



Ce document contient la transcription textuelle d'une vidéo du MOOC UVED « Énergies renouvelables ». Ce n'est donc pas un cours écrit au sens propre du terme ; le choix des mots, l'articulation des idées et l'absence de chapitrage sont propres aux interventions orales des auteurs.

L'énergie marémotrice

Jean-Frédéric CHARPENTIER

Maître de Conférences – Ecole Navale

Nous allons parler ici de l'énergie marémotrice, il s'agit de l'énergie qui est associée au mouvement des masses d'eau provoqué par les marées.

- Donc le potentiel techniquement exploitable pour l'énergie marémotrice est plus faible que celui correspondant aux autres énergies renouvelables marines.
- ⇒ Il est d'environ de 75 GW qui pourraient être installés.
- Ceci est dû au nombre de sites limité sur lesquels on peut installer les systèmes.
- ⇒ En effet, les sites techniquement exploitables correspondent à des marnages importants, c'est-à-dire à des grandes différences de hauteur d'eau entre la marée haute et la marée basse, ou bien à des niveaux de courants de marée très élevés.

Donc, les marées sont par nature un phénomène intermittent, cette intermittence est liée au cycle de marée lui-même, c'est-à-dire par exemple on a deux cycles de marée par jour et aussi au cycle des grandes marées et des marées de faible coefficient dont la période est d'environ deux semaines.

- ⇒ Cette intermittence fait que le facteur de charge d'un système marémoteur est relativement faible et du même ordre que celui d'un système éolien, aux alentours de 30%.

Un des avantages du marémoteur est que la production d'énergie est prédictible puisqu'il s'agit d'un phénomène astronomique qui peut être prévu des mois voire des années en avance.

⇒ Donc ceci donne un caractère favorable à l'intégration de ces énergies au niveau du réseau électrique.

Deux principes principaux peuvent être utilisés pour extraire l'énergie marémotrice :

- Le premier est d'utiliser une usine marémotrice de type barrage ;
- Et le deuxième est d'utiliser une hydrolienne.

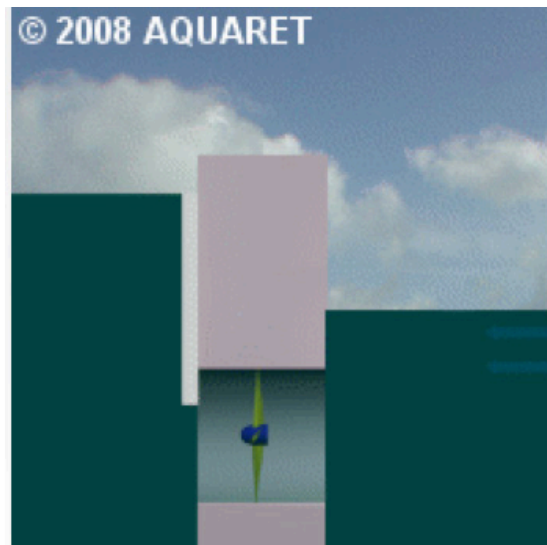
- Si l'on considère les usines marémotrices de type barrage, le principe est relativement simple, on va considérer un bassin naturel comme par exemple un estuaire ou une baie et on va le barrer avec un ouvrage d'art.

- On va ainsi constituer un bassin de rétention d'eau, on va remplir ce bassin lors de la montée de la marée, on va retenir l'eau et puis on va vidanger ce bassin à marée basse.

- On va effectuer des opérations de turbinage lors du remplissage et de la vidange de ce bassin.

On a trois critères pour installer un tel système :

- Tout d'abord il faut que le site se prête à l'installation d'un bassin naturel, donc avoir comme je l'ai dit précédemment un estuaire ou une baie ;
- La puissance que peut extraire un tel dispositif est directement liée à la hauteur d'eau et au débit traversant les turbines, donc il faut qu'on ait une différence de hauteur d'eau, donc un marnage significatif entre la mer et le bassin ;
- Et il faut également qu'on ait un débit très important.



