

Les énergies marines renouvelables

Présentation Université d'été « Sauvons le Climat »

24 Septembre 2010

Yann-Hervé De Roeck

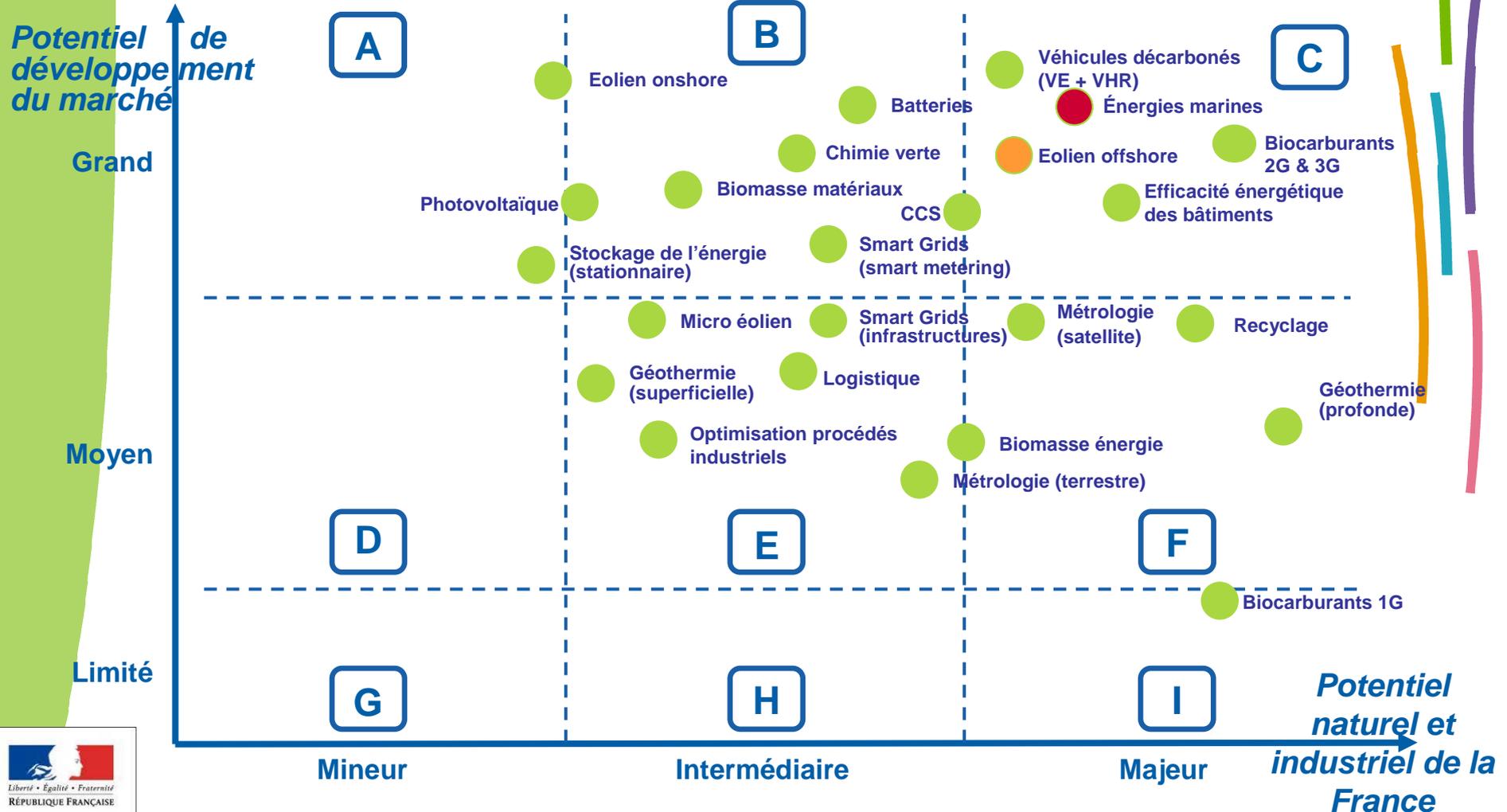
Chef de projet de France Energies Marines

Plateforme Technologique Nationale des Energies Marines Renouvelables



Synthèse globale des résultats de l'étude

Identifier les filières stratégiques de la croissance verte dans lesquelles la France peut jouer un rôle:



Diversité des EMR

Energie éolienne en mer

Energie marémotrice

Energie hydrolienne

Energie houlomotrice

Energie osmotique

Energie thermique des mers

Diversité des EMR

Energie éolienne en mer

Energie du vent en mer, plus régulière qu'à terre

Energie marémotrice

Energie des marées, exploitée sous forme potentielle par accumulation et restitution de volumes d'eau

Energie hydrolienne

Energie des courants, de marée pratiquement, exploitée sous forme cinétique

Energie houlomotrice

Energie des ondes de surface, vagues et houles, exploitée sous forme cinétique ou potentielle

Diversité des EMR

Pression osmotique

Energie résultant des différences de salinité, exploitée par circulation de flux d'eau douce et d'eau de mer

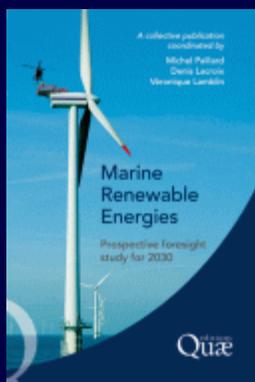
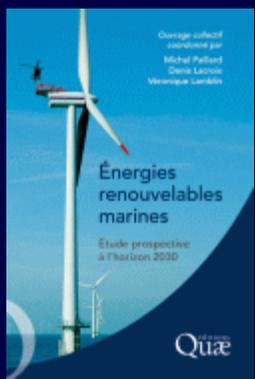
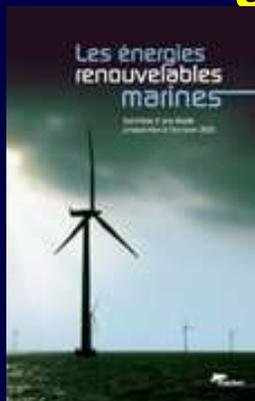
Energie Thermique des Mers

a - Ecart de température entre masses d'eau, exploité dans des cycles énergétiques ou de dessalement

b - Froid des eaux profondes exploité directement pour la climatisation

c - Eau de mer exploitée comme source / puits de chaleur, à raison de sa variabilité limitée de température

Prospective Ifremer sur les énergies marines à l'horizon 2030 (scénario normatif à 2020)



Type d'énergie renouvelable marine	Puissance installée (MW)	Heures de fonctionnement par an	Énergie électrique (TWh/an)	Énergie (Mtep/an)	% - Réf Objectif 2020 20 Mtep/an
Éolien offshore	4000	3000	12	1,03	5,2 %
ETM elec	200	7000	1,4	0,12	0,6 %
ETM froid - économisé	55	7000	0,4	0,03	0,2 %
Marémoteur	400	3500	1,4	0,12	0,6 %
Hydrolien	500	2500	1,25	0,11	0,5 %
Vagues	200	4000	0,8	0,07	0,3 %
Biomasse	-	-	-	0,05	0,3 %
Total			17,2 TWh/an	1,5 Mtep/an	7,7 %
Total hors éolien			5,2 TWh/an	0,5 Mtep/an	2,5 %

Tableau 7 : Puissance et production des technologies selon le scénario normatif

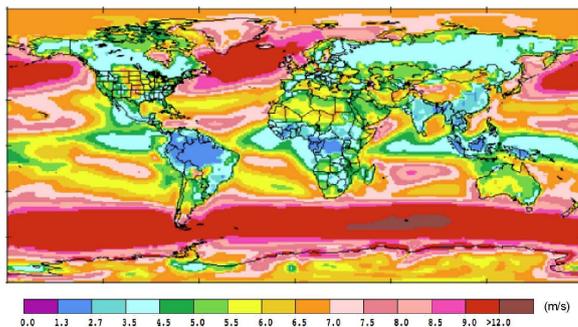
Conversion : 1 TWh = 0,086 Mtep

Grenelle de l'Environnement : 3 x 20% et 6000 MW dont éolien offshore en 2020
Confirmation des engagements européens en terme de contribution des EnR dans la consommation finale d'énergie

