



*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.*

## *Eoliennes marines et énergie thermique des mers*

**Jean-Yves PRADILLON**

*Responsable du mastère sur les énergies renouvelables marines  
ENSTA BRETAGNE*

Parmi les énergies marines renouvelables, celle que l'on peut voir déjà, qui existe depuis longtemps dans les pays du nord de l'Europe en particulier, qui sont les plus connues du grand public, ce sont les éoliennes.

Alors en fait il y a deux types d'éoliennes :

- Celles qui sont connues ce sont les éoliennes dites posées, c'est-à-dire dont les fondations reposent sur le fond de la mer.
- Et puis on a aussi des éoliennes flottantes.

Donc, ces deux types d'éoliennes ont quand même un certain nombre de points communs mêmes si on va les distinguer par leurs fondations.

- La première chose, c'est qu'on constate, et ça l'expérience des pays du Nord peut nous le prouver, c'est que la ressource en termes de vent que voit une éolienne en mer, est meilleure que la ressource telle qu'on la trouve à terre.

Alors d'abord qu'est-ce que ça veut dire meilleure ?

- ⇒ Et bien meilleure, ça veut dire l'intensité, la force du vent et aussi, l'altitude à laquelle on peut commencer à trouver un vent de bonne qualité.
- Alors sur le graphique, en haut à droite de ce transparent, et bien on s'aperçoit que (vous voyez les formes de ces trois dessins sont assez typiques), pour aller chercher un vent d'une intensité suffisante, on est obligés de monter bien plus haut à terre que dans une zone très dégagée comme un désert ou la mer et la raison, elle est simple, c'est qu'à terre on va trouver des obstacles, que ce soient des obstacles humains, des immeubles, des constructions, ou bien des forêts, des collines qui vont influencer sur la qualité de la ressource.
- Alors malheureusement en mer, on a à payer ça sous une autre forme, c'est que l'environnement est bien plus sévère.
- Alors on le représente sur le dessin de droite, on voit que l'éolienne va avoir à subir des efforts dus au vent (et encore heureux puisque c'est ça qu'on va chercher dans une éolienne, à maximiser la pression du vent sur les hélices qui constituent les pales de l'éolienne), mais on va aussi avoir des chargements qui sont causés par l'environnement marin, donc les vagues, la houle, des vagues déferlantes, etc. Ça c'est la première chose que l'on peut constater.
- Mais il faut savoir que l'environnement est très sévère sur des choses peut-être moins évidentes comme par exemple le fait que l'air marin ait un niveau d'hygrométrie bien supérieur à l'air terrestre et qu'aussi c'est un air salin.
- ⇒ Donc cette présence de sel et d'humidité va être très néfaste à toute la machinerie, en particulier électrique et donc il faudra faire attention et protéger les machines plus particulièrement en mer par rapport à ce qui se fait à terre.
- On va aussi avoir des conditions d'entretien et d'installation qui seront bien différentes qu'à terre puisqu'il faudra pouvoir accéder aux machines et on sait que la mer ne laisse pas forcément toujours la possibilité d'accéder.
- ⇒ Lorsque la mer est trop forte et que des bateaux ne peuvent pas naviguer.

