

# Les hydroliennes

An underwater photograph showing a large school of silver fish swimming in the water. In the background, the dark, skeletal structure of a hydrolienne (tidal turbine) is visible, partially obscured by the water's murkiness. The overall lighting is dim and greenish, typical of an underwater environment.

Jacques Ruer  
SAIPEM

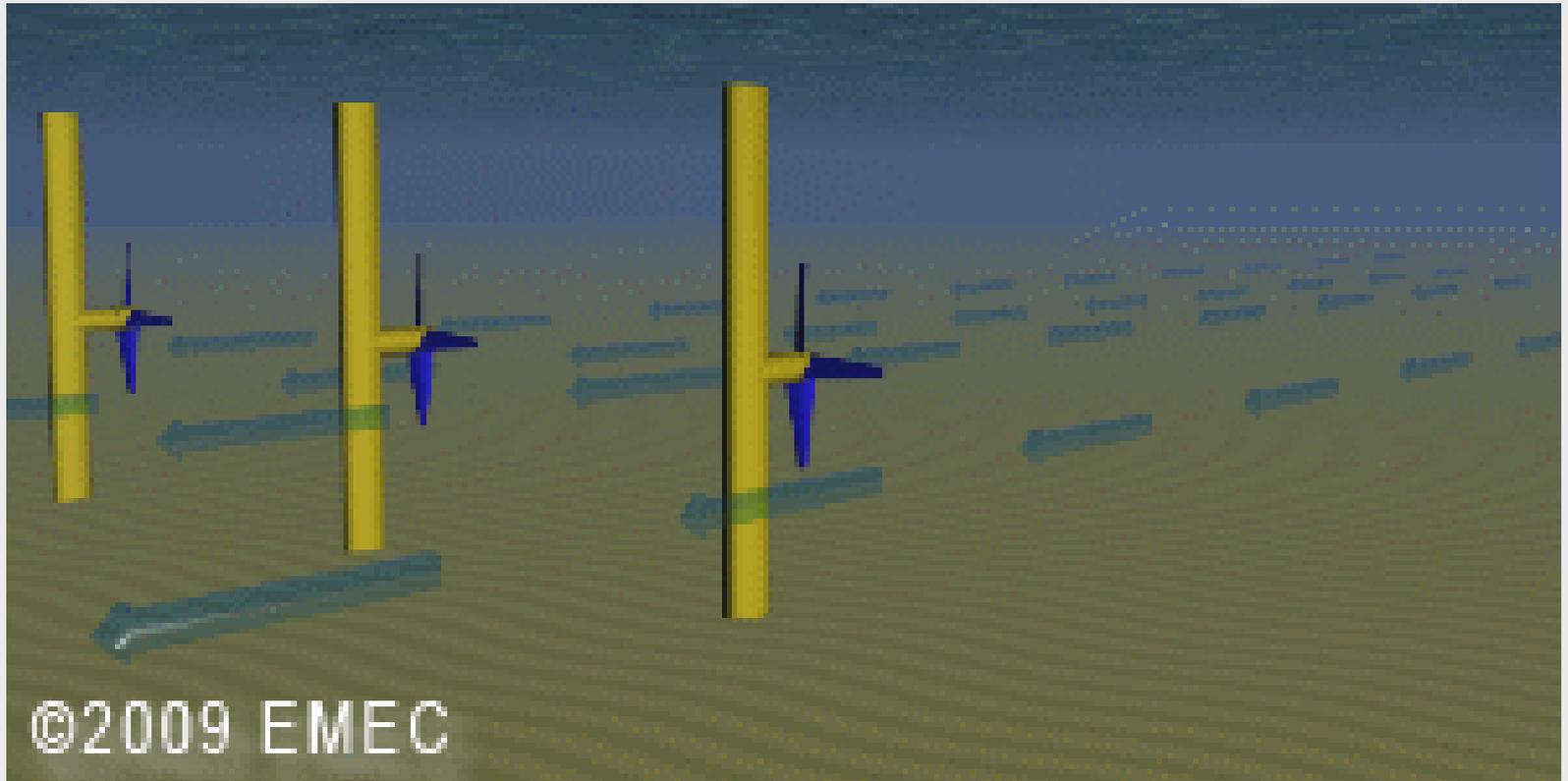
# Les hydroliennes

- Qu'est-ce qu'un site hydrolien exploitable ?
  - Rappel : principe d'une hydrolienne
  - Puissance en fonction du courant
  - Seuls les courants de marée sont assez puissants
- Quels sont les sites français ?
  - Là où les marées provoquent de forts courants : La Manche
- Technologies en compétition
  - Principales familles
- Premiers résultats des expérimentations
  - Production d'énergie
  - Installation et maintenance
  - Impact environnemental
- Développement potentiel

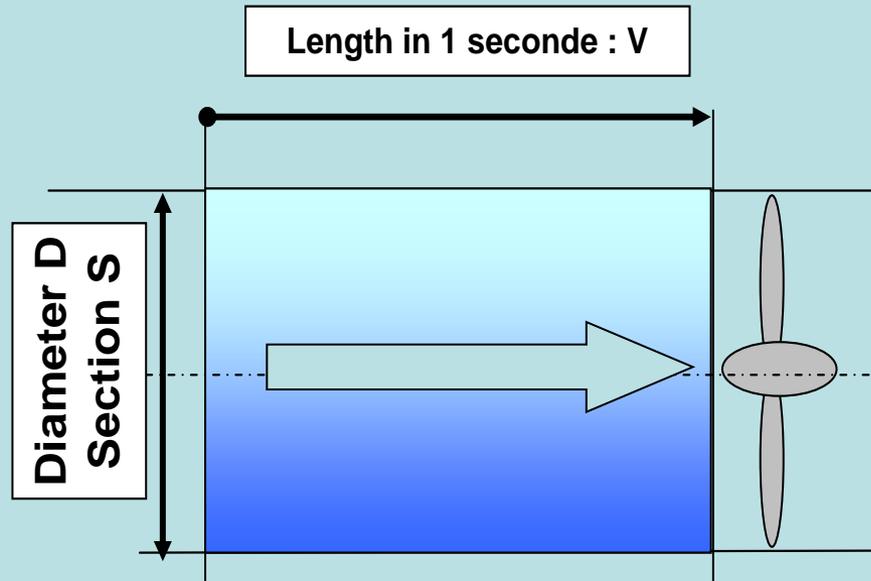


saipem

## Hydrolienne : Machine hydraulique exploitant l'énergie cinétique des courants d'eau



# Principe d'une hydrolienne



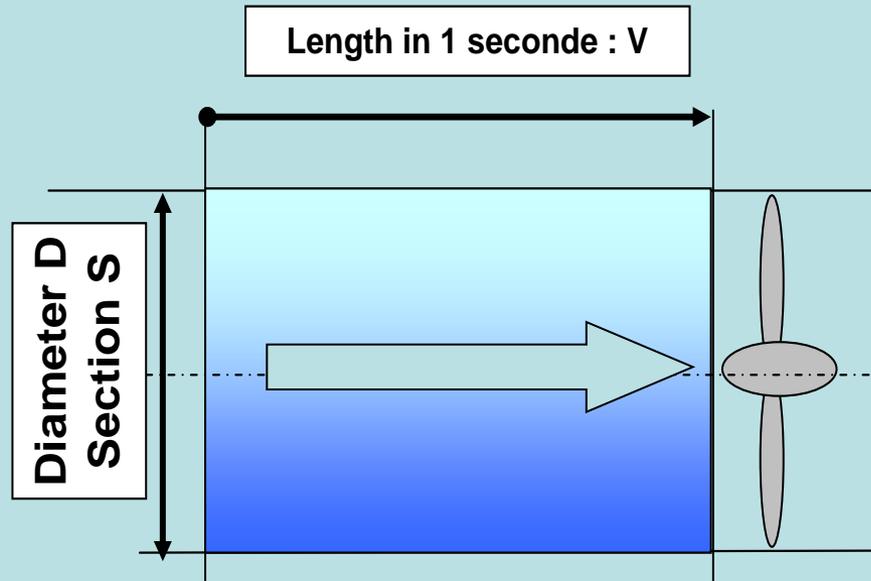
Mass across the rotor per second :  $\text{Mass} = \rho \cdot S \cdot V$

Kinetic energy =  $\frac{1}{2} \cdot \text{Mass} \cdot V^2 = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot S \cdot V^3$

Rotor power =  $\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot C_p \cdot S \cdot V^3$

**A retenir :  $P = k \cdot S \cdot V^3$**

# Principe d'une hydrolienne



**A retenir :  $P \approx 200 \cdot S \cdot V^3$**

**Avec : V en m/s - S en  $m^2$  - P en Watts**



saipem

## L'énergie hydrolienne

Comparaison de la taille  
d'une éolienne et  
d'une hydrolienne :

Une hydrolienne peut  
être plus petite qu'une  
éolienne





saipem

## L'énergie hydrolienne

Comparaison de la taille  
d'une éolienne et

**MAIS NE VOUS LAISSEZ  
PAS ABUSER**

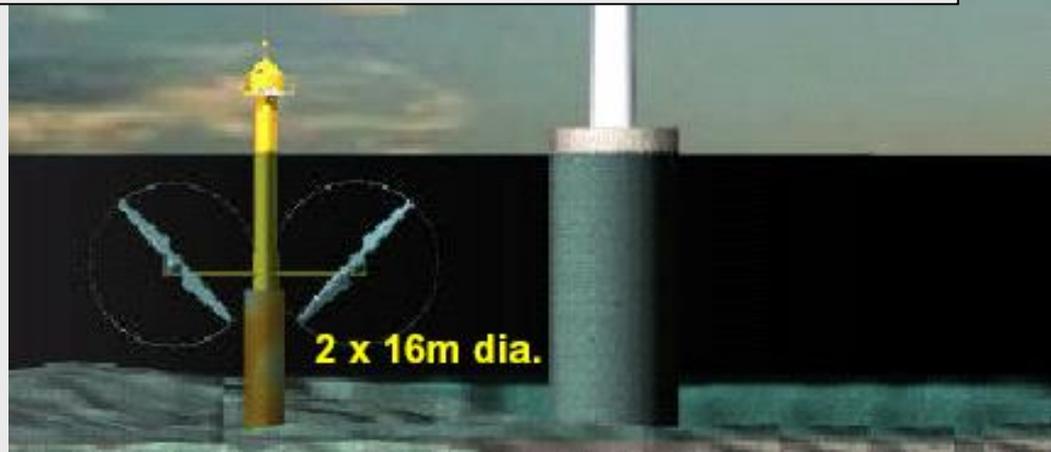
être plus petite qu'une  
éolienne

Scaled size  
comparison of a  
1MW twin rotor  
marine current  
turbine and a 1MW  
wind turbine

1 x 60m dia.



2 x 16m dia.

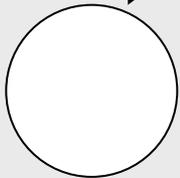


# La dimension d'une hydrolienne dépend surtout du courant

Diamètre du rotor pour une puissance de 200 kW

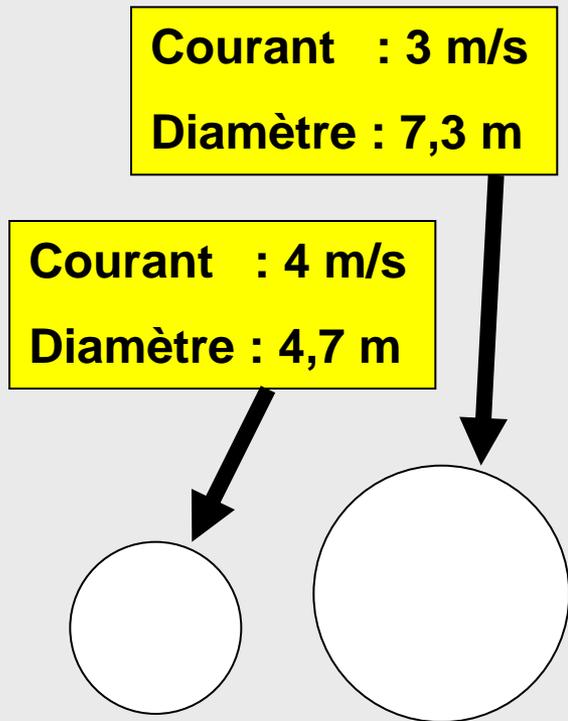
**Courant : 4 m/s**

**Diamètre : 4,7 m**



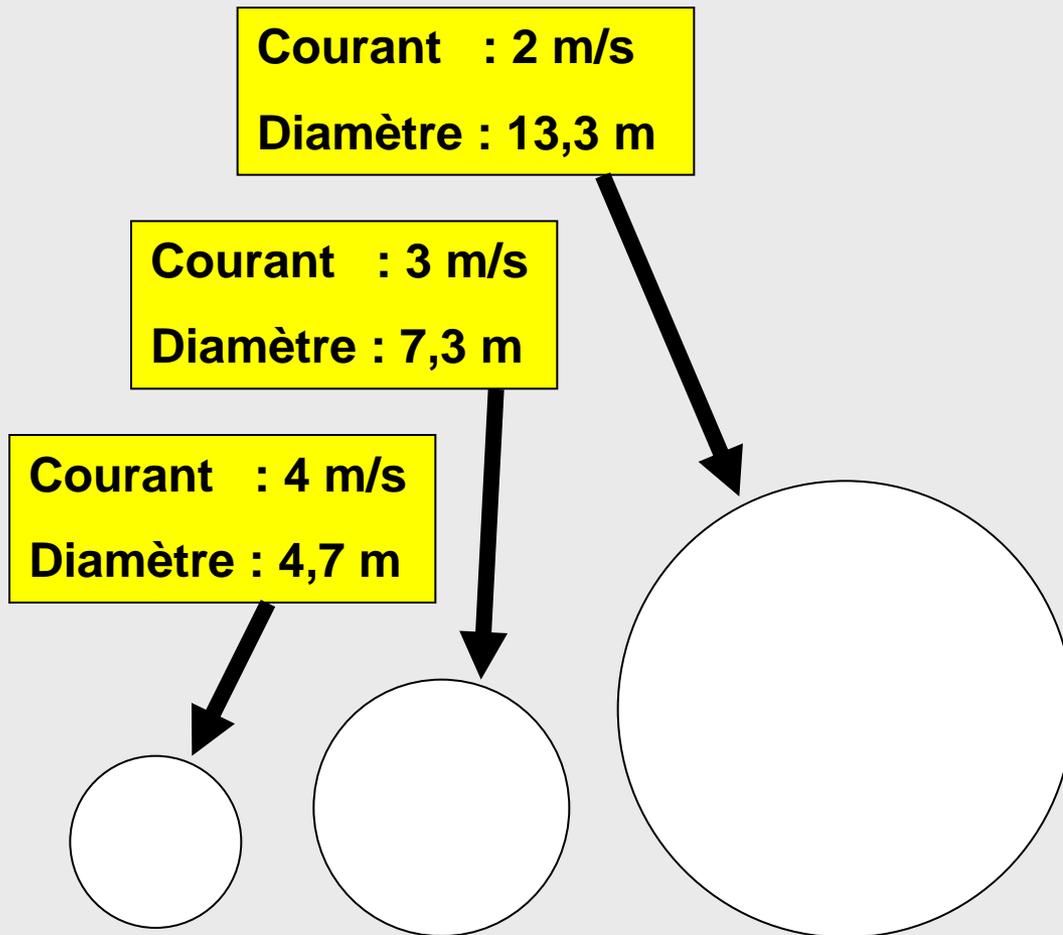
# La dimension d'une hydrolienne dépend surtout du courant

