

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 hydro 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

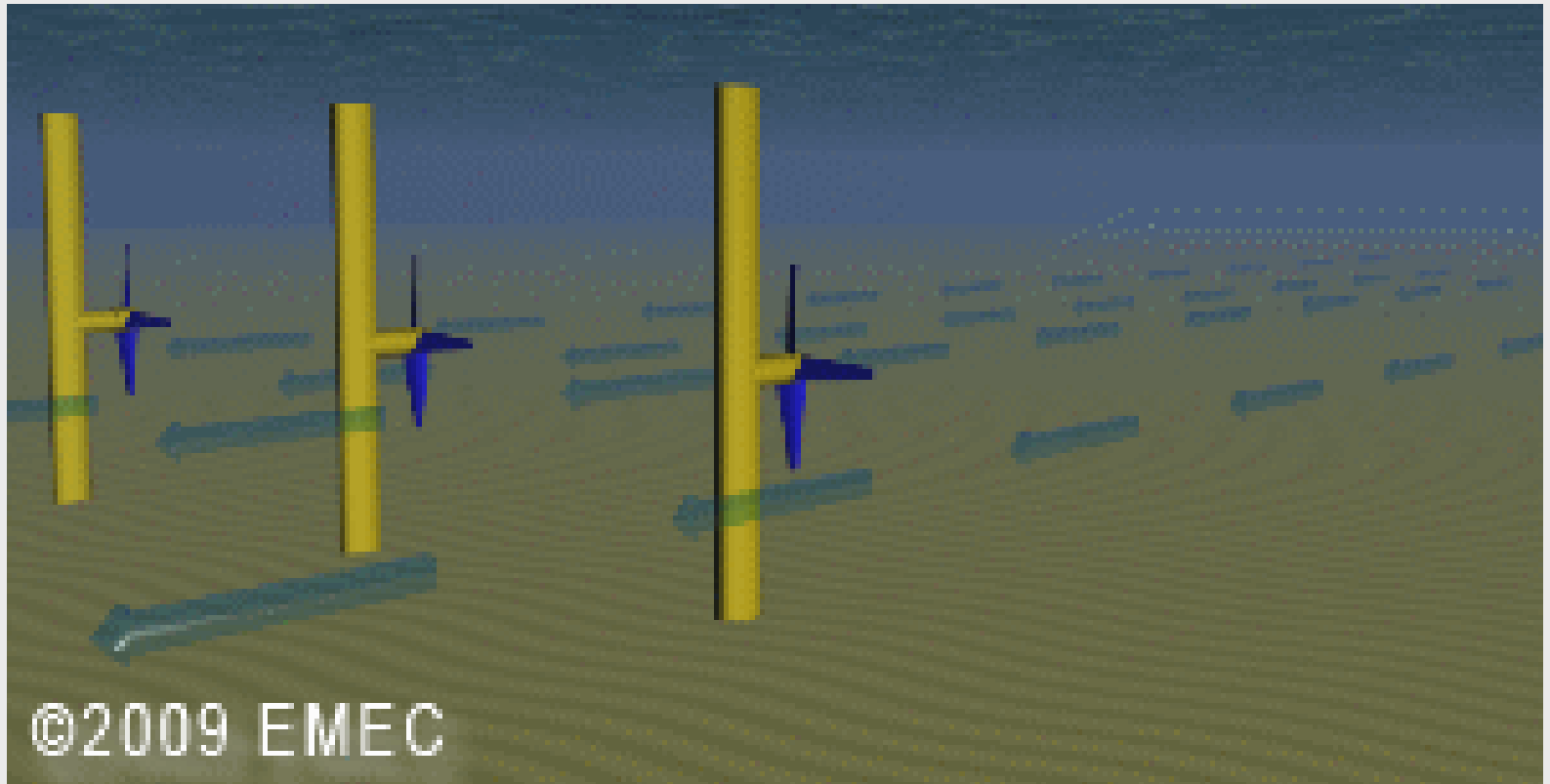
Les hydroliennes

- 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

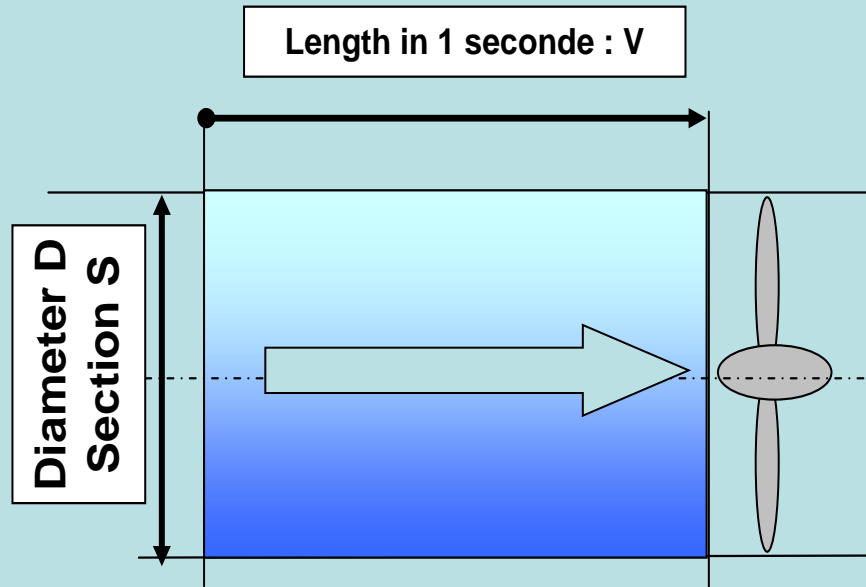


saipem

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



Principe d'une hydrolienne



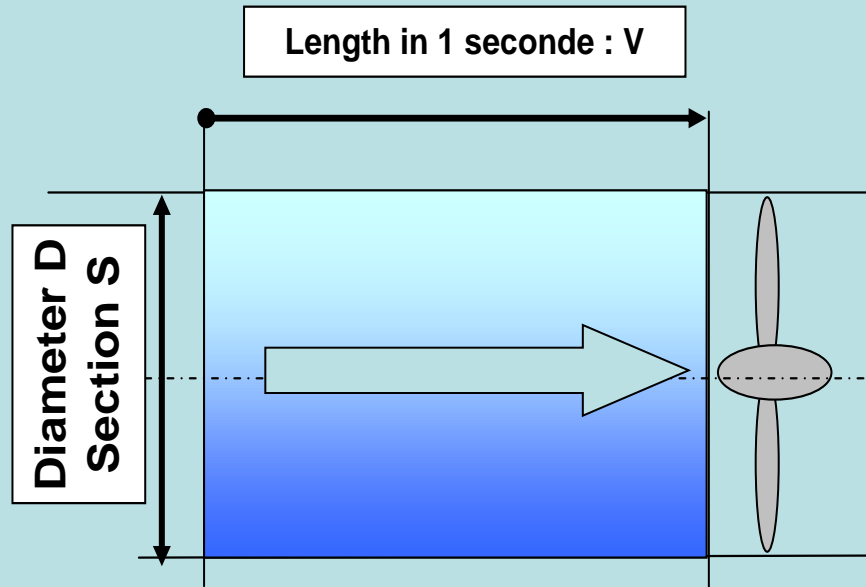
Mass across the rotor per second : $\text{Mass} = \rho \cdot S \cdot V$

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**

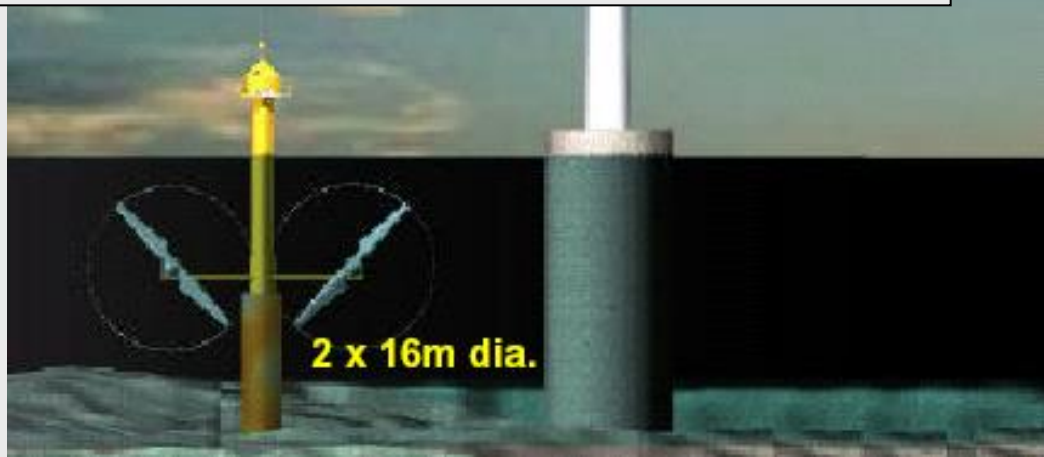
être plus petite qu'une
éolienne

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

1 x 60m dia.



2 x 16m dia.

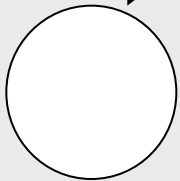


La dimension d'une hydrolienne dépend surtout du courant

Diamètre du rotor pour une puissance de 200 kW

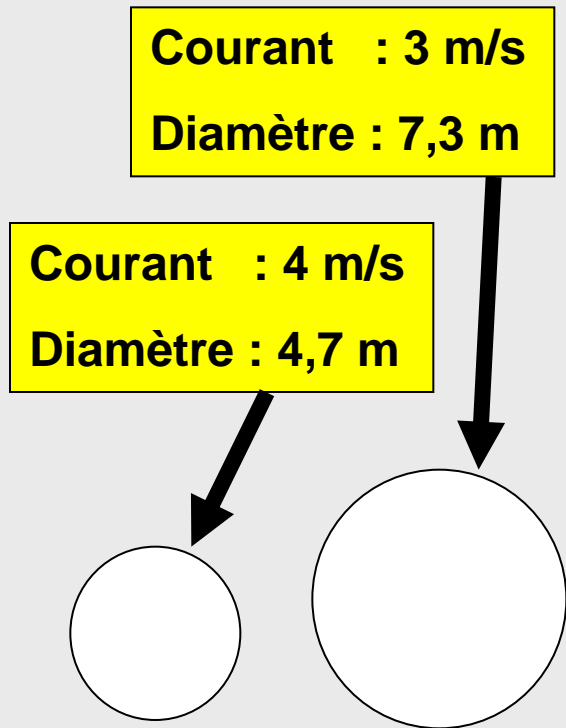
Courant : 4 m/s

Diamètre : 4,7 m



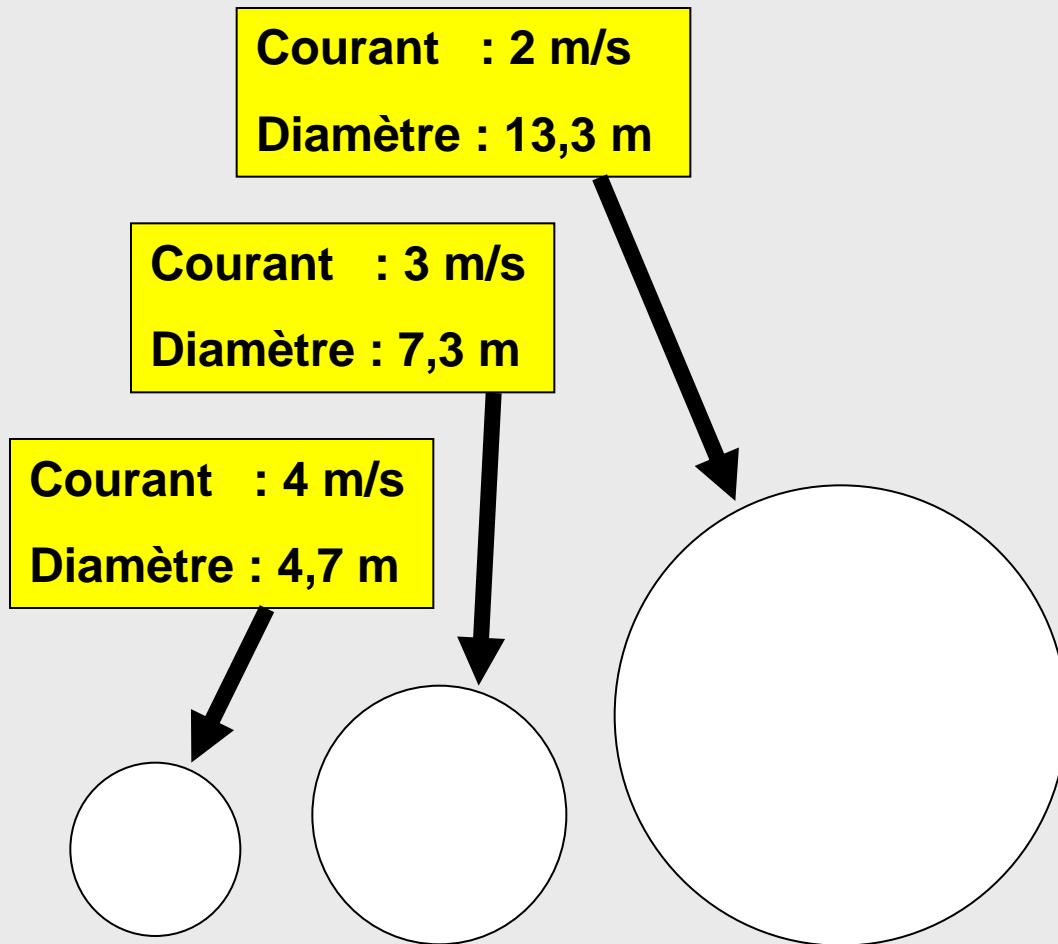
La dimension d'une hydrolienne dépend surtout du courant

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



La dimension d'une turbine dépend surtout

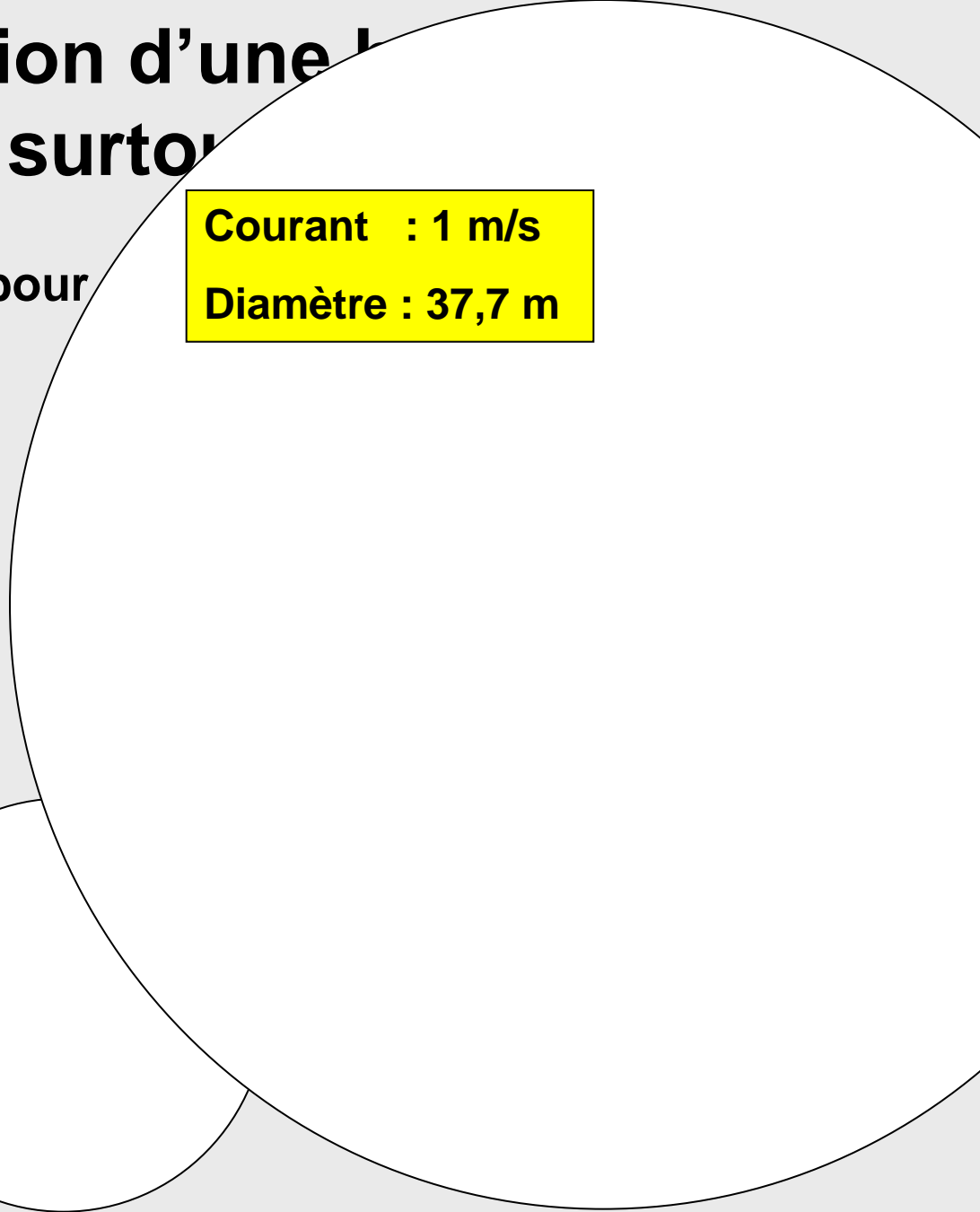
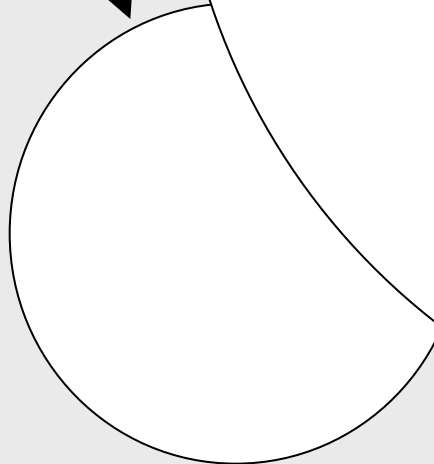
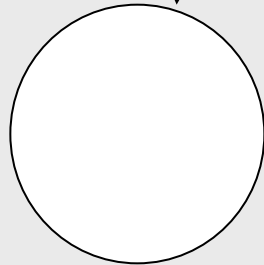
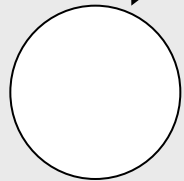
Diamètre du rotor pour