Evaluation de la ressource Niveau mondial

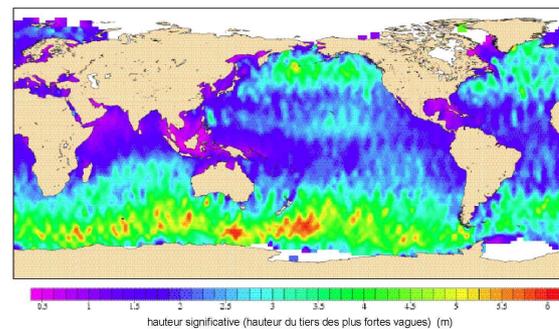
Eléments d'océanographie

Intensité des vents moyens (à 50 m)



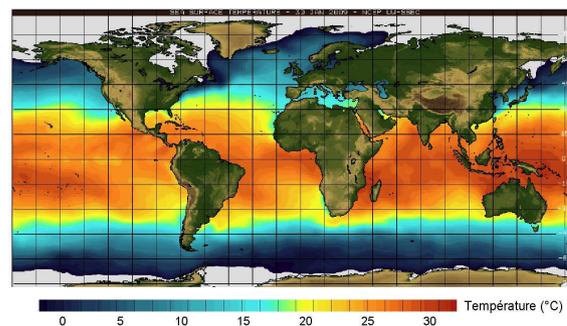
Eléments d'océanographie

Distribution des vagues



Eléments d'océanographie

Variabilité temporelle de la température de surface

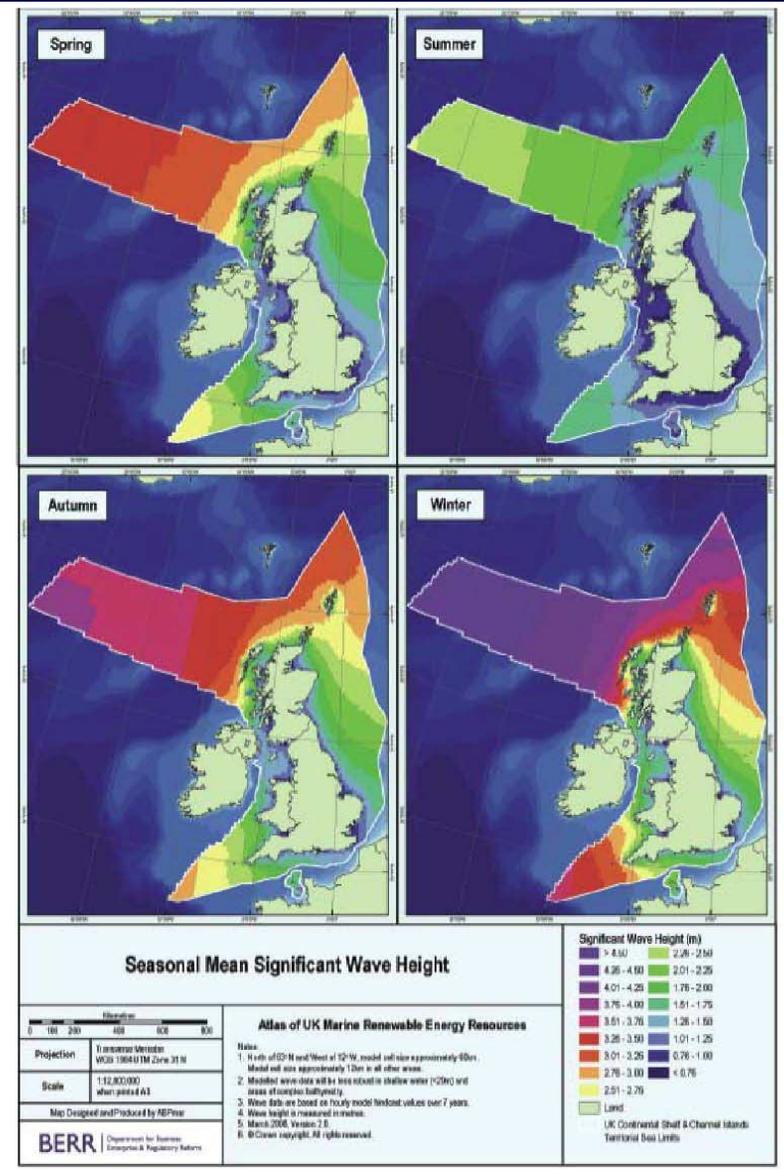
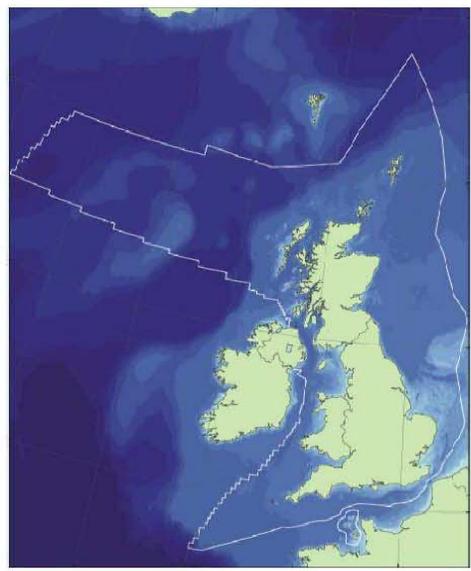


Evaluation de la ressource

Niveau régional

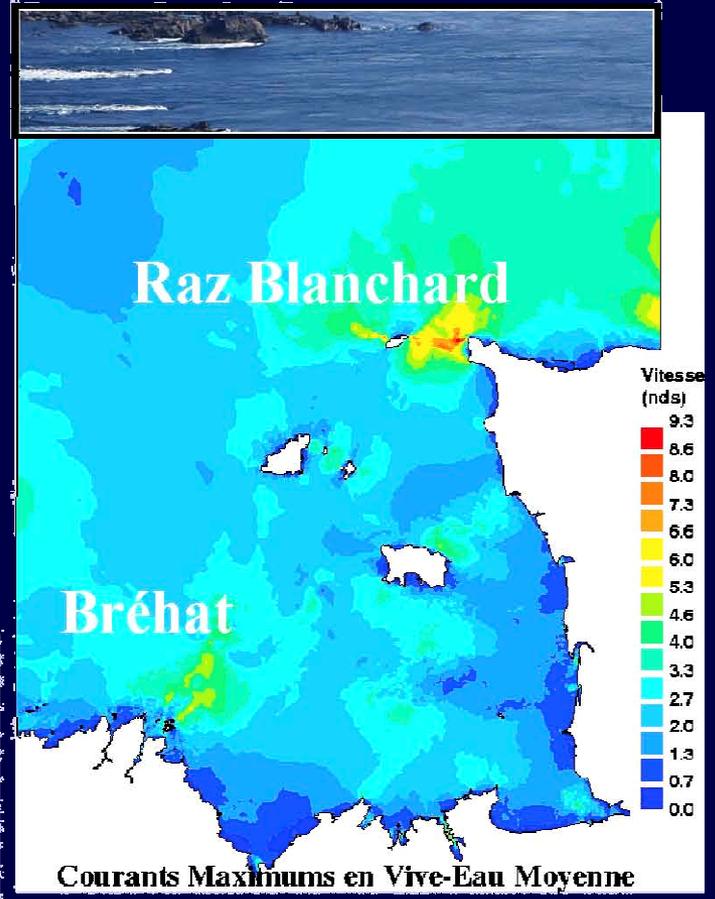
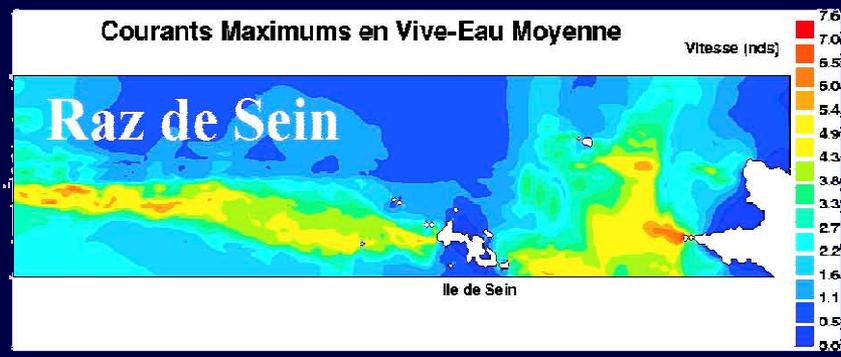
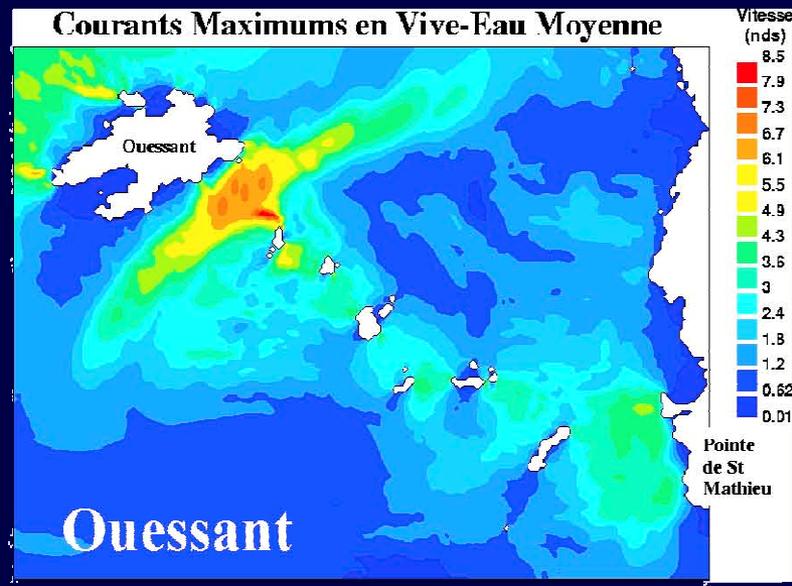
Energie des vagues

