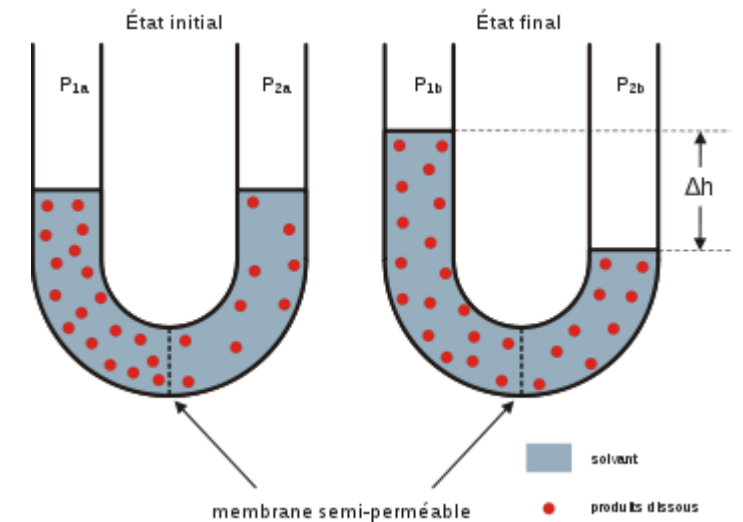
- Introduction et objectifs de la capsule
- Énergie marémotrice
- Énergie hydrolienne
- Énergie houlomotrice
- Énergie thermique des mers
- ***Énergie osmotique des mers***
- Conclusion

Énergie osmotique des mers

- Une importante différence de salinité des eaux existe entre les eaux dites « douces » (rivières, lacs, fleuves) et les eaux dites « salées » (mers et océans);
- Cette différence de salinité est due à l'évaporation causée principalement par le Soleil;
- L'eau évaporée, qui va alimenter rivières et fleuves, est dépourvue de minéraux en solution, tandis que l'eau résiduelle voit sa concentration de minéraux augmenter;
- Ce différentiel représente une ressource d'énergie chimique qu'il est possible d'exploiter; c'est **l'énergie osmotique des mers**, parfois appelée énergie bleue (*blue energy*).

Énergie osmotique des mers

- L'osmose est un phénomène physique qui repose sur la tendance des solutions en contact à atteindre un degré de concentration uniforme;
- Si les solutions ne peuvent se mélanger et sont séparées par une membrane semi-perméable qui laisse le solvant passer, mais pas les solutés, un transfert de solvant du milieu moins concentré au milieu plus concentré s'effectue pour équilibrer les concentrations.

