

Les énergies de la mer

Une nouvelle filière industrielle : l'hydroélectricité des courants

Hervé Majastre, Jean-François Daviau
Hydrohélix Énergies

Les océans et les mers sont des sources gigantesques d'énergie renouvelable. Dans cet article, nous ne parlerons pas des réserves de matières premières stockées dans les océans que l'homme utilise à des fins énergétiques (telles que les énergies fossiles), mais uniquement des énergies du milieu marin et en particulier de celle qui nous semble la plus prometteuse : l'hydroélectricité des courants de marée.

La ressource des courants de marée

L'estimation d'une ressource énergétique est basée sur les hypothèses d'exploitation. Ainsi les premières estimations de 1980 donnaient le chiffre de 30 000 MW (mégawatt = 1 million de Watt) de puissance électrique exploitable, la base technologique permettant de faire ce calcul était celle mise en œuvre pour le barrage de la Rance.

Les courants de marées ne sont pas encore exploités et les techniques, bien qu'apparentées à l'éolien, ne sont pas encore matures. L'industrie française peut s'implanter dans ce marché émergent de l'équipement « hydrohélien ». Les données techniques de l'éolien, appliquées au milieu marin, proposent de nouvelles hypothèses de calcul pour évaluer le potentiel énergétique des courants de marée. Le projet européen piloté par Technomare publiait ses résultats en 1996 : l'énergie électrique produite « économiquement » en Europe par cette ressource pourrait représenter 48 TWh (térawatt / heure = 1 milliard de kWh) par an, pour une puissance cumulée de 12 500 MW. À titre de comparaison, la France, premier producteur européen d'hydroélectricité de barrage, possède 25 400 MW de puissance pour une production moyenne de 70 TWh par an.

Ceci montre que le niveau de production de cette énergie est bien à la taille de l'Europe (la ressource représenterait 1,5 % de la production électrique européenne) et que le taux de fonctionnement des installations marines est plus important que le taux moyen des installations terrestres. Pour une comparaison plus précise, il serait important de différencier les différentes technologies qui exploitent la ressource des eaux de ruissellement : les hautes chutes, les moyennes chutes et le fil de l'eau.

L'étude précédente identifie 106 sites propulsifs pouvant être équipés par des techniques hydrohéliennes (la liste n'est pas exhaustive), dont la zone comprenant les îles Anglo-normandes et le cap de la Hague qui représenterait le tiers de la capacité de production européenne avec 4 500 MW de puissance et 14 TWh d'énergie annuelle.

D'autres évaluations faites par les projets en cours d'expérimentation indiquent un potentiel bien plus important :

- Le projet norvégien parle de 450 TWh d'énergie électrique produite annuellement au niveau mondial, soit l'équivalent du niveau de la production électrique française en 1998.
- La société canadienne Blue Energy a réalisé une étude pour évaluer le potentiel énergétique de la dorsale des Philippines, elle a estimé à une puissance cumulée de 23 000 MW.
- La société française Hydrohélix Énergies a, dans une première approche nationale, quantifié à plus de 250, les sites français susceptibles d'être équipés, cumulant une puissance supérieure à 6 000 MW qui produiraient plus de 25 TWh, soit un tiers de la production hydroélectrique française.

Les deux avantages majeurs de la ressource énergétique de la marée sont qu'elle est inépuisable et son caractère prédictible, car les horaires et les amplitudes de l'onde de marée sont calculables.

De plus, un phénomène particulier à la Manche rend cette ressource française encore plus attrayante, l'onde de marée s'y propage le long des côtes et le rétrécissement progressif du détroit d'Ouest en Est amplifie les courants et les marnages. Cette propagation permet de calculer le foisonnement de la puissance électrique répartie sur l'ensemble des côtes bretonnes et de la Manche. Le résultat montre que les installations produiraient « en base », tout au long de l'année une puissance de 3 000 MW, soit l'équivalent de trois centrales nucléaires.