Variation saisonnière de la hauteur des vagues à l'échelle régionale



Evaluation de la ressource Niveau local

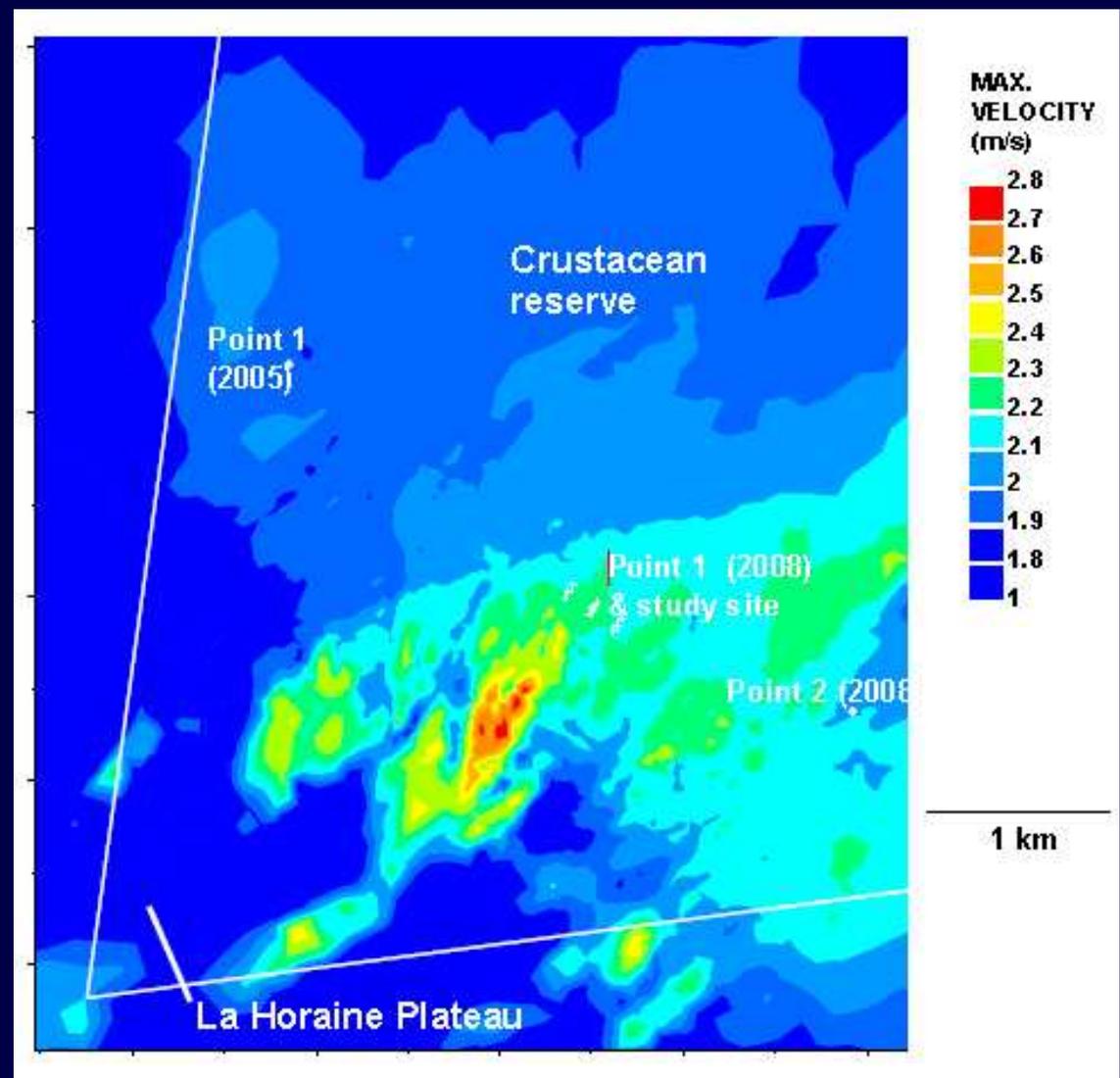
Energie des courants de marée en Bretagne et Normandie