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

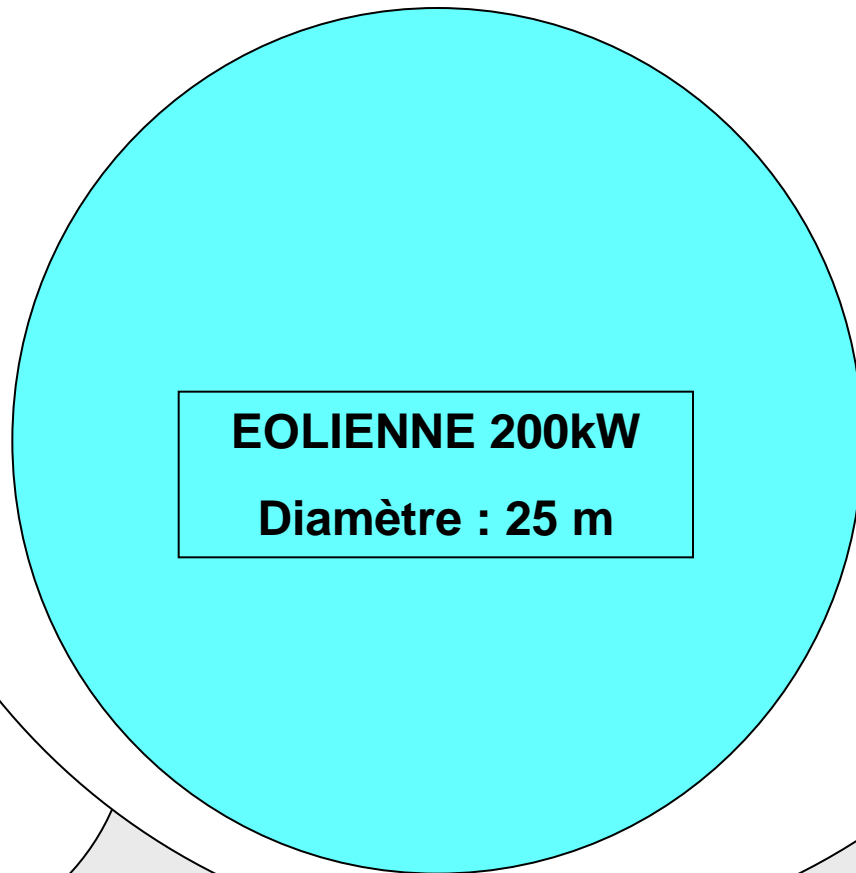
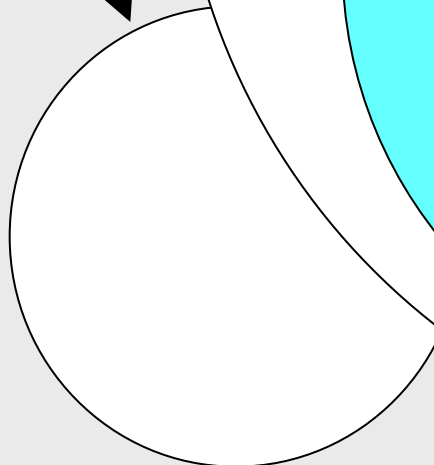
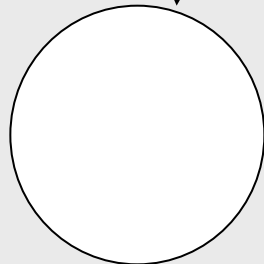
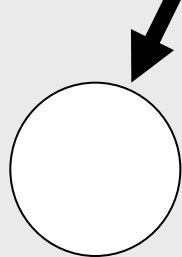
Diamètre : 4,7 m

Courant : 1 m/s

Diamètre : 37,7 m

EOLIENNE 200kW

Diamètre : 25 m





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

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



saipem

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

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

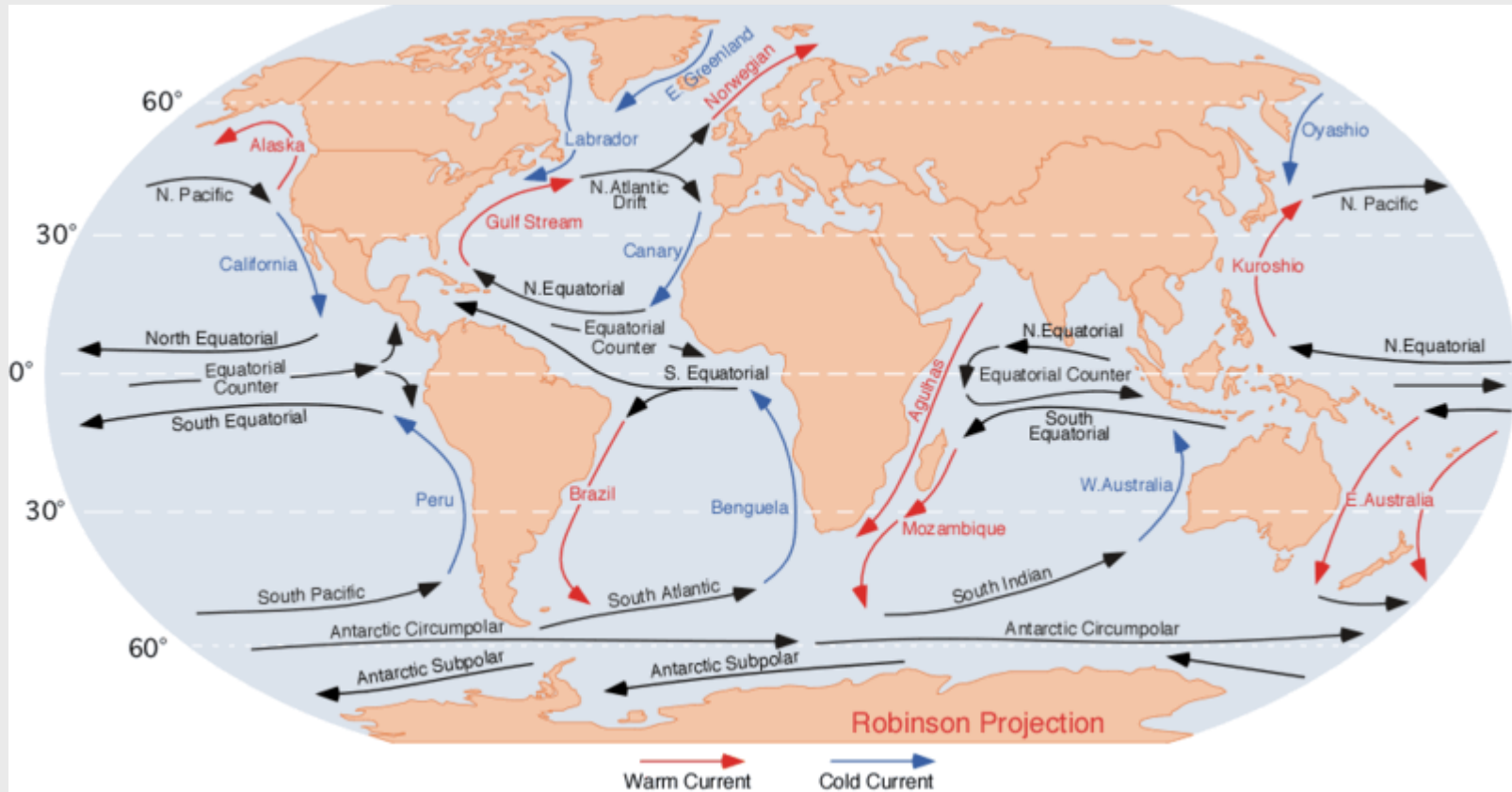
1. Les hydroliennes ne sont économiquement viables que si le courant local maximal dépasse 2.3m/s
2. Si le courant est inférieur à 1.5m/s, l'hydrolienne est plus grande que l'éolienne équivalente (et bien plus chère !)
3. Dessiner des hydroliennes pour des courants d'environ 1m/s est une perte de temps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



saipem

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

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

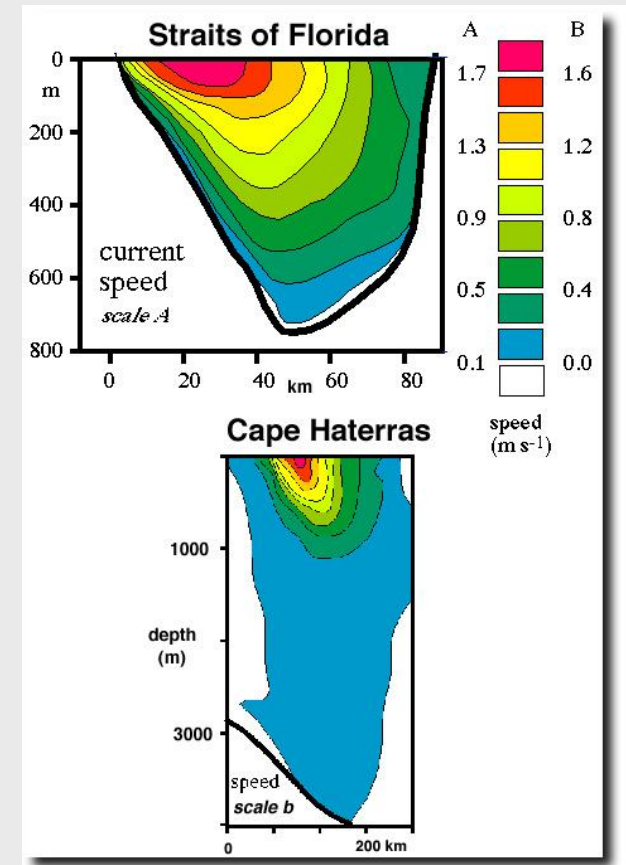
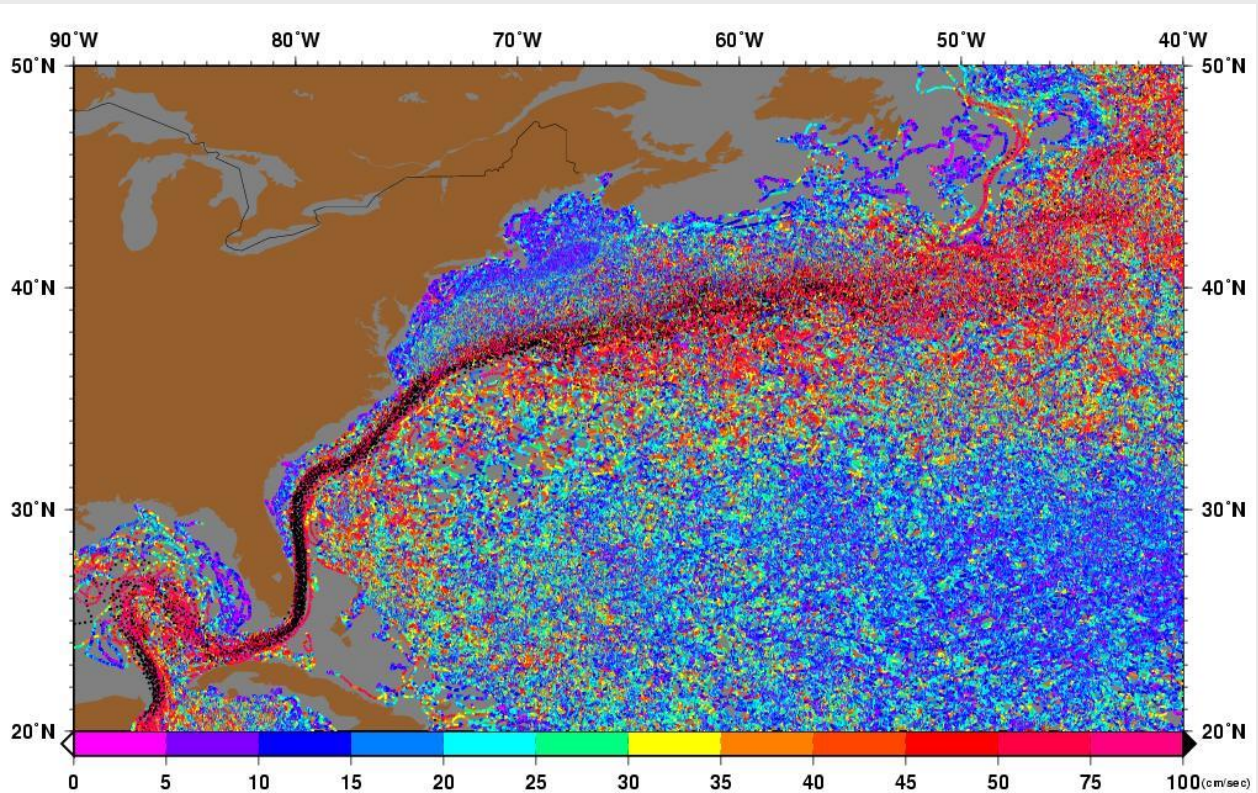


$$\text{Power} = 200 \cdot S \cdot V^3$$

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 !