Diamètre du rotor pour une puissance de 200 kW



# La dimension d'une hydrolienne dépend surtout du courant

Diamètre du rotor pour une puissance de 200 kW





saipem

# La dimension d'une turbine dépend surtout

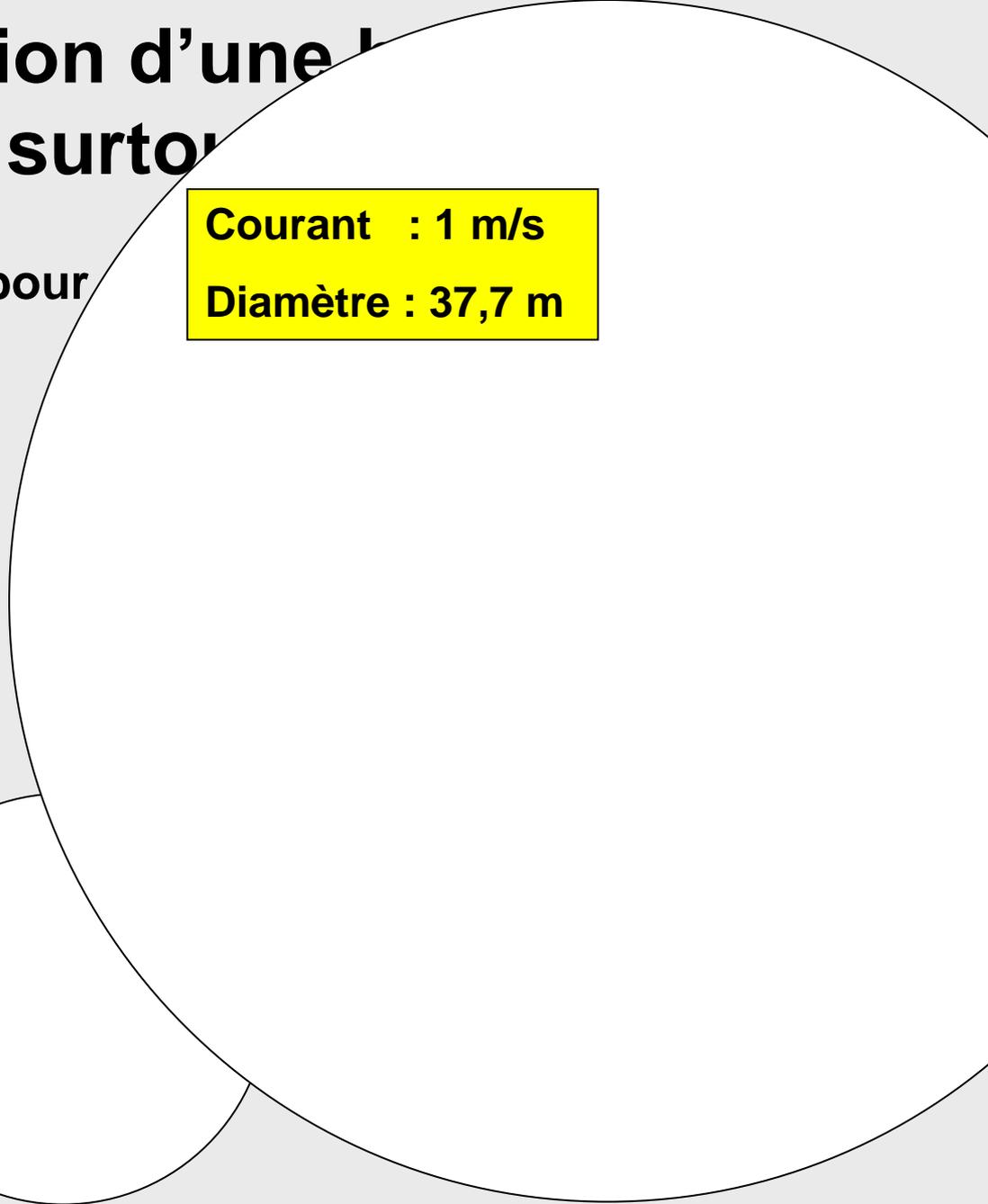
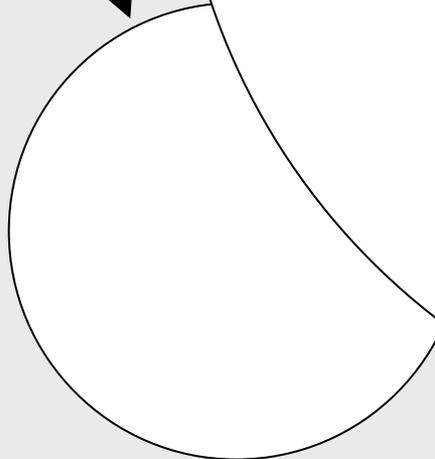
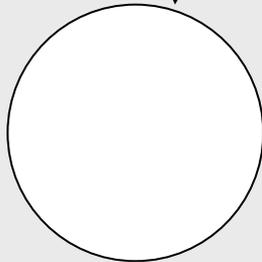
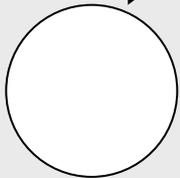
Diamètre du rotor pour

Courant : 1 m/s  
Diamètre : 37,7 m

Courant : 2 m/s  
Diamètre : 13,3 m

Courant : 3 m/s  
Diamètre : 7,3 m

Courant : 4 m/s  
Diamètre : 4,7 m





saipem

# La dimension d'une éolienne dépend surtout

Diamètre du rotor pour

Courant : 2 m/s

Diamètre : 13,3 m

Courant : 3 m/s

Diamètre : 7,3 m

Courant : 4 m/s

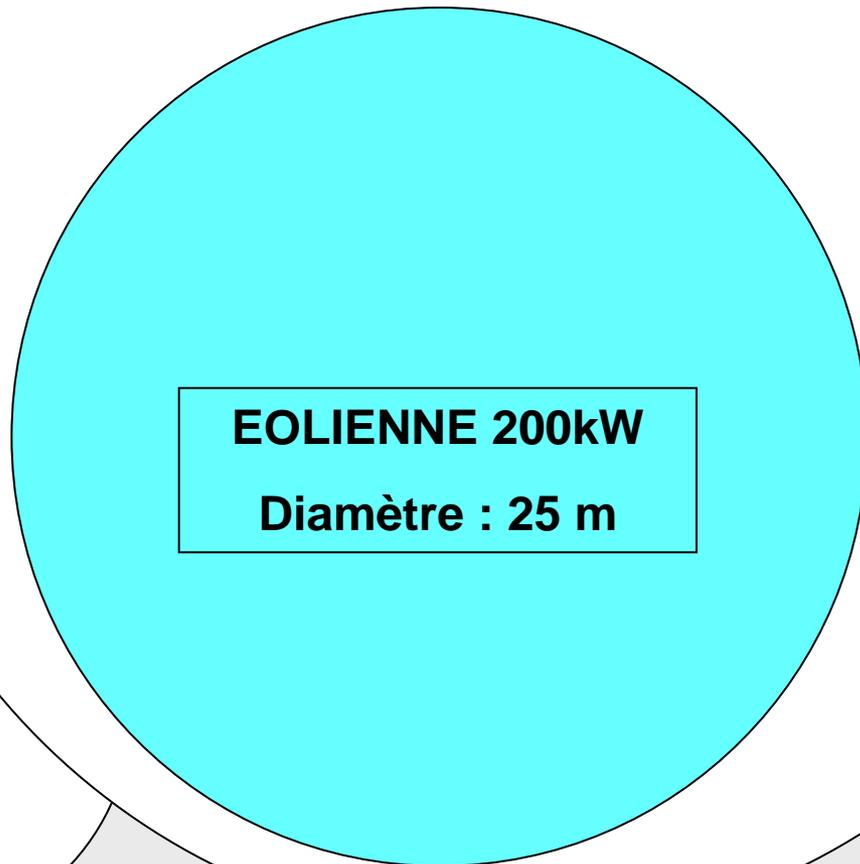
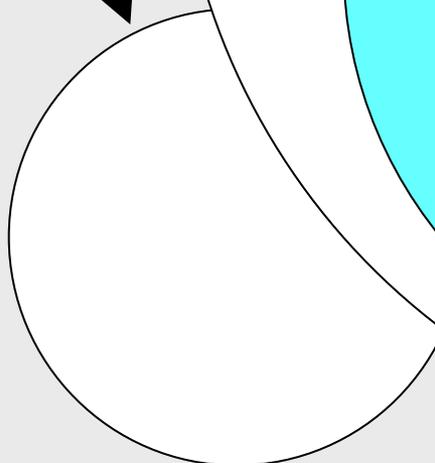
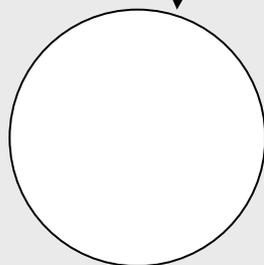
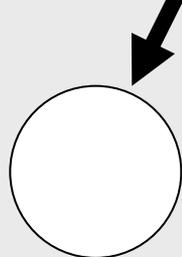
Diamètre : 4,7 m

Courant : 1 m/s

Diamètre : 37,7 m

EOLIENNE 200kW

Diamètre : 25 m



# La dimension d'une hydrolienne dépend surtout

Diamètre du rotor pour

Courant : 1 m/s  
Diamètre : 37,7 m

Courant : 2 m/s  
Diamètre : 13,3 m

Courant : 3 m/s  
Diamètre : 7,3 m

Courant : 4 m/s  
Diamètre : 4,7 m

EOLIENNE 200kW  
Diamètre : 25 m

Une hydrolienne est plus petite qu'une éolienne si le courant est très rapide (supérieur à 1,5 m/s)



saipem

# La dimension d'une hydrolienne dépend surtout

Diamètre du rotor pour

Courant : 1 m/s  
Diamètre : 37,7 m

Courant : 2 m/s  
Diamètre : 13,3 m

Courant : 3 m/s  
Diamètre : 7,3 m

Courant : 4 m/s  
Diamètre : 4,7 m

EOLIENNE 200kW  
Diamètre : 25 m

Pour des courants modestes, une hydrolienne n'est pas économiquement viable

# La dimension d'une éolienne dépend surtout

Diamètre du rotor pour

Courant : 1 m/s  
Diamètre : 37,7 m

Courant : 2 m/s  
Diamètre : 13,3 m

Courant : 3 m/s  
Diamètre : 7,3 m

Courant : 4 m/s  
Diamètre : 4,7 m

EOLIENNE 200kW  
Diamètre : 25 m

Et aucune technologie ne peut changer cette réalité physique

$$\text{Power} = 200 \cdot S \cdot V^3$$

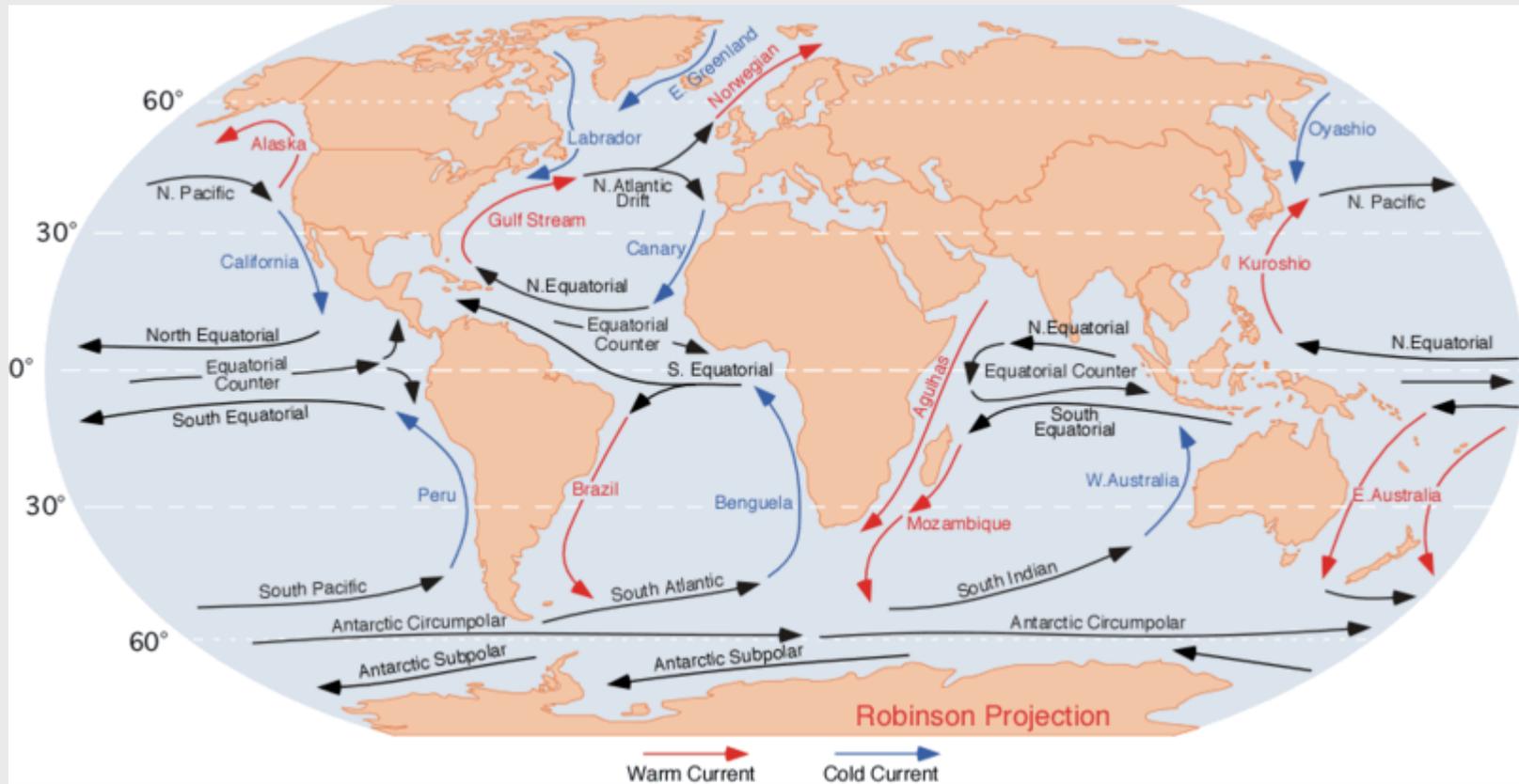
1. Les hydroliennes ne sont économiquement viables que si le courant local maximal dépasse 2.3m/s
2. Si le courant est inférieur à 1.5m/s, l'hydrolienne est plus grande que l'éolienne équivalente (et bien plus chère !)
3. Dessiner des hydroliennes pour des courants d'environ 1m/s est une perte de temps et d'argent



saipem

$$\text{Power} = 200 \cdot S \cdot V^3$$

En conséquence, il est illusoire d'envisager l'exploitation des courants marins...

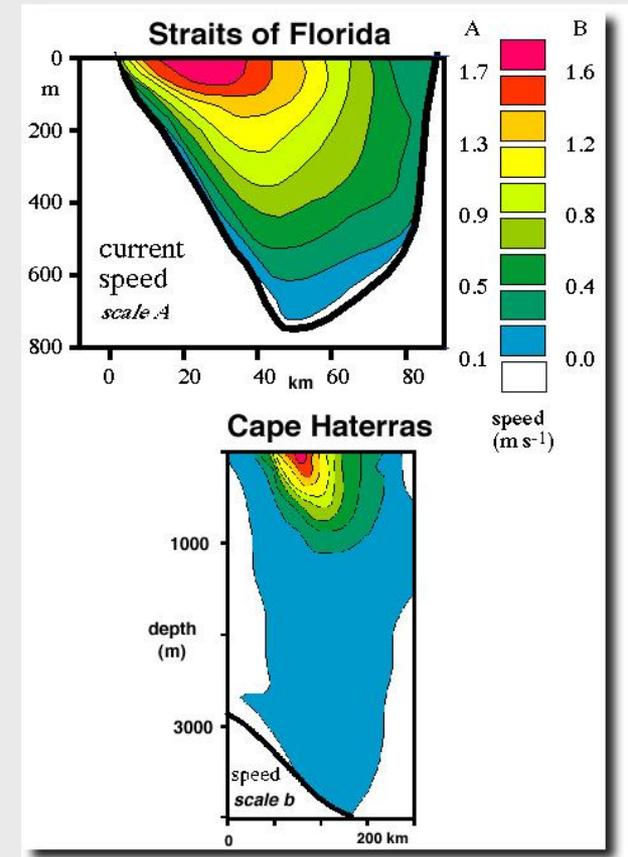
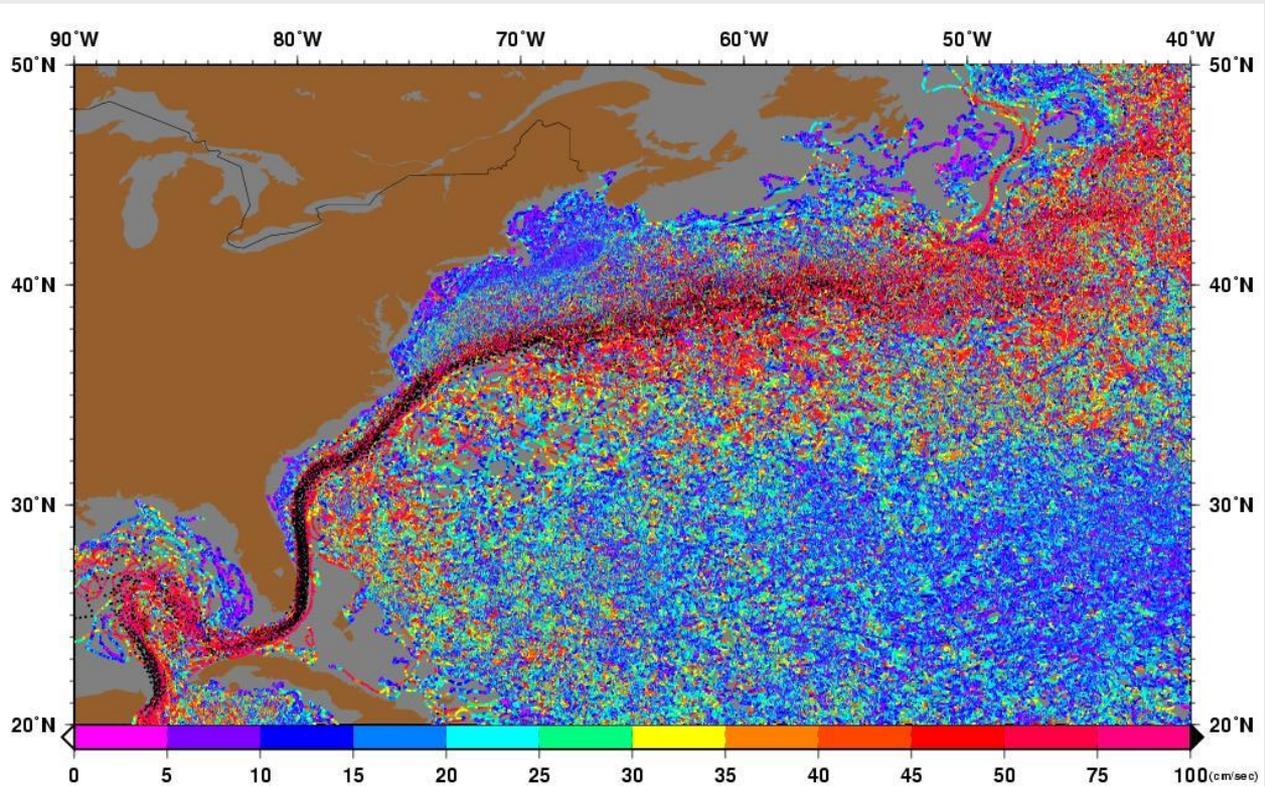


$$\text{Power} = 200 \cdot S \cdot V^3$$

Le courant le plus rapide : Le Gulf Stream

Vitesse maximale : 1.8m/s

Pas assez rapide !



$$\text{Power} = 200 \cdot S \cdot V^3$$

2.3 m/s est vraiment très rapide !

