



MOOC

# Énergies Renouvelables



UVED

Université Virtuelle Environnement  
& Développement Durable

*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.*

## *Caractéristiques et dynamique des énergies disponibles en milieu marin*

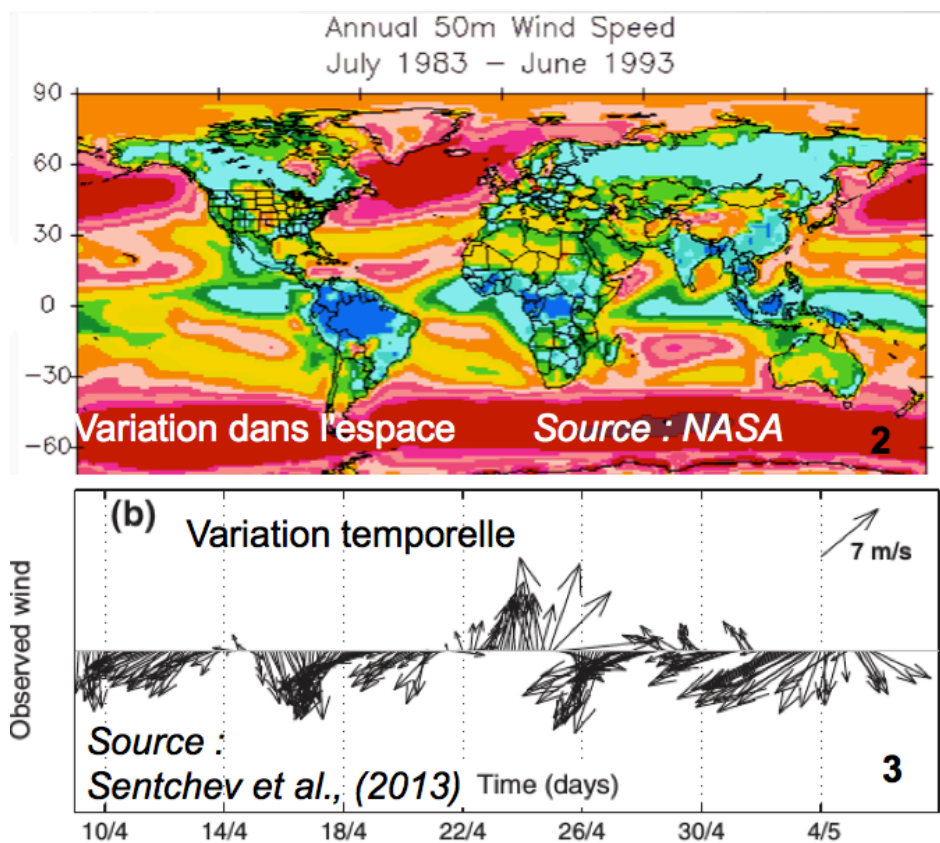
**Jean-François FILIPOT**

*Responsable de la recherche sur la caractérisation de la ressource énergétique marine – France Energies Marines*

Donc vous avez certainement entendu parler des ressources en énergies marines renouvelables, mais en fait quelles sont-elles ?