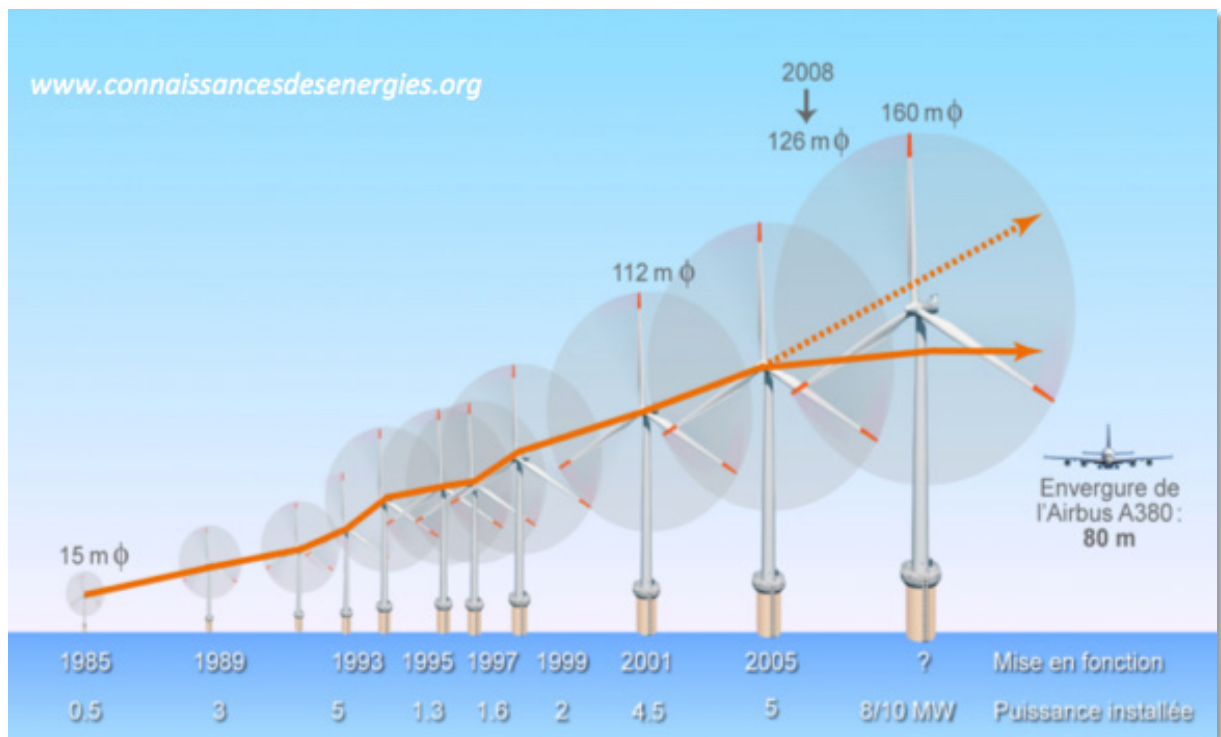
Alors, aujourd'hui, toutes ces contraintes nous amènent à concevoir des machines qui sont légèrement différentes des machines que l'on trouve à terre.

Les deux grandes familles de turbines que l'on va installer sur ces machines, donc les turbines qui sont chargées de produire l'électricité sous l'effet de la rotation des pales d'hélices sont :

- Soit des turbines à multiplicateur, c'est-à-dire avec une boîte de vitesses pour faire simple ;
- Soit des turbines à entraînement direct.

- Alors, les turbines à entraînement direct, ce qu'elles vont avoir comme effet c'est qu'elles vont tourner plus lentement et donc ça génère des sortes de turbines qui, d'un point de vue électrique, sont particulières.

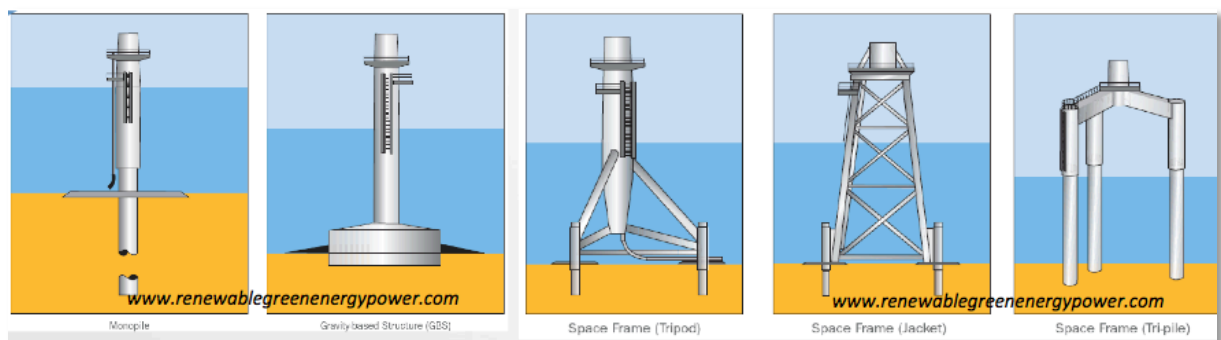
Quelles sont les dimensions aujourd'hui des éoliennes ? Et bien, on trouve dans les cartons des laboratoires de recherche les dernières machines qui sont en train d'être conçues qui sont alentours de 160 mètres de diamètre.