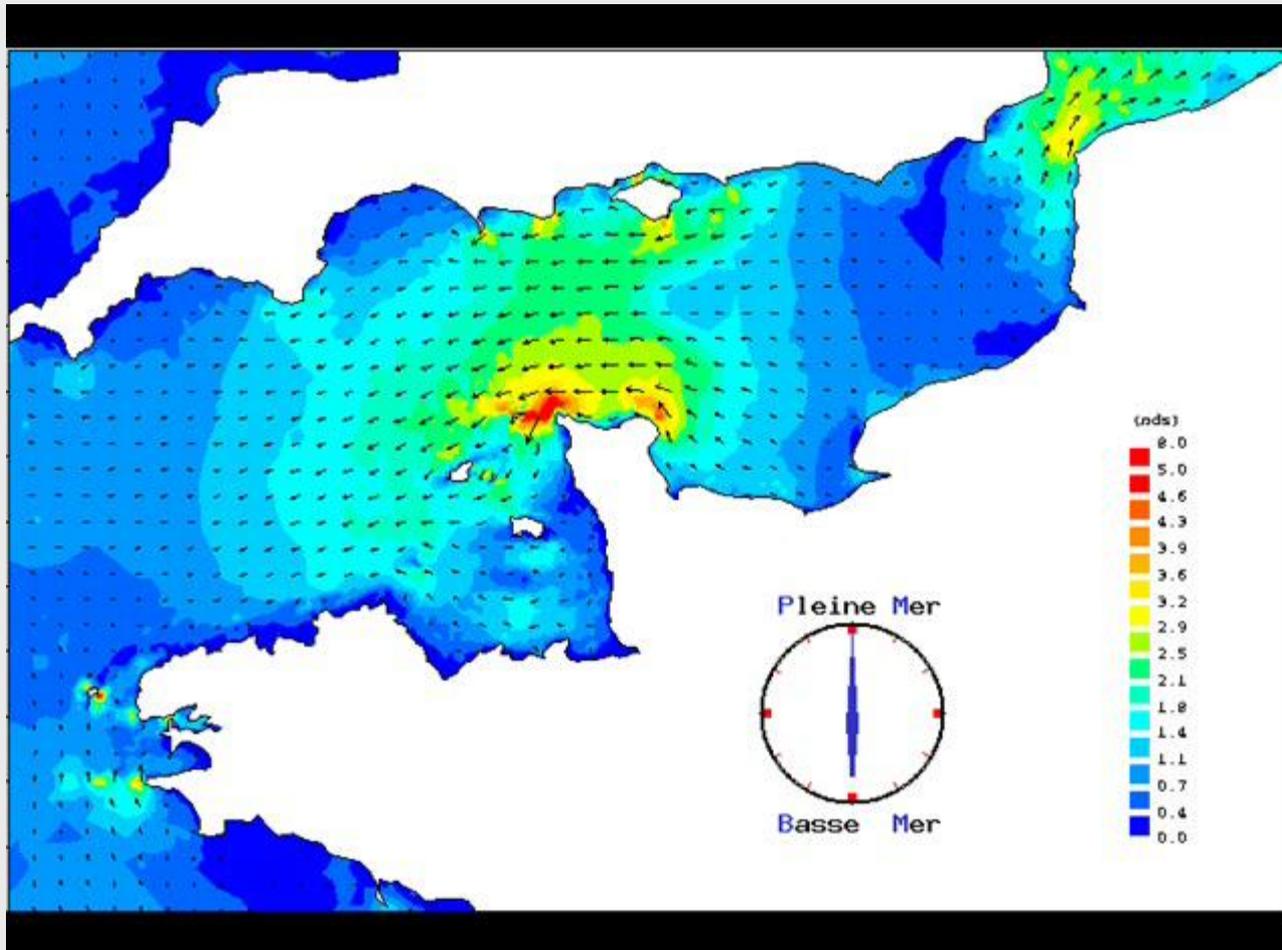
Record du 100m nage libre : 47s

Vitesse : 2.13m/s

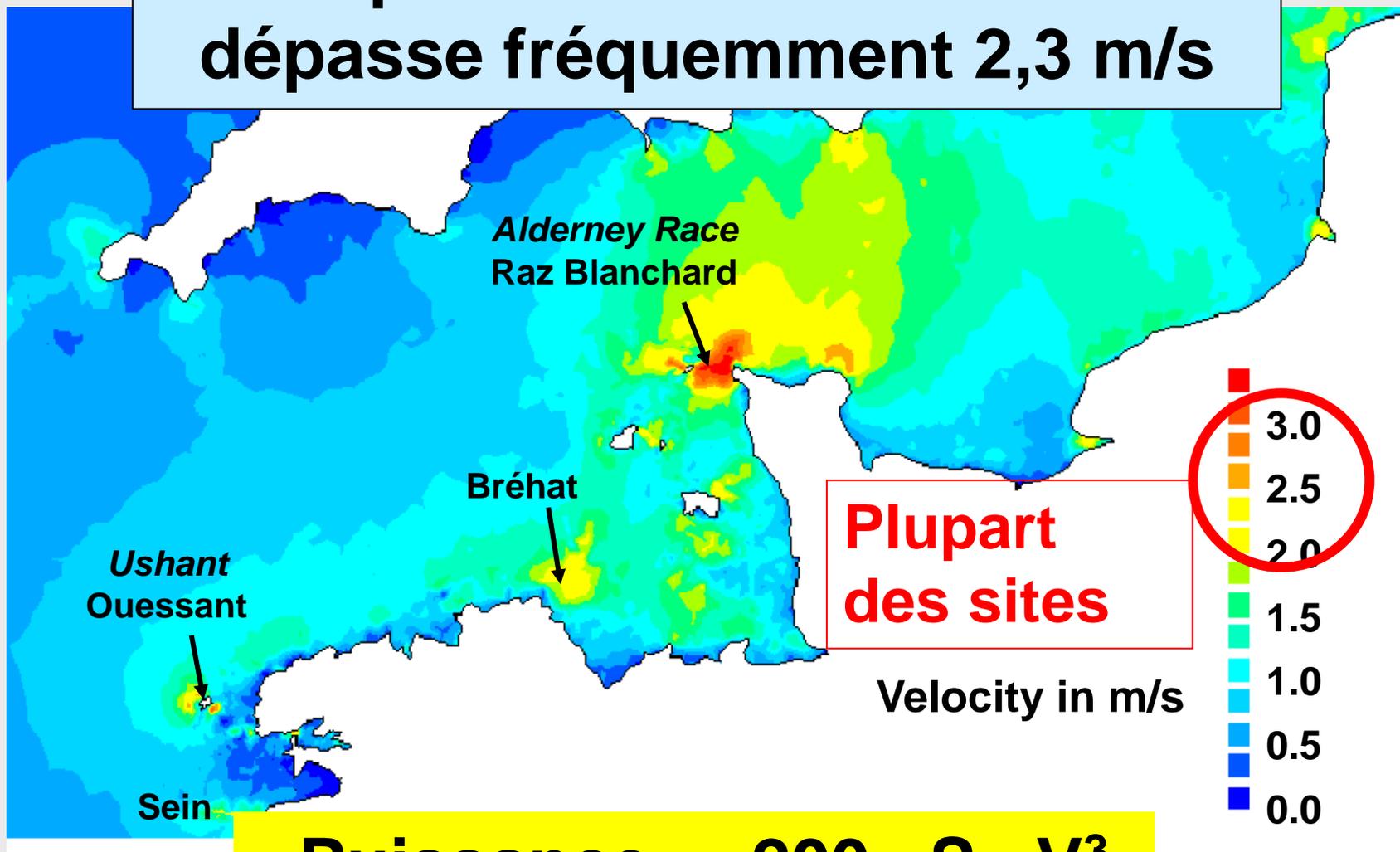
Trop lent !



# Seuls les courants de marée sont exploitables



# Sites potentiels : Uniquement là où le courant dépasse fréquemment 2,3 m/s



$$\text{Puissance} = 200 \cdot S \cdot V^3$$



saipem

# Sites hydroliens potentiels en Europe

## Très localisés, surtout autour UK

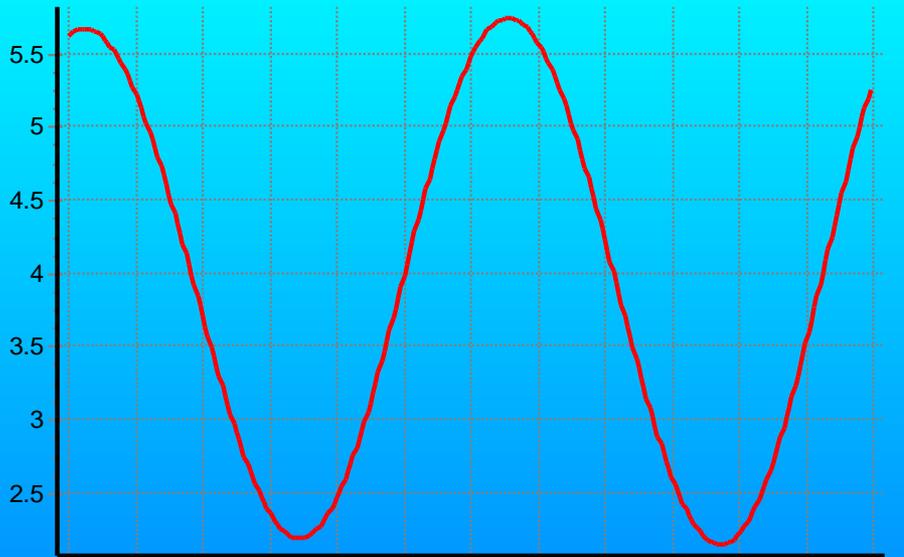


# La marée est prédictible

Marée à Brest  
19 juin 2013

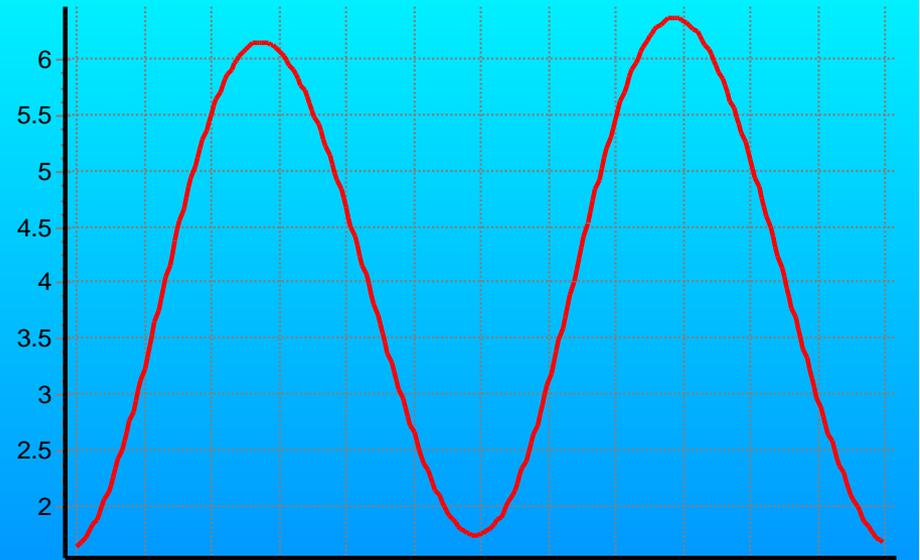
Marée à Brest  
19 juin 2023

BREST (48 23 N - 4 30 W)  
Mercredi, 19 juin 2013



00:00 02:00 04:00 06:00 08:00 10:00 12:00 14:00 16:00 18:00 20:00 22:00 00:00  
- PM:00h28/05,67 - BM:06h52/02,18 - PM:13h07/05,74 - BM:19h26/02,14 -  
Coefs : 57/61 - UT + : 1

BREST (48 23 N - 4 30 W)  
Lundi, 19 juin 2023



00:00 02:00 04:00 06:00 08:00 10:00 12:00 14:00 16:00 18:00 20:00 22:00 00:00  
- PM:05h28/06,15 - BM:11h51/01,74 - PM:17h44/06,36 -  
Coefs : 77/76 - UT + : 1

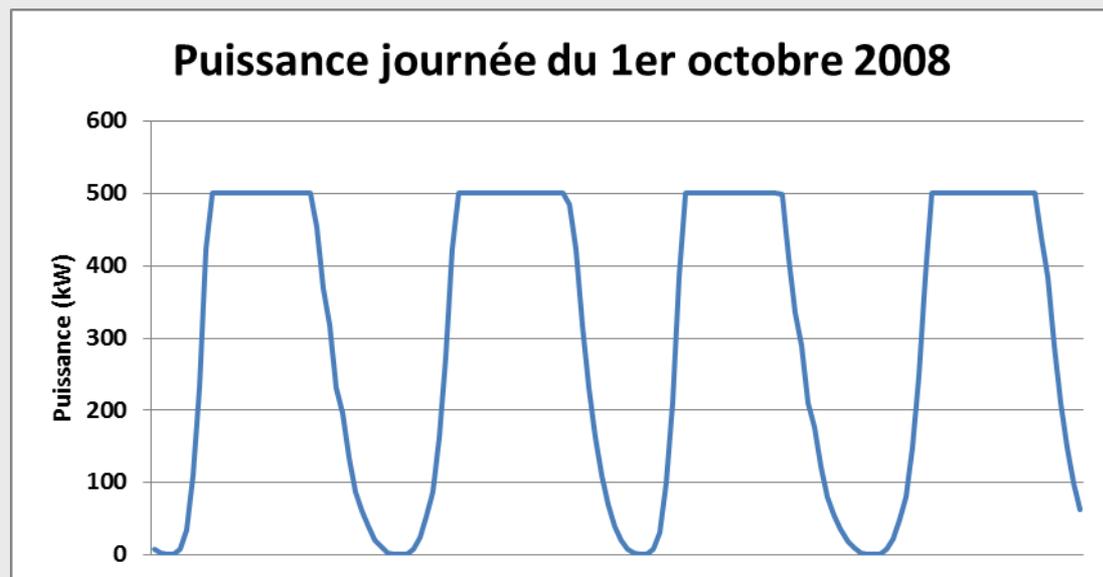
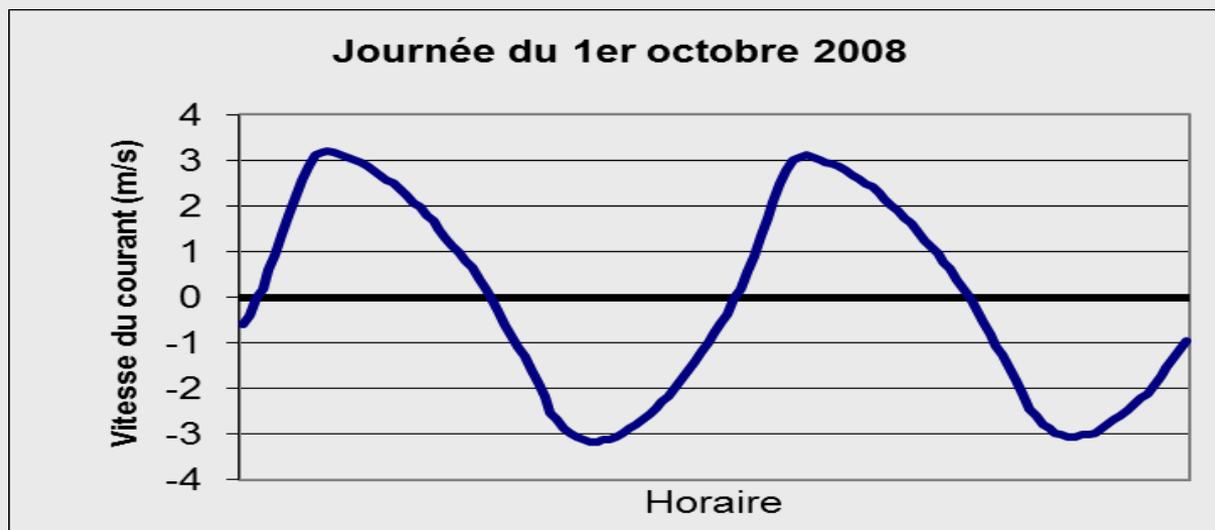


saipem

# Production d'énergie au cours du temps

Calcul de la production d'une hydrolienne de 500kW implantée dans le courant du Fromveur, au sud d'Ouessant