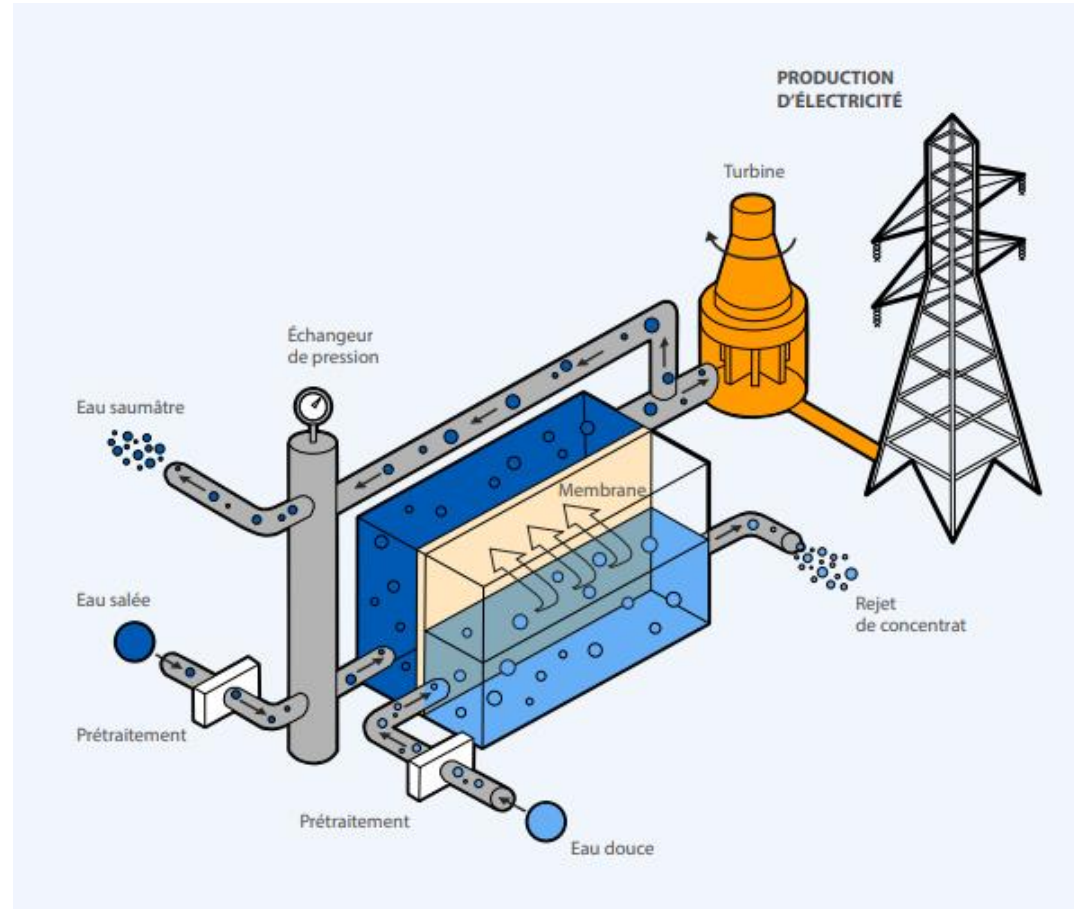


Énergie osmotique des mers

- Ce transfert de solution au travers de la membrane semi-perméable crée une pression qui peut se transformer en énergie mécanique (généralement potentielle);
- Cette pression dépend du différentiel de concentration des solutions et est généralement faible, mais sur de grandes quantités de liquides, l'énergie mécanique obtenue peut être significative;
- Une autre approche d'exploitation du différentiel de salinité consiste à capitaliser sur le potentiel électrochimique différent des deux liquides, créant une batterie à l'aide de membranes perméable aux ions positifs et négatifs.

Énergie osmotique des mers

- L'exploitation de l'énergie se fait ensuite de façon conventionnelle:



Énergie osmotique des mers

- L'exploitation de cette ressource est limitée aux emplacements où de l'eau douce et de l'eau salée sont disponibles en grandes quantités, avec le plus grand différentiel de concentration possible;
- De par cette contrainte, l'exploitation de l'énergie osmotique des mers se fait sur les côtes;
- Les infrastructures peuvent être installées sur terre;
- Les impacts environnementaux sont non-négligeables, et doivent être gérés avec prudence, surtout au niveau du rejet des eaux;
- La technologie des membranes osmotiques est encore récente, et les membranes sont coûteuses et peu efficaces.