⇒ A titre de comparaison, l'envergure, toute l'envergure de l'Airbus A380 est aux alentours d'une cinquantaine de mètres et donc là on a des pales de 80 mètres, donc qui sont plus longues que l'envergure totale de l'Airbus A380.

⇒ La vitesse de rotation est de l'ordre de 12 à 20 tr/m.

Alors, ces éoliennes se trouvent soient posées, c'est-à-dire que leur fondation va descendre et va s'appuyer au fond de la mer.



- Alors, on a quelques exemples ici : des monopiles, des plates-formes gravitaires qui vont tenir simplement par l'effet du poids de leur socle, des mâts tripodes avec pieux battus, des mâts Jacket qui ressemblent beaucoup à ce qu'étaient les plates-formes offshore du début de l'extraction pétrolière en mer.
- Dont différents types de technologies. Le point commun c'est qu'on va aller jusqu'au fond de la mer avec des pièces rigides.
- ⇒ Ça, ça suppose de ne pas dépasser 50 à 60 mètres de fond, parce qu'au-delà, la conception de la machine on sait faire, mais on atteindra des prix qui feront que la machine n'est pas rentable.
- Toutes ces fondations sont très largement inspirées du monde du parapétrolier, donc de l'offshore oil and gas comme on dit en anglais, c'est-à-dire de l'extraction du pétrole et du gaz en mer.
- Sur les éoliennes posées, un certain nombre d'experts s'accordent pour dire que le potentiel techniquement exploitable au niveau mondial est de l'ordre de 1000 GW installés.

Les autres Éoliennes que l'on trouve en mer, sont des éoliennes flottantes. Alors là, l'idée est à peu près la même, sauf que la fondation, au lieu de rejoindre le fond de l'océan, va flotter entre deux eaux et elle sera ancrée au sol simplement ancrée, la liaison entre la plate-forme et le fond se fera uniquement par des ancres.

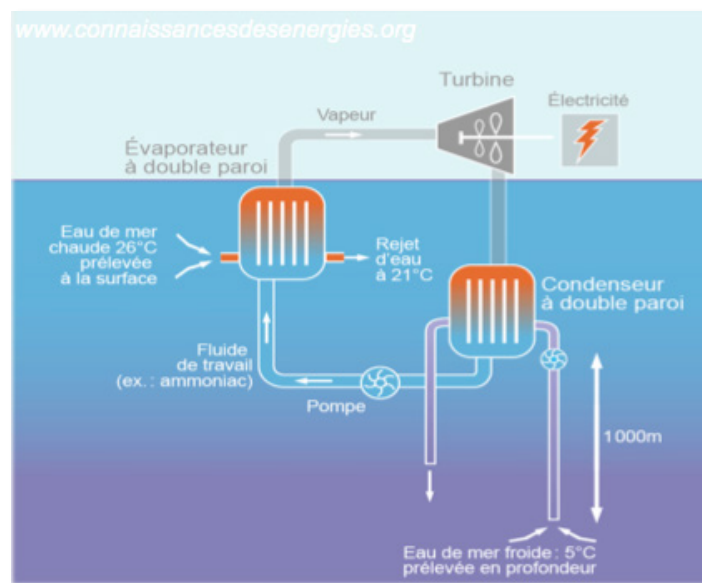
- Alors, cette technologie nous ouvre un champ des possibles bien plus important, c'est-à-dire que le PTE de l'éolien flottant est de 3500 GW au lieu des 1000 GW précédemment cités.
- Par contre, c'est plus loin des côtes, c'est donc avec des techniques d'installation qui seront plus coûteuses et là aussi, on va s'inspirer des expériences du parapétrolier pour déterminer la forme et le fonctionnement des fondations flottantes.
- Alors, les risques sont plus faibles sur les machines flottantes parce qu'il y aura moins de conflits d'usage et donc plus de facilités de trouver des sites où seule l'exploitation de l'énergie en mer sera