Evaluation de la ressource Niveau du champ

Energie des courants de marée au Nord de Bréhat

Simulation TELEMAC
validée par
des mesures ADCP



Evaluation de la ressource

Outils



Bouée
Houlographe

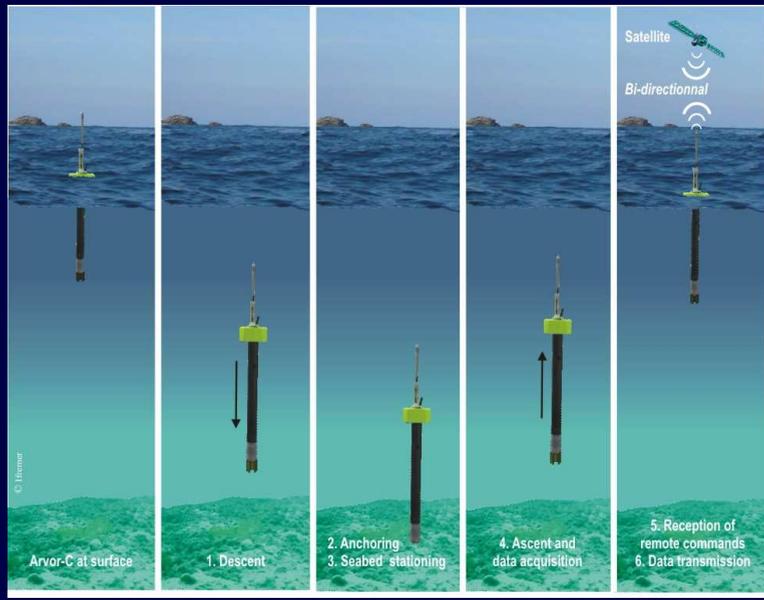


ADCP
*Acoustic
Doppler
Current
Profiler*

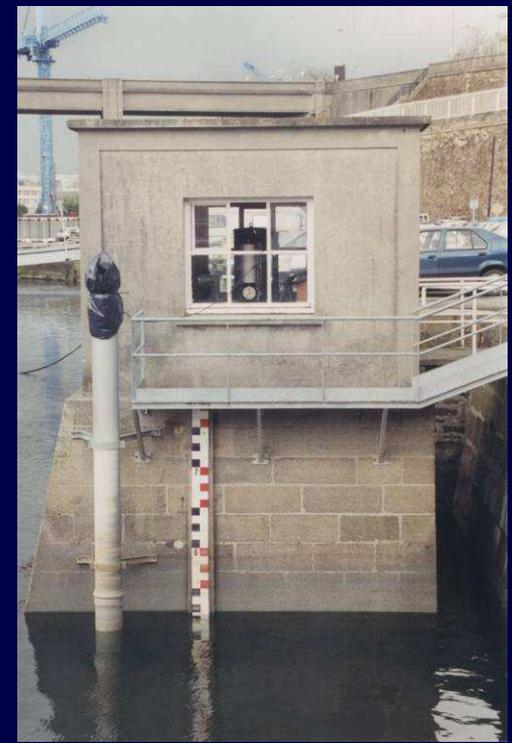


Sonde CTD
*Conductivity
Temperature
Depth*

Evaluation de la ressource Outils



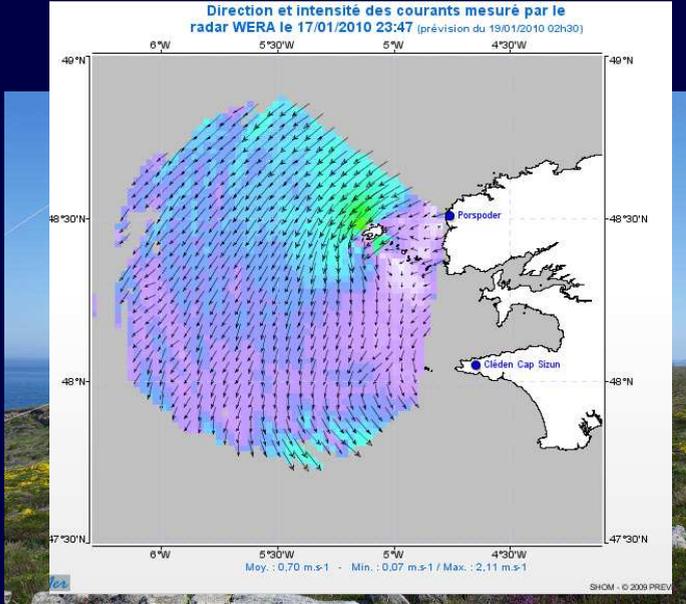
Profileurs dérivants



Marégraphe

Outils

Evaluation de la ressource



Radars haute fréquence

vagues, courants de surface

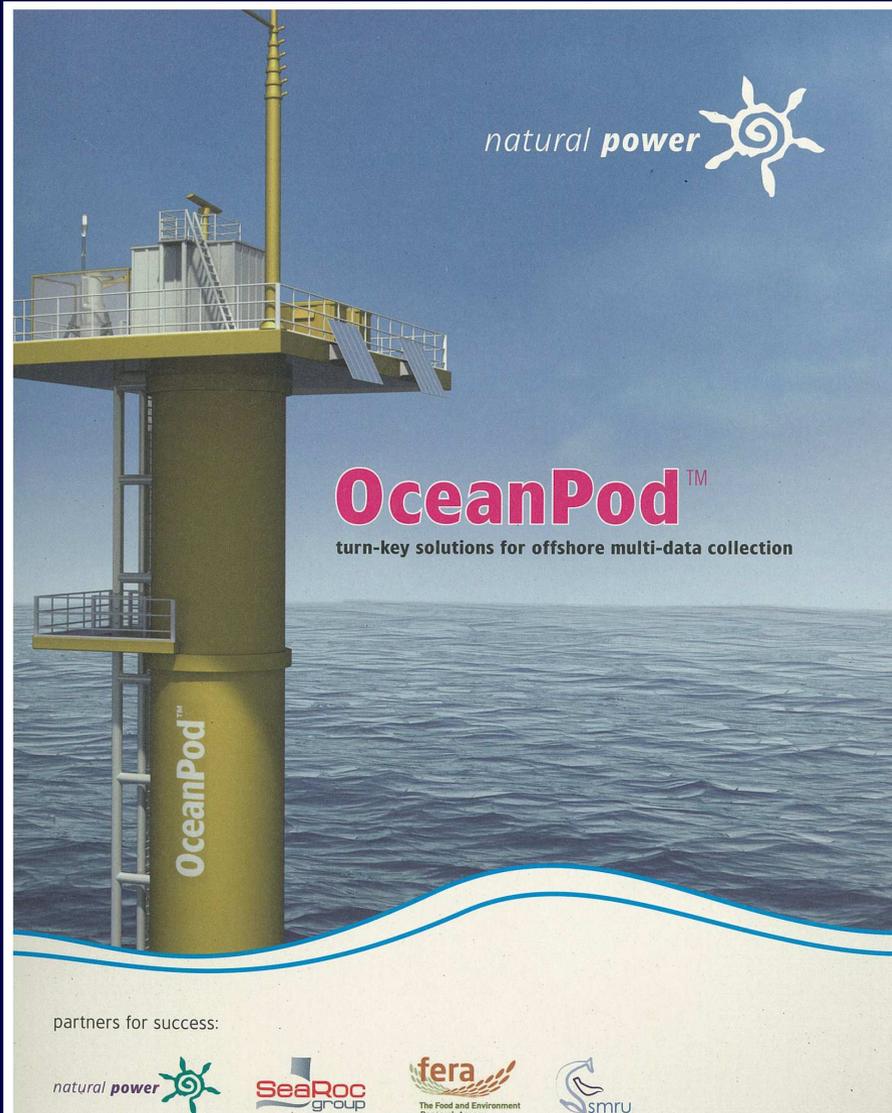


LIDAR vent

Observations satellite

Outils

Evaluation de la ressource



Mâts
multiparamètres
Vent, vagues,
courants de
surface

Eoliennes offshore



meretmarine.com

Eoliennes offshore

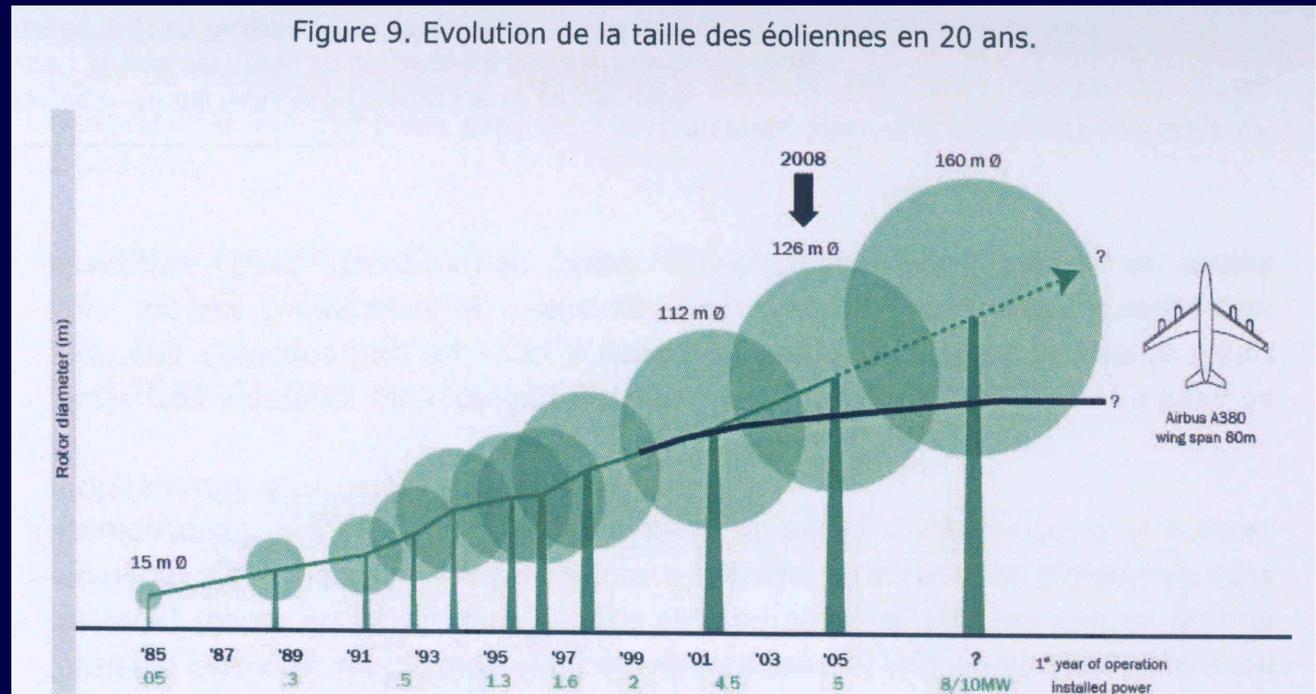
Formulation de première estimation de la puissance récupérable