Les technologies pour la production d'hydroélectricité de marée

Les technologies présentées sont celles qui fonctionnent sans barrage, les systèmes de production sont installés en eau libre. L'énergie des courants est, comme le vent, régit par la loi de l'énergie cinétique E_c^1 , qui dans le cas des fluides est : $E_c = \rho S V^3$. L'énergie électrique récupérable en ligne serait équivalente à 30 % de celle calculée selon l'équation ci-dessus. La question est : Comment récupérer le maximum de l'énergie diffuse des courants pour produire de l'électricité au prix du marché ?

La première démarche pour prévoir un investissement rentable est d'identifier un site où la vitesse (V) des courants est forte, des études de courantométrie sont réalisées afin d'atteindre les caractéristiques de vitesse du site. Dans le cas de la technologie développée par la société française, la vitesse de démarrage de l'installation est d'un minimum de 1 m/s et le rendement maximum de l'installation est obtenu pour une vitesse 3 fois supérieure à la vitesse de démarrage de l'installation.

La deuxième démarche est de caractériser le site dans sa morphologie, bathymétrie, géomorphologie, ceci afin de déterminer la deuxième variable : la surface du capteur. La bathymétrie est un des paramètres déterminant la hauteur de l'installation, un autre est le tirant d'eau des navires susceptibles de passer au-dessus de l'installation.

Le capteur est la partie essentielle de la machine ; elle permet de transformer l'énergie cinétique du flux en énergie mécanique utilisable par l'homme. La résultante est un mouvement soit rotatif, soit alternatif (une description approfondie sera faite lors de la présentation des différents projets). En fonction de la nature du capteur (multipales, Darius, Savonius, nageoire caudale...), le rendement de transformation de l'énergie du flux en énergie mécanique diffère. Il est fonction de :

- la technologie de captage ;
- la forme et de l'orientation des pales ;
- la gamme de vitesses exploitée ;

¹ Rappel : ρ : masse volumique du fluide (dans le cas de l'eau, ρ est de 1024 kg/m³) ; V : vitesse du fluide ; S : la surface du capteur perpendiculaire au courant.

- la nature de l'écoulement (linéaire ou turbulent).

Les technologies en cours d'industrialisation

Depuis une dizaine d'années, de nombreux projets industriels ont été montés afin d'exploiter l'énergie des courants marins. Ils se différencient, soit par la technologie, soit par des choix techniques, aucun projet n'est mature et aucun système n'a montré d'avantage vis-à-vis des autres, les années à venir vont être déterminantes pour les développements en cours et pour l'économie des régions et des pays qui auront favorisé ces développements.

Les technologies continues

Les turbines dites « hélices » ou rotors

Le capteur est une turbine à plusieurs pales dont :

- la surface de captage est perpendiculaire au flux, le capteur est plan ;
- l'axe de rotation est horizontal et parallèle à la direction du courant.

Les techniques sont des dérivées de la technologie éolienne la plus répandue et des turbines Kaplan (technique installée dans le barrage de la Rance). Dans le cas des courants de marée, qui sont bidirectionnels, il y a deux possibilités pour le capteur :

- la turbine est monodirectionnelle et le système est orientable ;
- la turbine est bidirectionnelle et fixe.

Nous présentons dans le tableau suivant les différences entre ces deux possibilités :

Capteur	Avantages	Inconvénient
Monodirectionnel	Rendement de captage jusqu'à 45 %	Mécanisme d'orientation complexe - pales dissymétriques
Bidirectionnel	Simplicité mécanique Pales symétriques	Rendement de captage de l'ordre de 35 %

Afin d'optimiser les performances des turbines et d'optimiser les rendements de captage, un mécanisme d'orientation des pales peut être ajouté, mais il complique la mécanique et il est susceptible d'augmenter les travaux de maintenance. Actuellement sept projets, dont cinq européens, sont en cours de montage ou d'expérimentation. Hydrohelix Énergies veut exploiter ce type de capteur à hélice, nous expliquerons et motiverons plus loin les choix et les différenciations qui ont été faits.