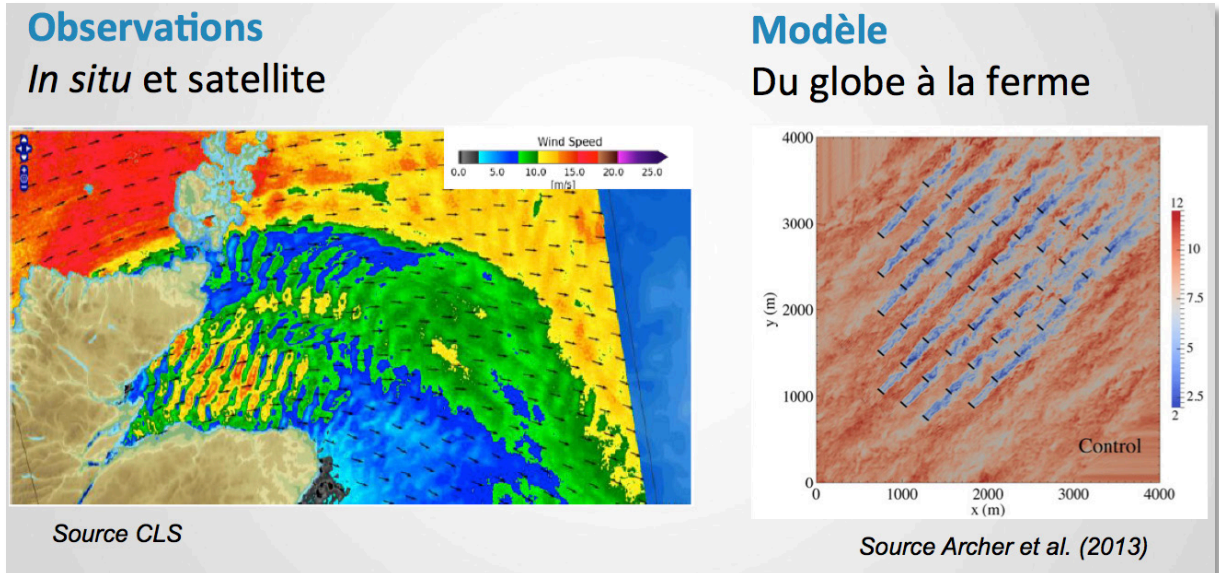
- La première, c'est la ressource éolienne qui est associée au vent.
- La seconde, la ressource hydrolienne, provient du courant de marée.
- La troisième, qu'on abordera dans cette présentation, c'est la ressource houlomotrice qui provient des vagues.
- La quatrième, l'énergie thermique des mers est associée à la différence de température entre eaux de surfaces et eaux de fond.
- Et enfin la cinquième, l'énergie osmotique, est due à la différence de salinité entre des eaux continentales et des eaux océaniques.
- La ressource éolienne est caractérisée par son caractère intermittent. Le vent varie dans le temps, avec l'altitude et dans l'espace.

- Donc la variation avec l'altitude est illustrée par la figure de gauche où l'on peut voir que le vent diminue lorsqu'on se rapproche de la surface de l'océan et cette diminution est associée au frottement de l'écoulement sur l'eau.
- La variation dans l'espace est illustrée par la figure de droite où l'on peut voir le vent moyenné sur 10 ans à 50 mètres d'altitude et l'on retrouve bien les grands types de climats classiques, c'est-à-dire les systèmes dépressionnaires en haute et moyenne altitude (en rouge) et les systèmes de type alizés aux latitudes tropicales (en rose).



- Alors le vent varie également dans l'espace à des échelles plus fines. Typiquement lorsqu'un orage a lieu, la variation du vent se fait sur des échelles plutôt de l'ordre de quelques kilomètres.
  - La variation dans le temps également peut prendre différentes formes. Elle peut varier sur des périodes de l'ordre de 24 heures, comme lors d'un passage d'une dépression, puis varier sur des périodes de l'ordre d'une heure comme lors d'un orage ou alors sur des périodes beaucoup plus courtes du type une seconde : c'est ce qu'on appelle communément les rafales.
- ⇒ Donc ces rafales sont associées au processus turbulents qui ont lieu lorsque justement le vent frotte à la surface de l'océan.

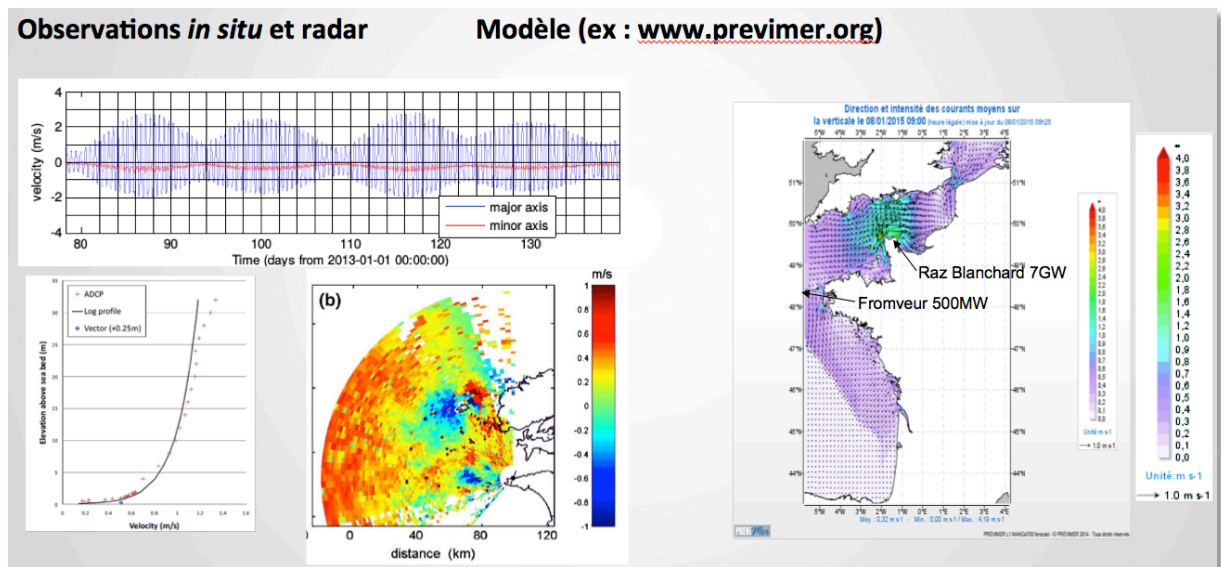
- Pour illustrer les variations spatiales, je vous propose de consulter les deux images qui sont sur cette diapositive : à gauche, c'est une image qui provient d'un radar à synthèse ouverture déployé depuis un satellite et qui présente la variation du vent à la surface de l'océan.