$$W \text{ (kW)} = (0,3 * \rho * S * V^3) / 1000$$

$$\rho = 1\text{kg/m}^3$$

V (m/s) vitesse du vent

S (m²): surface du disque d'hélice



Source : UpWind.

Eoliennes et hydroliennes

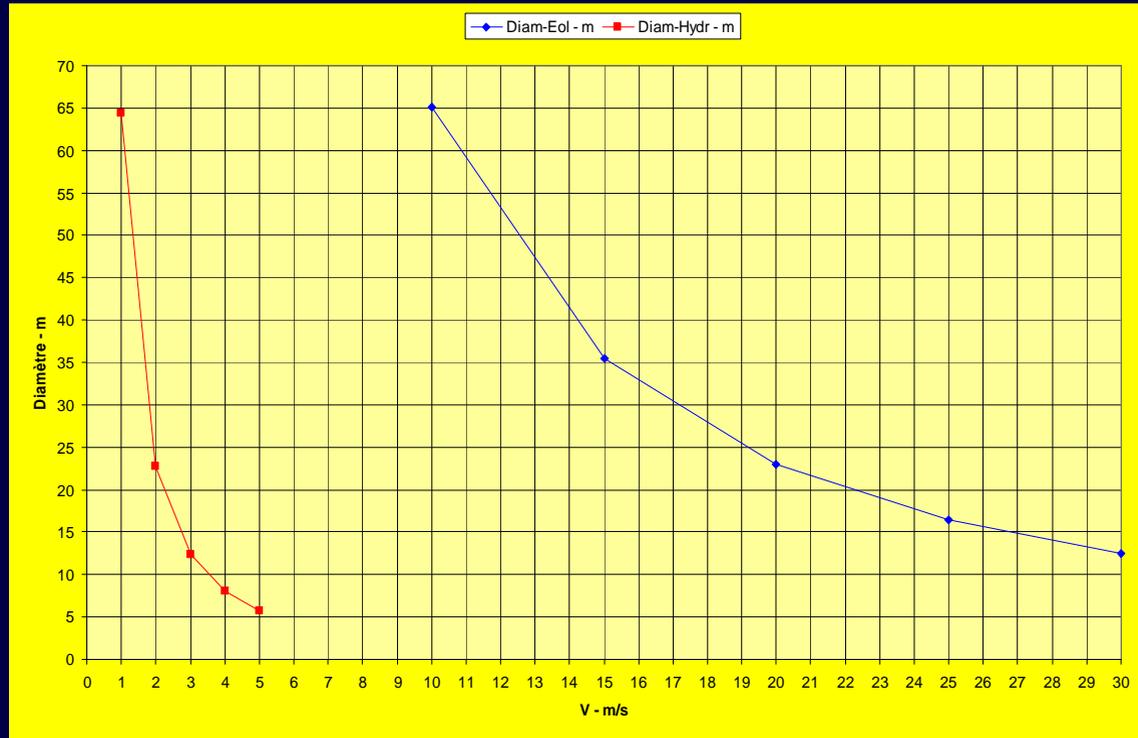
DIAMETRE EOLIENNE / HYDROLIENNE (minimum théorique)

W	RO-Air	RO-Eau
kW	kg/m ³	kg/m ³
1 000	1	1 025

v - km/h						36	54	72	90	108
V - nœuds	2	4	6	8	10					
V - m/s	1	2	3	4	5	10	15	20	25	30
Surf-Eol - m ²						3 333	988	417	213	123
Surf-Hydr - m ²	3 252	407	120	51	26					
V - m/s	1	2	3	4	5	10	15	20	25	30
Diam-Eol - m						65	35	23	16	13
Diam-Hydr - m	64	23	12	8	6					

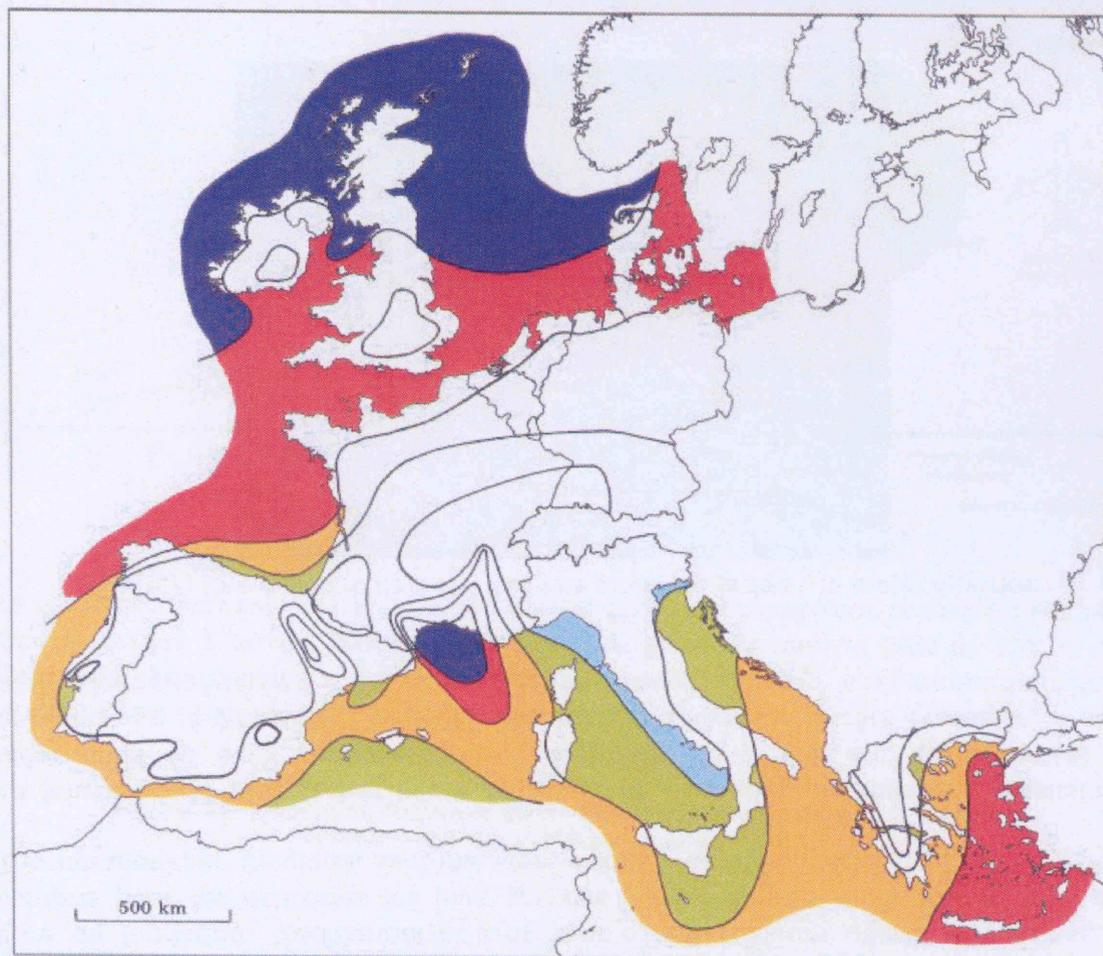
Encore faut-il que ça démarre !

diamètres mini / vitesse du fluide



Potentiel éolien offshore

Figure 4. Estimation de la ressource éolienne en mer, au-delà de 10 km des côtes, pour 5 hauteurs (10, 25, 50, 100 et 200 m).