Les turbines Darius

Le capteur possède un axe de rotation et plusieurs pales symétriques verticaux. Le captage se fait dans un volume (cylindre vertical) et ne nécessite aucun système d'orientation du capteur. Un avantage technologique, pas forcément réalisable, est que la génération électrique peut être réalisée directement en surface. Le rendement de captage de la puissance hydraulique peut atteindre 41 % pour les grandes unités (cas de l'éolien). Un inconvénient est que le système n'est pas auto-amorçable, il a besoin d'être lancé.

Deux projets revendiquent cette technologie pour la production d'hydroélectricité à partir des courants marins : le projet canadien de la société Blue Energy et le projet italien de la société Ponte Di Archimede.

La technologie venturi

Le projet utilise le principe du venturi. Un système est placé dans le courant, créant une dépression qui met en circulation, dans un circuit périphérique, un flux d'eau ou d'air qui entraîne la turbine.

La technologie alternative

Le projet Stingray de la société anglaise Engineering Business est basé sur le concept de la nageoire caudale des mammifères marins. Le capteur est une pale symétrique horizontale installée au bout d'un bras qui bat dans le courant, créant un mouvement vertical oscillant. Ce mouvement alternatif entraîne le générateur.

Les avantages des turbines carénées

La technologie développée par la société française est particulièrement bien adaptée aux sites propulsifs de faible profondeur. Les turbines sont fixées au fond et elles sont associées les unes aux autres par les bords du carénage, minimisant ainsi toutes les pertes énergétiques liées aux turbulences sur les bords des installations.

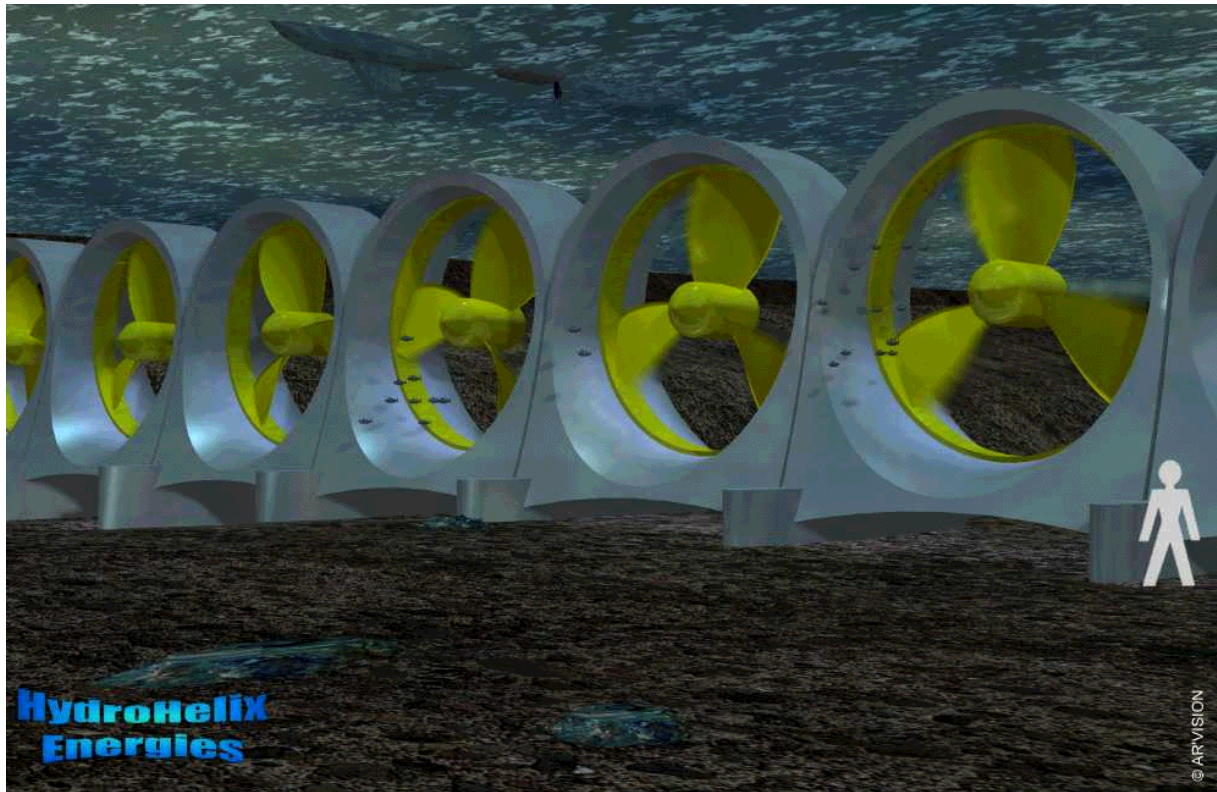
Il s'agit de privilégier la simplicité du capteur afin de minimiser la maintenance technique et donc de réduire le coût de possession. Dans la technologie française proposée :