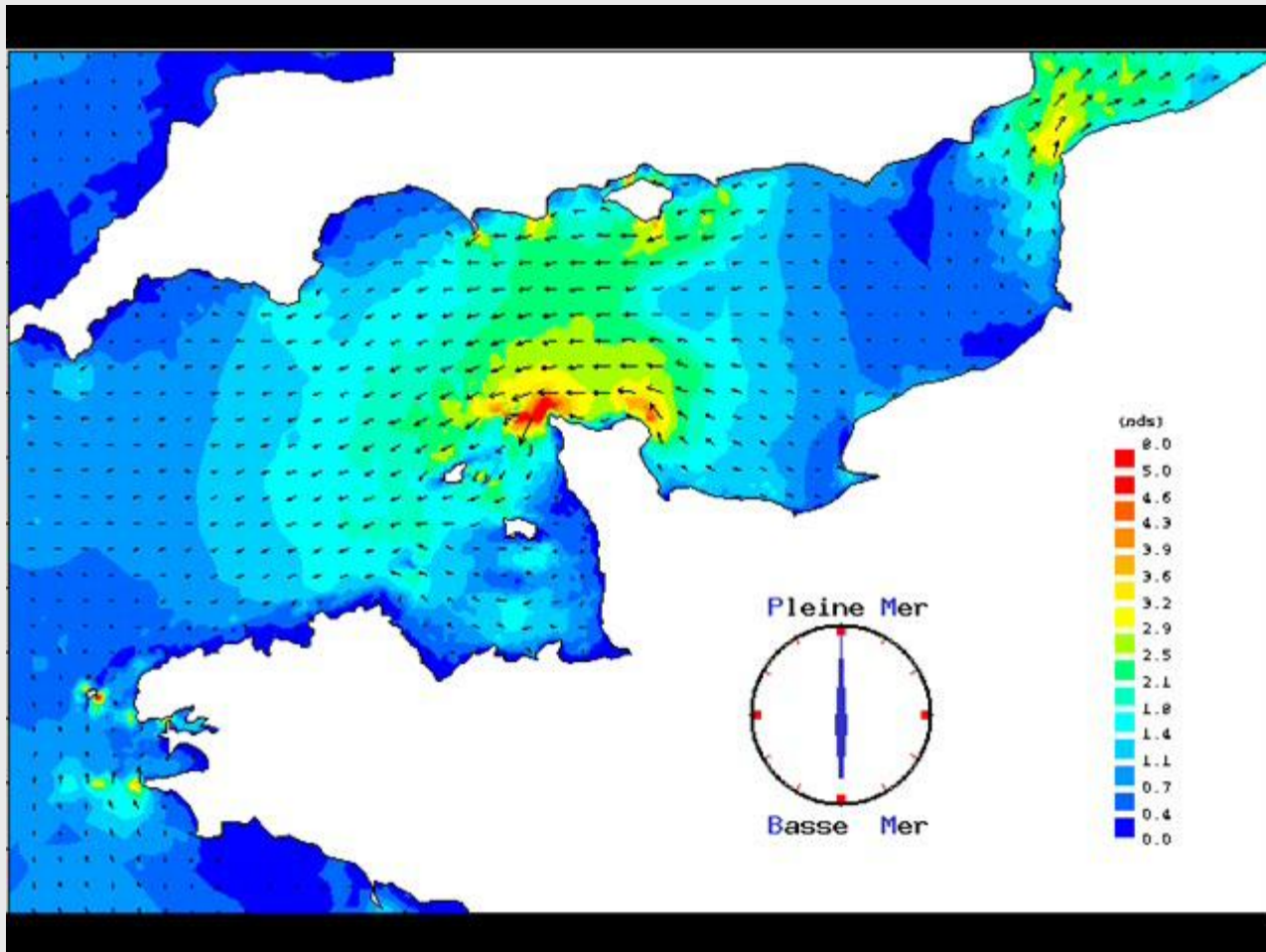
Record du 100m nage libre : 47s

Vitesse : 2.13m/s

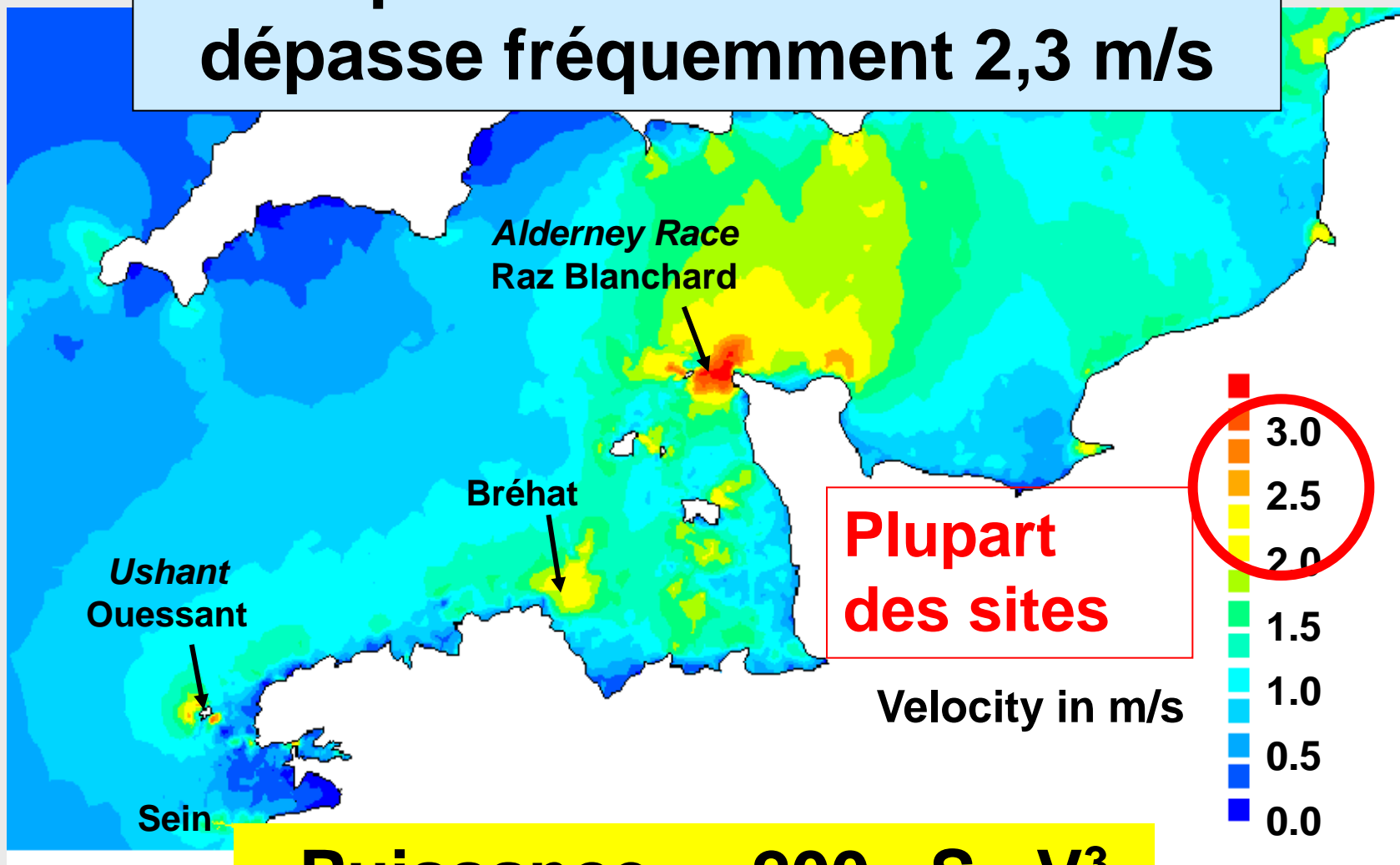
Trop lent !



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

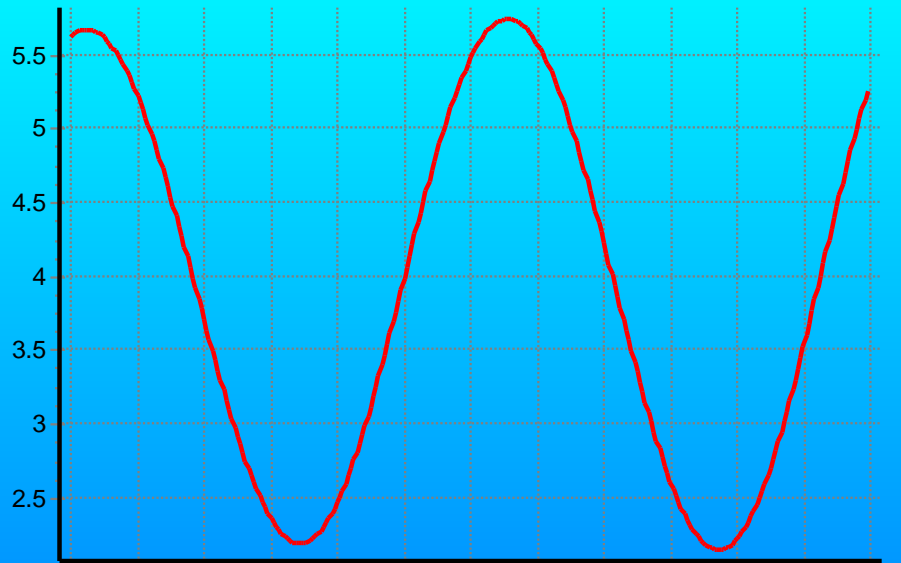


La marée est prédictible

Marée à Brest
19 juin 2013

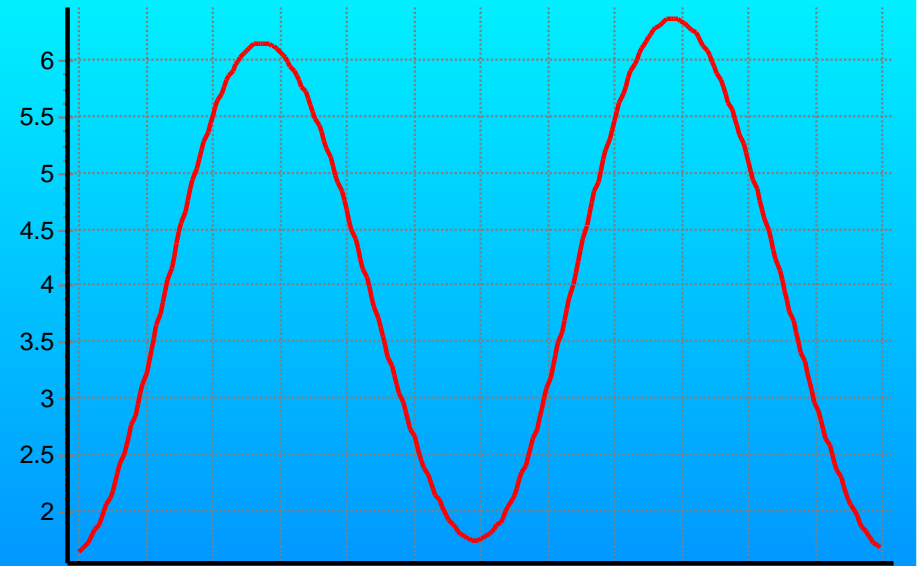
Marée à Brest
19 juin 2023

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

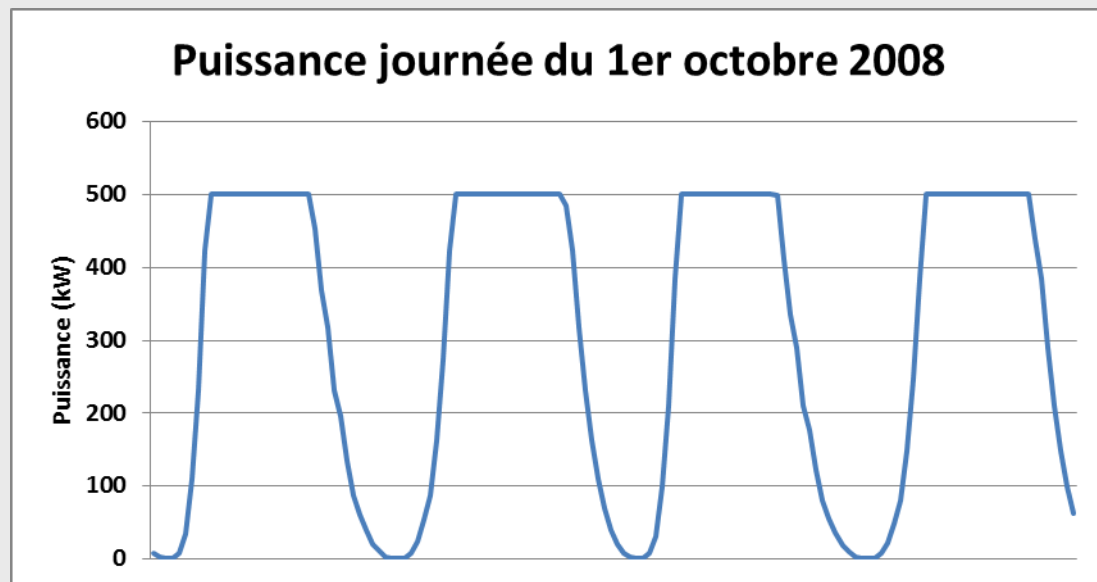
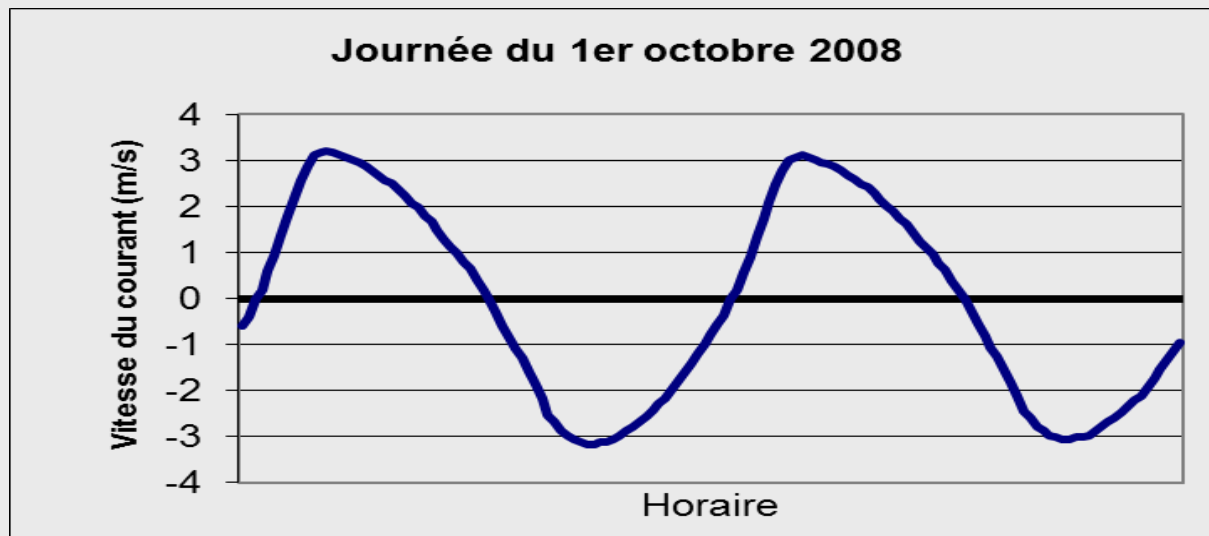


saipem

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)



