



*Ce document est la transcription révisée, chapitrée et illustrée d'une vidéo du MOOC UVED « Énergies renouvelables ». Ce n'est pas un cours écrit au sens propre du terme ; le choix des mots et l'articulation des idées sont propres à l'intervention orale de l'auteur.*

## *Contexte technologique des énergies marines renouvelables*

**Jean-Yves PRADILLON**

*Responsable du mastère sur les énergies renouvelables marines*

*ENSTA BRETAGNE*

Le domaine des énergies marines renouvelables est un secteur industriel assez récent mais un certain nombre de définitions qu'on applique déjà dans le secteur de l'énergie sont tout à fait pertinentes pour les énergies marines renouvelables.

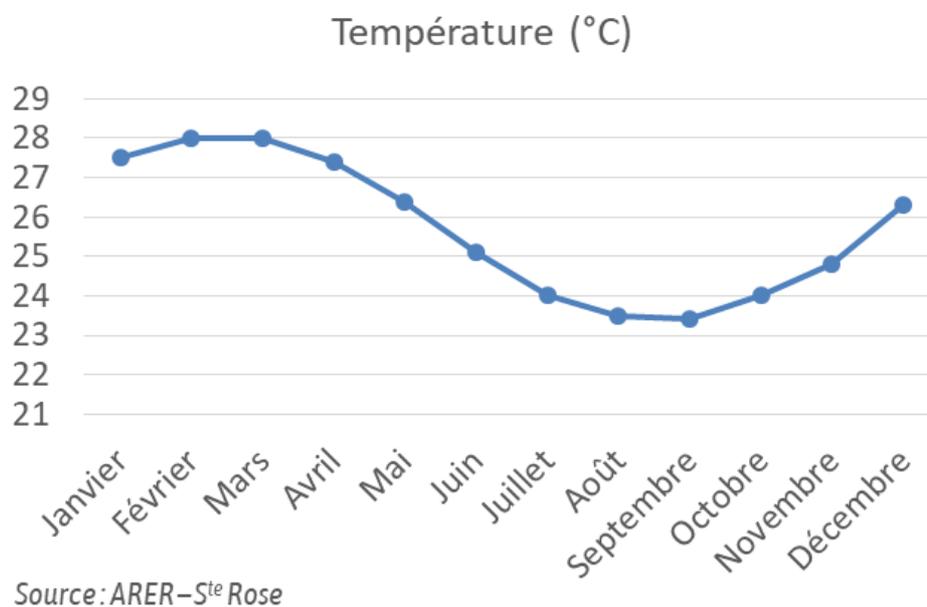
### **1. Définitions**

Le potentiel théorique est quelque chose que l'on peut retrouver facilement avec des formules physiques. Il nous donne la puissance et l'énergie que l'on peut retirer d'une certaine ressource. Ces chiffres sont en général très élevés et on fait une distinction avec ce qu'on appelle plutôt le potentiel techniquement exploitable. Le potentiel techniquement exploitable est cette partie d'énergie sur l'ensemble théorique que l'on peut effectivement capter avec les moyens dont on dispose aujourd'hui. Enfin, une autre définition importante pour bien comprendre les différentes machines, être capable de les situer, est ce qu'on appelle le facteur de charge. Le facteur de charge représente la quantité d'énergie que l'on va effectivement retirer d'un système, rapportée à la quantité d'énergie potentiellement retirable de ce système s'il tournait en permanence à plein régime. Ce facteur de charge est une donnée qui est variable au sein d'une même journée, qui est variable géographiquement, donc c'est une variabilité spatio-temporelle. Aussi, on s'aperçoit que des

systemes peuvent être en sous-régime pendant que d'autres sont en régime nominal voire en surrégime. Le facteur de charge est donc aussi quelque chose que l'on peut exprimer de manière moyenne sur une période donnée. En général on utilise beaucoup le terme de facteur de charge sur une année, c'est-à-dire la production moyenne d'une machine sur une année.