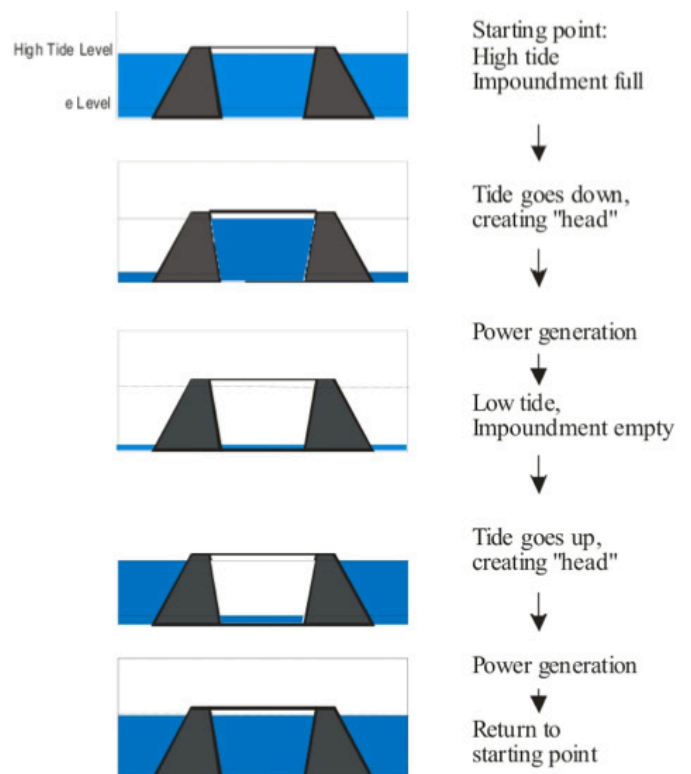
Principe d'une usine marémotrice (source AQUARET)



Vues du barrage de la Rance (source EDF)

- Un des problèmes de l'installation d'un tel système c'est qu'on installe un barrage par exemple sur un estuaire, donc il y a des impacts très importants sur l'écosystème et sur les usages humains.
- ⇒ Un des ouvrages les plus importants au monde est situé en France, il barre l'estuaire de la Rance, en Bretagne et donc, il a été installé dans les années 60 et inauguré en 1966.
- ⇒ Le site se prête particulièrement bien à l'installation d'un tel ouvrage : le marnage y est supérieur à 13 mètres lors des marées de fort coefficient et le débit maximal qui est turbiné est de plus de 6000 m³ par seconde ce qui correspond environ à quatre fois le débit moyen du Rhône.
- ⇒ La puissance installée au niveau de ce barrage est de 240 MW et il produit 500 GWh d'électricité par an, ce qui correspond à peu près au millième de la production d'énergie électrique en France.
- Même si de nouveaux projets de ce type-là ne sont pas d'actualité en France, il y a des projets qui sont en cours à l'étranger.
- ⇒ Par exemple en 2011 a été inauguré en Corée du Sud, sur le site de Sihwa, un barrage marémoteur d'une puissance comparable à celui de la Rance.

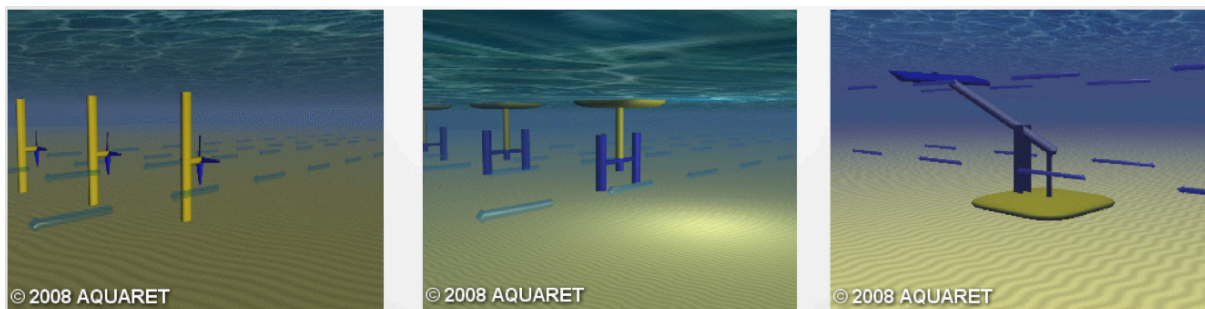
- Il existe également une deuxième génération de barrages qui sont dans les cartons des ingénieurs. Il s'agit par exemple de constituer un lagon artificiel par la création d'une digue fermée. Donc ce lagon artificiel peut être situé au large ou appuyé sur une côte et donc on va faire fonctionner ce système de la même manière que précédemment, c'est-à-dire que l'on va effectuer des opérations de turbinage lors du remplissage et de la vidange du bassin ainsi constitué.



- ⇒ On voit un exemple de ce type de dispositif au niveau de l'illustration, il s'agit d'un projet sur la baie de Swansea, dans le pays de Galles et qui a pour objectif de construire un tel ouvrage avec une puissance comparable à l'usine de la Rance à l'horizon 2017.

- Un autre moyen d'extraire l'énergie marémotrice, c'est d'utiliser ce qu'on appelle une hydrolienne.