cohérente.

Je voudrais terminer cette petite présentation par l'introduction de l'énergie thermique des mers.

- Ce sont des machines thermodynamiques qui jouent, comme on peut le savoir, sur la différence de température entre les eaux de surface et les eaux de fond.
- Pour qu'une machine de type énergie thermique des mers puisse fonctionner, il faut que la différence de température entre les eaux de fond et les eaux de surface soient de l'ordre de 22°C minimum de différence de température.
- Alors ça se veut dire quoi ? Ça veut dire que pour avoir des telles différences, on est obligés de se rendre dans des eaux de la ceinture intertropicale de manière à avoir des eaux de surface entre, on va dire, 23 - 24 et 30°C de surface et il va falloir donc aller chercher de l'eau qui sera 22°C moins chaude que ça et ça, ça nous oblige à aller pomper de l'eau froide dans les profondeurs, à des profondeurs de 600 à 1000 mètres de fond.



- Sinon, le principe de fonctionnement sur un cycle fermé, dit cycle de Rankine est assez simple : on a un circuit primaire qui, au lieu d'être fait à base d'eau comme c'est le cas dans une centrale nucléaire par exemple, est fait à base d'ammoniac, on va vaporiser l'ammoniac avec la température des eaux de surface et on va refroidir l'ammoniac pour le rendre de nouveau à l'état liquide donc dans un condenseur, qui lui fonctionne à partir de l'eau de fond qui est aux alentours de 4 - 5°C.
  - La puissance qu'on peut attendre des plus grosses stations ETM est de l'ordre de 10 à 30 MW par station et on a aujourd'hui un certain nombre de projets dans le monde.
- ⇒ Il n'y en a pas beaucoup, donc là on va citer les deux principaux :

- En France, DCLS a un projet à l'île de la Martinique et à l'île de la Réunion sur des plates-formes qui seront de l'ordre de 16 MW.
- ⇒ Aujourd'hui DCLS annonce la possibilité de pouvoir donner l'indépendance énergétique de l'île de la Réunion avec deux plates-formes de types ETM.
- Et on a le plus ancien mais peut-être le moins actif, Hawaï, aux Etats-Unis, où des essais sont faits par le NELA, qui est le laboratoire de recherche hawaïen sur les énergies nouvelles.
- Le potentiel techniquement exploitable de l'ETM est de 150 GW parce que le nombre de zones où on peut l'installer est assez réduit.
  - En revanche, le facteur de charge des machines ETM est assez intéressant et c'est certainement le système de production d'énergie en mer qui est le plus fiable au point de vue durabilité de production puisque les machines tournent 24/24h, on a simplement à les mettre à l'abri lors d'arrivée de cyclones et aussi, on peut les mettre à l'abri lorsqu'il faut faire des maintenances et des réparations sur les machines.

Le point commun entre les différentes techniques que je viens de présenter, que ce soit l'éolien ou l'énergie thermique des mers, c'est que ce sont des machines qui sont très sollicitées par l'environnement et en particulier le critère de dimensionnement principal de ces machines est ce que l'on appelle la fatigue, c'est-à-dire la capacité de la machine à endurer des charges cycliques pendant une longue période et c'est le point qui est le plus délicat à traiter par les ingénieurs qui conçoivent ces machines.