Wind resources over open sea (more than 10 km offshore) for five standard heights										
	10 m		25 m		50 m		100 m		200 m	
	ms^{-1}	Wm^{-2}								
Dark Blue	> 8.0	> 600	> 8.5	> 700	> 9.0	> 800	> 10.0	> 1100	> 11.0	> 1500
Red	7.0-8.0	350-600	7.5-8.5	450-700	8.0-9.0	600-800	8.5-10.0	650-1100	9.5-11.0	900-1500
Yellow	6.0-7.0	250-300	6.5-7.5	300-450	7.0-8.0	400-600	7.5- 8.5	450- 650	8.0- 9.5	600- 900
Green	4.5-6.0	100-250	5.0-6.5	150-300	5.5-7.0	200-400	6.0- 7.5	250- 450	6.5- 8.0	300- 600
Light Blue	< 4.5	< 100	< 5.0	< 150	< 5.5	< 200	< 6.0	< 250	< 6.5	< 300

Source: European Wind Atlas, 1989.

Eoliennes offshore posées

Ancrages : monopieu, tripode, jacket, ...

Gravitaire



Monopieu



tripode



jacket
RePower - 5 MW



Coûts : 1500 à 3000 €/kW installé

- compétition sur machines et sur les barges

Installation

- Avec barge grue ou barge auto-élévatrice
- Avec navire spécialisé



Maintenance

exigence de fiabilité



Eoliennes offshore posées



Photo 4 : parc éolien marin de Horns Rev au Danemark (160 MW) ; c'est le plus grand parc actuel en exploitation (© Dong Energy, Dk).

Eoliennes offshore posées

Photo 17 : transport sur site
du socle d'une éolienne marine
de 5 MW sur le Thornton bank
(© Deme, Be).



Eoliennes offshore posées



Photo 11 : pose d'hélice de 126 m de diamètre sur son mât dans le parc éolien marin de 300 MW de Thornton bank en Belgique (© Deme, Be).

Actualités, septembre 2010

Fin Septembre 2010, France :

- ✓ fin de la sélection de zones d'installation de parcs
- ✓ appel d'offre pour l'installation de 3 GW en 2015

23 Septembre 2010, Royaume-Uni :

- ✓ Inauguration du 12^{ème} parc offshore posé
- ✓ 100 éoliennes (sur 300 au final, 1^{er} mondial)
- ✓ Coût 1^{ère} tranche : 900 M€



les 190 km² de concessions possibles en Bretagne pour l'installation de 500 MW



le parc du Thanet, au large du Kent, 300 MW installés

Eoliennes offshore flottantes

Eoliennes flottantes : nombreux projets ...



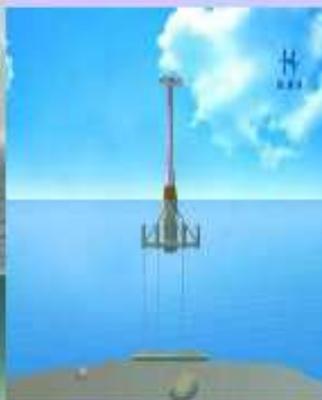
Hywind

Norvège 2,5MW
120 à 700 m - test en 2009



Winflo

France 2,5 à 5MW
50 à 150 m 2011



Diwet

Hollande 3,5 à 5MW
50 à 200 m échelle réduite 2008



Arcadis

Allemagne 3 MW (concept)
> 30 m



Principle power

Etats Unis 5 à 10 MW
> 50 m



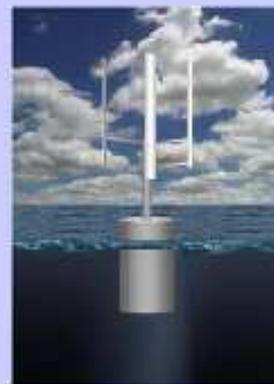
Windsea

(concept Norvège 3 x 3 MW (2011)
4 projets déposés à l'ADEME



Sway

Norvège 5 MW (2010)
100 à 400 m



Nénuphar

France 6 à 700 kW
20 à 200 m

Eoliennes offshore flottantes

Norvège :

**Statoil teste une première
éolienne flottante,
plateforme Technip**

165 m dont 65 au-dessus de l'eau

5300 tonnes

13 km de câble

**Août 2010 : annonce de la
recherche d'un site pour
installer un parc en Ecosse.**



éolienne flottante HYWIND

Energie osmotique

Energie résultant des différences de salinité, exploitée par circulation de flux d'eau douce et d'eau de mer

2 procédés envisageables:

PRO – Pressure retarded Osmosis:

Flux de l'eau douce vers l'eau de mer à pression supérieure à travers une membrane semi-perméable.

Production d'énergie par turbinage - En développement

RED – Reverse Electro Dialysis:

Flux des ions salins à travers une paire de membranes ioniques sélectives.

Production directe d'énergie électrique – Développement pénalisé par coût des membranes