Hypothèse: Puissance de 500kW pour un courant égal ou supérieur à 2,3m/s (16m de diamètre)



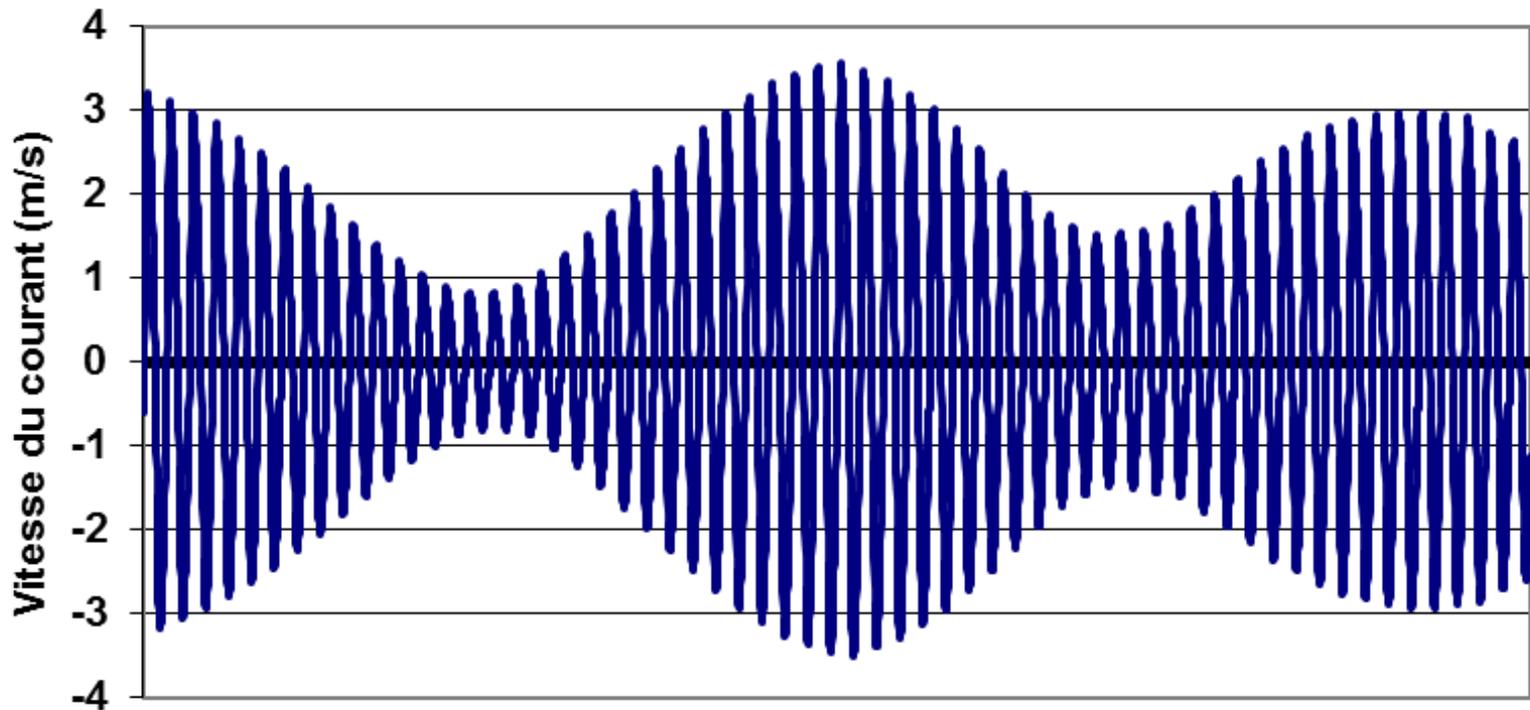


saipem

# Production d'énergie au cours du temps

La vitesse locale du courant varie  
en fonction de la marée

Vitesse du courant du 1/10/2008 au 31/10/2008

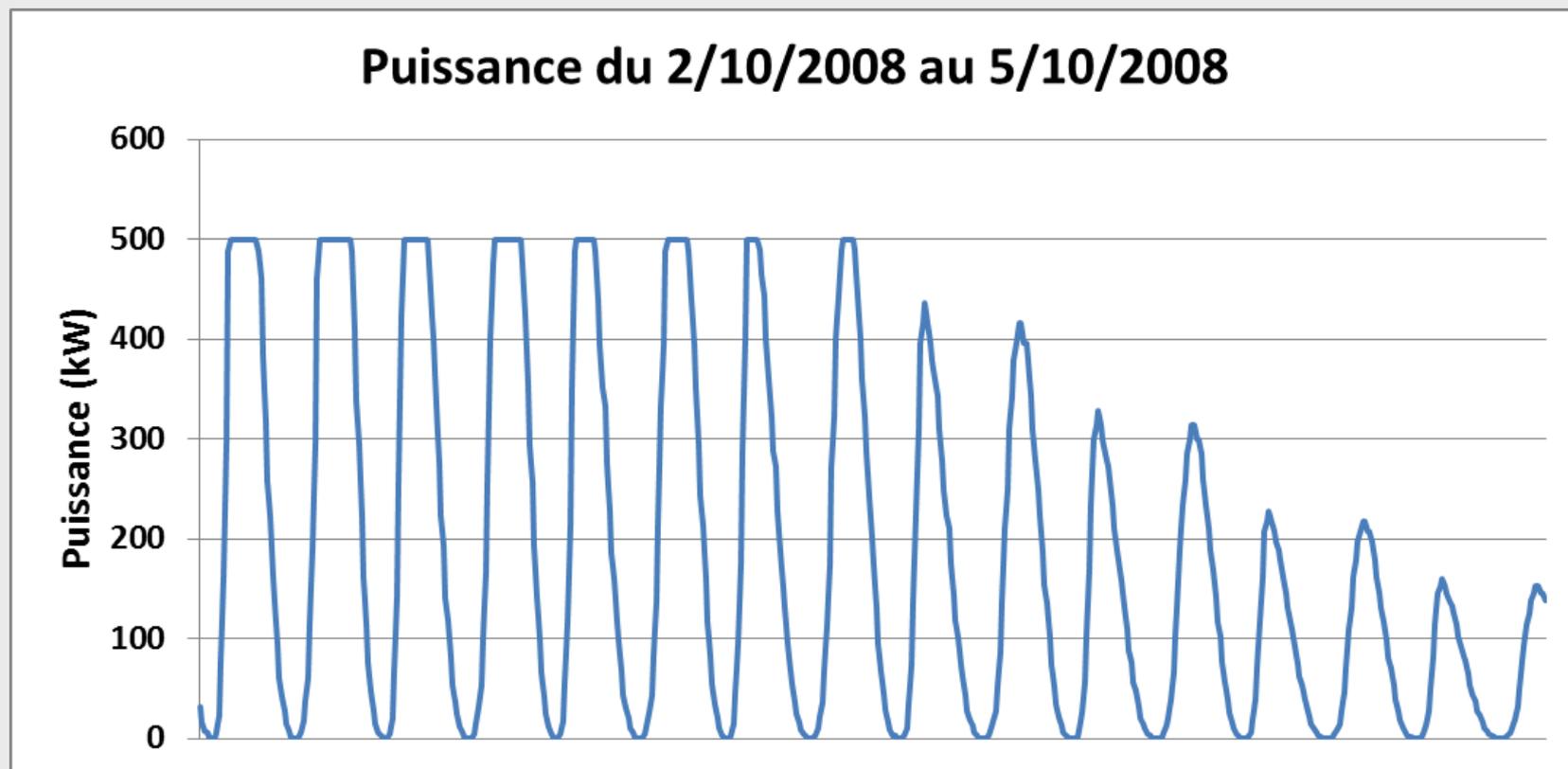




saipem

# Production d'énergie au cours du temps

La puissance s'annule toutes les 6 heures et varie au fil des jours, selon les phases de la Lune

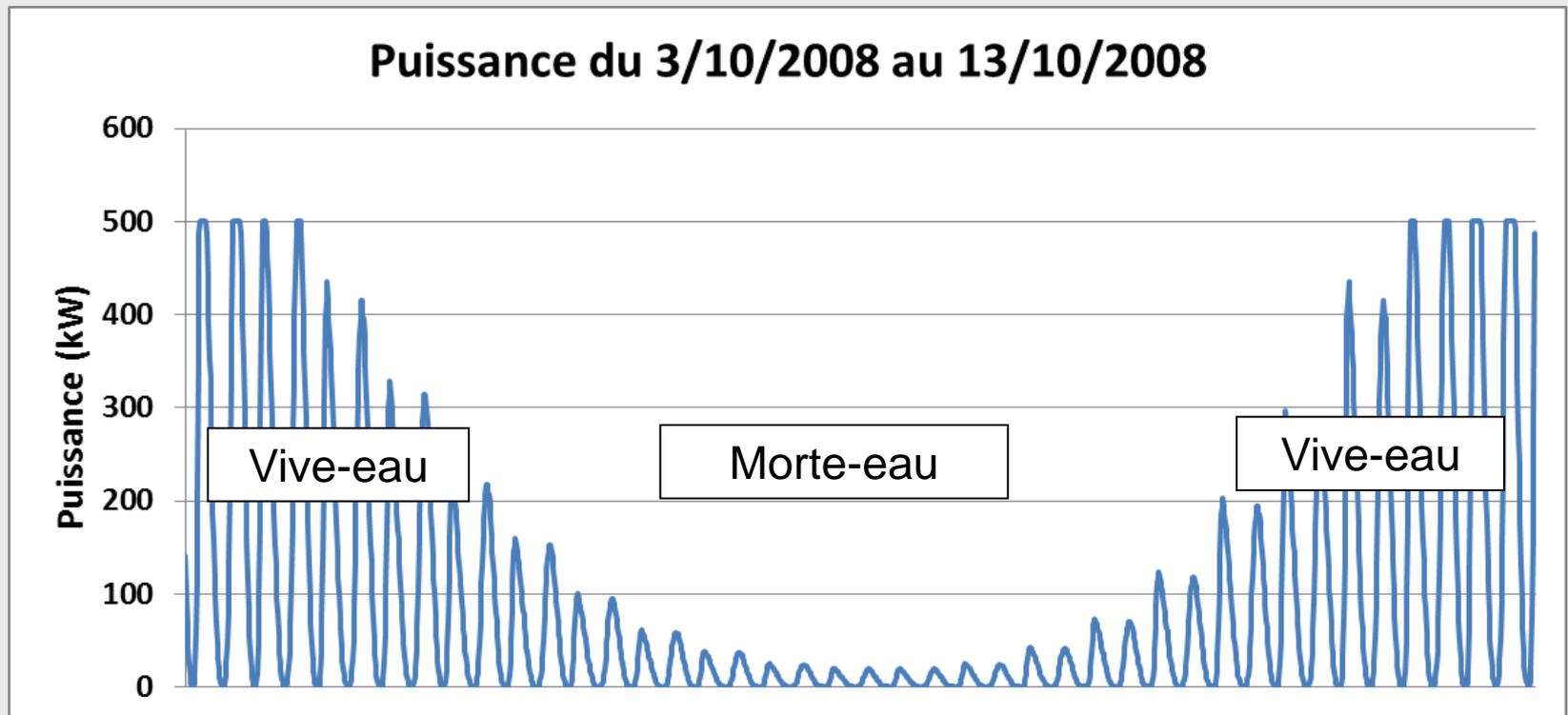




saipem

# Production d'énergie au cours du temps

La puissance est très faible durant les périodes de morte-eau (premier et dernier quartiers de la Lune)



# Production d'énergie au cours du temps

Au cours de l'année, la production cumulée de cette hydrolienne hypothétique est de :

**1 516 073 kWh**

En divisant ces kWh par la puissance nominale (500kW), on obtient des heures:

$$\frac{1516073 \text{ kWh}}{500 \text{ kW}} = 3032 \text{ h} - \text{Durée équivalente fonctionnement pleine puissance}$$

En divisant ces kWh par la durée annuelle (8760h), on obtient des kW:

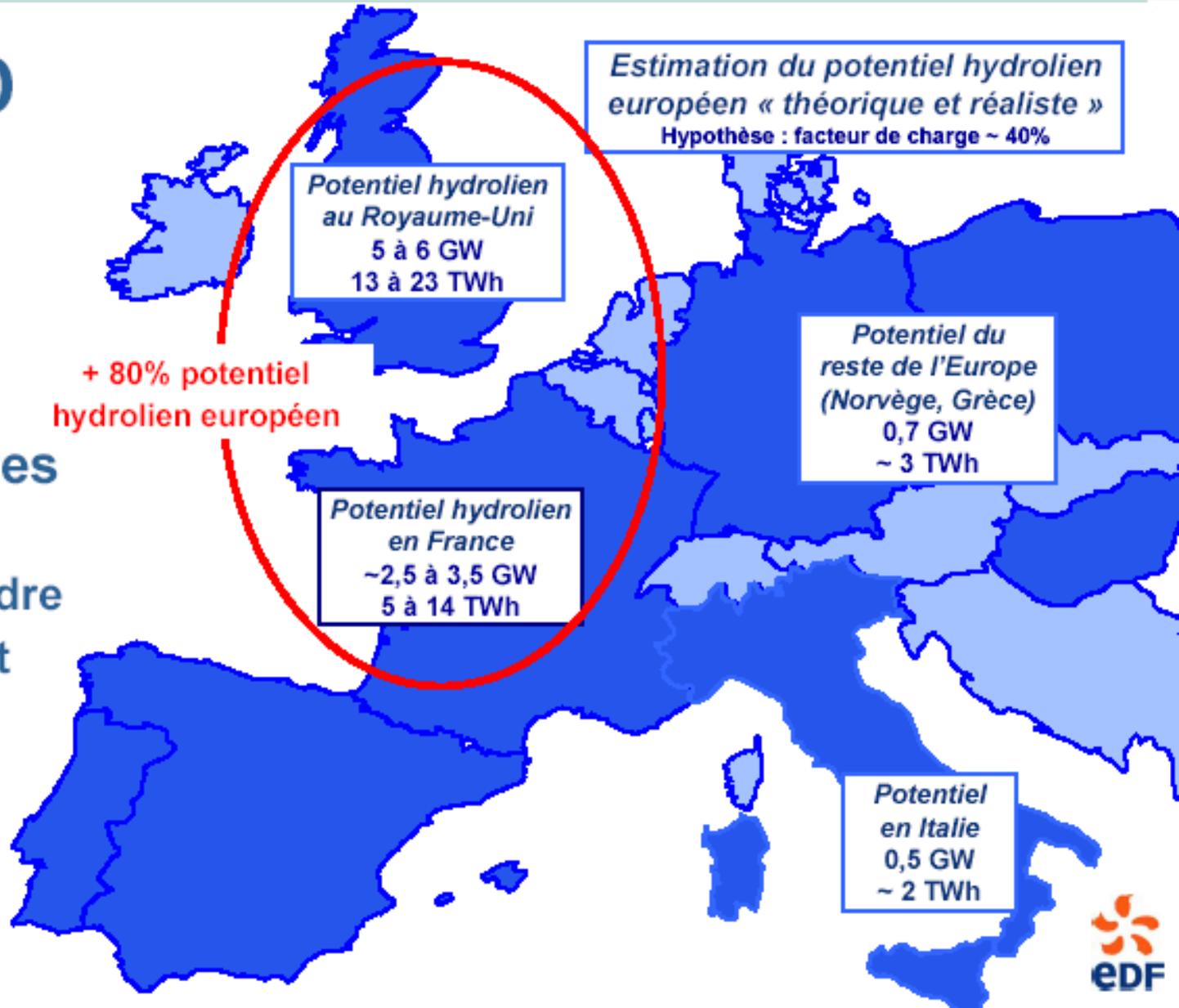
$$\frac{1516073 \text{ kWh}}{8760 \text{ h}} = 173 \text{ kW} - \text{Puissance moyenne}$$

Productibilité semblable à l'éolien offshore, mais prédictible !