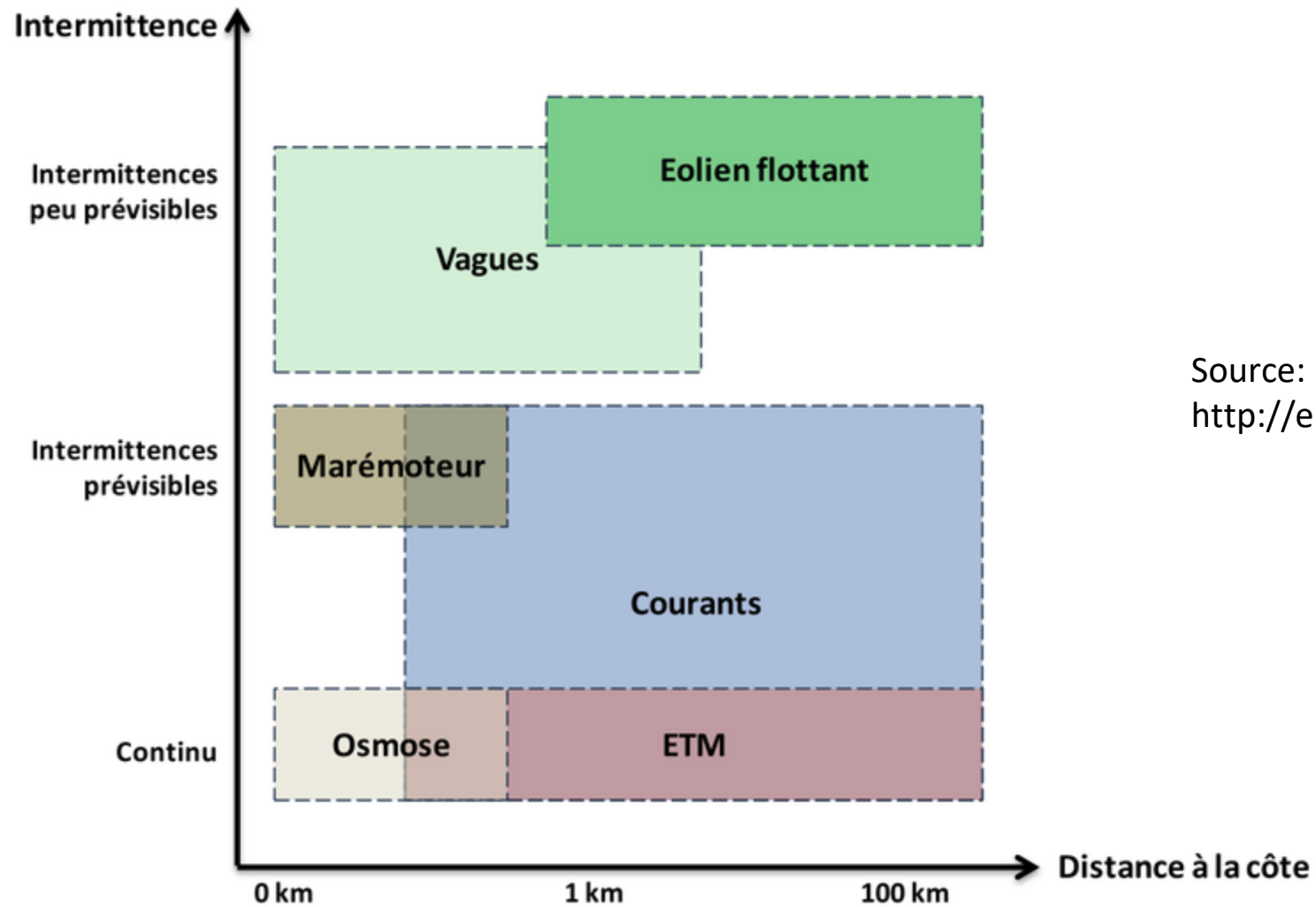
Plan de la présentation

- Introduction et objectifs de la capsule
- Énergie marémotrice
- Énergie hydrolienne
- Énergie houlomotrice
- Énergie thermique des mers
- Énergie osmotique des mers
- ***Conclusion***

Conclusion

- Diverses formes d'énergie sont disponibles dans les océans, sous forme cinétique, potentielle, thermique et chimique;
- Cette énergie provient de diverses sources – les forces gravitationnelles dynamiques, le Soleil, les vents;
- Leur exploitation se fait à l'aide de diverses technologies, disponibles et maîtrisées;
- Cependant, cette exploitation présente de grands défis technologiques et demande des conditions topographiques et bathymétriques particulières, ce qui restreint le nombre d'opportunités.

Conclusion



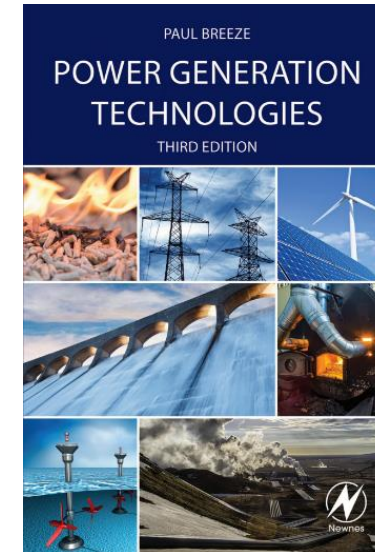
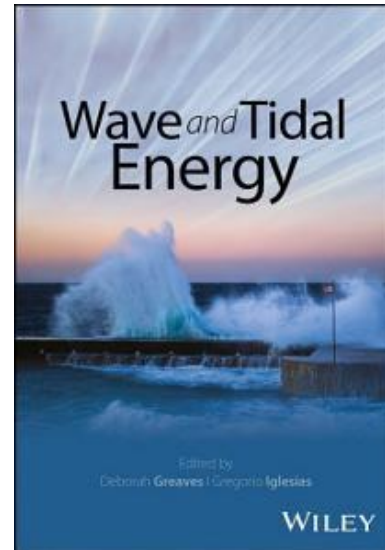
Source: ENEA Consulting,
<http://enea-consulting.com>

Ressources sur le web

- <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-098330-1.00014-4>
- <http://www.aquaret.com/index.html>
- <https://physics.stackexchange.com/questions/121830/does-earth-really-have-two-high-tide-bulges-on-opposite-sides/121858#121858>

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://www.tides.gc.ca/fra/info/faq>
- <http://blog.tourismnewbrunswick.ca/the-bay-of-fundy-is-a-160-billion-tonne-wonder-heres-why>
- https://en.wikipedia.org/wiki/Rance_Tidal_Power_Station
- <http://www.energybc.ca/tidal.html>
- https://fr.wikipedia.org/wiki/Courant_marin
- <https://www.eel-energy.fr/fr/conversion-energie-par-membrane-ondulante/>
- <https://fr.wikipedia.org/wiki/Hydrolienne>
- <http://hydrolien.fr/hydrolienne-fonctionnement/>
- <http://emr-brest.e-monsite.com/pages/hydrolien.html>
- https://en.wikipedia.org/wiki/Wind_wave
- <https://www.enea-consulting.com/wp-content/uploads/2015/05/ENEA-Consulting-Les-Energies-Marines-Renouvelables.pdf>
- <https://hydrosphre.weebly.com/les-ressources-eacutenergeacutetiques-de-lhydrosphregrave.html>
- <http://www.aquaret.com/index.html>
- https://en.wikipedia.org/wiki/Ocean_thermal_energy_conversion
- <https://www.hydroquebec.com/data/developpement-durable/pdf/fiche-osmotique.pdf>
- <https://fr.wikipedia.org/wiki/Osmose>