- ⇒ Et on observe en fait ici la génération d'ondes de gravité associée au passage du vent au-dessus de la topographie.
- ⇒ Donc ces ondes de gravité, on peut les voir grâce aux variations de couleur, de bleu à vert sur la figure de gauche.
- On peut également utiliser des modèles numériques pour caractériser l'évolution spatiale du champ de vent.
- ⇒ Alors, sur la figure de droite, on voit l'évolution du champ de vent à travers une ferme éolienne.
- ⇒ Donc chaque petit trait noir correspond à une éolienne et les couleurs de la figure correspondent à l'intensité du vent. Donc on voit très bien l'effet du sillage associé aux éoliennes et donc les variations très complexes du vent à l'échelle même d'une ferme.
- La ressource hydroléonienne est, de son côté, plus prédictible mais elle est cependant encore intermittente.
- Alors, cette prédictibilité, elle est associée au fait que le courant de marée dépend uniquement des forces astronomiques, donc de l'attraction de la Lune et du Soleil

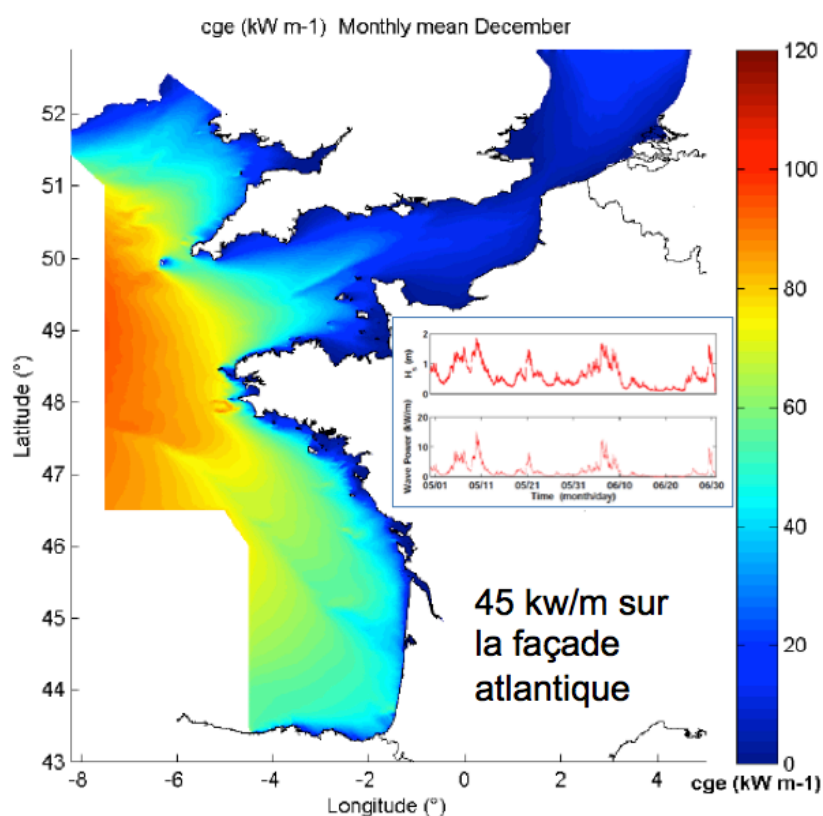
qu'on maîtrise très bien et qu'on est capables de prévoir dans le temps avec une très grande précision.