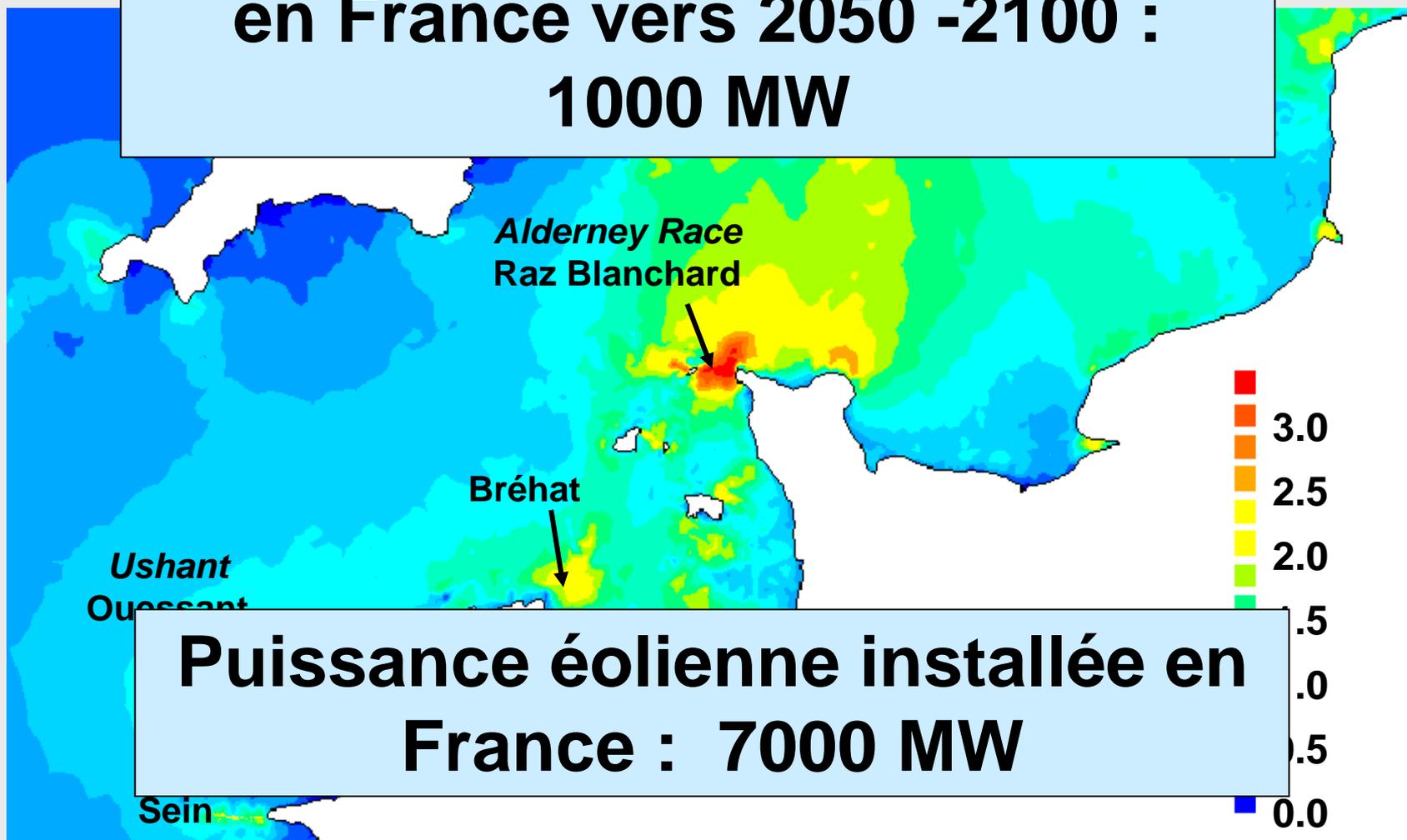
# Ressource énergétique en France

## EDF R&D

Partenaire de  
L'Action de  
Coordination  
sur les  
Énergies marines  
financée par le  
6e Programme-Cadre  
de Recherche et  
Développement  
de la  
Commission  
Européenne



# Puissance hydrolienne réaliste en France vers 2050 -2100 : 1000 MW



# Puissance éolienne installée en France : 7000 MW

# Ressource énergétique en France

La ressource hydrolienne est limitée, mais elle est :

- Prévisible à long terme
- Abondante sur nos côtes
- Sans impact important
- Exploitable par l'industrie nationale

Il faut considérer  
l'hydrolien comme  
l'équivalent marin de  
l'hydroélectricité au fil de  
l'eau.

La ressource existe,  
elle est intéressante en  
certains endroits,





saipem

# Les défis technologiques

- Fiabilité des machines sous-marines:
  - étanchéité – corrosion – salissures marines
- Mise en place des machines dans les zones de fort courant
- Stabilité des machines et tenue des câbles électriques sous-marins
- Maintenance : récupération et remise en place des machines



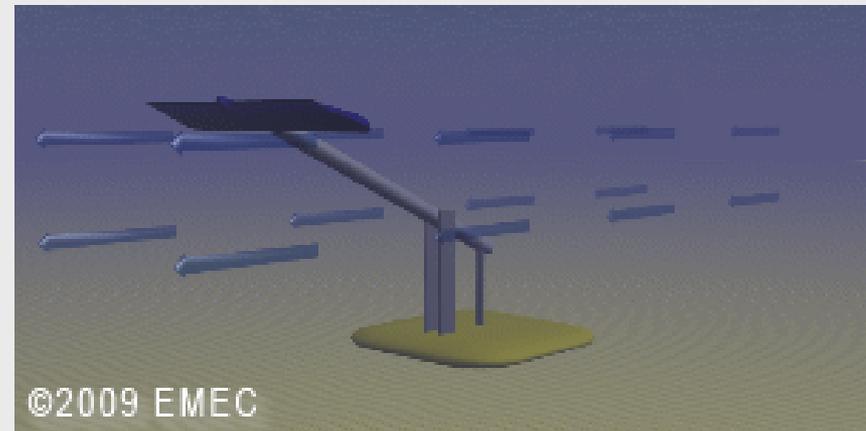
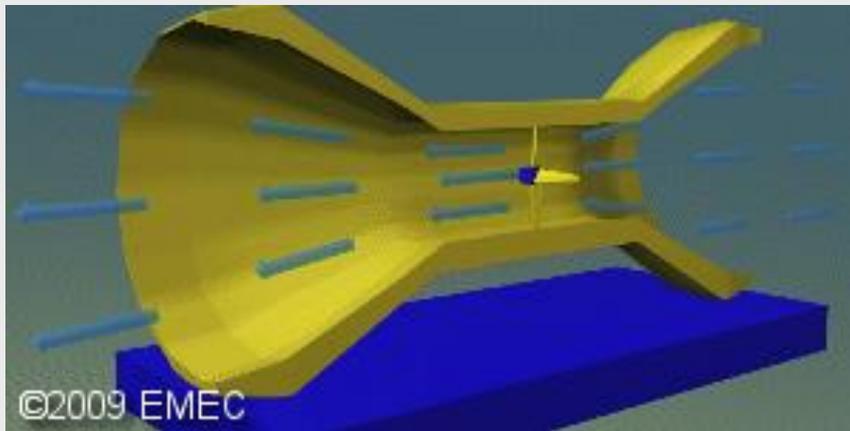
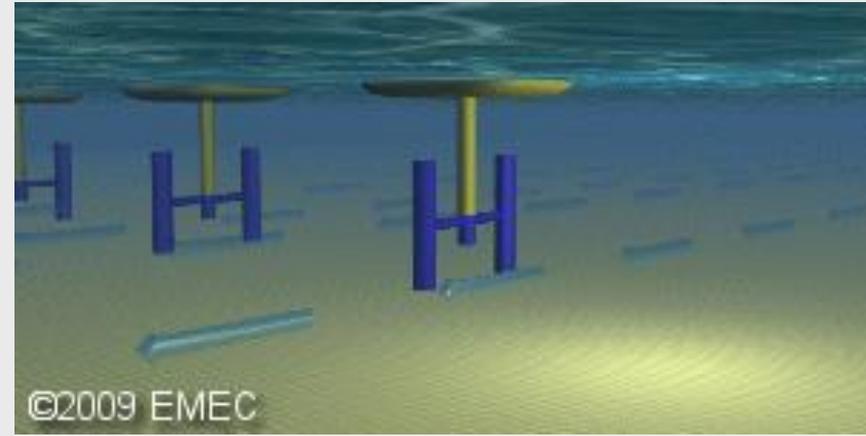
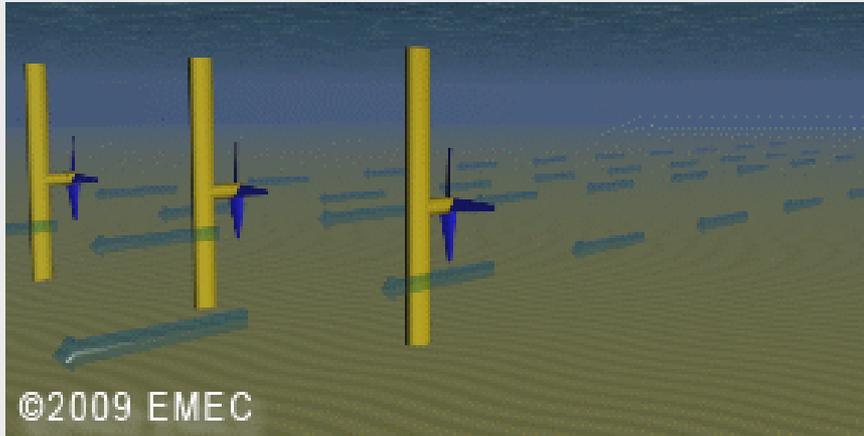
saipem

# Les défis technologiques

- Tenue à la mer ouverte :
- Lors des tempêtes, les efforts de renversement peuvent être doublés
  - Effort axial Sabella dans le Fromveur :
    - Courant maxi – mer calme : 45 tf
    - Courant maxi – tempête : 105 tf
- Les efforts sont particulièrement violents près de la surface, là où les vagues sont les plus fortes
- En mer ouverte, il est exclus d'utiliser des hydroliennes flottantes (OK dans les zones non exposées à la houle)

# Quelques-unes des technologies en compétition

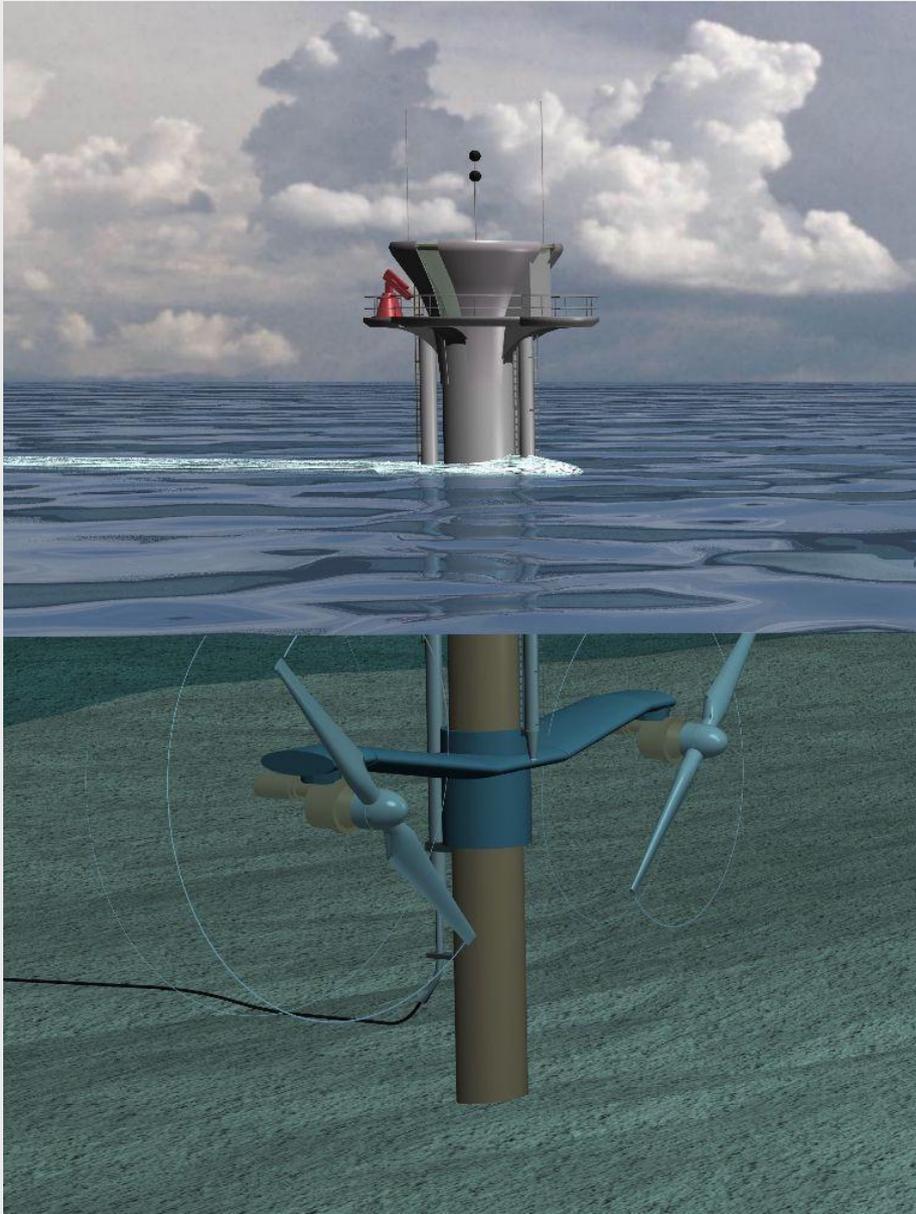
## Principales technologies d'hydroliennes