## 2. Caractéristiques des ressources - température

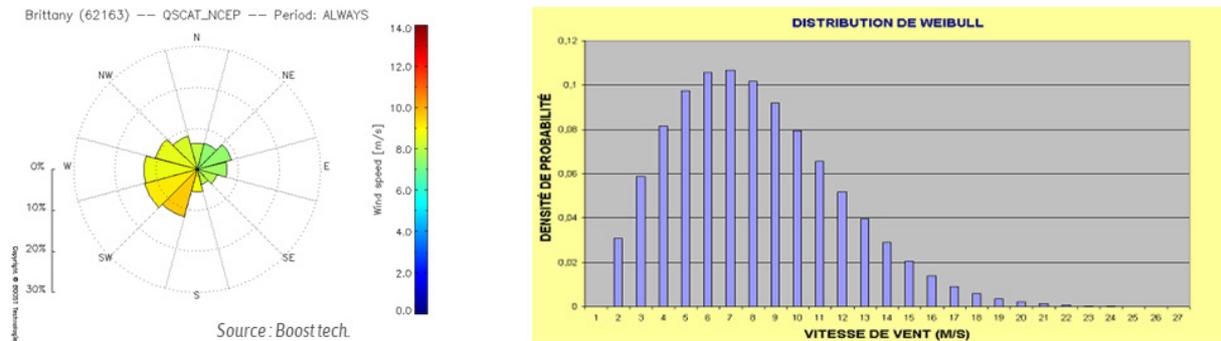
J'aimerais parler des différentes caractéristiques des ressources que l'on peut exploiter en énergies marines renouvelables. Je vais commencer par l'énergie thermique des mers qui se base sur le gradient de température, c'est-à-dire sur la différence de température que nous avons entre les eaux de surface et les eaux profondes. Cette différence de température permet de faire fonctionner des machines thermodynamiques. On voit bien que sur le graphique ci-dessous, cette notion de température, en particulier sur les eaux de surface est quelque chose qui peut varier d'un moment de l'année à un autre, même dans la ceinture intertropicale où sont particulièrement efficaces les systèmes d'énergie thermique des mers. Il y a des saisons et donc des variabilités de température. Le trait rouge représente la température moyenne et on voit la variation sur l'année autour de cette température moyenne. Le facteur de charge pour celle-ci est de 30 %.



## 3. Caractéristiques des ressources – vents et courants

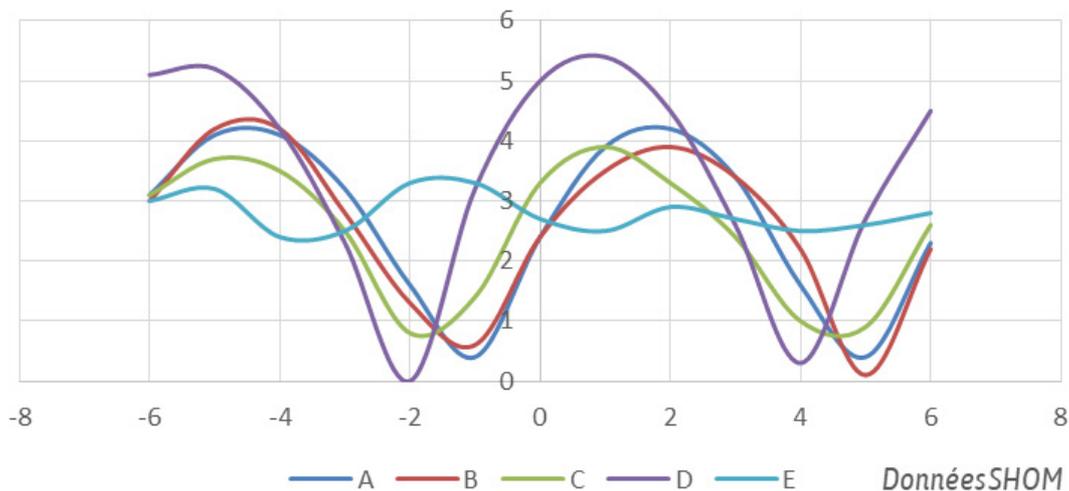
La deuxième ressource que j'aimerais présenter est celle des vents et des courants. Ce n'est pas tout à fait la même chose. Pour le vent, le fluide est l'air ; pour le courant, le fluide est l'eau. Mais le principe de fonctionnement des machines que l'on met dans ces deux types de ressources-là sont assez identiques donc on a l'habitude de souvent les associer. Là aussi on

a une variation spatio-temporelle. On s'aperçoit (figure ci-dessous) qu'il y a une répartition de la force et de la direction des vents pour une éolienne. On peut aussi voir la répartition des courants.



Sur la figure ci-dessous, on voit la quantité d'énergie et la vitesse de courant à différents points autour de Saint-Malo. On est vraiment sur un espace qui n'est pas très étendu mais on s'aperçoit que la valeur des fonds, la bathymétrie fait que l'on peut trouver une énergie qui est variable dans une zone particulière. Cela voudra dire que lorsqu'on fera un système d'énergie thermique des mers et bien, on fera très attention à l'endroit où on va installer la machine pour obtenir le meilleur de l'énergie.