- On va donc immerger dans une zone où se produisent de très forts courants de marée, - donc ce sont des zones très localisées puisqu'en définitive, ce sont des effets géographiques de concentration qui vont créer des courants très élevés dans des zones particulières, par exemple au niveau des pointes ou au niveau d'un isthme -, donc on va immerger une turbine dans cette zone et on va pouvoir ainsi extraire une partie de l'énergie cinétique du courant selon un principe qui est grossièrement similaire à celui d'une éolienne.
- La densité d'énergie est, sur ces sites, plus forte que la densité moyenne que l'on peut trouver sur un site éolien.
- ⇒ Donc les machines sont à priori plus compactes pour une même puissance.
- La machine est en eau libre donc on a une influence limitée sur les usages et sur l'écosystème environnant.
- On peut utiliser différents types de technologies, par exemple on peut utiliser des turbines à axe horizontal (à gauche), des turbines à axe vertical (au milieu), ou des turbines qu'on appelle oscillo-battantes qui se comportent un petit peu, c'est-à-dire qu'on a une pale qui va osciller dans le fluide et qui va reproduire grossièrement le mouvement de la nageoire caudale d'un cétacé.



- On voit qu'il y a un grand nombre de projets différents, un grand nombre de principes différents, cependant, la majorité des projets les plus avancés vont utiliser des turbines à axe horizontal qui ressemblent, grossièrement, aux éoliennes de grande puissance que l'on peut trouver à terre.
- Si on regarde un petit peu ces différents projets parmi les plus avancés, on voit que l'on a des consortiums industriels qui testent ou ont testé récemment des machines de l'ordre du mégawatt sur des sites dédiés.
- ⇒ Alors il y a un certain nombre de sites dédiés. Il y en a au Canada, il y en a au Royaume-Uni et il y en a en France.
- Alors, si on regarde un petit peu plus en détails les technologies qui sont liées à ces hydroliennes, on voit que l'on a deux grandes tendances.

- La première tendance est d'essayer d'utiliser des options technologiques et qui ont déjà été utilisées pour l'éolien de grande puissance de manière à accélérer la maturité commerciale et a bénéficier du retour d'expérience du secteur éolien.
- ⇒ Donc on va, par exemple, utiliser des multiplicateurs qui vont permettre d'utiliser des génératrices rapides, compactes et relativement standards.
- ⇒ On va utiliser des systèmes de contrôle de pas où on va faire varier l'angle de la pale par rapport au moyeu, de manière à effectuer des opérations de limitation de puissance et de mise en sécurité lors des courants extrêmes ;
- ⇒ Ou on va, par exemple, utiliser des systèmes d'orientation de la turbine face aux fluides.
- Alors ce sont des systèmes mécaniques relativement complexes, donc ils nécessitent des niveaux de maintenance relativement élevés et donc ça veut dire que si on choisit ce type d'option, on va être obligés d'imaginer un système pour pouvoir accéder de manière régulière - tous les quelques mois -, à la machine.
- Ça veut dire que, par exemple, il faut imaginer des systèmes de relèvement.
- ⇒ Alors on voit un exemple de ces systèmes de relèvement dans l'illustration en haut à droite, sur la turbine SeaGen où les turbines en définitive sont disposées sur une pile avec une sorte d'élévateur qui permet d'extraire les turbines hors de l'eau pour pouvoir y accéder pour la maintenance.
- Une deuxième tendance, un petit peu antinomique est d'imaginer de nouvelles solutions, des solutions originales qui sont dédiées aux systèmes hydrolien.
- ⇒ On va vouloir minimiser les opérations de maintenance et on va ainsi éliminer tous ces systèmes mécaniques dont j'ai parlé tout à l'heure : le multiplicateur, le système de contrôle de pas, le système d'orientation de la turbine face aux fluides.
- Mais ça veut dire qu'il faut repenser totalement la conception de la turbine, tant au niveau de sa conception globale qu'au niveau de son contrôle commandes.
- ⇒ Un exemple de ce type de tendance est donné par l'illustration qui est en bas à gauche : la turbine OpenHydro / DCNS où une génératrice à entraînement direct, donc une génératrice sans multiplicateur est afférée en périphérie des pales de la turbine et localisée dans la tuyère qui entoure la turbine.
- ⇒ Alors on voit qu'on a plusieurs solutions technologiques, la solution technologique de référence reste encore pour l'instant à déterminer, on peut d'ailleurs imaginer que selon la nature du site, plusieurs solutions technologiques relativement différentes puissent s'imposer.



Turbine Atlantis AR1000



Turbine SeaGen S



Turbine Voith Hydro



**Turbine Andritz Hydro
Hammerfest HS1000**



**Turbine DCNS/
OpenHydro**



Turbine Alstom tidal