# De nombreux prototypes depuis 2001



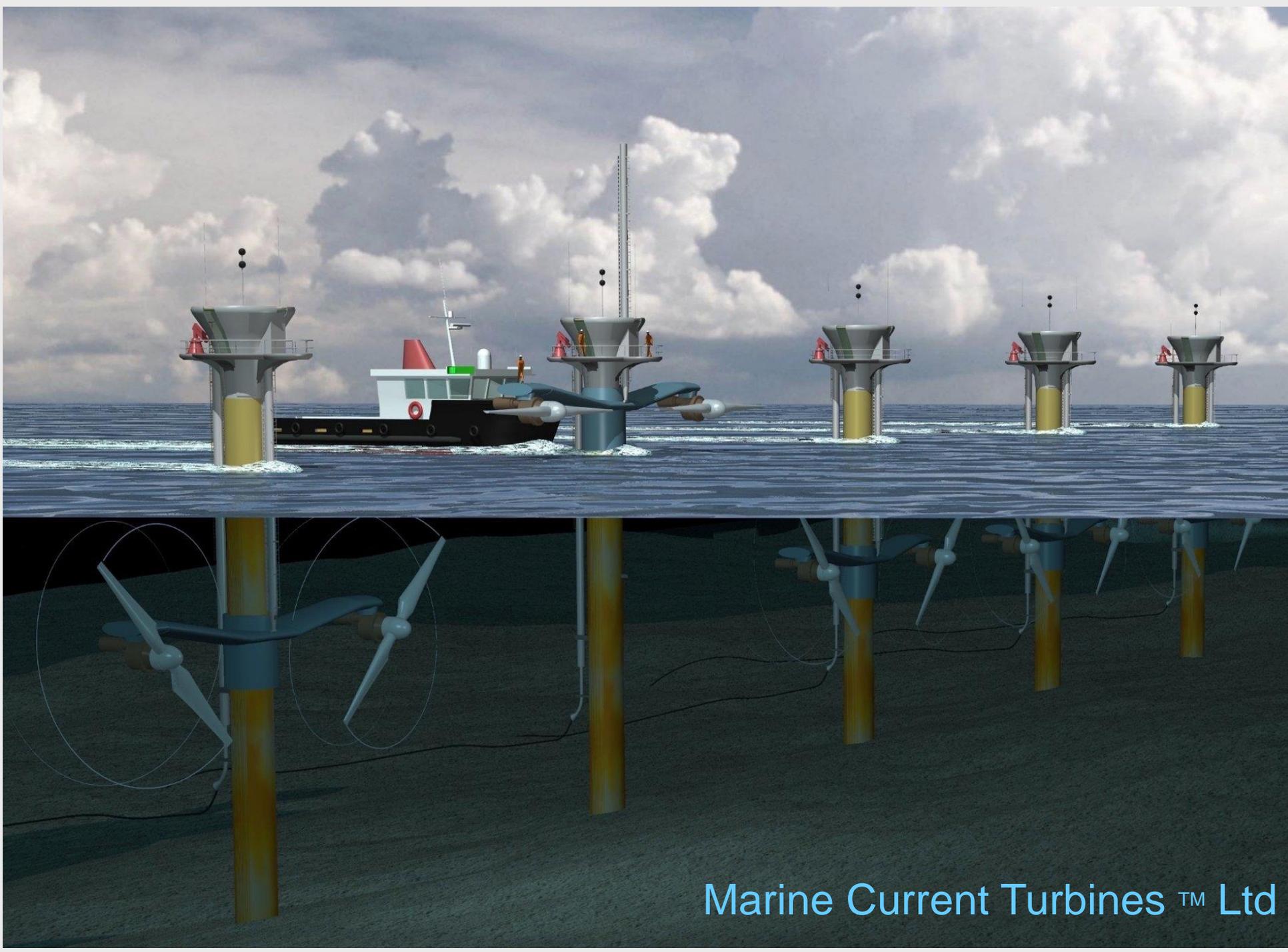
# Le projet Seagen (MCT)



2 rotors

Puissance totale : 1,2MW

Irlande du Nord



Marine Current Turbines™ Ltd

# MCT : fruit d'un long développement

## The path followed by Marine Current Turbines

2000 : test  
device  
(10kW)



2003 : Seaflow  
(300kW)



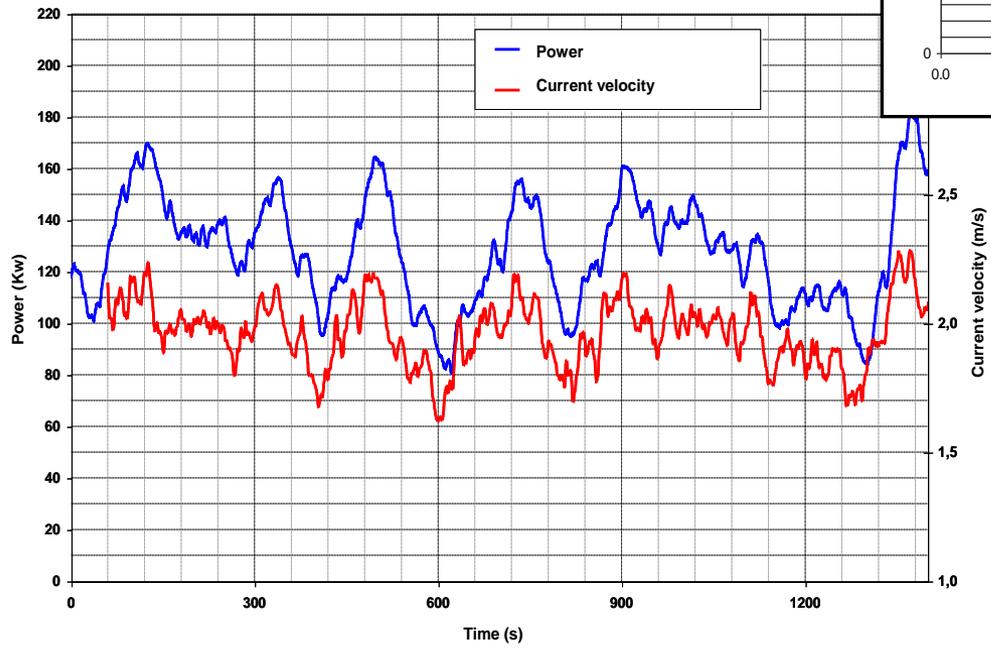
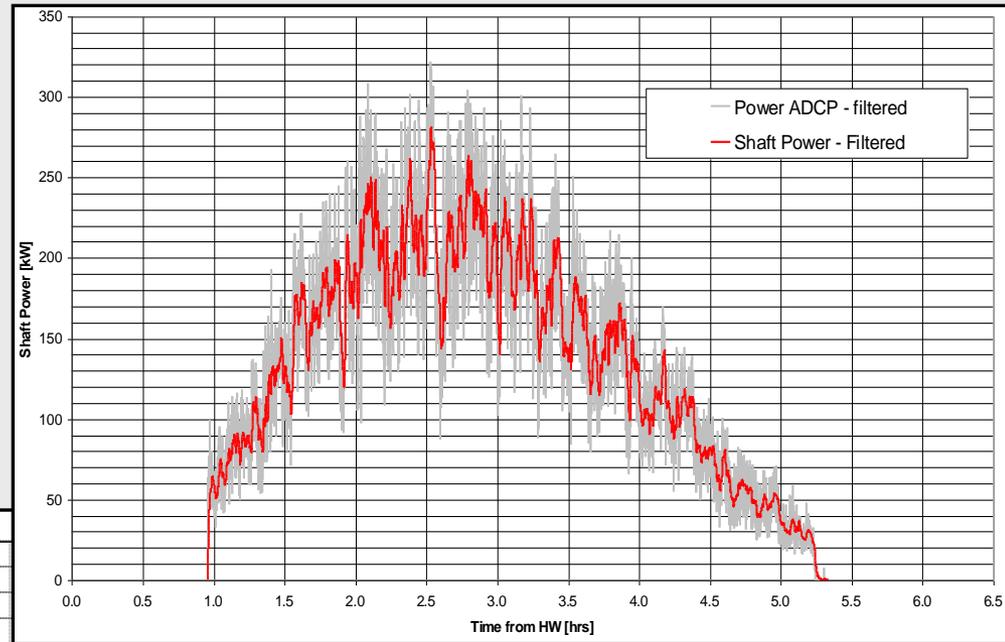
2007 : SeaGen  
(1200kW)



# MCT : Experimental results

## Typical test results during an ebb tide cycle

- Highly unsteady power output profile



## Power vs. current velocity

Turbulence  $\rightarrow$  Velocity fluctuations

Seacore Jackup-rig Excalibur visits Strangford  
16-19 April 2005, to complete SeaGen geotechnical survey



# Le projet Seagen





saipem

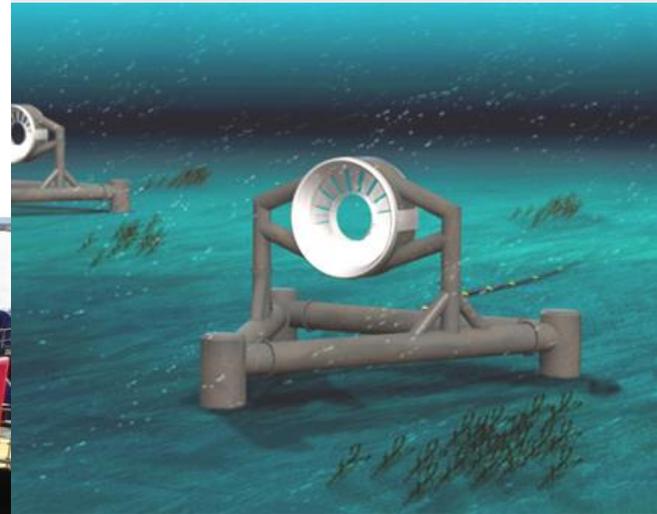
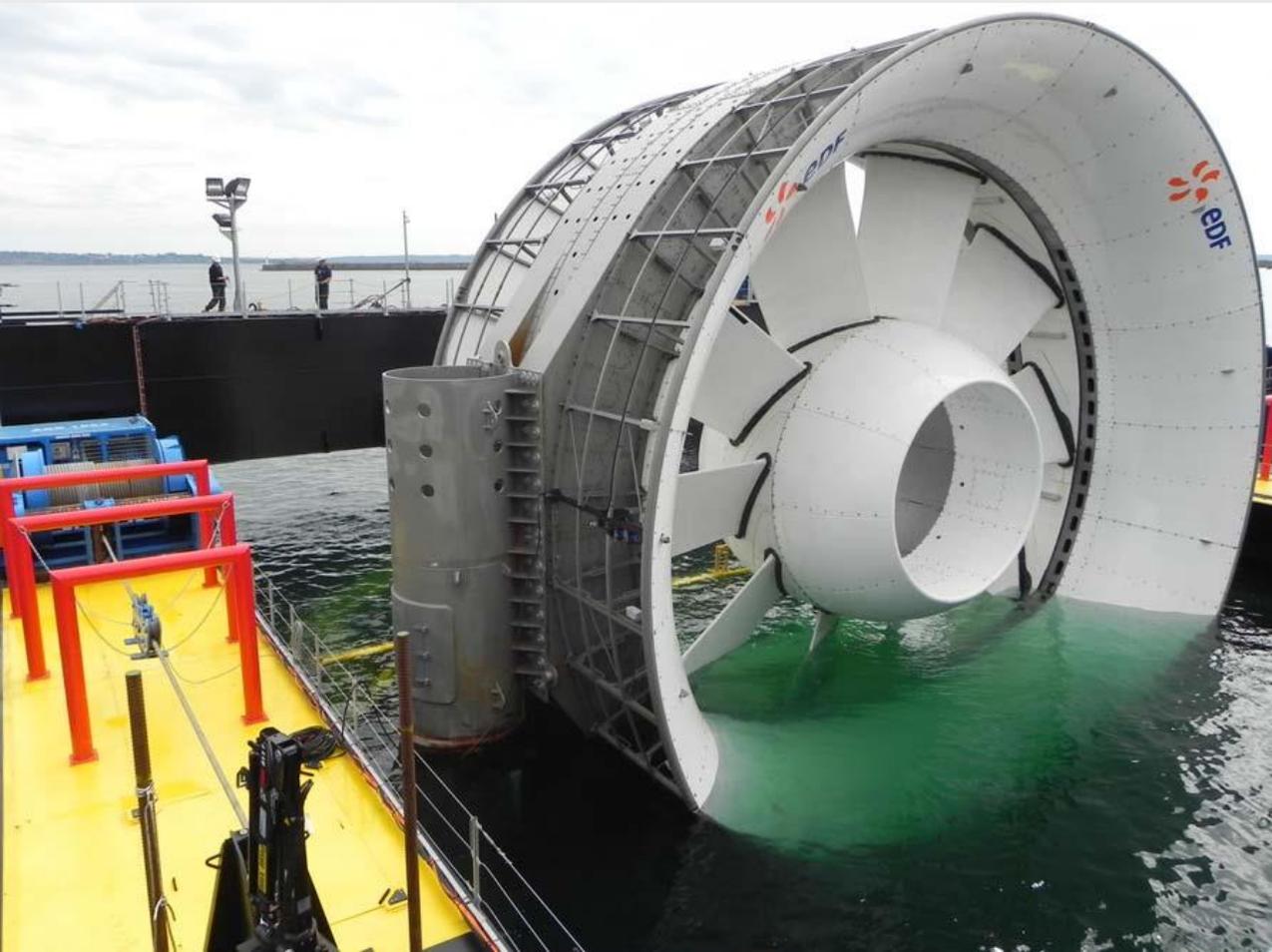


**Back in business: replacement rotor blades go on the SeaGen**

Photo: MCT

# Openhydro

- Première ferme à Bréhat (EDF)

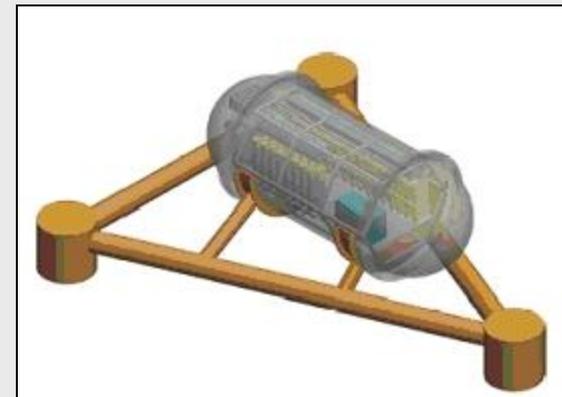
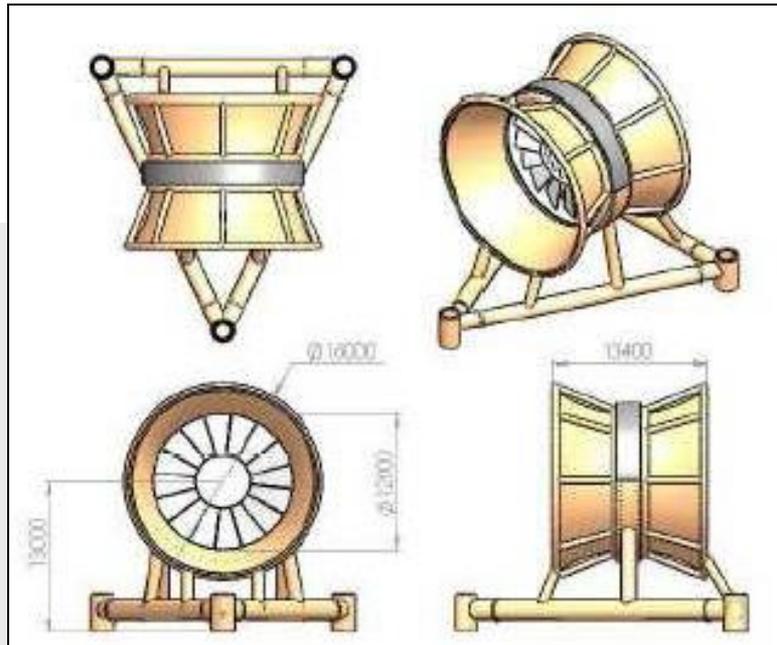
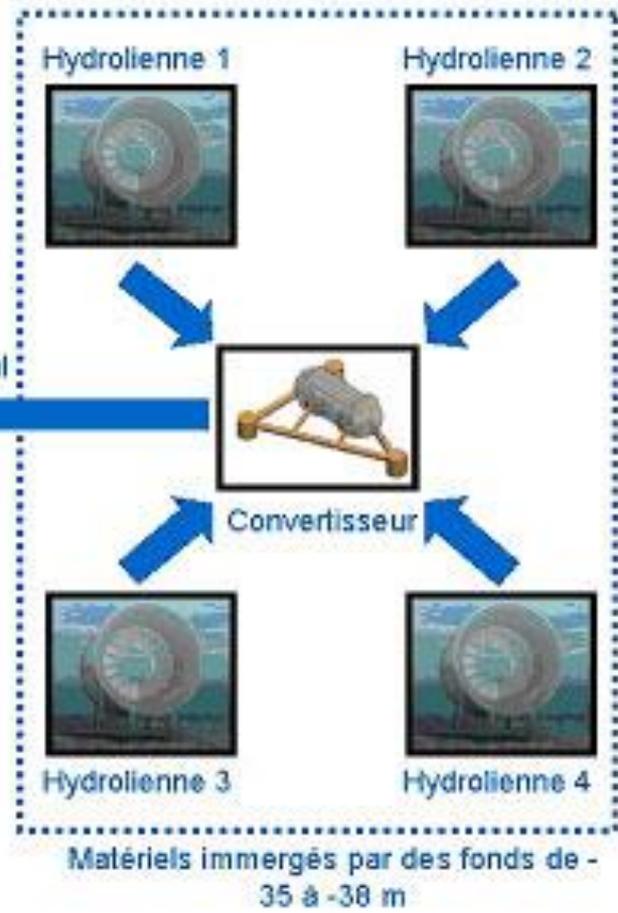