Courants autour de Saint Malo  
Vitesse (m/s) en vives-eaux (95<coef<120)



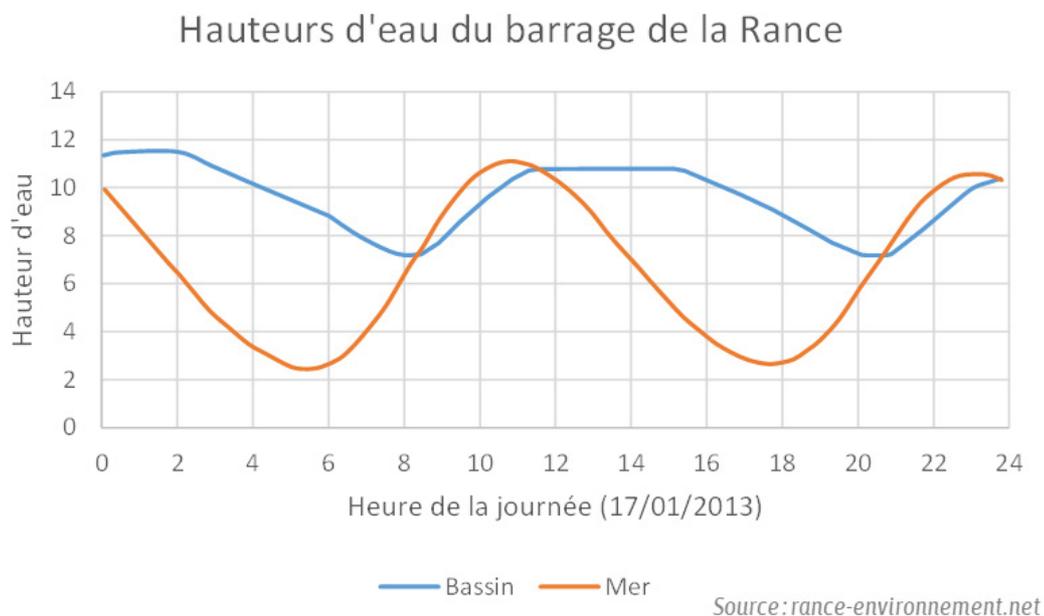
#### 4. Caractéristiques des ressources – vagues et houle

Une autre énergie qu'il est possible de capter en mer est celle des vagues ou de la houle. En général, on a l'impression que - quand on regarde ça de loin -, c'est un mouvement sinusoïdal et que les molécules d'eau montent et descendent et que c'est tout ce qu'elles

font. Mais c'est bien loin de ça. Les molécules d'eau se déplacent, mais en plus de se déplacer verticalement en montée et descente, elles se déplacent aussi dans le sens de la houle. Les machines doivent donc tenir compte de ce type de fonctionnement de la ressource. En plus, la ressource est variable en hauteur. On a de grands mouvements en surface et plus on va vers le fond et moins les mouvements sont importants. Mais ils existent toujours, ce qui autorise de mettre des machines en surface ou dans la veine d'eau. Le facteur de charge pour les vagues c'est de l'ordre de 30 à 50 %.

## 5. Caractéristiques des ressources – vagues et houle

Je terminerai avec les marées où là on va jouer sur la différence de hauteur, ce que l'on appelle le marnage, entre les parties les plus basses et les plus hautes d'une marée. Dans les sites les plus énergétiques au monde, on peut aller de 10 à 20 mètres. Par exemple, le record est la baie de Fundy, au Canada mais on a aussi l'estuaire de la Severn au Royaume-Uni ou encore l'estuaire de la Rance en France qui sont des lieux particulièrement énergétiques. Le graphique ci-dessous vous montre la différence de hauteur sur une journée complète - donc sur 24 heures -. Vous avez la différence de hauteur entre, en rouge, la marée et, en bleu, le réservoir derrière le barrage de l'usine de la Rance. On voit d'ailleurs que sur la plage 12h - 16h, le réservoir va être à une hauteur légèrement inférieure à la hauteur de la mer, alors qu'au contraire, sur la plage précédente, entre 0 et 2h du matin, là, on aura surchargé le réservoir. Le facteur de charge est de 30 %.