- les pales sont fixes et symétriques afin de pouvoir capter l'énergie du flux dans les deux directions sans mécanisme d'orientation ;
- le carénage, formant un convergent – divergent symétrique, concentre le flux. Le gain en rendement de captage (Watt /m^2 de turbine) est supérieur à 25 % par rapport au même capteur en eau libre ;
- le carénage protège les systèmes de tout choc potentiel.

Une option de la technologie française est de déporter la transmission d'énergie à la périphérie des pales sur une roue solidaire des pales. La roue entraîne directement l'arbre de la génératrice par l'intermédiaire d'un galet. Ce système simple évite d'introduire un multiplicateur dans la chaîne cinématique et réduit les interventions de maintenance. Un autre avantage de la roue est qu'elle peut entraîner plusieurs génératrices électriques, qui seront successivement connectés en fonction de la puissance de captage disponible.

Les sites ciblés par la technologie hydrohélicienne sont côtiers et de faible profondeur (le minimum prévu est – 30 mètres). Les courants y sont particulièrement forts, ce qui est favorable pour l'installation d'unités de production hydroélectrique de forte puissance. Les coûts d'installation en mer sont importants. **Seuls les sites de grandes puissances de flux permettront d'obtenir des coûts de production compétitifs** par rapport aux coûts actuels de l'électricité du réseau français (qui varient de 3,5 à 15 cents d'euro par kWh suivant les moyens de production).

On espère arriver à un coût de production de l'électricité de 4 cents d'euro par kWh pour des installations de quelques mégawatts, à comparer au prix de vente par la société EDF de l'électricité en heure creuse de 5,28 cents d'euro hors taxe et de 8,63 cents d'euro en heure pleine.



Conclusion

Les énergies renouvelables vont se développer, avec ou sans technique nationale, sous la pression des marchés internationaux et ainsi elles prendront une part de plus en plus importante dans le bilan de la production énergétique, en contribuant à réduire la production des gaz à effet de serre et le réchauffement atmosphérique. Totalement négligés, les mers et les océans sont des gisements très importants d'énergies renouvelables (sans parler des ressources du monde vivant). Les technologies captant ces énergies n'en sont qu'à leur début.

Tous les pays (hors la France) qui ont un gisement d'énergie des courants marins côtiers ont au moins un projet en cours d'expérimentation. L'hydroélectricité des courants de marée sera bientôt en mesure d'alimenter les foyers européens. L'estimation de la production électrique à partir de cette ressource d'énergie, pour l'Europe, représente l'équivalent de 9 % de la production d'EDF pour l'année 2001, soit 48 TWh.