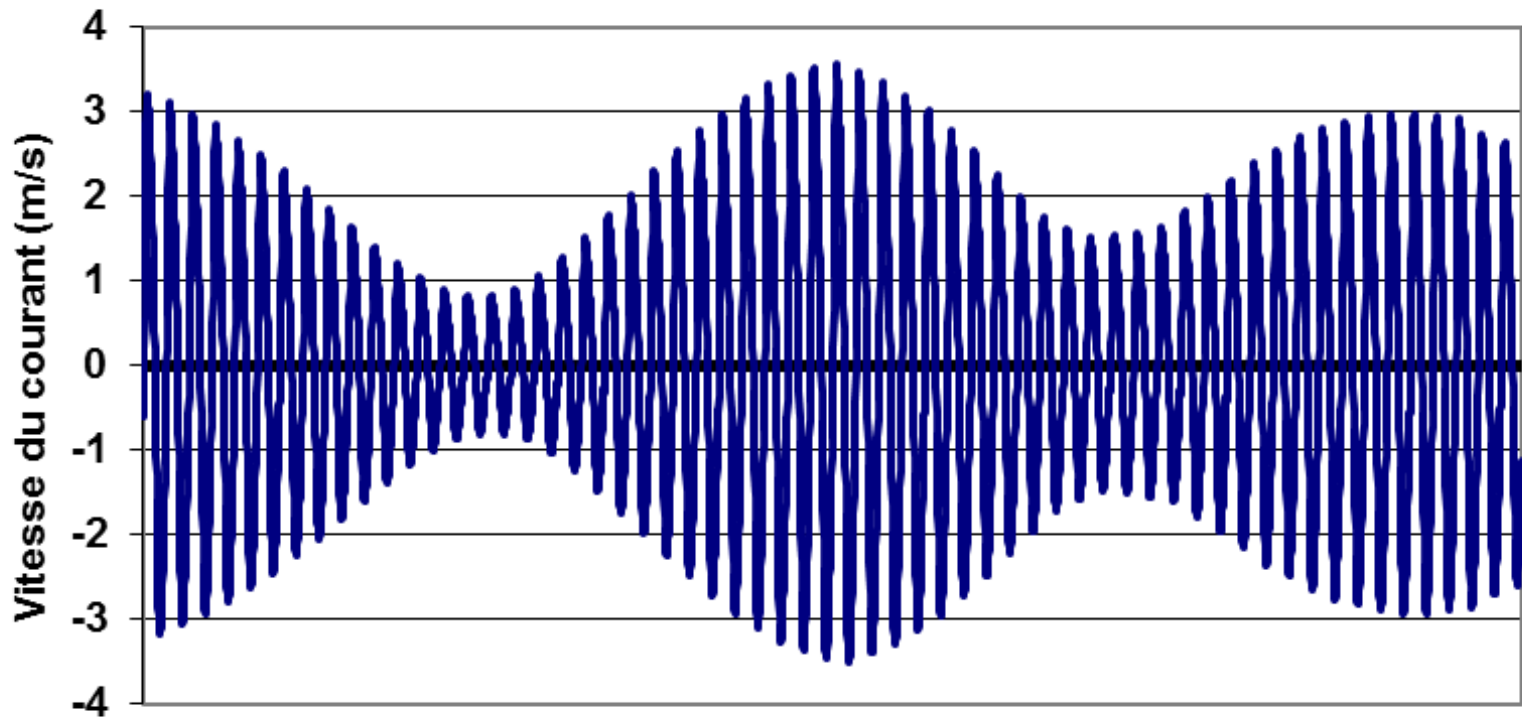


saipem

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

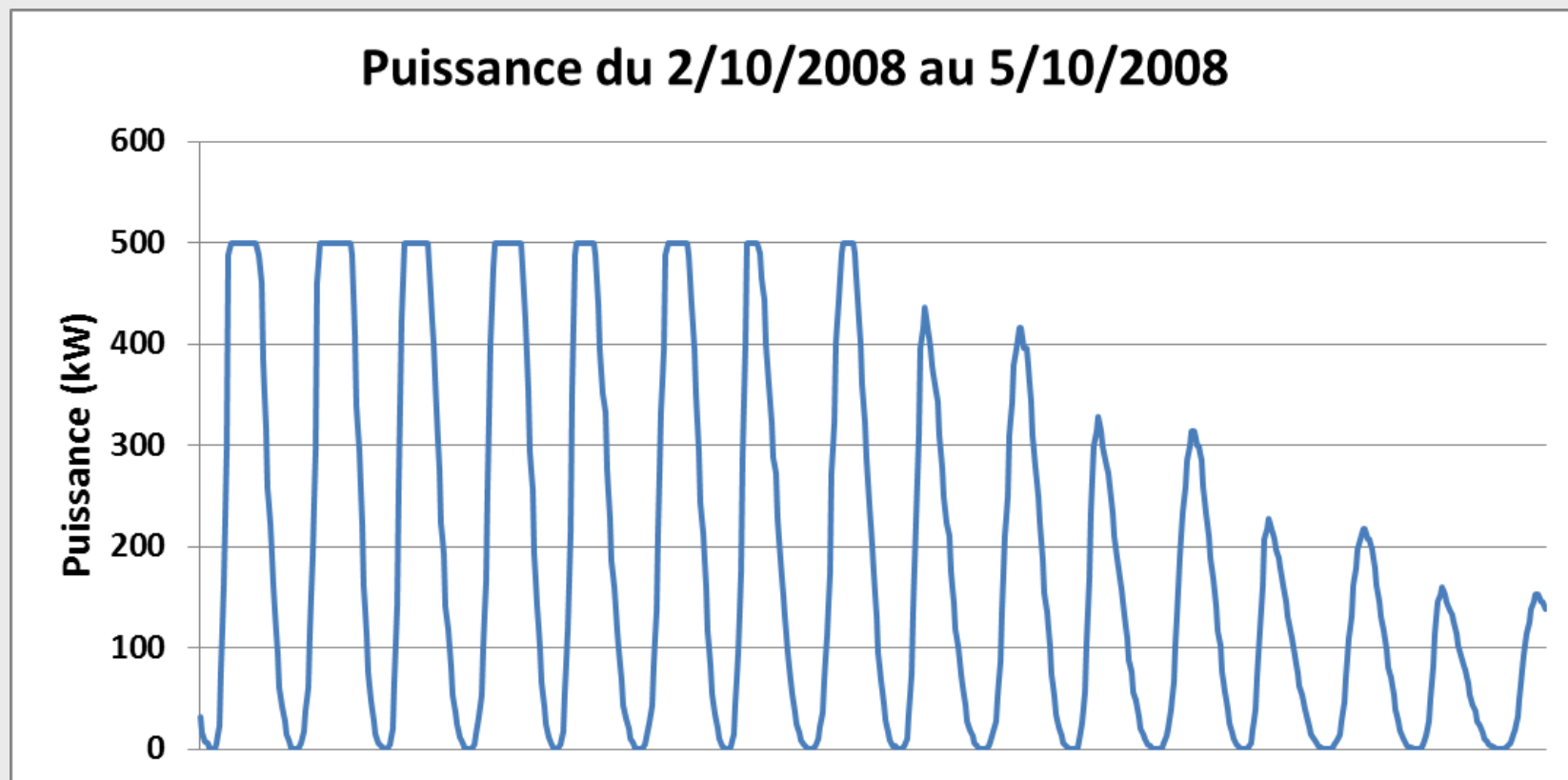




saipem

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

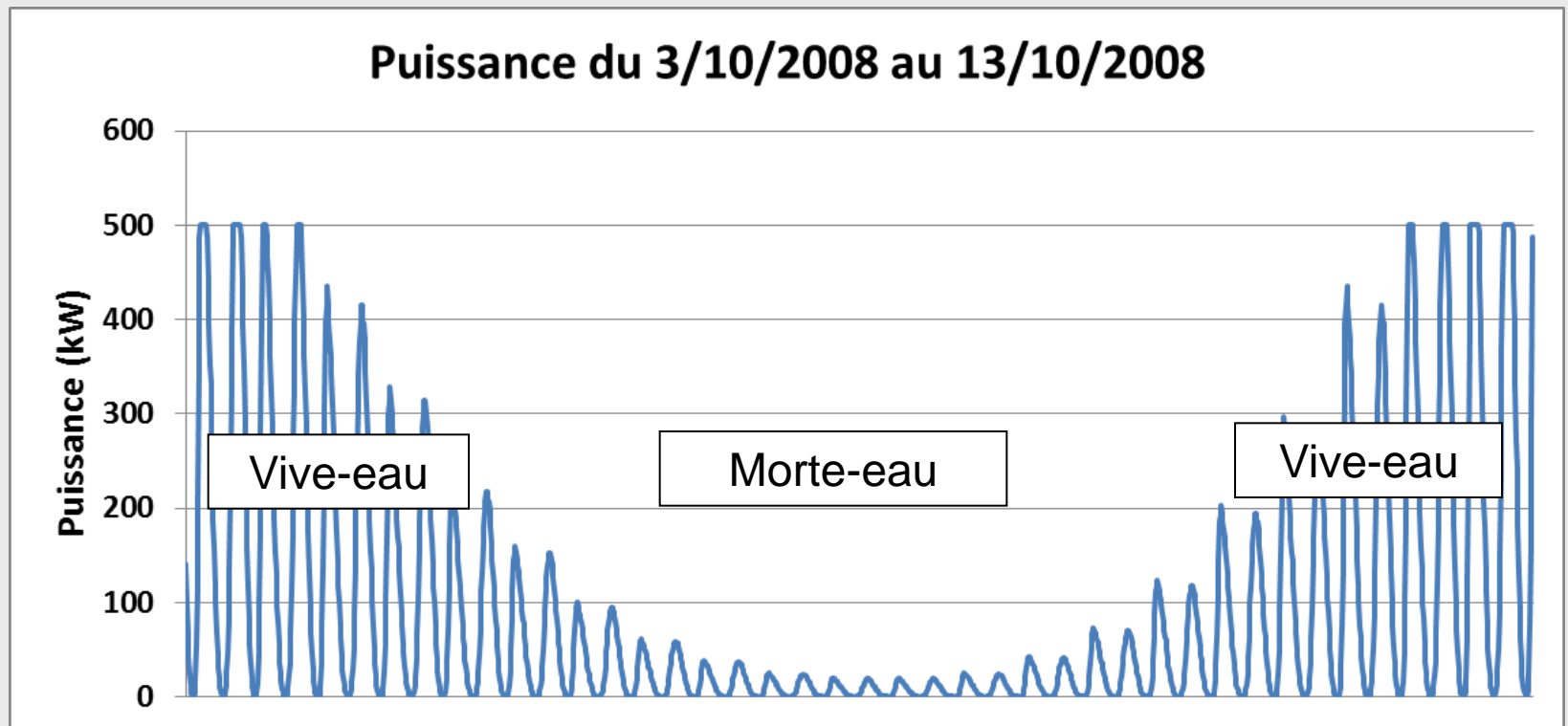




saipem

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:

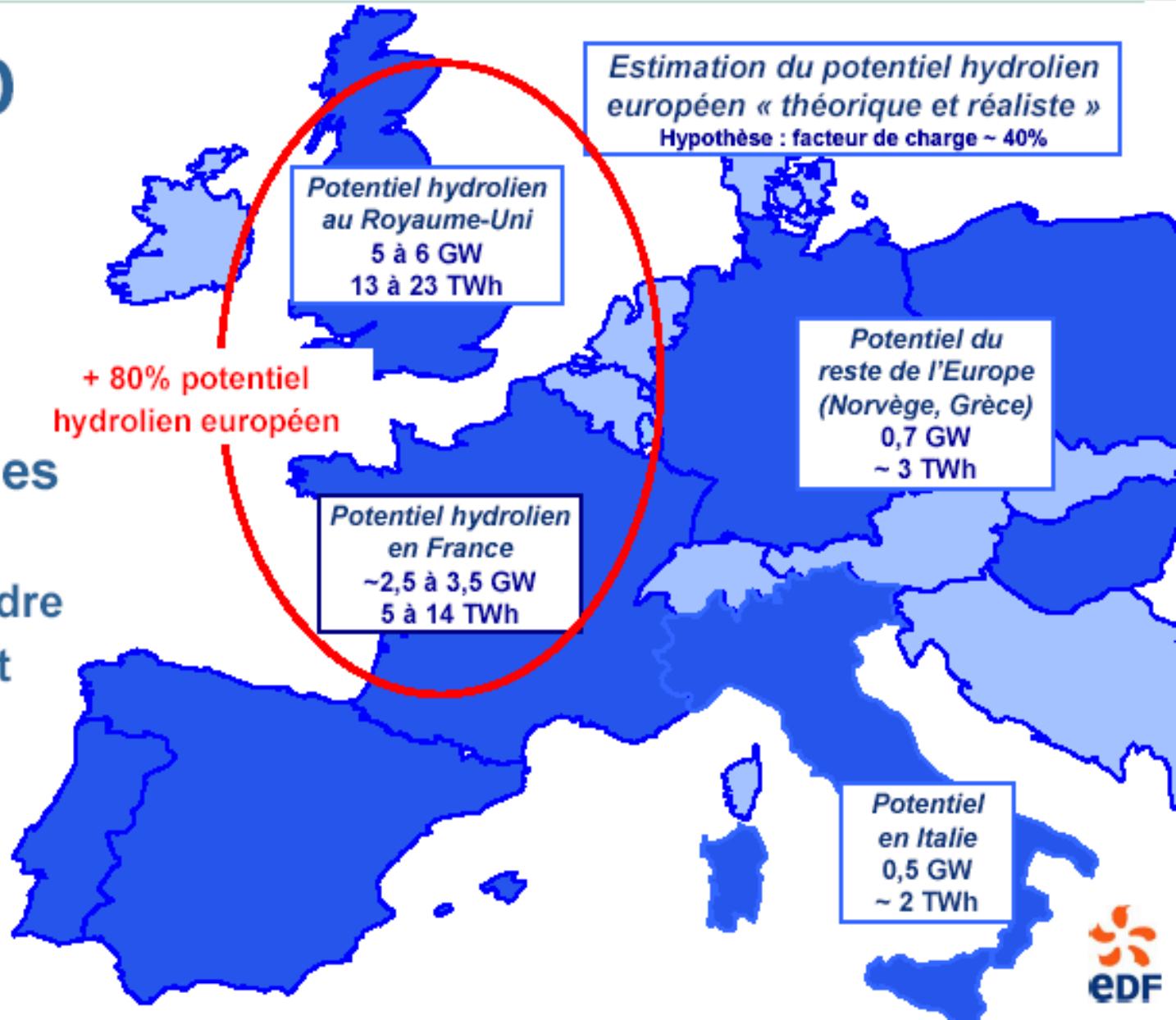
$$\frac{1516073 \text{ kWh}}{8760 \text{ h}} = 173 \text{ kW} - \text{Puissance moyenne}$$

Productibilité semblable à l'éolien offshore, mais prédictible !