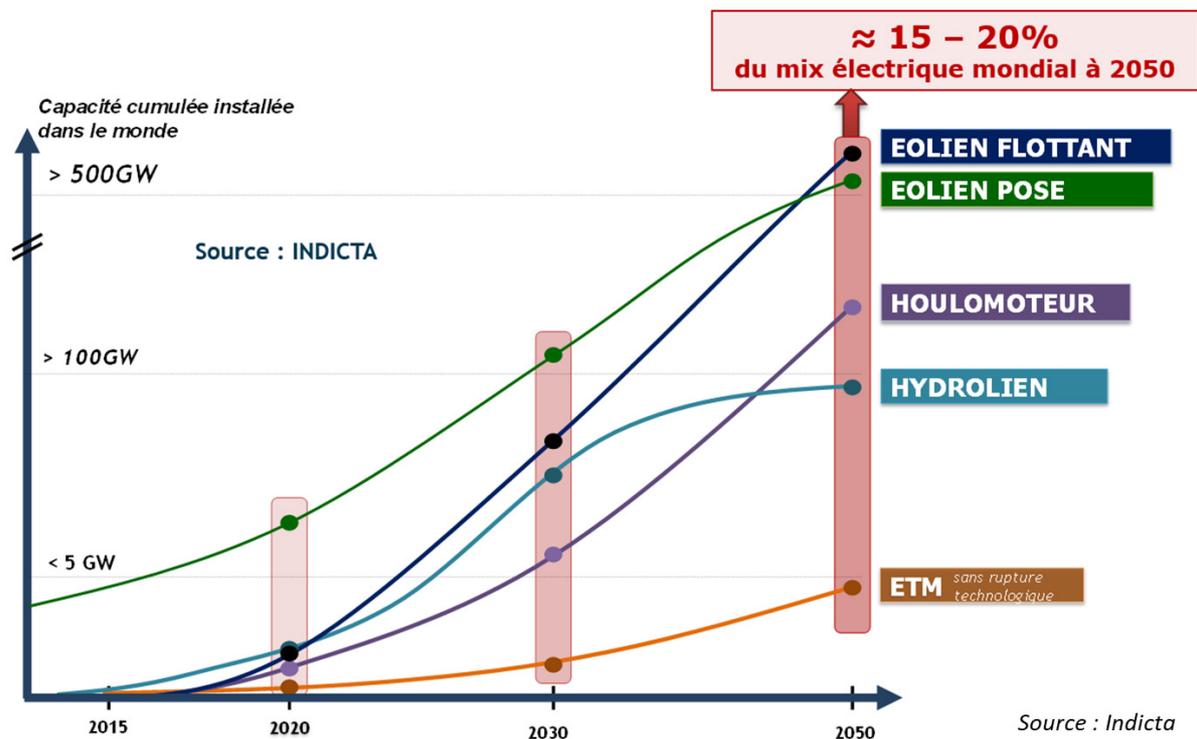


Puisque je viens de parler de ces facteurs de charge, j'aimerais juste rapidement montrer comment on obtient ces valeurs-là. Typiquement, l'usine de la Rance est dimensionnée avec une valeur pic de 240 MW, c'est-à-dire qu'elle a 24 turbines de 10 MW chacune et on sait que l'usine de la Rance par expérience, depuis le milieu des années 60, produit en moyenne

550 GWh par an. Donc si on ramène ça au nombre d'heures possibles dans l'année, potentiellement, on va obtenir 240 multiplié par le nombre d'heures possibles dans l'année, on va obtenir un chiffre et si on divise 550 par ce chiffre, on obtient 26 %. C'est le rendement usuel d'une usine marémotrice.

## 6. Progression des EMR

Avant de rentrer dans le détail des différents systèmes, je présente sur la figure ci-dessous une vue prospective des différentes sources d'énergies marines renouvelables où on voit la progression de ces énergies.



Si on est optimiste, on croit qu'elles vont croître d'une manière importante mais on s'aperçoit quand même de certaines choses. Le graphique montre qu'il y a deux énergies qui ont une inflexion : l'éolien posé et l'hydrolien. Les éoliennes posées ont commencé bien plus tôt que toutes les autres technologies, on le voit en début de la courbe. On commence déjà en 2012 à avoir un certain nombre de machines posées et on s'aperçoit que les éoliennes flottantes qui ont démarré beaucoup plus tard puisqu'on est en plein démarrage de ces technologies-là, vont vers 2050 passer au-dessus des éoliennes posées.

Pourquoi ? Tout simplement parce que les sites potentiels d'installation d'éolien posé sont limités en nombre et donc par voie de conséquence, tous les sites vont être appareillés au bout d'un moment et le seul potentiel de développement qu'on aura ce sera sur l'éolien flottant. Pour l'hydrolien, on est dans une situation à peu près identique : lorsque l'on aura

installé les sites, ce sera absolument terminé. L'ETM ne représente pas beaucoup de sites mais il représente une véritable chance pour des zones géographiques très particulières comme par exemple les îles de la ceinture intertropicale. Les estimations, pas forcément les plus optimistes, peuvent nous amener à penser que de l'ordre de 15 à 20 % du mix énergétique électrique mondial sera assuré par les énergies marines renouvelables à l'horizon 2050.