- L'amplitude de la marée, quant à elle, est contrainte par la configuration de la côte.
- ⇒ Ce que l'on appelle les phénomènes de résonance, donc d'amplification de l'onde comme par exemple dans la baie du Mont-Saint-Michel ou dans la baie de Fundy au Canada.
- La vitesse du courant est, elle, favorisée par des formes de bathymétrie plus particulières.
- ⇒ Donc la bathymétrie, c'est la forme du fond.
- ⇒ On va par exemple plutôt chercher des formes d'entonnoir qui par conservation du débit auront tendance à accélérer le fluide.
- Alors, pour illustrer donc ces variations temporelles et spatiales du courant de marée, je vous présente ici quelques illustrations.



- La première, c'est une mesure du courant acquise par un profileur de courant et qui montre l'évolution du courant sur plusieurs dizaines de jours.
- ⇒ Donc on observe deux grandes fréquences quand on regarde de près cette figure : la première c'est une période de l'ordre de 12 heures (donc qui est associée au cycle marée montante - marée descendante), et la seconde c'est une oscillation de l'ordre de 14 jours.

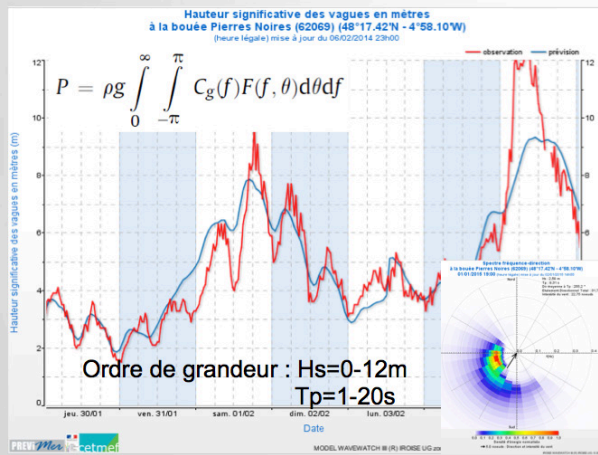
- ⇒ Donc on voit bien une enveloppe qui va moduler les modulations hautes fréquences et qui est associée aux variations de cycle mortes eaux et vives eaux.
- ⇒ Sur la figure en bas à gauche, on peut voir l'évolution du courant en fonction de l'altitude par rapport aux fonds et on retrouve la même forme d'évolution que pour le vent.
- ⇒ Donc c'est logique puisque le courant frotte également sur la bathymétrie donc sur le fond de la mer.
- Donc sur la figure de droite, on peut voir une sortie d'un modèle numérique qui prévoit l'évolution du courant de marée sur le littoral français et en fait, ce que je vous ai dit toute à l'heure, lors de la diapositive précédente, c'est que le courant est favorisé donc par une configuration de la côte particulière et par une configuration de la bathymétrie particulière.
- ⇒ Donc ces critères sont réunis en particulier pour deux sites en France : le Raz Blanchard, au nord du Cotentin où la ressource atteint 7 GW et le Front Veur, au large de la Bretagne, entre les îles d'Ouessant et de Bannec, où la ressource atteint 500 MW.
- La ressource houlomotrice est elle-même aussi intermittente car les vagues sont générées par le vent qui est à la base intermittent. Mais cette ressource est également modulée par la profondeur pour deux raisons :
  - La première c'est que les vagues, lorsqu'elles atteignent le plateau continental ou des profondeurs de l'ordre de 100 à 200 mètres, commencent à sentir le fond et donc frottent sur le fond. Ce frottement engendre une dissipation de l'énergie et donc ce phénomène est très bien visible sur la carte de la ressource houlomotrice que l'on peut voir à droite où l'on voit que les couleurs passent de l'orange au jaune et au vert et enfin au bleu lorsqu'on se rapproche de la côte.
  - Enfin, lorsque l'on arrive à une distance très proche de la côte, le processus de déferlement va dissiper le reste d'énergie sur une distance vraiment encore plus courte.



- La ressource houlomotrice, elle peut-être quantifiée par deux types d'outils : soit des modèles, soit des observations.
  - Pour les modèles, on va distinguer les modèles spectraux des modèles déterministes.
    - Les modèles spectraux vont chercher à représenter l'évolution du spectre des vagues.
      - ⇒ Donc le spectre des vagues, c'est la représentation de l'énergie des vagues en fonction des fréquences et des directions.
      - Alors que les modèles déterministes vont chercher à reproduire l'évolution de la surface libre en tous points.
        - ⇒ L'illustration de droite montre l'évolution de la surface prédite par le modèle déterministe appliqué à l'île d'Hawaï.
    - Sur la figure de gauche, on voit l'évolution de la hauteur des vagues mesurées par une bouée à houle qui était déployée au large de la Bretagne l'hiver dernier donc qui a subi différentes tempêtes et on peut voir que la hauteur des vagues atteint des hauteurs record, elle sort même du graphique.