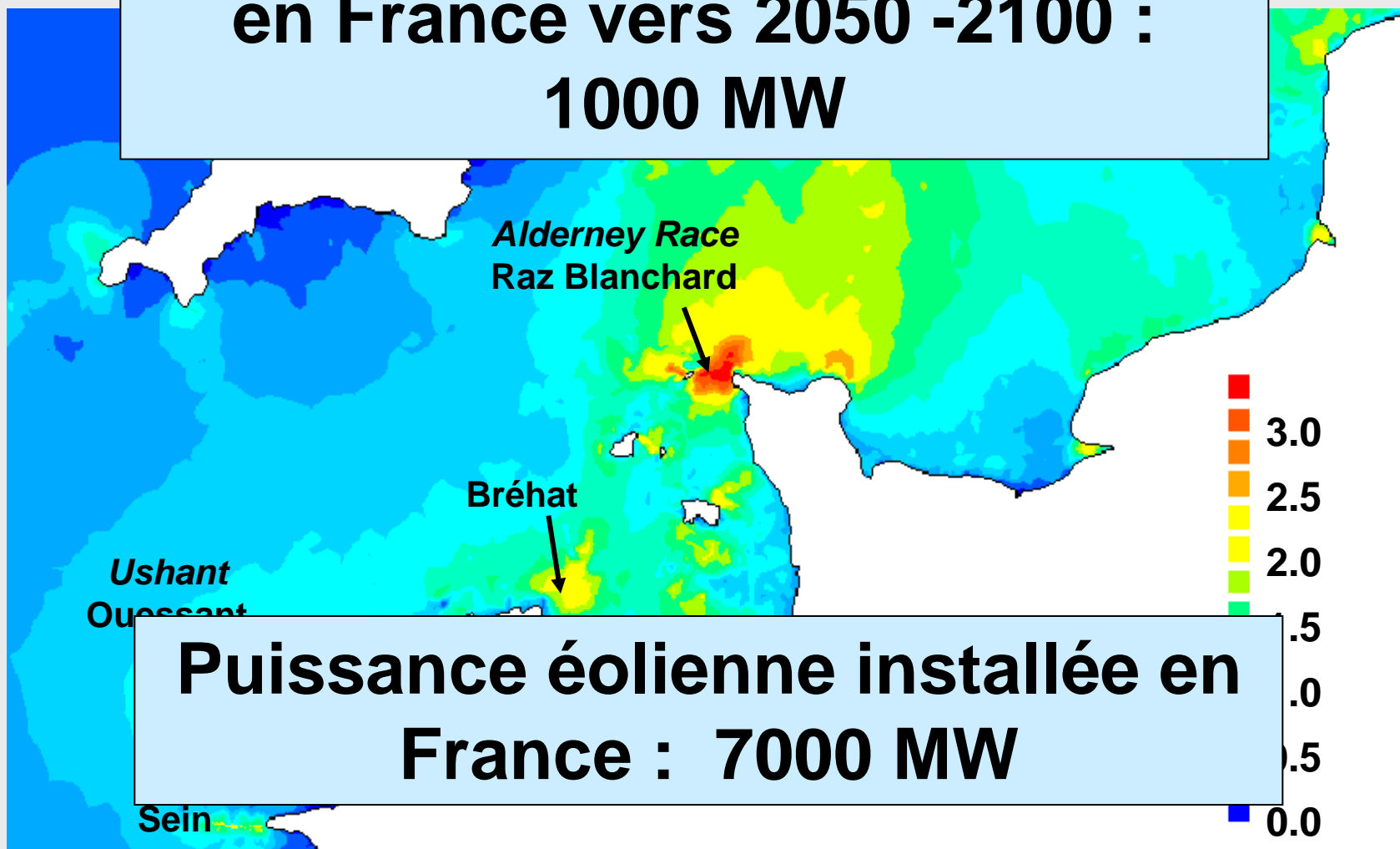
Ressource énergétique en France

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



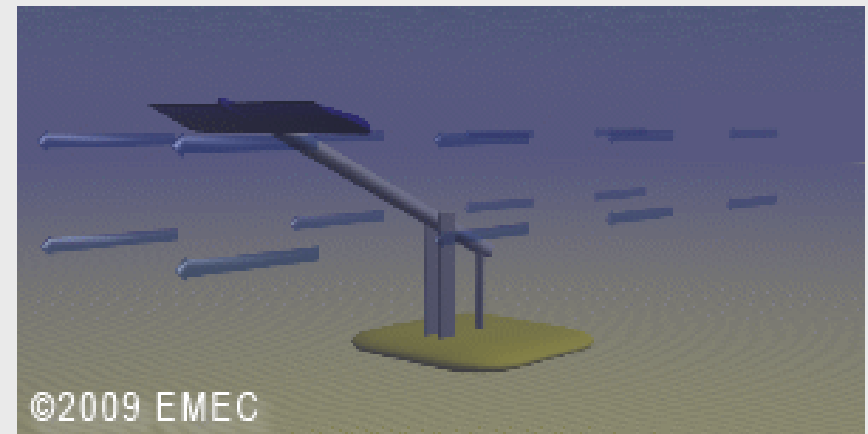
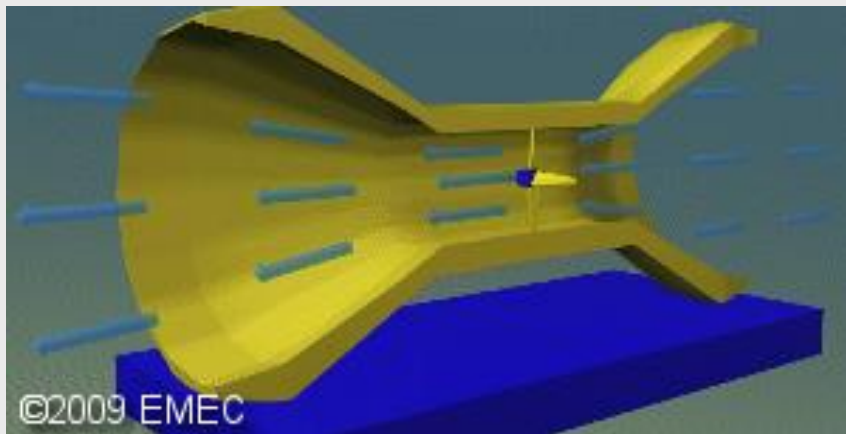
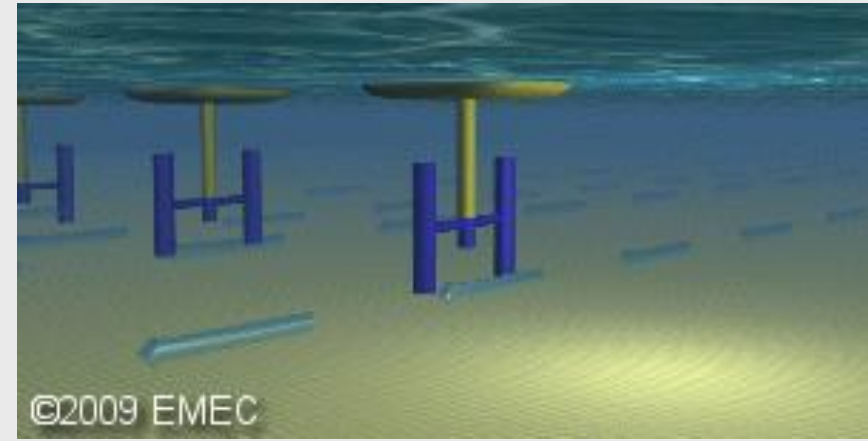
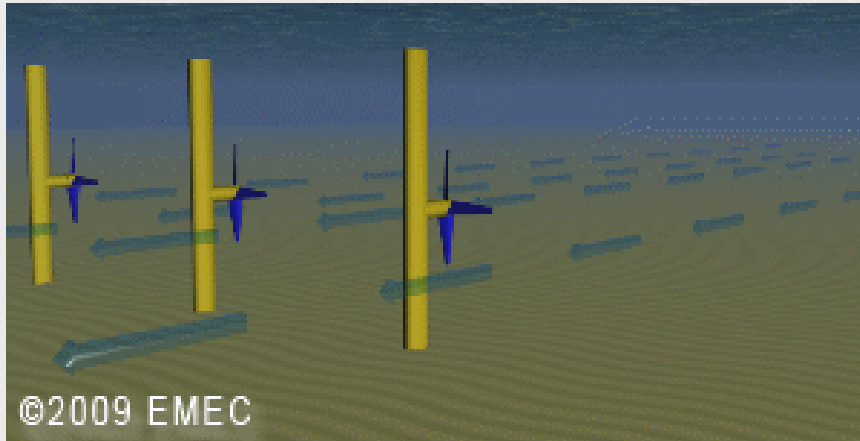
saipem

Les défis technologiques

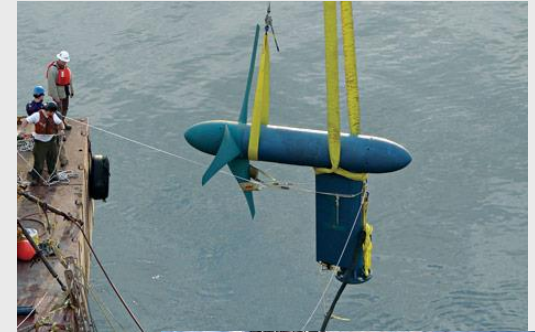
- Tenue à la mer ouverte :
- Lors des tempêtes, les efforts de renversement peuvent être doublés
 - Effort axial Sabella dans le Fromveur :
 - Courant maxi – mer calme : 45 tf
 - Courant maxi – tempête : 105 tf
- Les efforts sont particulièrement violents près de la surface, là où les vagues sont les 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

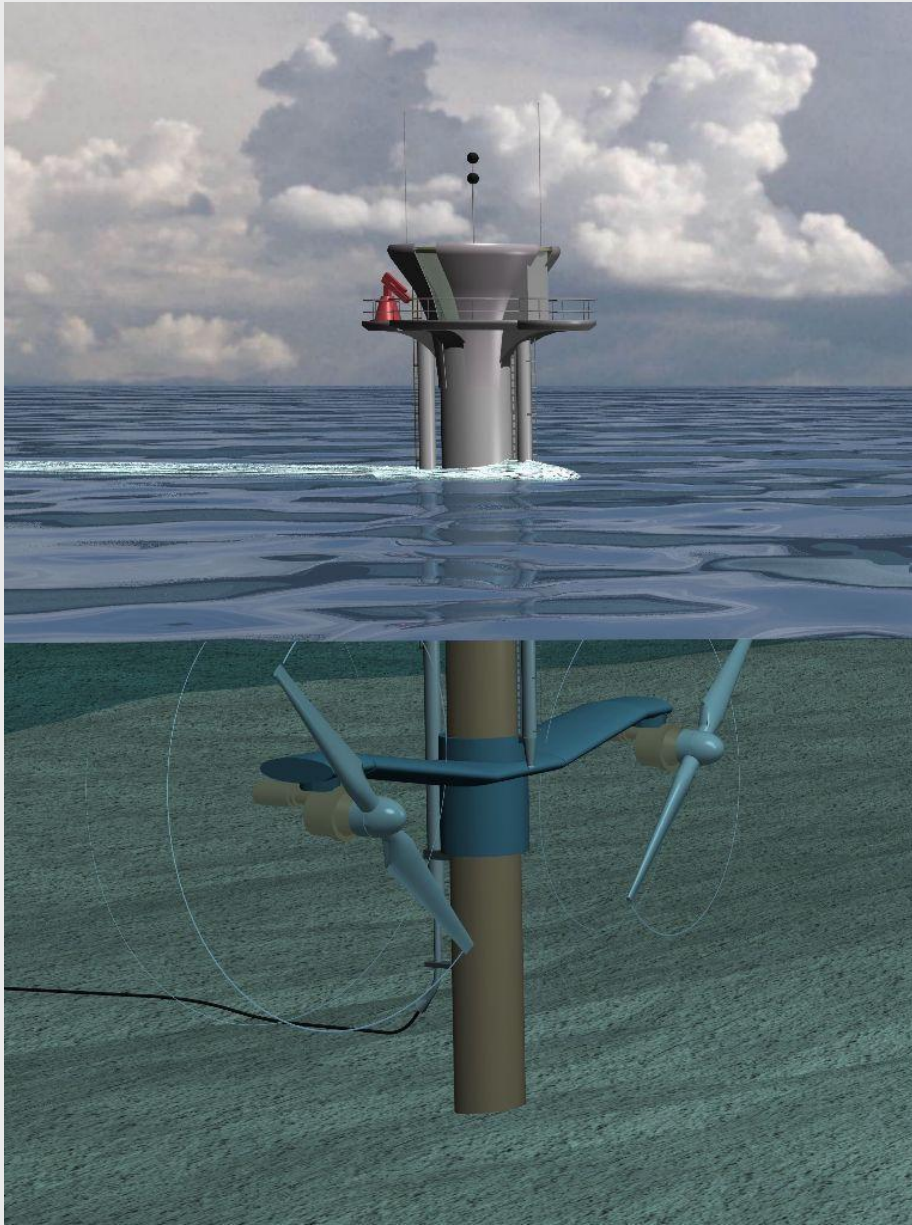
Principales technologies d'hydroliennes



De nombreux prototypes depuis 2001



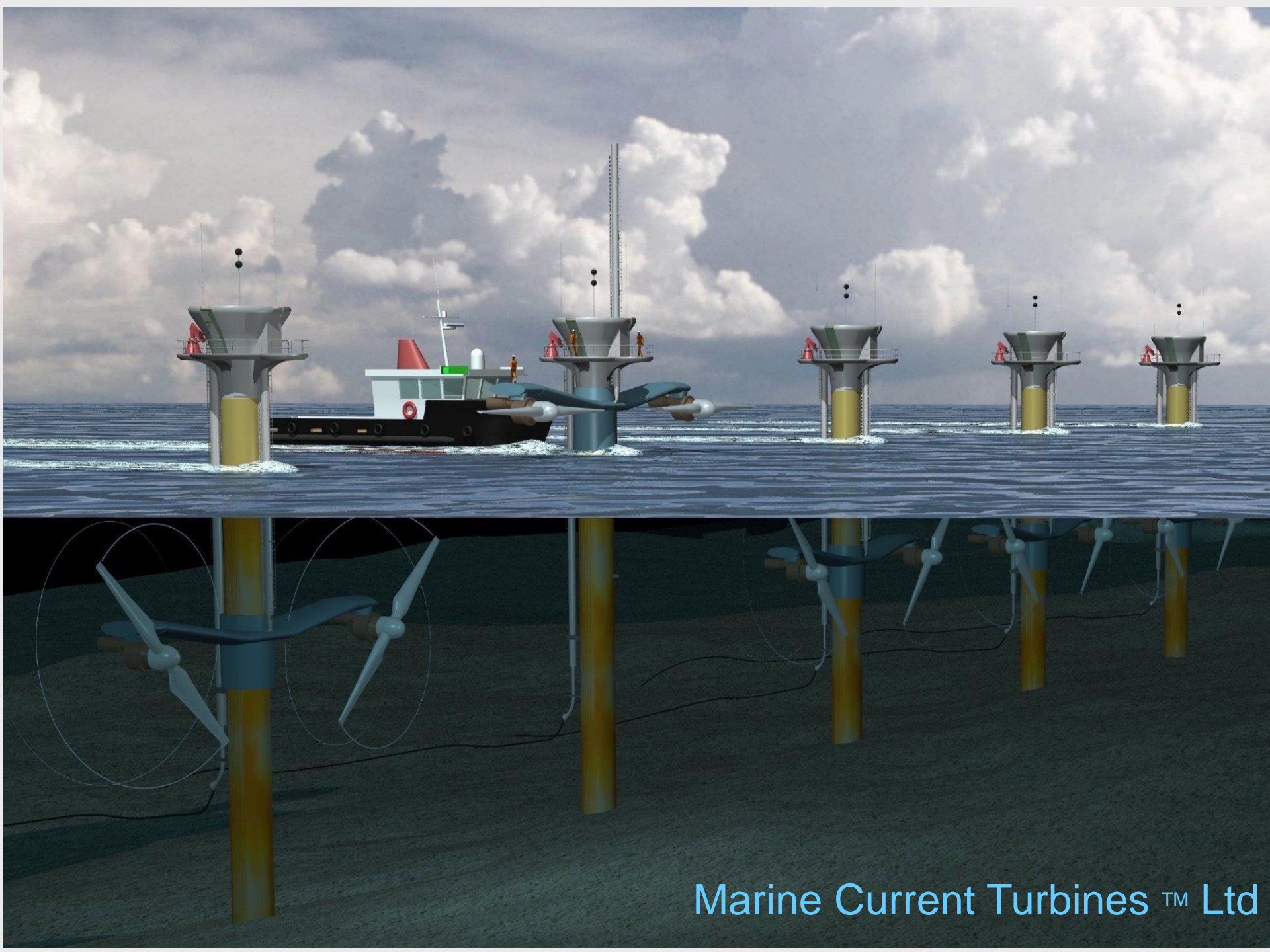
Le projet Seagen (MCT)



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

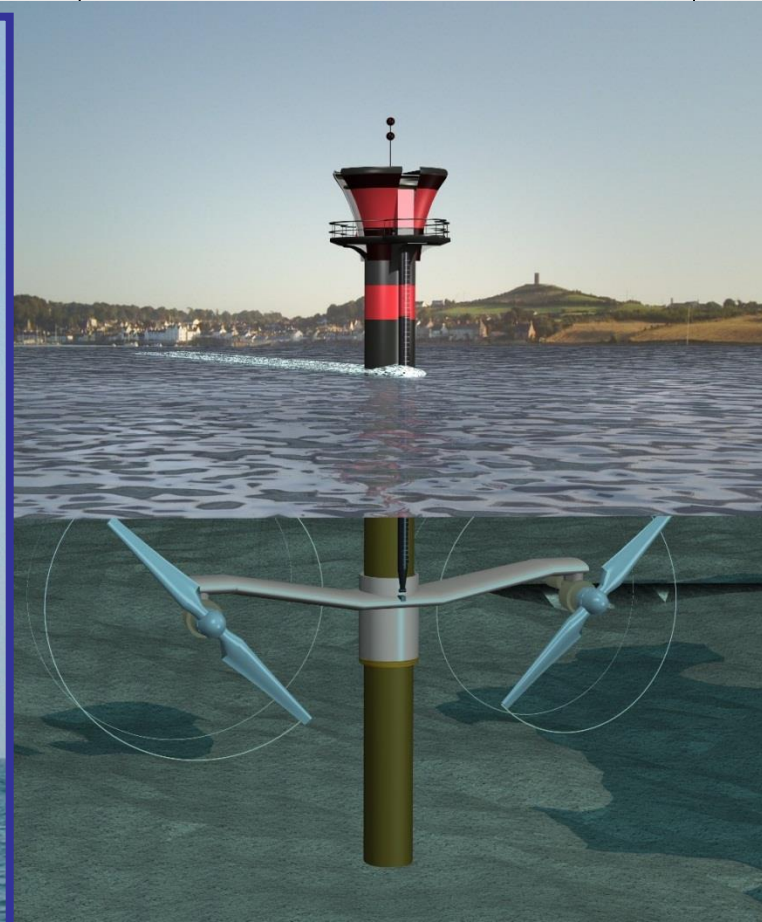
2000 : test
device
(10kW)



2003 : Seaflow
(300kW)