# EDF - Openhydro

Réseau de distribution existant



Câble de liaison principal  
Longueur : 15 km

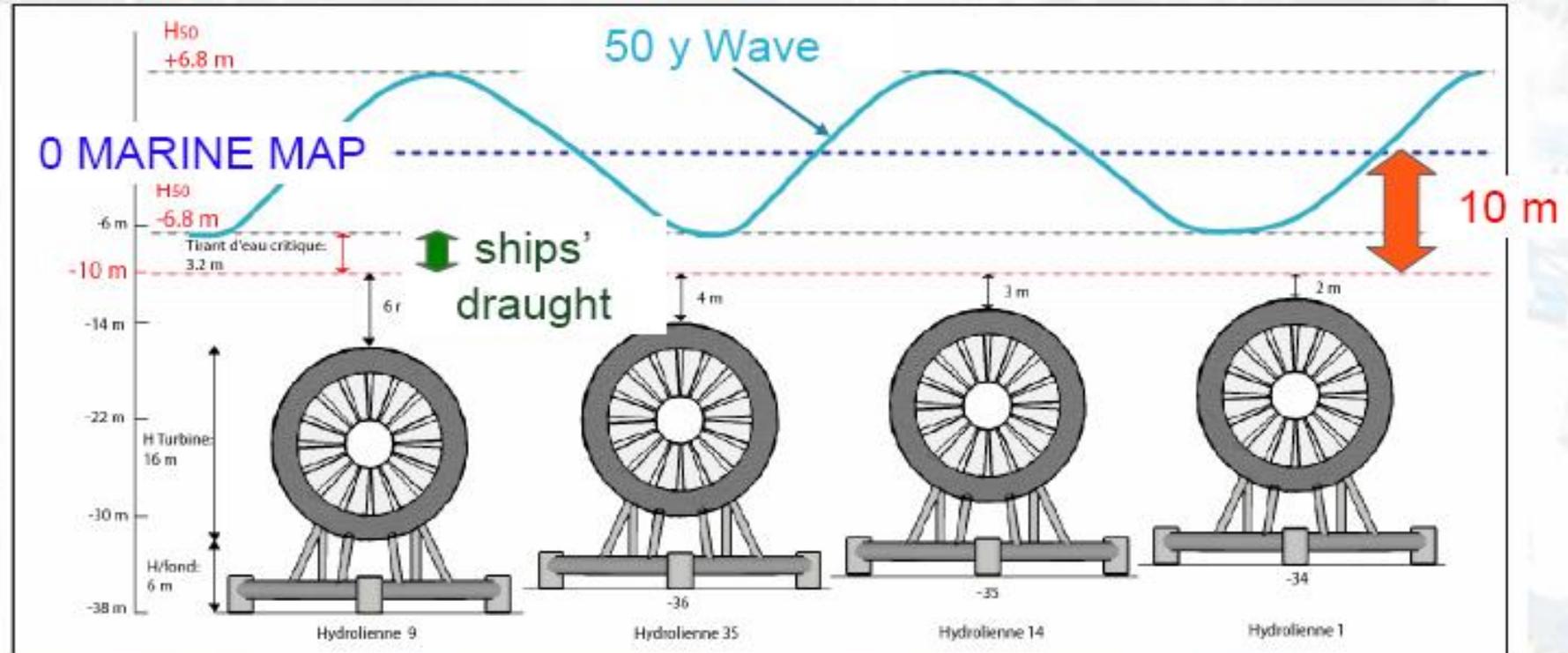


# EDF - Openhydro



# EDF - Openhydro

## Levels of the machines vs safety margin





saipem

# EDF - Openhydro



# EDF - Openhydro





saipem

- Construction d'une usine de production d'hydroliennes à Cherbourg par DCNS
- (100 machines par an à partir de 2018)





saipem

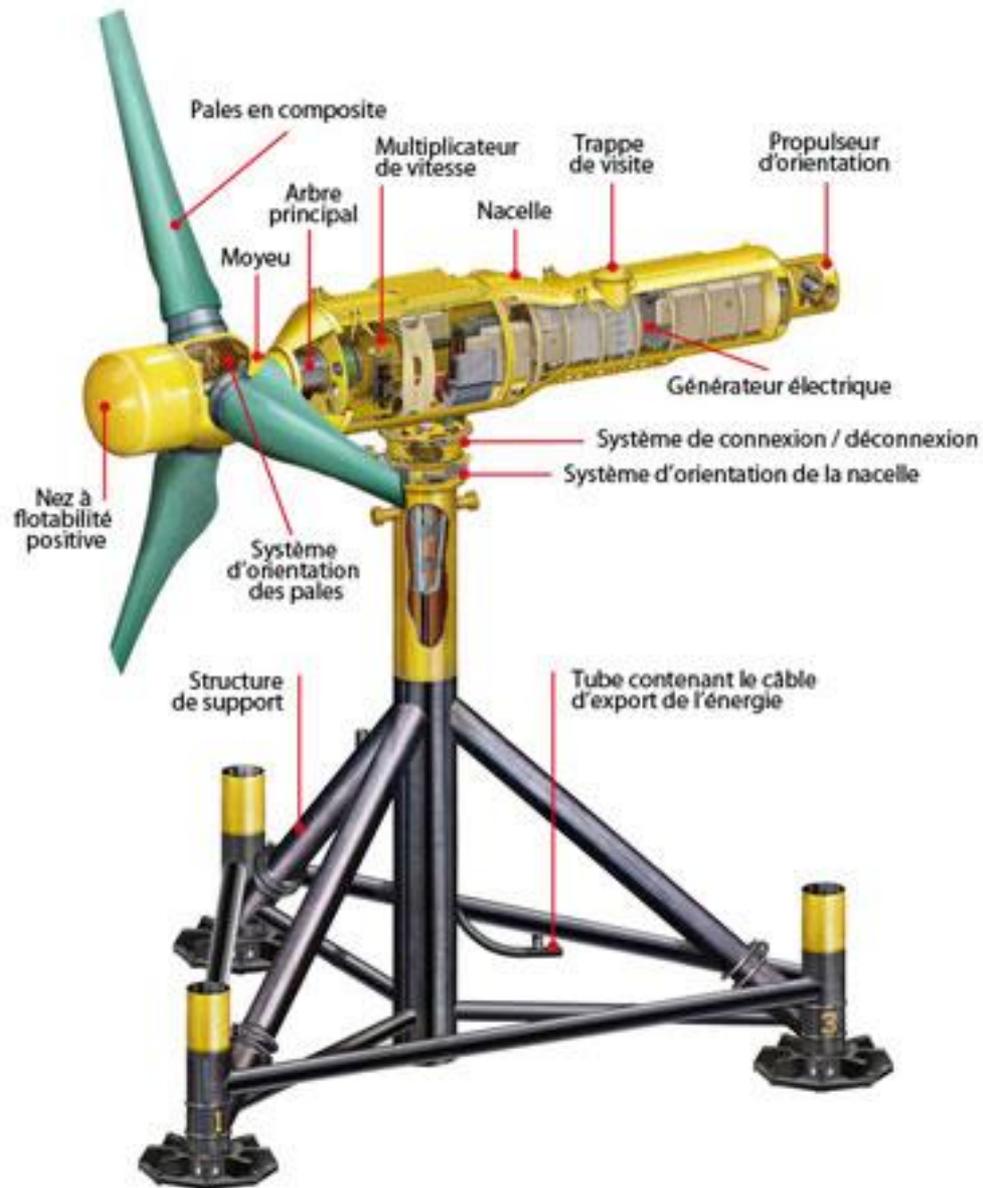
# Autres projets

Hydrolienne Alstom

Hydrolienne carénée – 20m de diamètre – paliers humides



# Alstom



# Alstom





saipem

# Voith Hydro Projet GDF-SUEZ Raz Blanchard



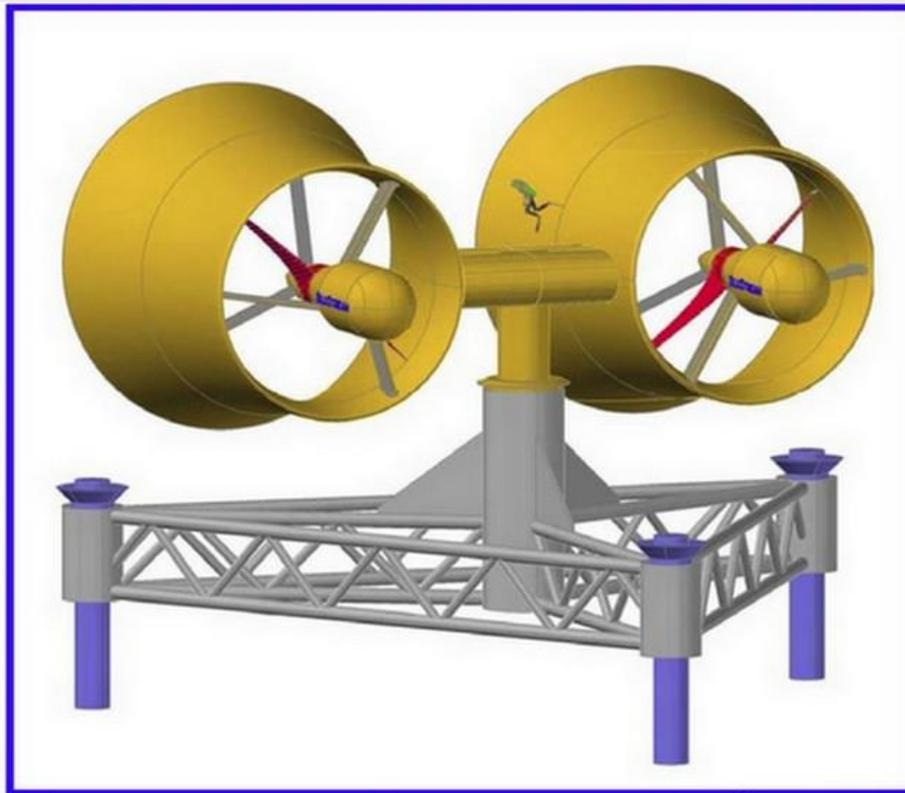


saipem

# Autres projets

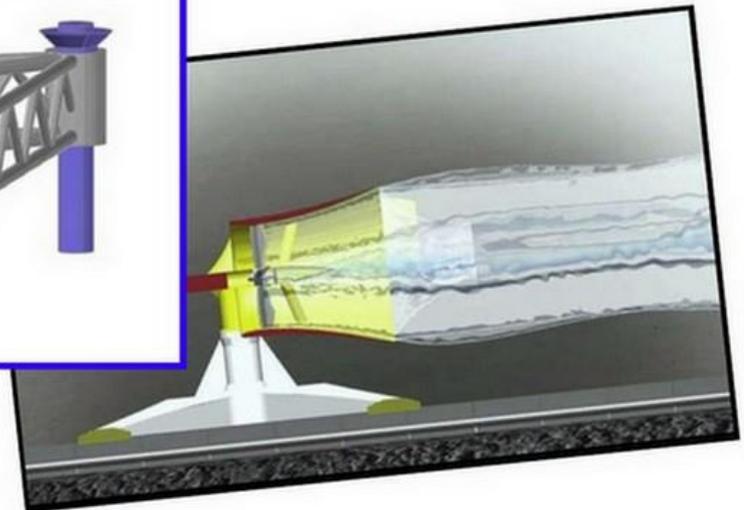
## Hydrolienne Blustream

### Hydroliennes avec divergent s'orientant avec le courant



Reproduction interdite sans l'autorisation écrite de LGI

© LGI 2011 / **BLUSTREAM**  
Licence Guinard Energies



# Sabella





saipem

# Sabella

- Hydrolienne de technologie robuste
- Conçue pour simplifier l'installation et la maintenance



# Le projet d'expérimentation SABELLA D03

Hydrolienne de 3m de diamètre testée à Bénodet



Immersion mars 2008

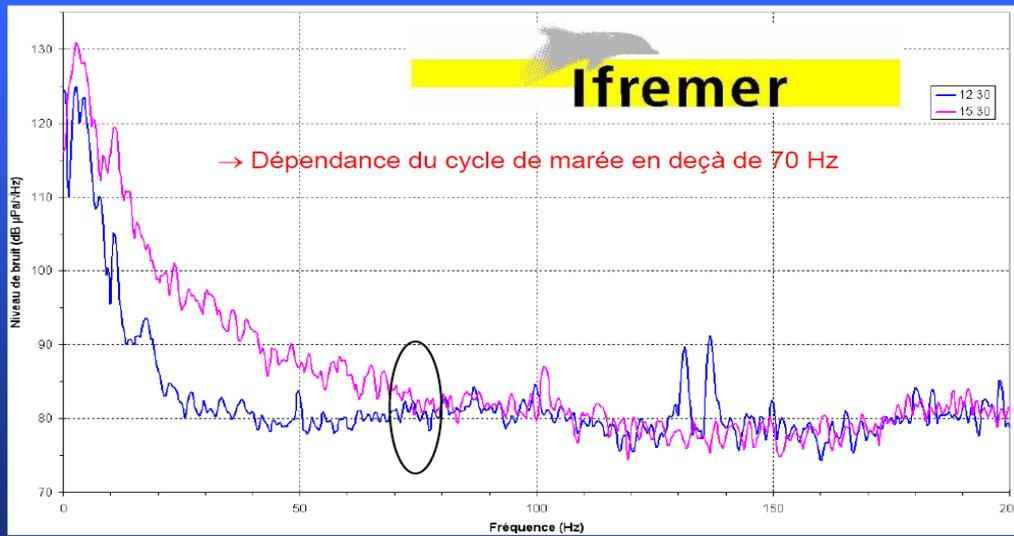


Relevage avril 2009

# Campagnes de suivis



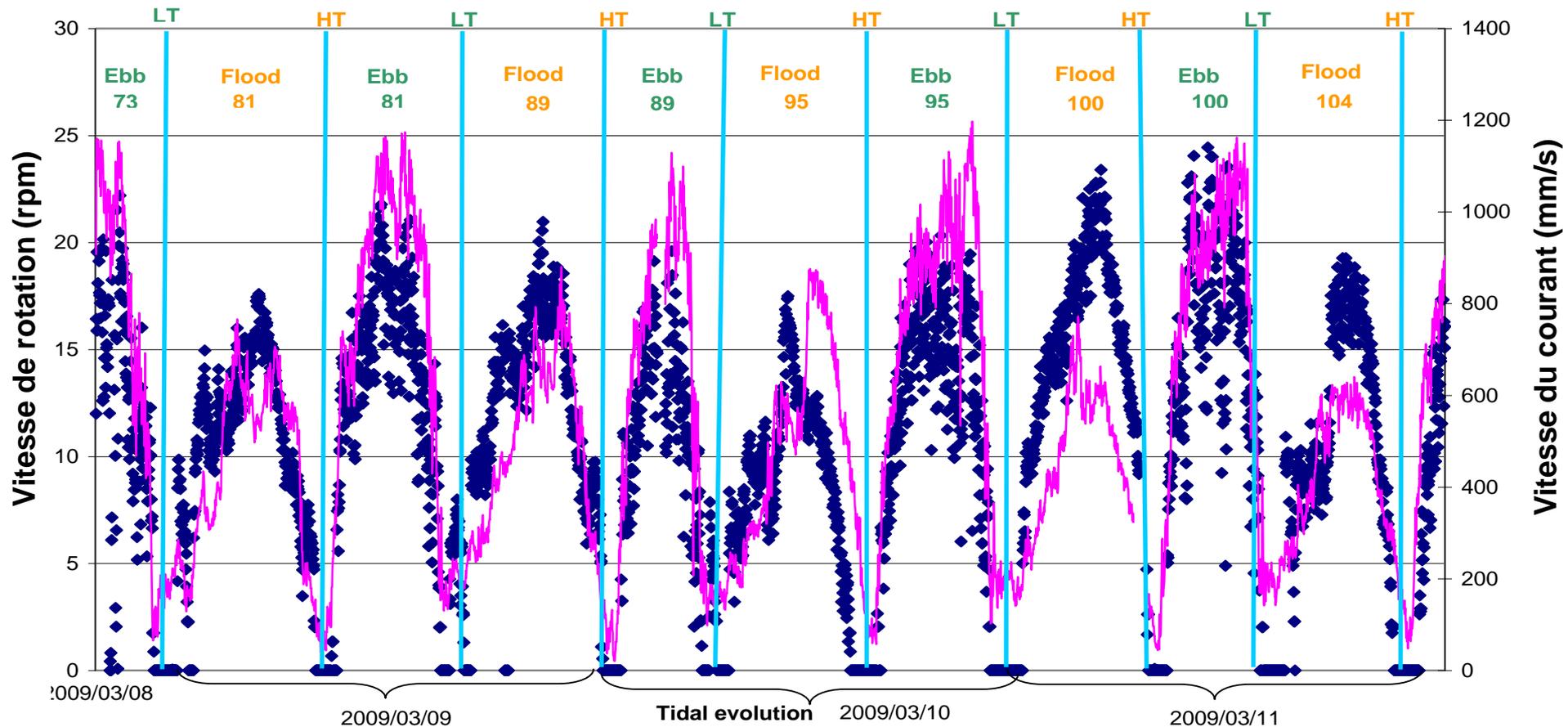
Mesures TBF – Hydrophone #2 (15 m)