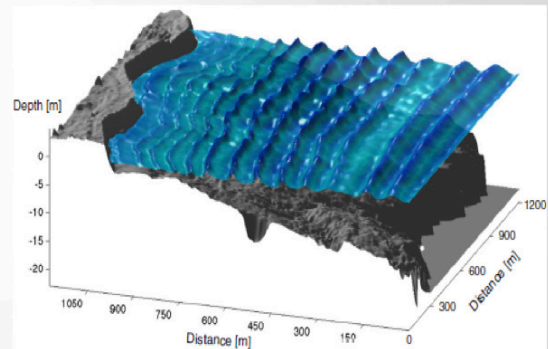
## Observations

In situ / satellite



## Modèle

Spectral ou déterministe ?

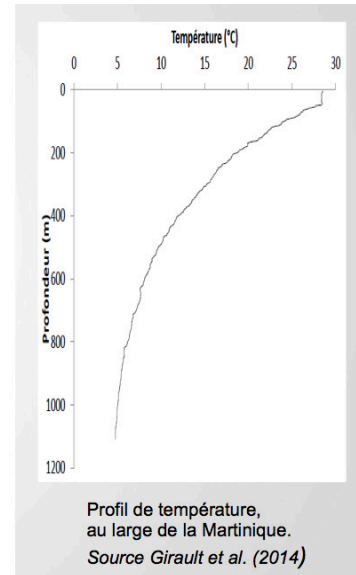
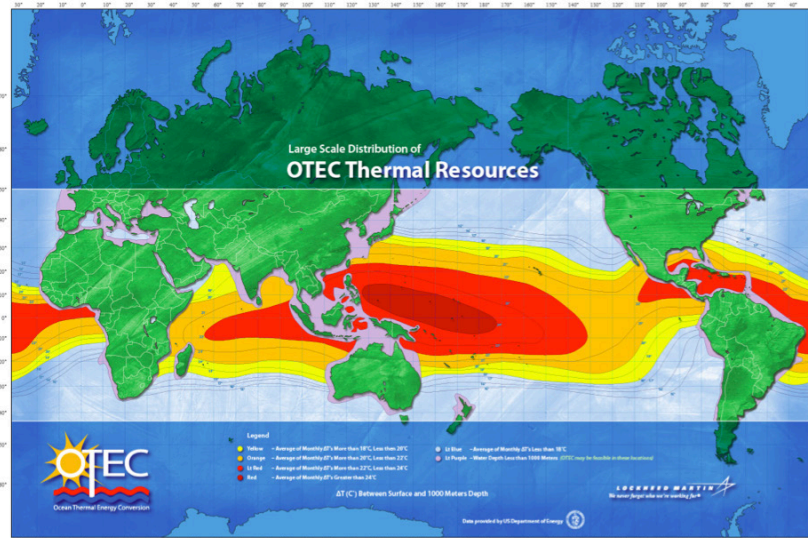


Modélisation déterministe des vagues à Hawaii. (Source Roeber et al., 2013)

⇒ On a pu observer des vagues individuelles qui dépassaient les 24 mètres lors de l'hiver dernier.

C'est donc un des dilemmes auxquels doivent faire face les développeurs de projets houlomoteurs et EMR en général, à l'exception de l'énergie thermique des mers, qui en général est plutôt exploitée dans des zones tropicales donc moins affectée par les éléments climatiques à part peut-être par les cyclones.

- Donc cette énergie thermique des mers, elle est essentiellement associée au gradient de température entre le fond et la surface.
- Comme les eaux de fond, donc par 1000 mètres de fond, sont environ à 4°C et qu'on se trouve à haute latitude et sous les tropiques.
- ⇒ Ce qui va déterminer les zones propices à l'exploitation de cette ressource, ça va être les eaux de surface.
- ⇒ Évidemment, les eaux de surface sont réchauffées par le soleil et donc elles seront d'autant plus chaudes que l'on se rapprochera de l'Équateur.
- Donc c'est très bien illustré par la figure de gauche où l'on voit, en rouge, les zones propices au développement de cette technologie.
- À droite, je vous présente un profil de température de l'île de la Martinique où l'on voit très bien que la température varie d'environ 28°C à la surface pour atteindre les 4°C par 1000 mètres de fond environ.



Alors, pour conclure, une des caractéristiques de cette énergie, c'est son caractère constant. Elle n'est intermittente. En effet la température des eaux de surface ne varie que de quelques degrés en fonction des saisons sous les tropiques.