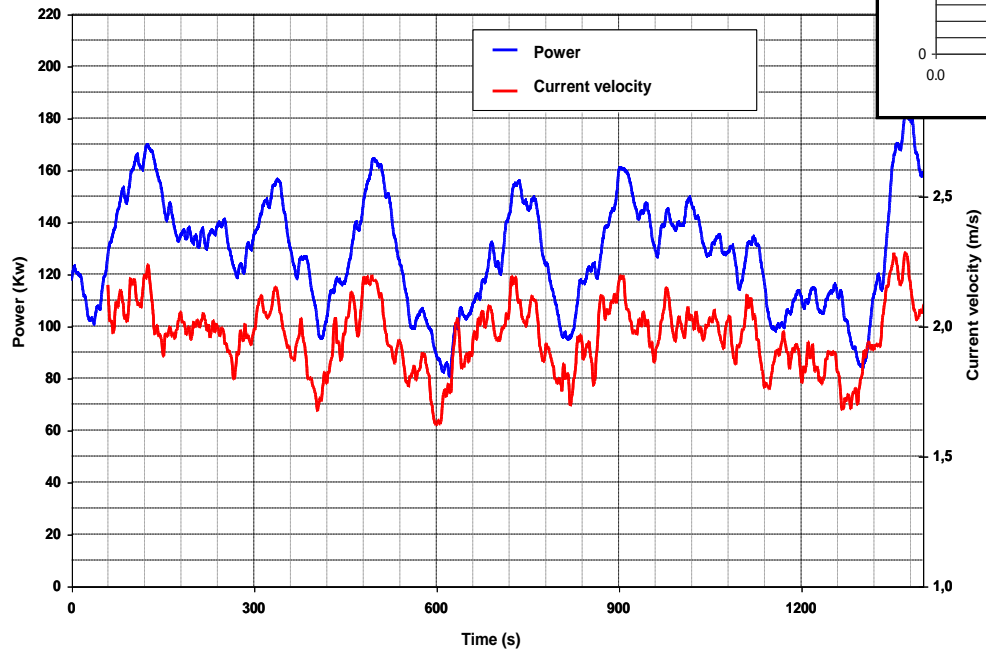
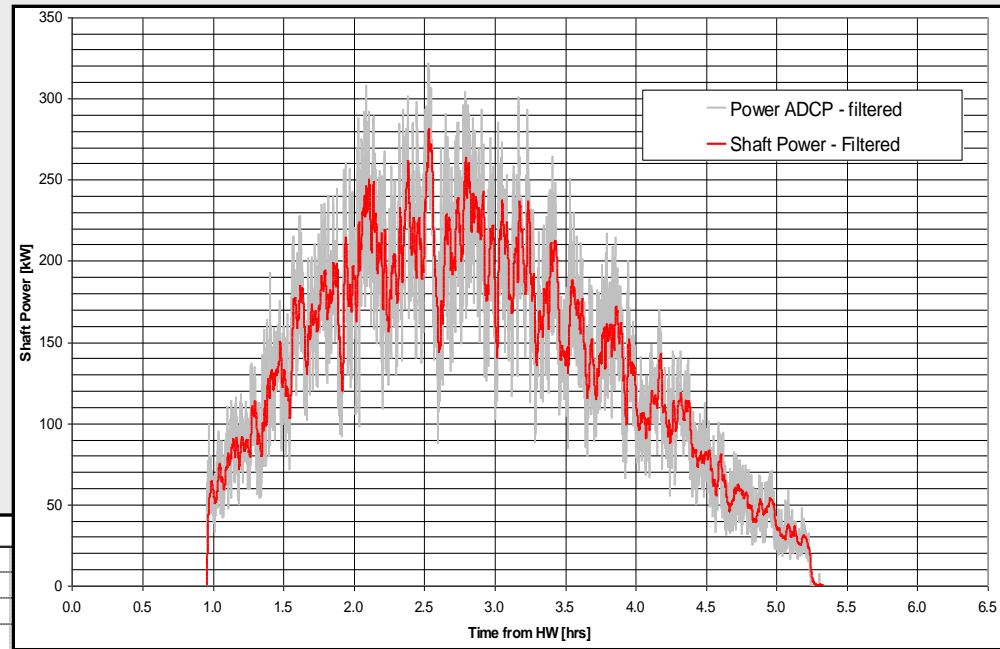
2007 : SeaGen
(1200kW)



MCT : Experimental results

Typical test results during an ebb tide cycle

- Highly unsteady power output profile



Power vs. current velocity

Turbulence → Velocity fluctuations

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



Le projet Seagen





saipem

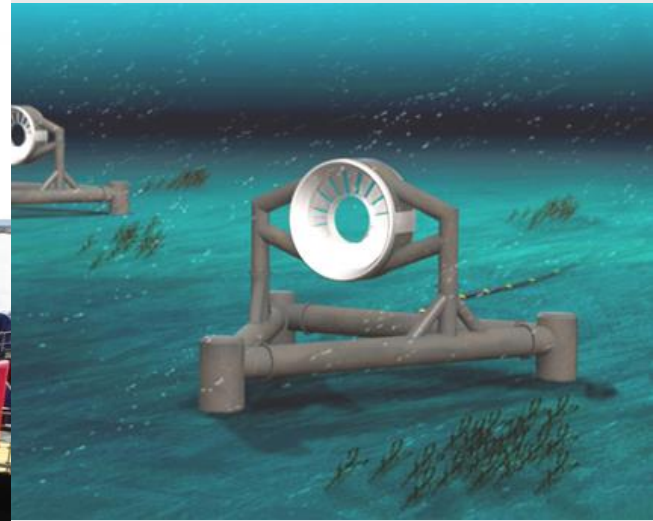
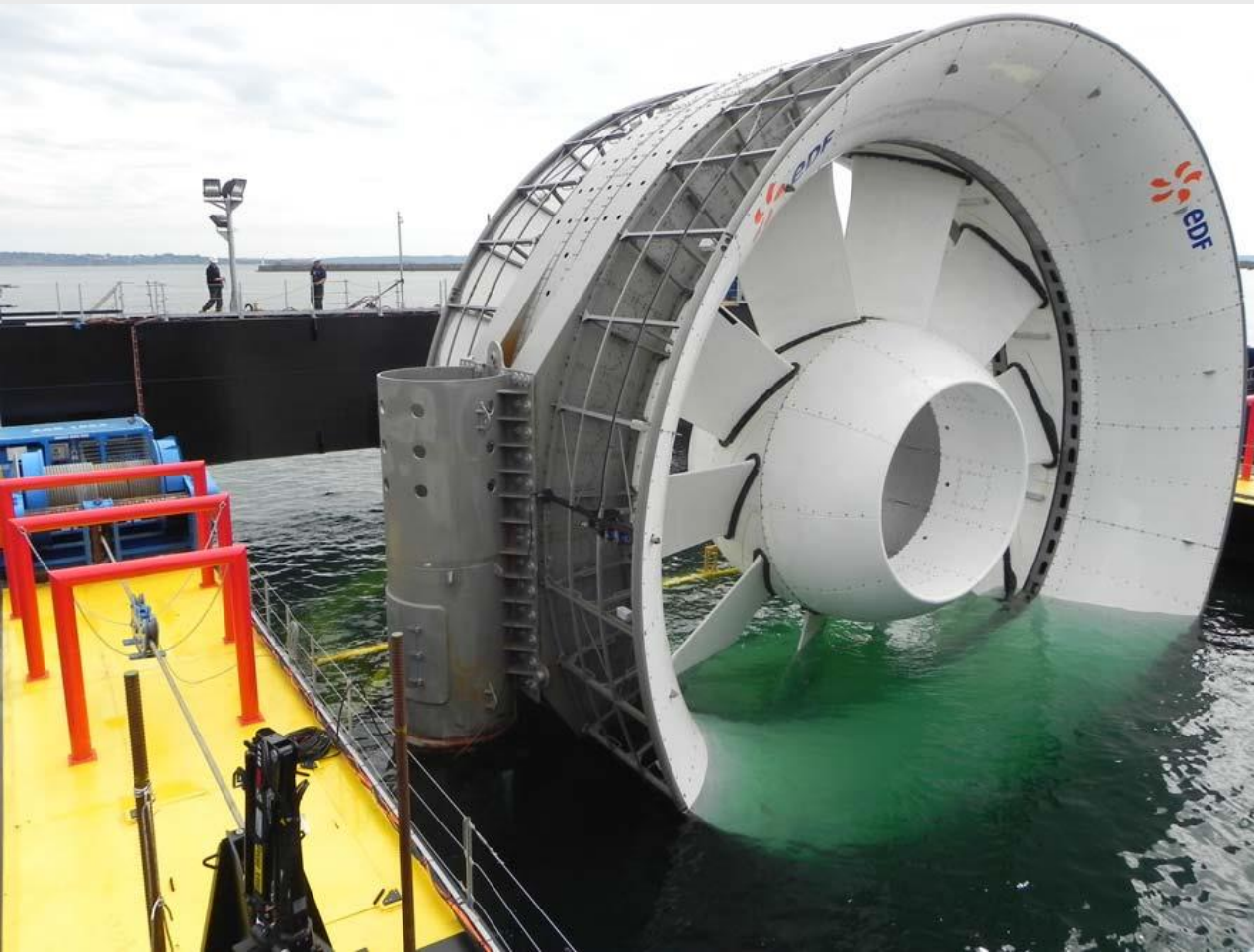


Back in business: replacement rotor blades go on the SeaGen

Photo: MCT

Openhydro

- Première ferme à Bréhat (EDF)

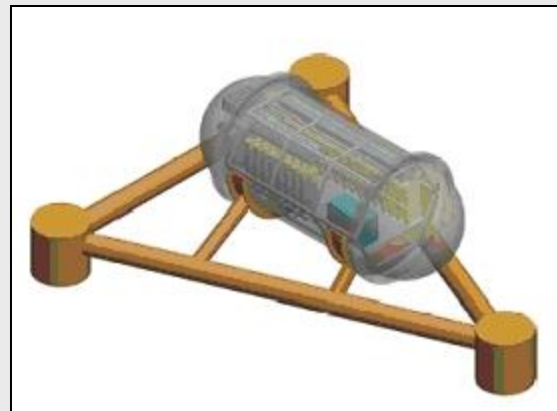
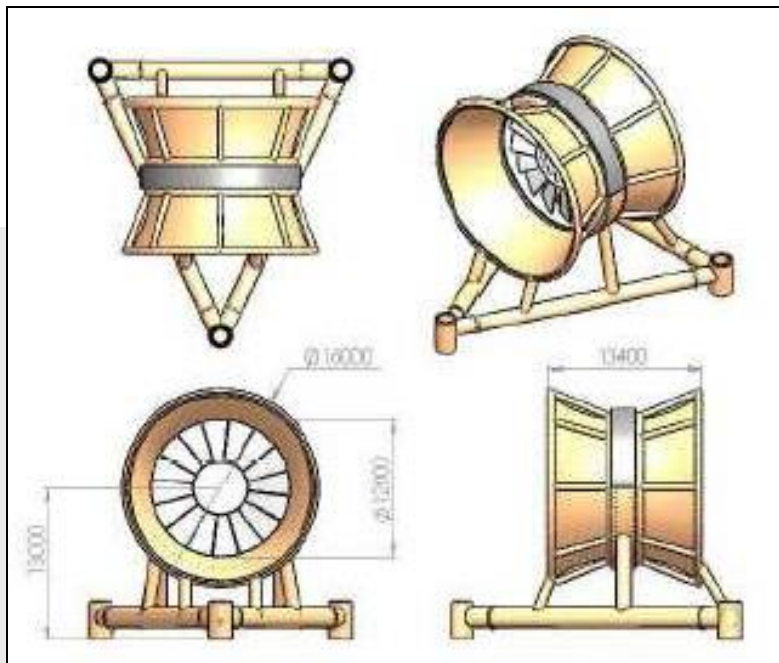
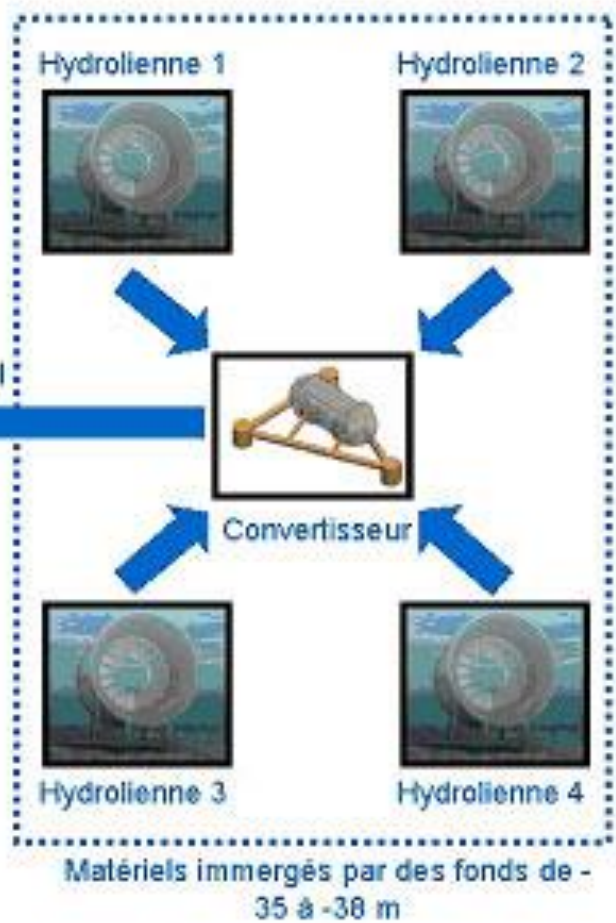