**Avril 2008 à**  
**Avril 2009**

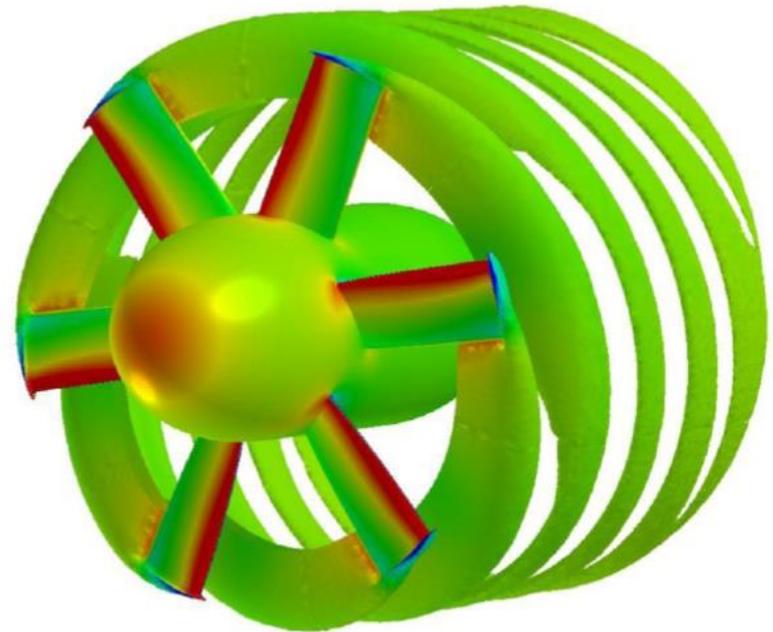
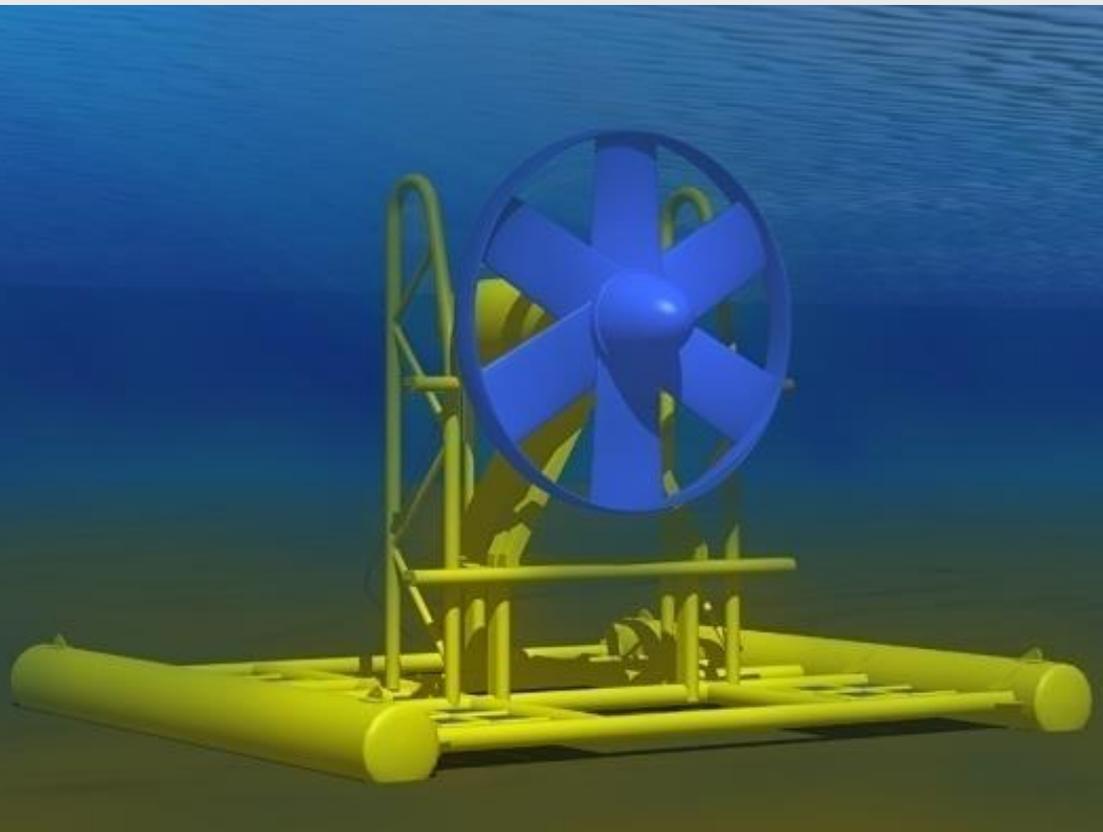
# Exemple de mesures 3 jours de vive-eau

◆ Vitesse de rotation (rpm)
 — Vitesse du courant (mm/s)



# Sabella D10

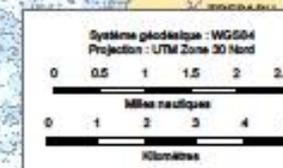
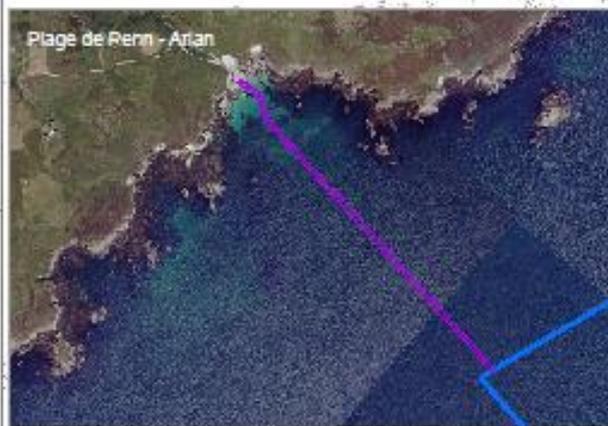
Hydrolienne de 500kW – rotor de 10m de diamètre



**Simulation hydraulique**

# Sabella D10

Implantation dans le Fromveur  
 Profondeur : 50m  
 Distance à la côte : 2km  
 Raccordement au réseau de l'île d'Ouessant



**Généralités**

- Zone potentielle d'implantation de l'hydrolien
- Liaison électrique
- Ports

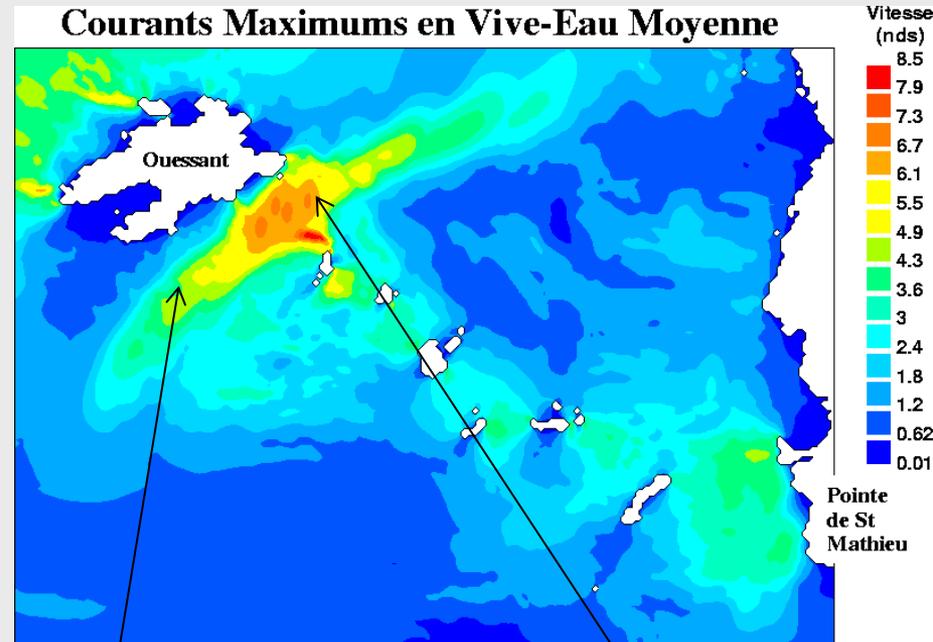
# Sabella D10

Le Fromveur : Un potentiel hydrolien théorique de plus de 1000MW



Fromveur : Phare de la Jument

Courants Maximums en Vive-Eau Moyenne



Phare de la Jument

Phare de Kéréon



saipem

# Le Fromveur : Un site exigeant

Le phare de Kéréon – un jour de beau temps



## Le phare de Kéréon – un jour de tempête

En mer, tout doit être dimensionné pour  
résister aux tempêtes





# Impact environnemental



# Environnement

## Pas d'impact sur la faune



# Environnement



Relevage final  
de  
l'hydrolienne

Notez la  
propreté des  
pales grâce au  
revêtement  
anti-salissures



saipem

# Environnement

Relevage de l'embase : forte colonisation







saipem

9 June 2013 Last updated at 17:41 GMT

# Three rescued after yacht hits Strangford turbine



The turbine where the accident happened on Sunday morning

Three people, including a child, have been rescued after their yacht crashed into a tidal turbine at Strangford Lough.

# L'impact politique



## D'immenses attentes ...

### Lu dans la presse locale ...

#### **Le courant marin pour alimenter l'île d'Ouessant**

"Les 500 MW de Sabella représenteront environ 40% de la consommation de l'île", souligne M. Daviau, précisant qu'en période touristique, la consommation passe de 1.000 MW à 2.000 MW.

### La puissance est simplement exagérée 1000 fois...

Des hydroliennes dans la Seine à Paris

Le courant est simplement 10 fois trop lent...



France Soir

Date : 09/04/2011

Pays : FRANCE

Page(s) : 1-7

Rubrique : LES HISTOIRES DU JOUR

Diffusion : 23934

## ÉCOLOGIE

Les hydroliennes,  
que des avantages

**Innovation** L'entrée de la Direction des constructions navales au capital de la start-up irlandaise OpenHydro, choisie par EDF, traduit l'intérêt de la France pour cette énergie renouvelable.

# HYDROLIENNES

## Une nouvelle énergie durable pour la France

— AIRY ROUTIER

C'est une toute petite opération financière, mais elle prélude

L'entreprise publique est régulièrement accusée par les écologistes de freiner des quatre

EDF, d'être prévisible puisque, à la différence du vent, on connaît longtemps à l'avance

société semi-publique, spécialiste des constructions navales militaires, cherche à se diver-

# Un intérêt politique



ERIC BESSON

MINISTRE CHARGÉ DE L'INDUSTRIE, DE L'ÉNERGIE ET DE L'ÉCONOMIE NUMÉRIQUE  
AUPRES DU MINISTRE DE L'ÉCONOMIE, DES FINANCES ET DE L'INDUSTRIE

*Communiqué de presse*

*Communiqué de presse*

[www.economie.gouv.fr](http://www.economie.gouv.fr)

Paris, le jeudi 5 avril 2012  
N°607

## **Eric BESSON met en œuvre la feuille de route pour le développement de l'énergie hydrolienne**

Afin de mettre en œuvre la feuille de route pour les hydroliennes annoncée le 19 mars, Eric BESSON, Ministre chargé de l'Industrie, de l'Énergie et de l'Économie numérique, a réuni hier l'ensemble des services de l'État concernés, en particulier la Direction générale de l'énergie et du climat et Réseau de Transport d'Électricité (RTE).

Le Gouvernement souhaite être en mesure de lancer avant deux ans un appel d'offres commercial pour les hydroliennes sous-marines, du type de celui conduit pour l'éolien offshore.

# Le défi maritime de la France

par  
**FRANÇOIS HOLLANDE**  
Président de la République



**V**ictime d'un tropisme métropolitain des esprits ou, pire, d'une simple ignorance de nos atouts maritimes, la mer est depuis trop longtemps la grande oubliée du débat public et des stratégies nationales définies. Présent sur les trois grands océans, notre pays se situe pourtant au second rang pour sa superficie marine qui représente plus de 18 fois celle de notre surface terrestre.

Nous avons voulu profiter de ce grand rendez-vous démocratique des élections présidentielles pour enfin « parler mer ». Car le défi français est et sera un grand défi maritime. La mer, source inestimable de richesses, nous permettra de répondre aux enjeux de demain qu'ils soient environnementaux, économiques, sociaux ou humanitaires. Mais elle constitue également un formidable potentiel de croissance économique, de création de richesses et d'emplois dont il nous faut assurer les conditions.

## Défendre à la fois les pêcheurs et la ressource

La pêche, indispensable pour notre indépendance alimentaire, constitue l'un des éléments de cette puissance économique maritime. Mais encore faut-il permettre à nos pêcheurs de pouvoir exercer leur activité. La flotte française a perdu près de 1 000 navires rien que ces deux dernières années. Pour être vrai-

ment durable, il faut que l'Europe donne les moyens à sa pêche de renouveler sa flotte. Le prochain gouvernement devra poser davantage dans les négociations sur la politique commune des pêches afin de réaffirmer notre volonté de maintenir une activité économique durable fondée sur le maintien de l'effort de pêche, la garantie de quotas pluriannuels et la mise en place d'une expertise partagée entre scientifiques et professionnels.

Ainsi, nous assurerons la protection de notre économie maritime et redonnerons à la pêche les moyens de sa modernisation.

Pour cela, nous voulons sortir de la logique de marchandage et de sanction édictée par la PCP au profit d'une démarche récompensant les pêcheurs qui s'orientent vers des pratiques plus respectueuses de la ressource et de l'environnement. La PCP doit aussi comporter un indispensable volet social afin de préserver l'attractivité et, au-delà, la survie du métier de marin.

## L'énergie bleue, un potentiel d'industrialisation

La mer offre également à notre pays un potentiel d'industrialisation et de création d'emplois locaux. En développant des filières industrielles performantes dans le domaine de la construction navale, de la plaisance ou encore des énergies marines... nous voulons signer un pacte productif pour notre pays.

**« Le Registre international français a fait la preuve de son inefficacité et devra faire l'objet d'une refonte dans la perspective d'un pavillon européen. »**



Chalutiers et pêcheurs du Gabonais.  
« Nous voulons favoriser une démarche récompensant les pêcheurs qui s'orientent vers des pratiques plus respectueuses de la ressource et de l'environnement » François HOLLANDE

PHOTO: MARITIME/AGF

PHOTO: R. B.

## Une nouvelle gouvernance de la mer et du littoral

Mais si la France défend ici un potentiel majeur pour son avenir, encore doit-elle se donner les moyens politiques et administratifs de concrétiser cette ambition maritime. Face à l'émergence des problématiques maritimes et à l'éclatement des compétences et des autorités, la stratégie maritime française ne peut se construire que dans le cadre d'une politique globale, intégrée et volontaire.

Après la débâcle du Grenelle de l'Environnement vivement critiqué par la Cour des comptes, et le Grenelle de la mer qui a suscité beaucoup d'espoirs mais peu de concrétisations, la stratégie maritime française doit s'accompagner de moyens dédiés à la >>>



« La capacité d'entreprendre dans les énergies bleues nécessite une démarche très volontariste dans le soutien de programmes de recherche innovante et le transfert de technologie » François HOLLANDE

PHOTO: A. V. G.

PHOTO: B. B.



sa



# Conférence mer et littoral de Bretagne Hydrolien Fromveur

3 juin 2013

## Courrier de la ministre de l'écologie 22 février 2013

Définir une zone propice à l'hydrolien dans le Fromveur, le Raz Blanchard, le Raz de Barfleur

Pour une ferme de démonstration

2 ou 3 km<sup>2</sup>

Quelques machines reliées entre elles et reliées au réseau terrestre

Eviter si possible un passage du câble en espace remarquable

Limiter le coût du raccordement (distance)

Pas de sous-station en mer

Info DGEC: puissance entre 5 et 15 MW

## Atterrage: hors espace remarquable



Source: RTE

20 km de câble privé en mer puis 10 km à terre jusqu'à Saint-Renan  
Coût important pour une ferme pilote

Précâblage industriel ?

Coût + anticipe résultats du suivi d'une ferme pilote  
et avis conforme du PNMI

# Conclusions

- Les hydroliennes représentent une nouvelle source d'électricité renouvelable
- La ressource est abondante sur nos côtes
- L'énergie est intermittente mais prédictible
- L'impact environnemental est faible
- Le potentiel accessible est relativement limité mais mérite d'être exploité
- Plusieurs acteurs nationaux sont engagés dans le développement

**Les ressources marines sont abondantes**  
**Ne pas oublier que la mer est un milieu hostile**



**Les ressources marines sont abondantes**  
**Ne pas oublier que la mer est un milieu vivant**