EDF - Openhydro

Réseau de distribution existant



Câble de liaison principal
Longueur : 15 km

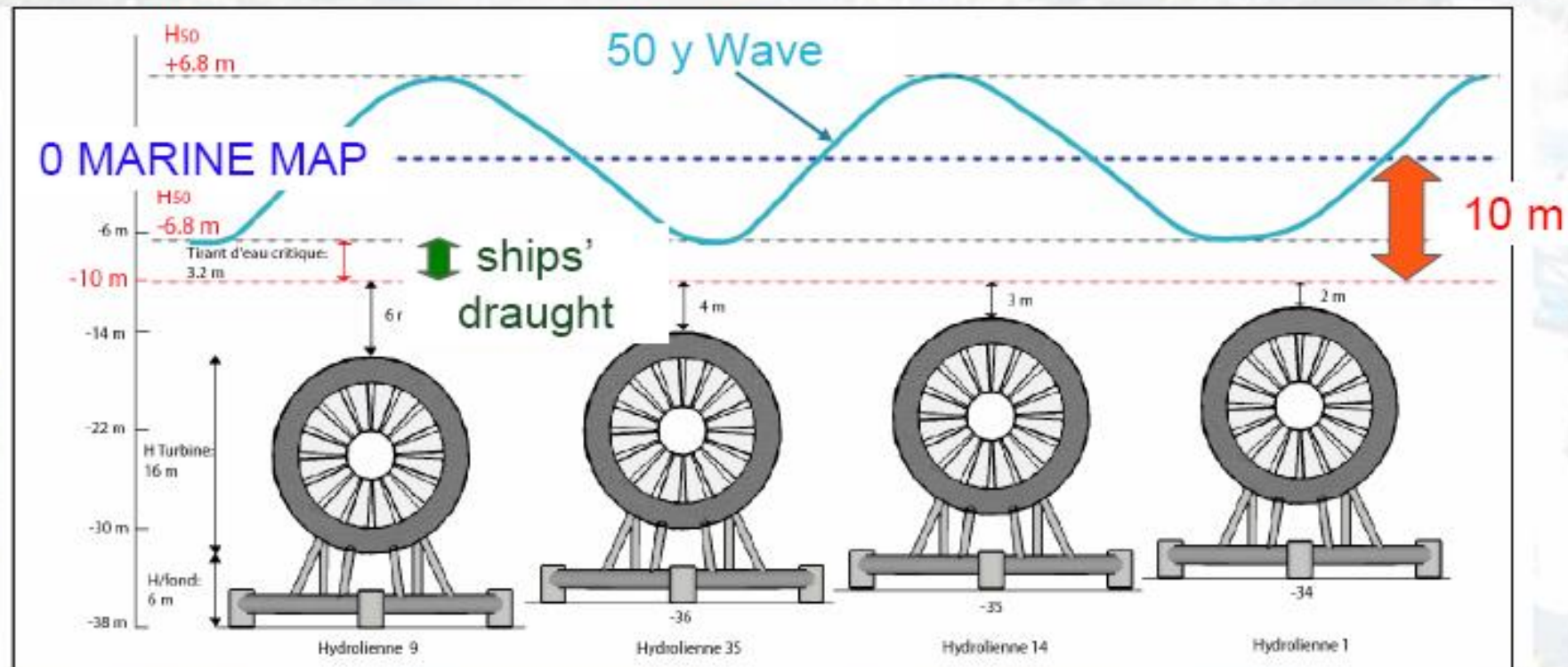


EDF - Openhydro



EDF - Openhydro

Levels of the machines vs safety margin





saipem

EDF - Openhydro



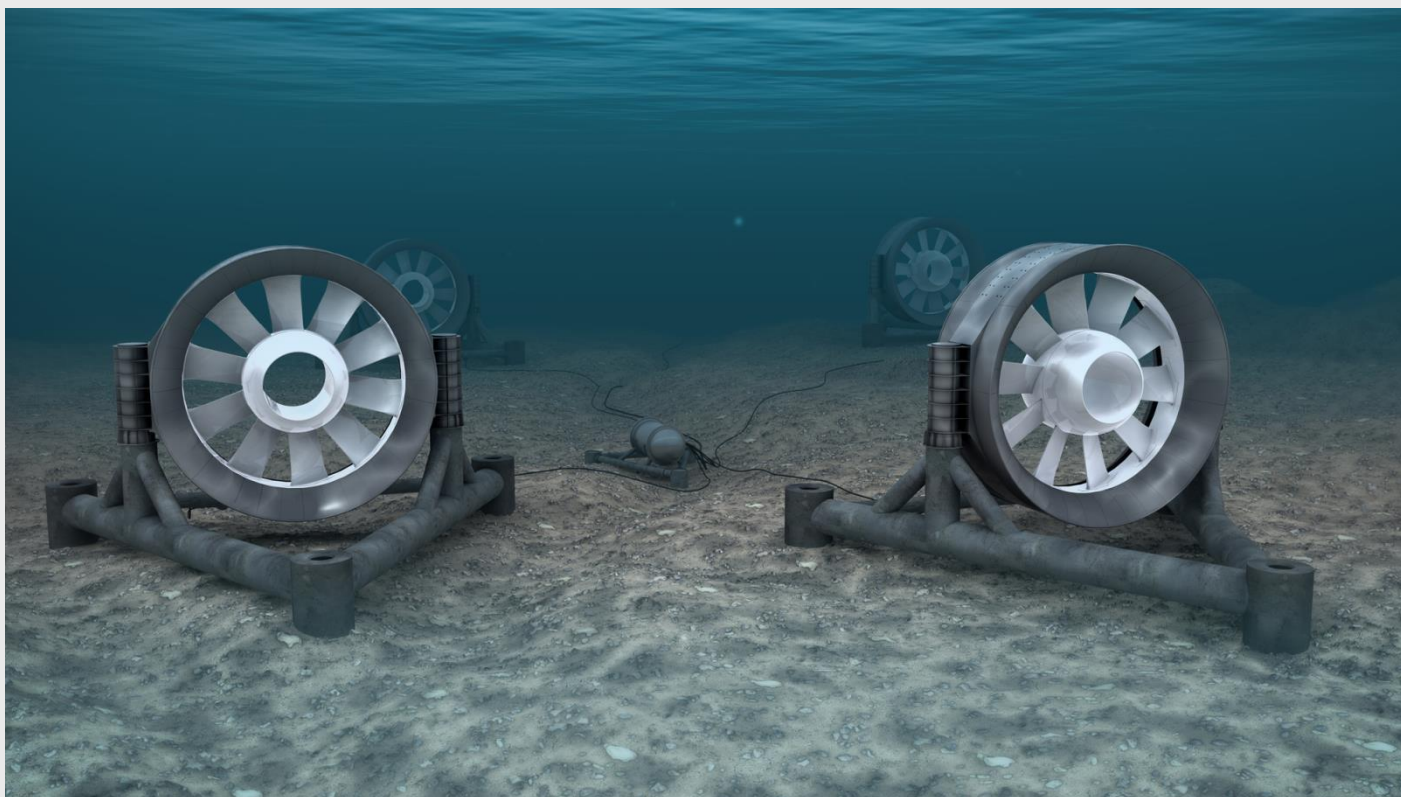
EDF - Openhydro





saipem

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



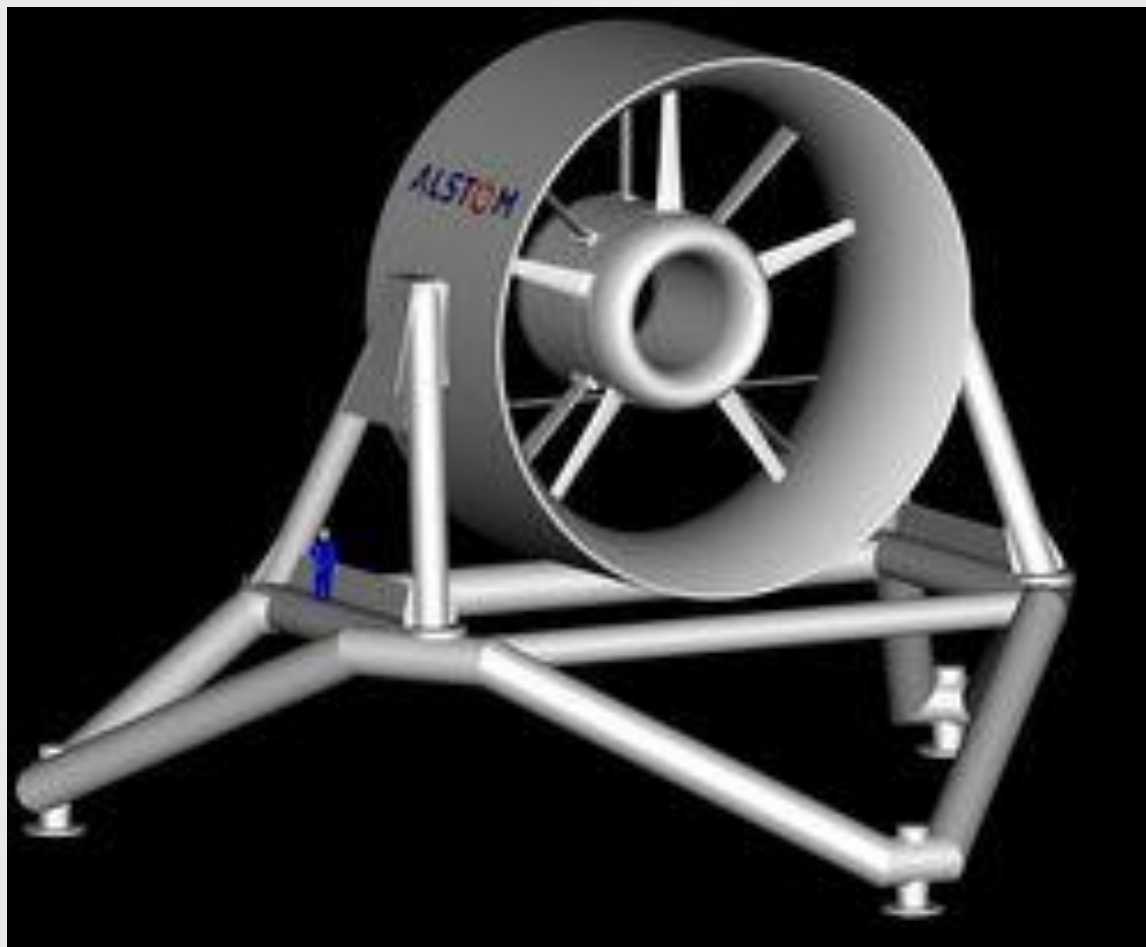


saipem

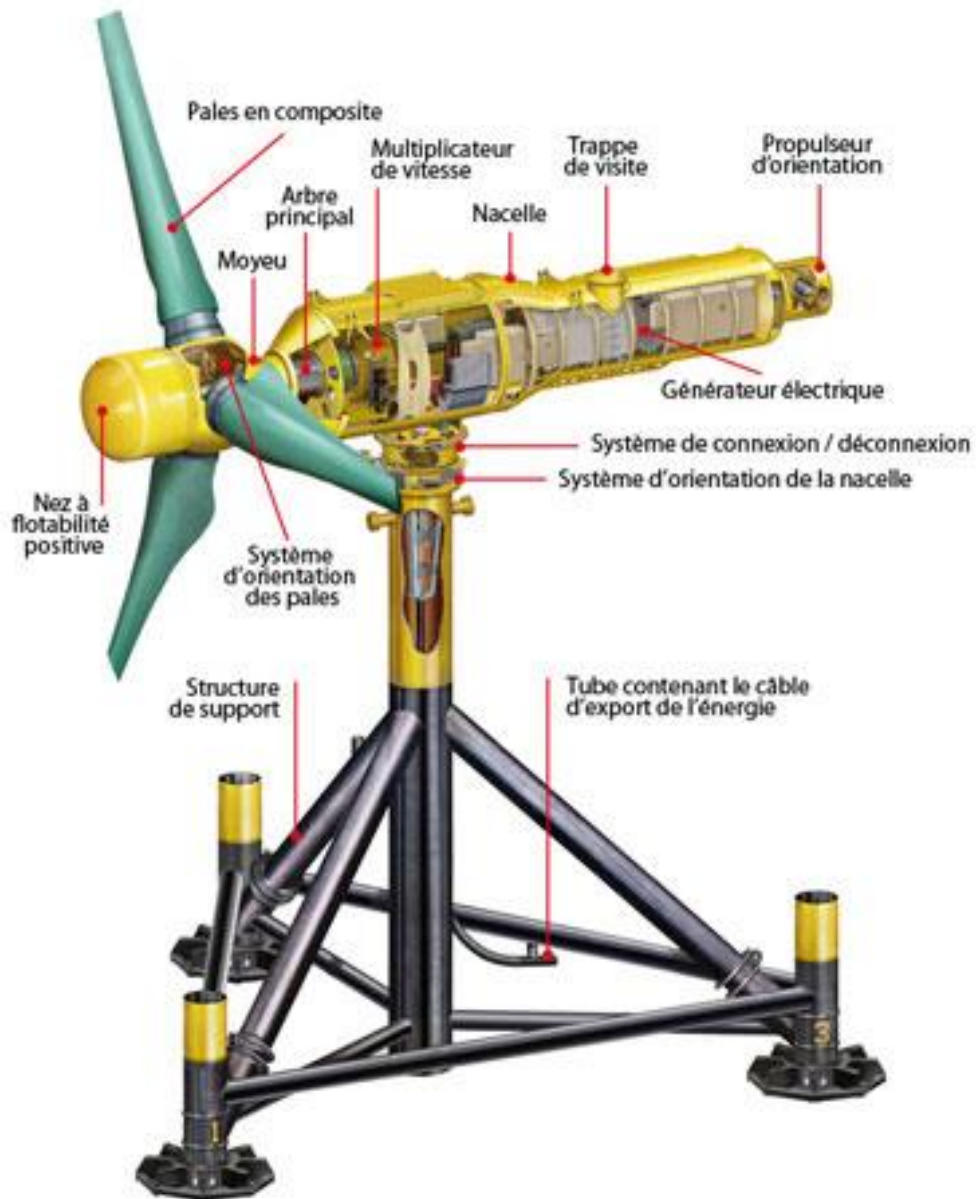
Autres projets

Hydrolienne Alstom

Hydrolienne carénée – 20m de diamètre – paliers humides



Alstom



Alstom





saipem

Voith Hydro Projet GDF-SUEZ Raz Blanchard



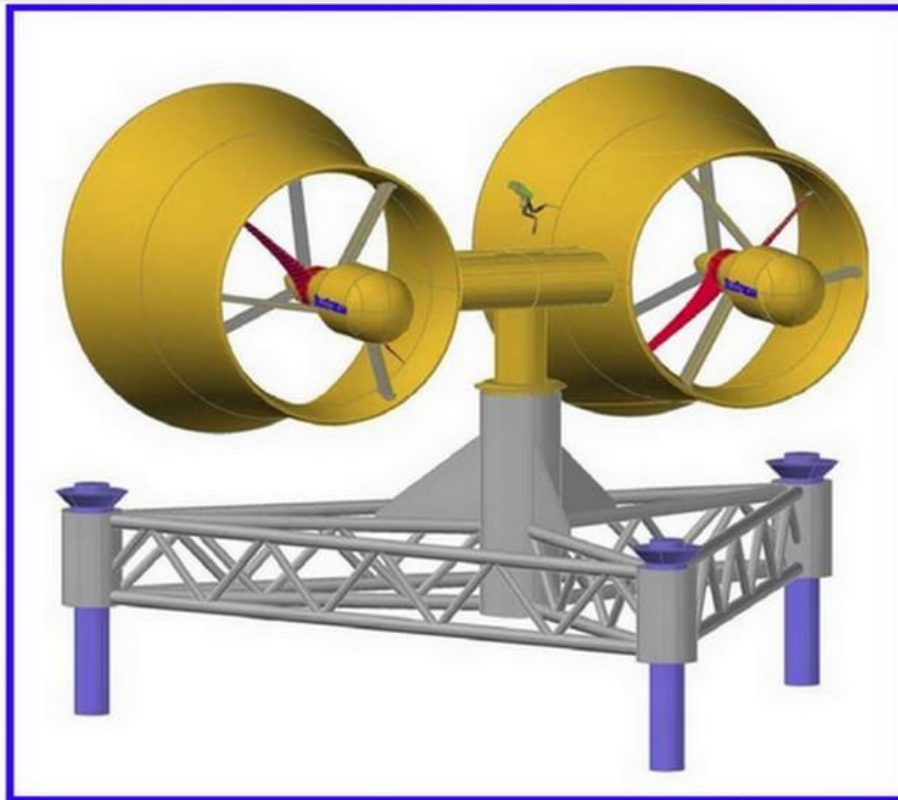


saipem

Autres projets

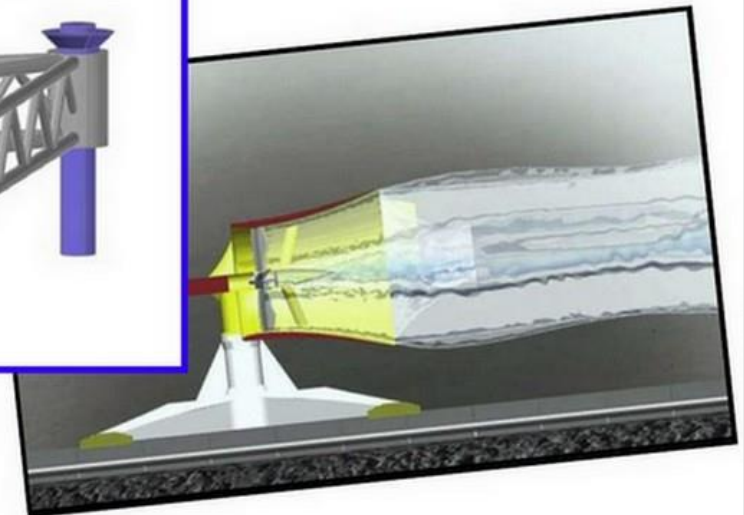
Hydrolienne Blustream

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

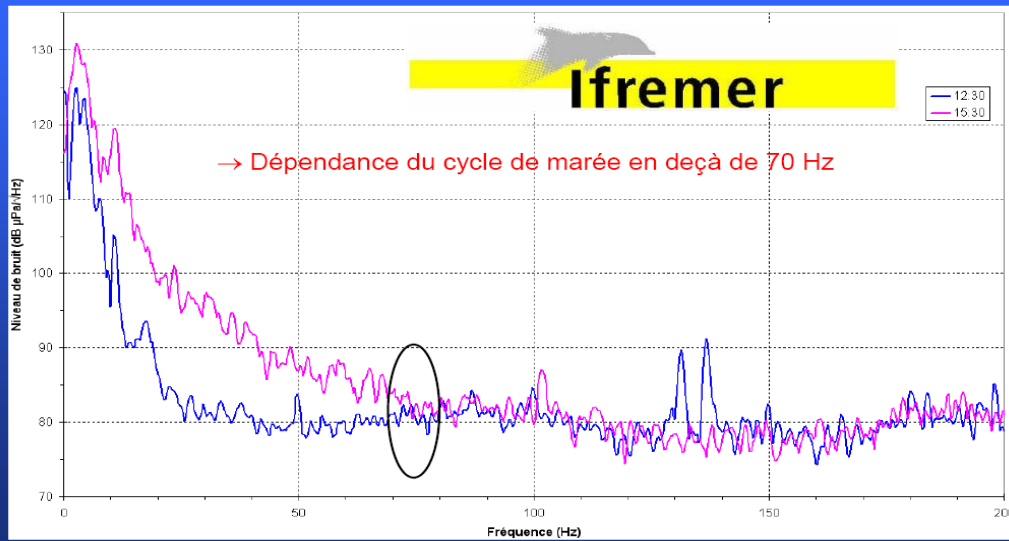


Relevage avril 2009

Campagnes de suivis



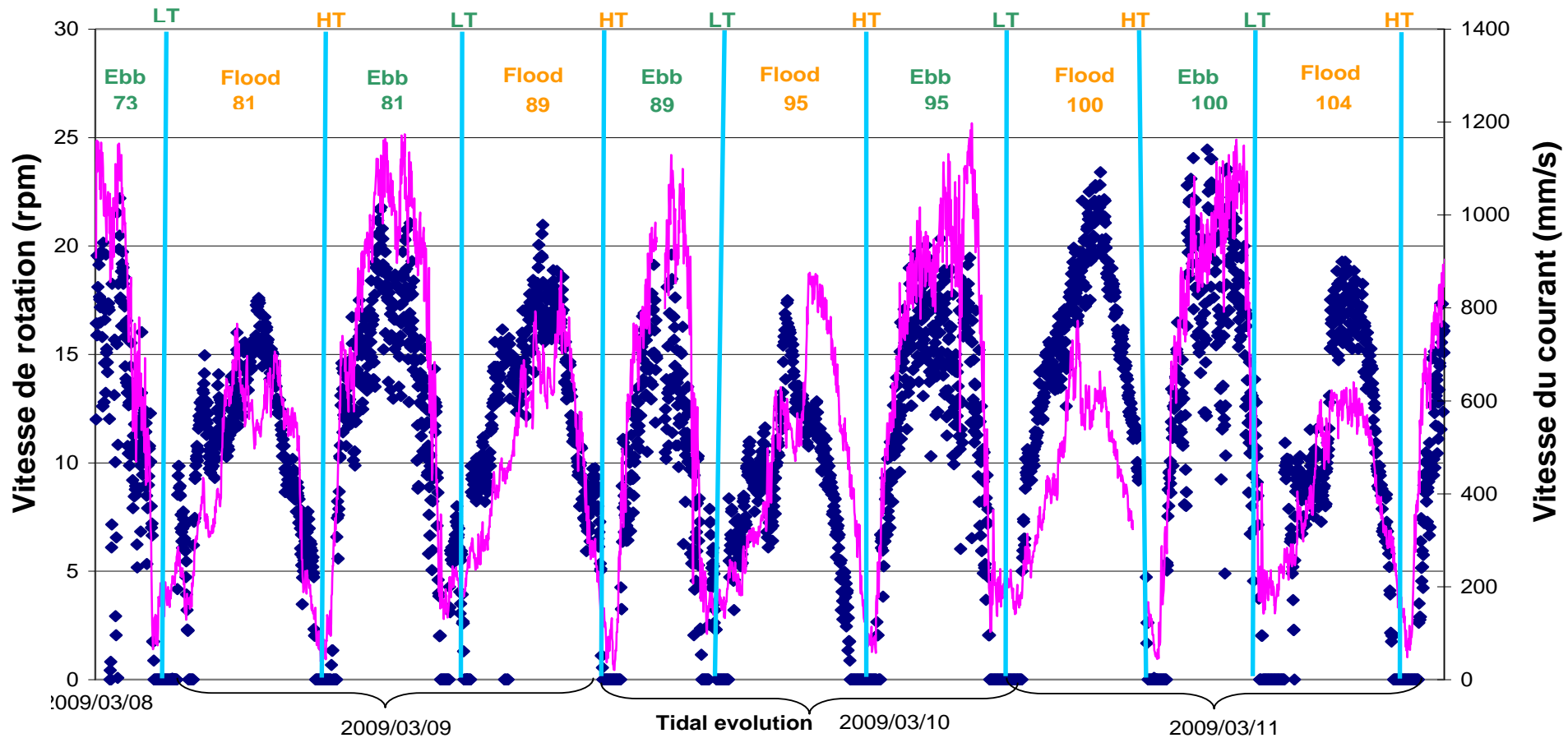
Mesures TBF – Hydrophone #2 (15 m)



Avril 2008 à
Avril 2009

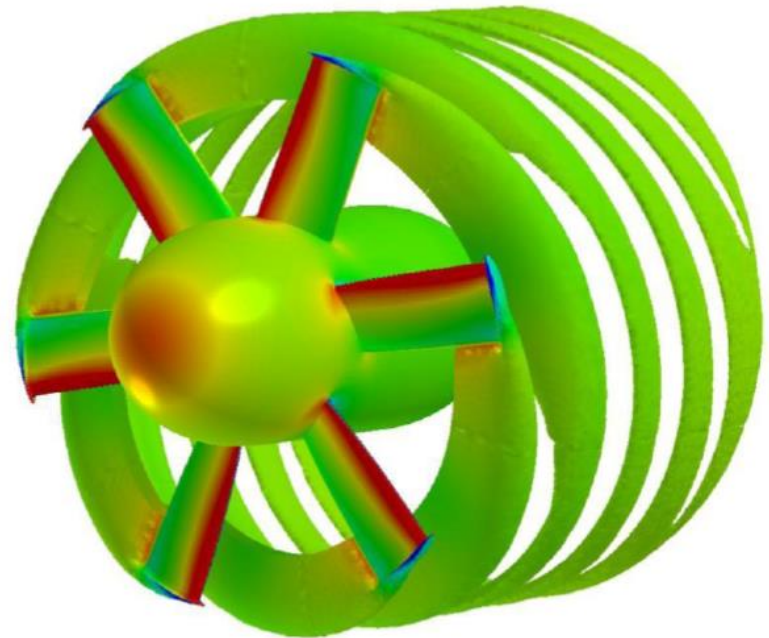
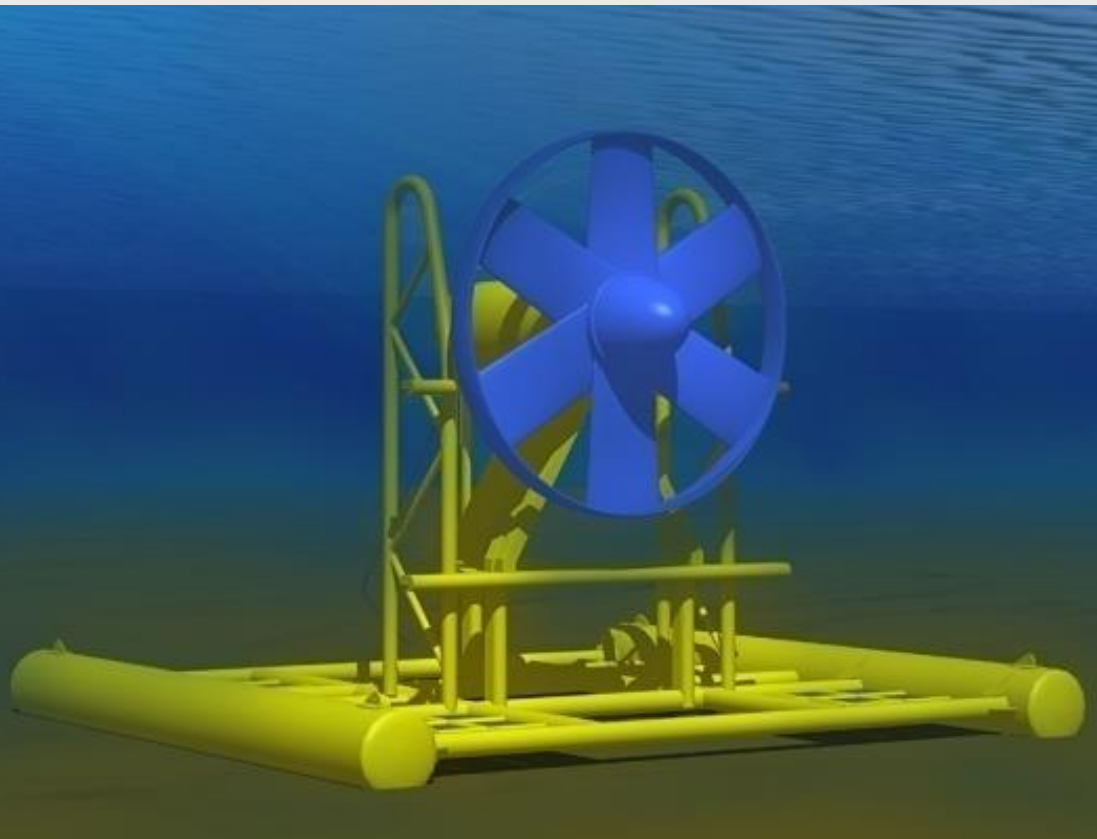
Exemple de mesures 3 jours de vive-eau

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



Sabella D10

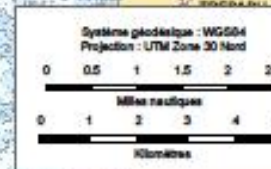
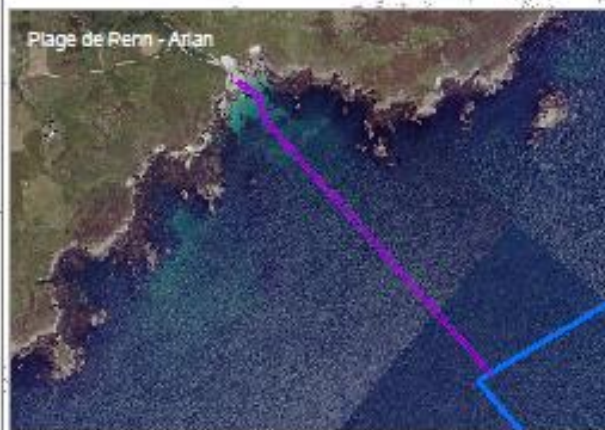
Hydrolienne de 500kW – rotor de 10m de diamètre



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

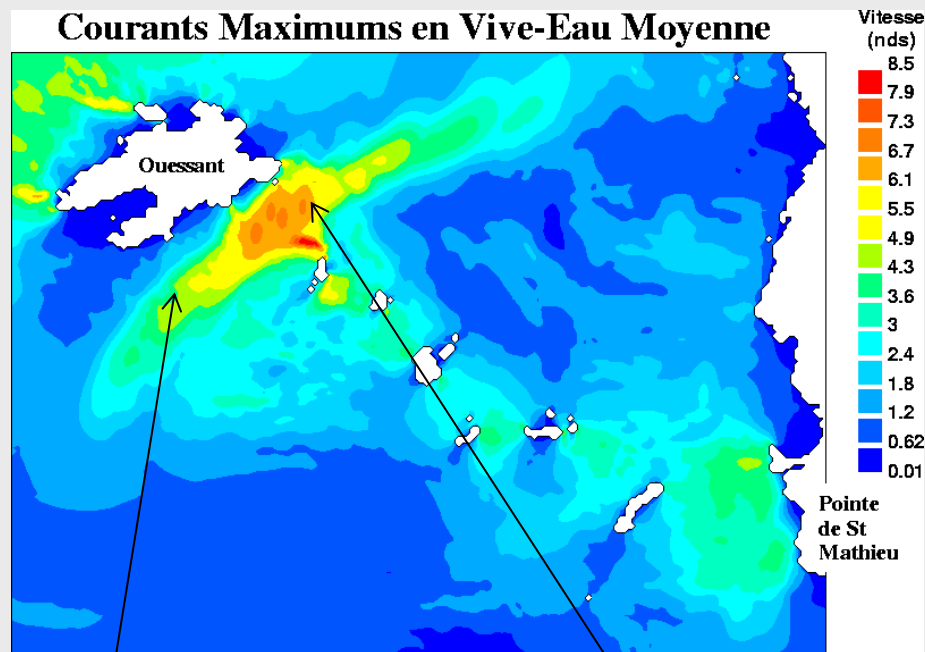
Sabella D10

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



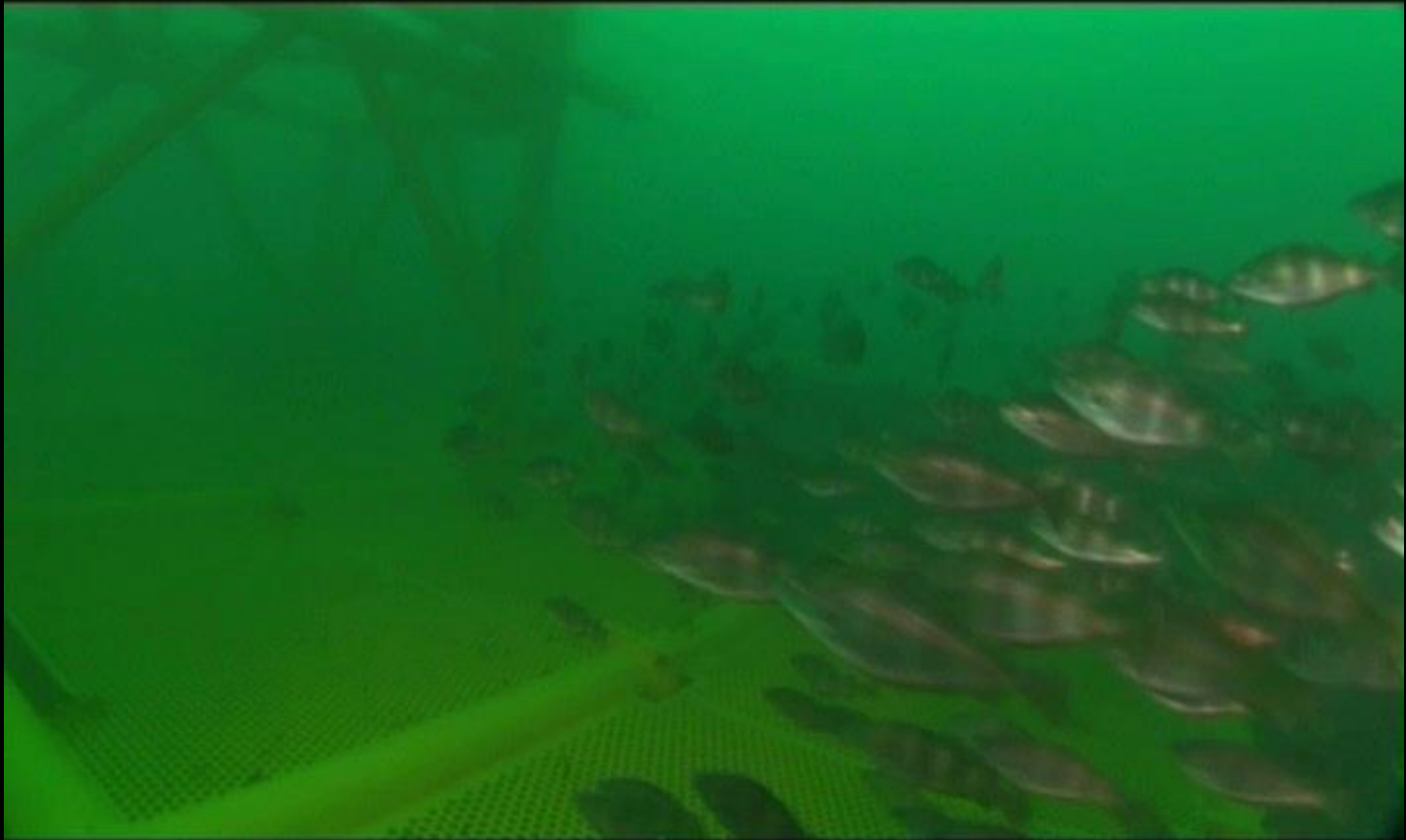


Impact environnemental



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

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



Victime 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: GABON/UNION

PHOTO: R. K.

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'entreprise 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. C.

PHOTO: B. A. C.



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 km²

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