Energie osmotique

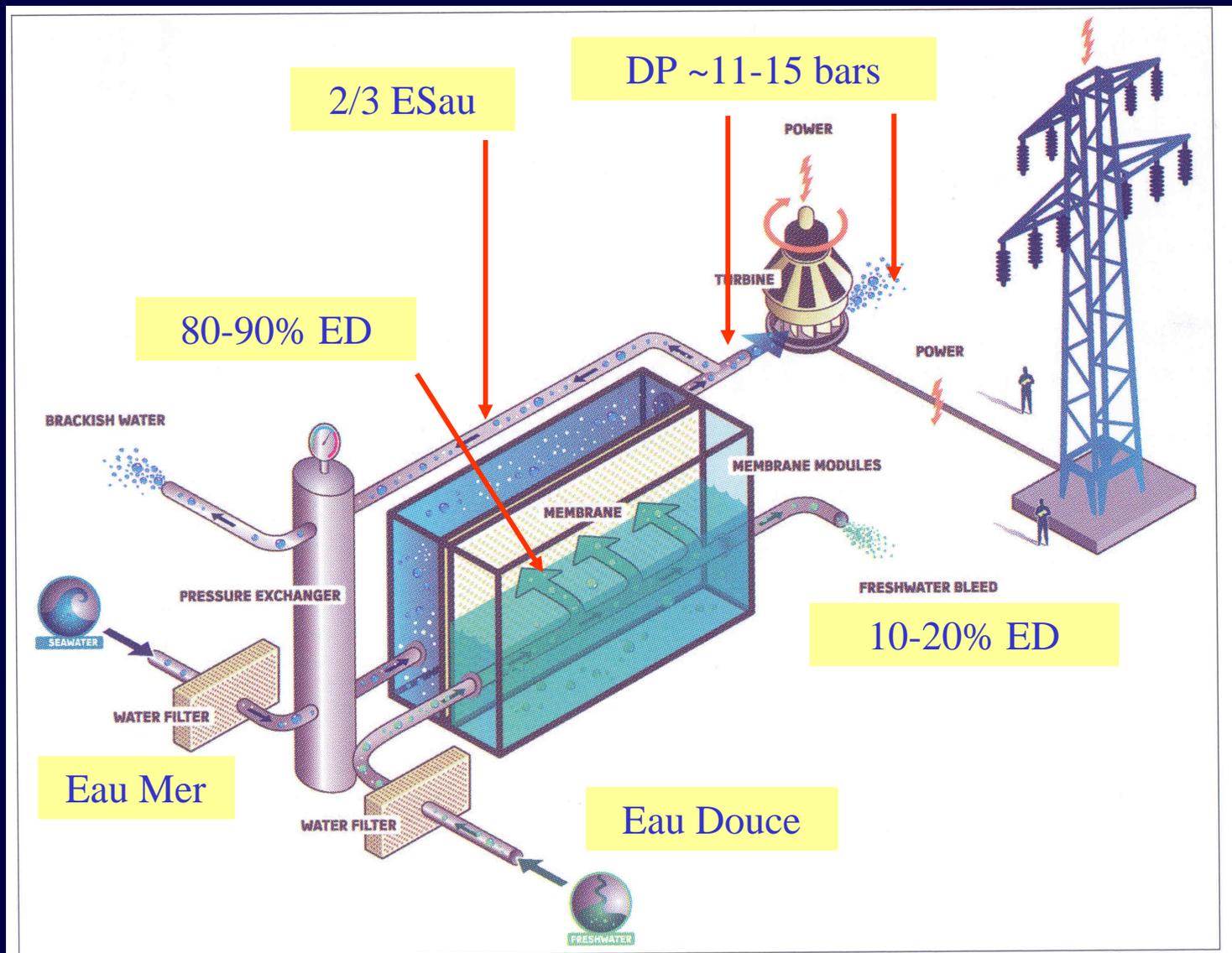


Figure 26.1 : schéma de production électrique par la pression osmotique (Source : <http://exergy.se/goran/cng/alten/proj/98/osmotic/>).

Energie osmotique

Potentiel mondial:

Production: 2000 TWh/an

Estimations de potentiels fluviaux :

EMR 2030		
Rivière ou fleuve	Débit moyen (en m ³ /seconde)	Énergie potentielle (en GWh)
Petite rivière locale	10	88
Rivière Namsen (Norvège)	290	2 560
Rhin (Allemagne)	2200	19 520
Mississippi (États-Unis)	18 000	160 000

■ Tableau 26.1 : potentiel d'énergie issu de la pression osmotique selon de débit d'eau douce
(Source : <http://www.oceansatlas.com/unatlas/uses/EnergyResources/Background/Salinity/sp1.html>)

Energie osmotique

Développements en cours

Démonstrateur de la société Statkraft - Norvège



Bâtiment du démonstrateur
Région d'Oslo

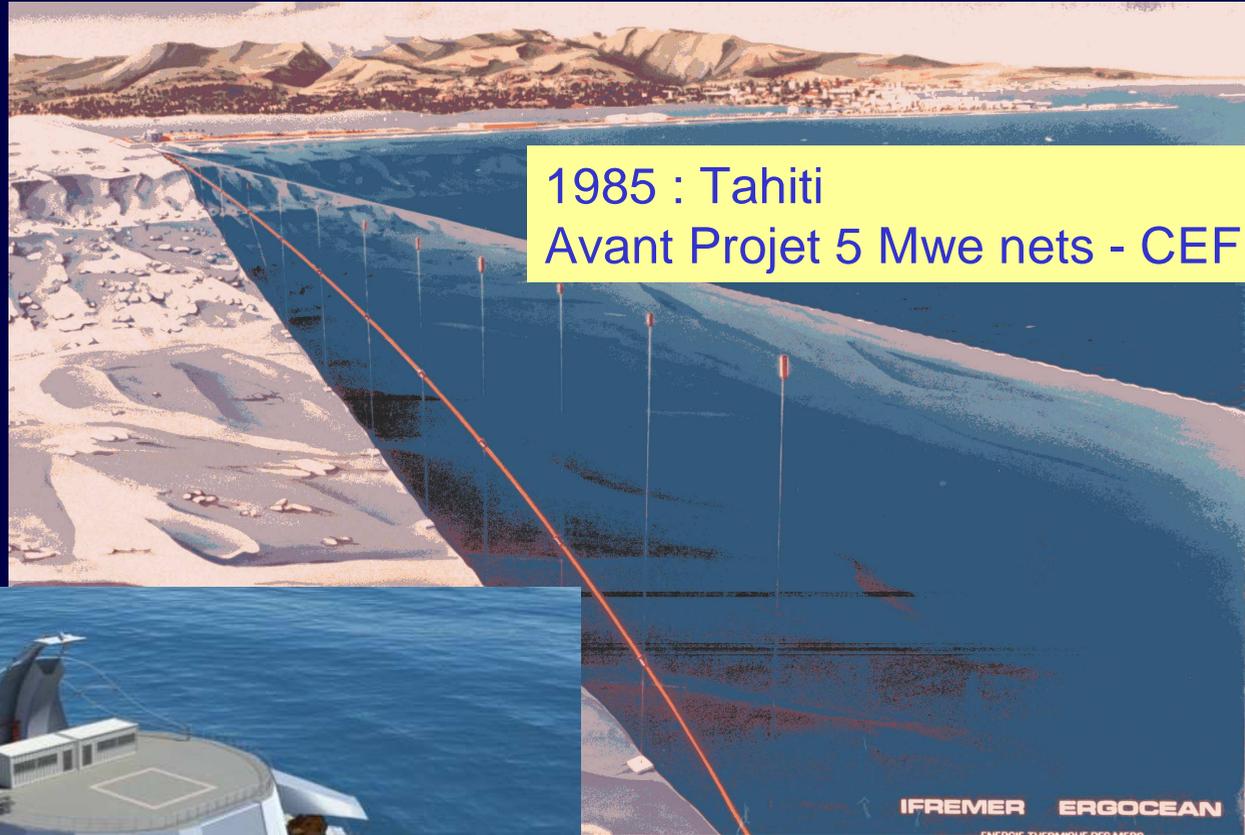


Modules - Membranes



Echangeurs pression Emer / ESaum

Energie thermique des mers



Réunion ou Antilles
Avant Projet 25 Mwe nets - CEF ~ 3 m

Aperçu des technologies pour une production électrique

Cycles thermodynamiques à basse température

Evaporation – Détente en turbine – Condensation d'un fluide de travail

Besoin de grands débits d' EF & EC

en raison du petit DT disponible $\sim 20^{\circ}\text{C}$ induisant un faible rendement des cycles $\sim 4\%$

EF: 1 à 2 m³ / s par MW électrique brut - EC ~ 2 à 3 * EF

2 cycles de Rankine de base:

- Cycle ouvert (CO) : **fluide de travail = vapeur d'eau produite par évaporation de $< 1\%$ de l'EC**
- Cycle fermé (CF) : **fluide de travail en boucle, NH₃ le plus courant**

Cycles plus complexes : **pour augmenter le rendement (solution aqueuse de NH₃)**

Consommation des auxiliaires:

$\sim 25\%$ de la puissance électrique brute

\gggg Besoin EF: 5 à 10 m³ par kWh électrique net distribué

Facteurs déterminants de la ressource

Utilisation couplée EC et EF :

- **Ecart de température > 20°C**
avec de préférence EC > 26°C toute l'année

Utilisation de l' EF pour la climatisation :

- **Température < ~ 6 °C**

>>>> Ressource limitée aux zones intertropicales

Pour les installations à terre, un critère de plus:

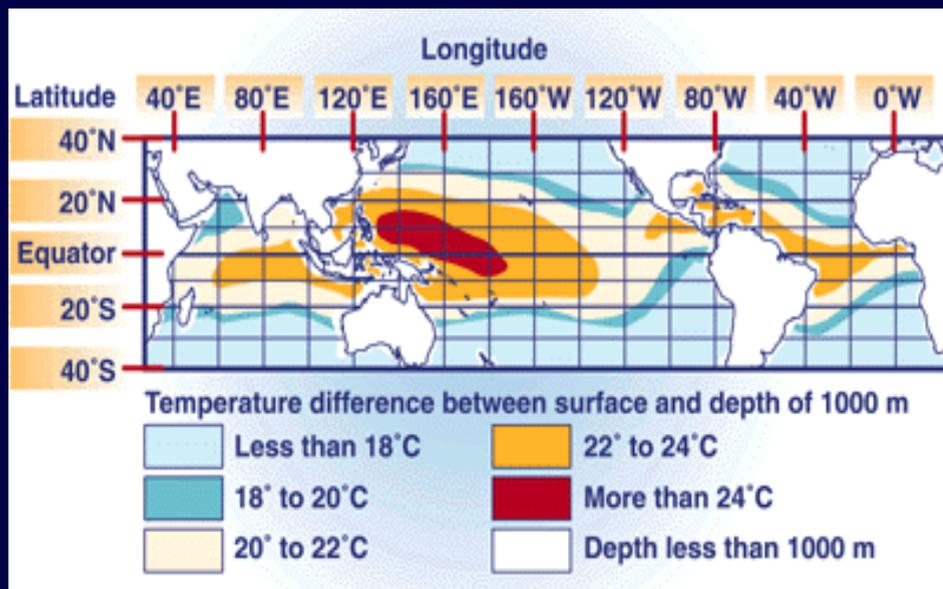
- **Distance à la côte de l'isotherme EF de 6°**

Utilisation comme source / puits de chaleur :

- **Applications pompe à chaleur, possibles aux latitudes tempérées**

Ressource pour une production électrique

Zones potentielles d'utilisation conjointe EF / EC :
les zones intertropicales avec différence de température > à 20°C



Profil vertical typique de température
(mesurée au large de Papeete)

Profondeur (mètres)	Température (°C)
20	27.2
100	25.3
200	21.4
400	11.1
600	6.5
1000	3.9

Source : Eurocéan^a

Energie thermique des mers

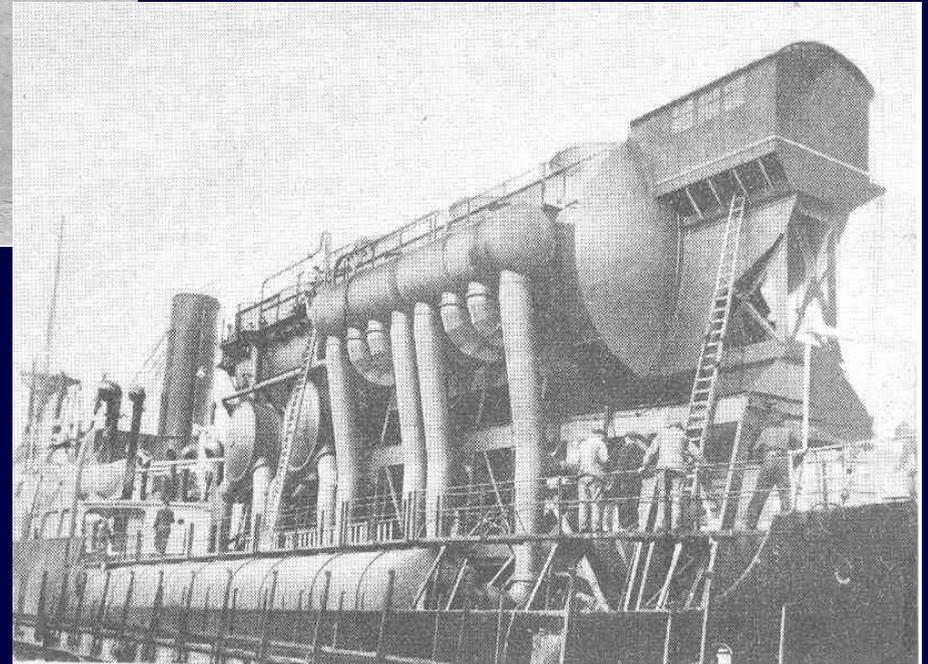
Antécédents 1930 - 1960:

- Tentatives de Georges Claude en cycle ouvert
 - Cuba, baie de Matanzas à terre, 1930
 - Brésil, centrale flottante « La Tunisie », 1935
- Projets à terre de la société EDM en cycle ouvert
 - Abidjan, 1948-1953
 - Guadeloupe, pour EDF, 1958

Energie thermique des mers

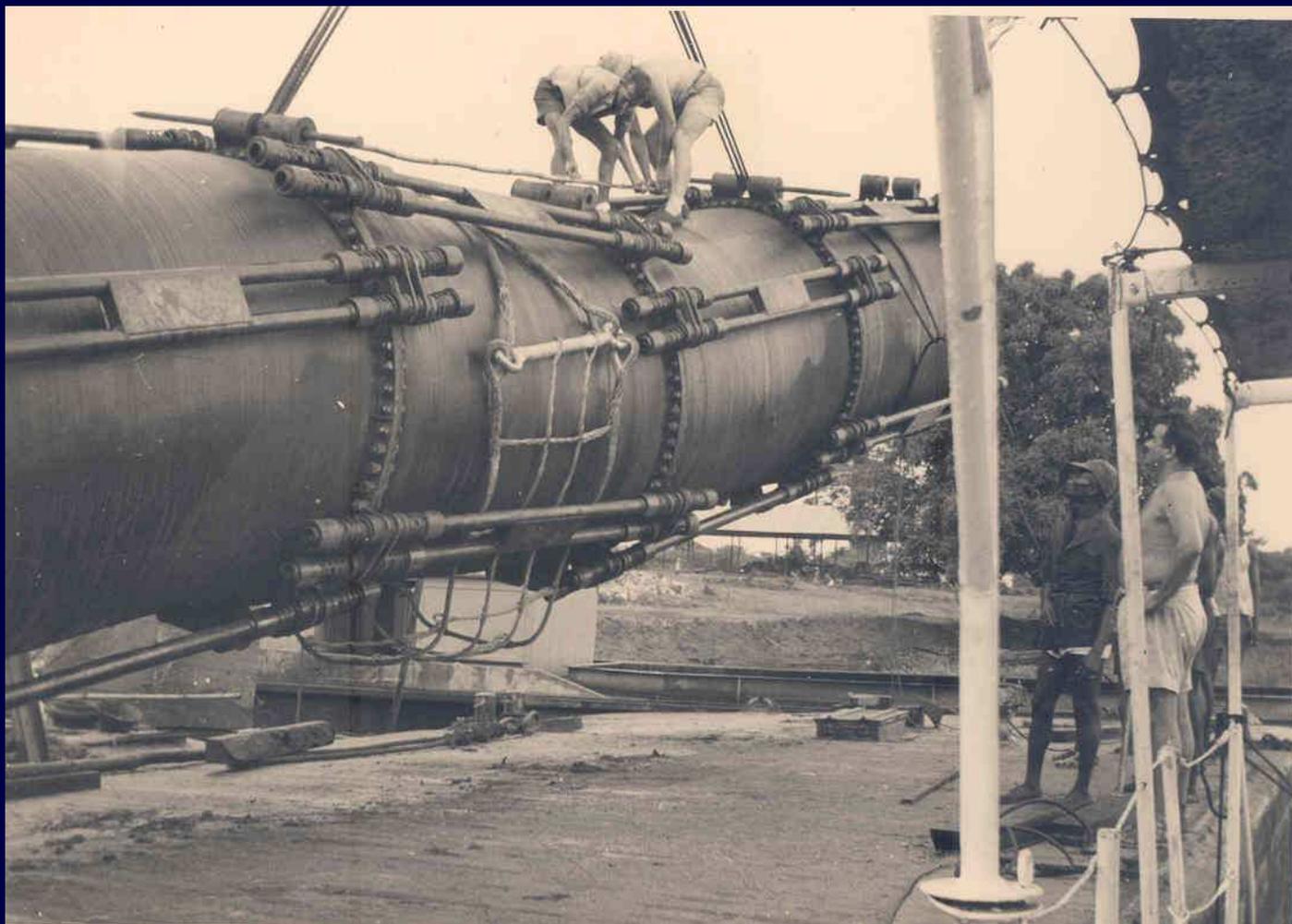


Cuba-Matanzas - 1930



Brésil – « La Tunisie » - 1935

Energie thermique des mers



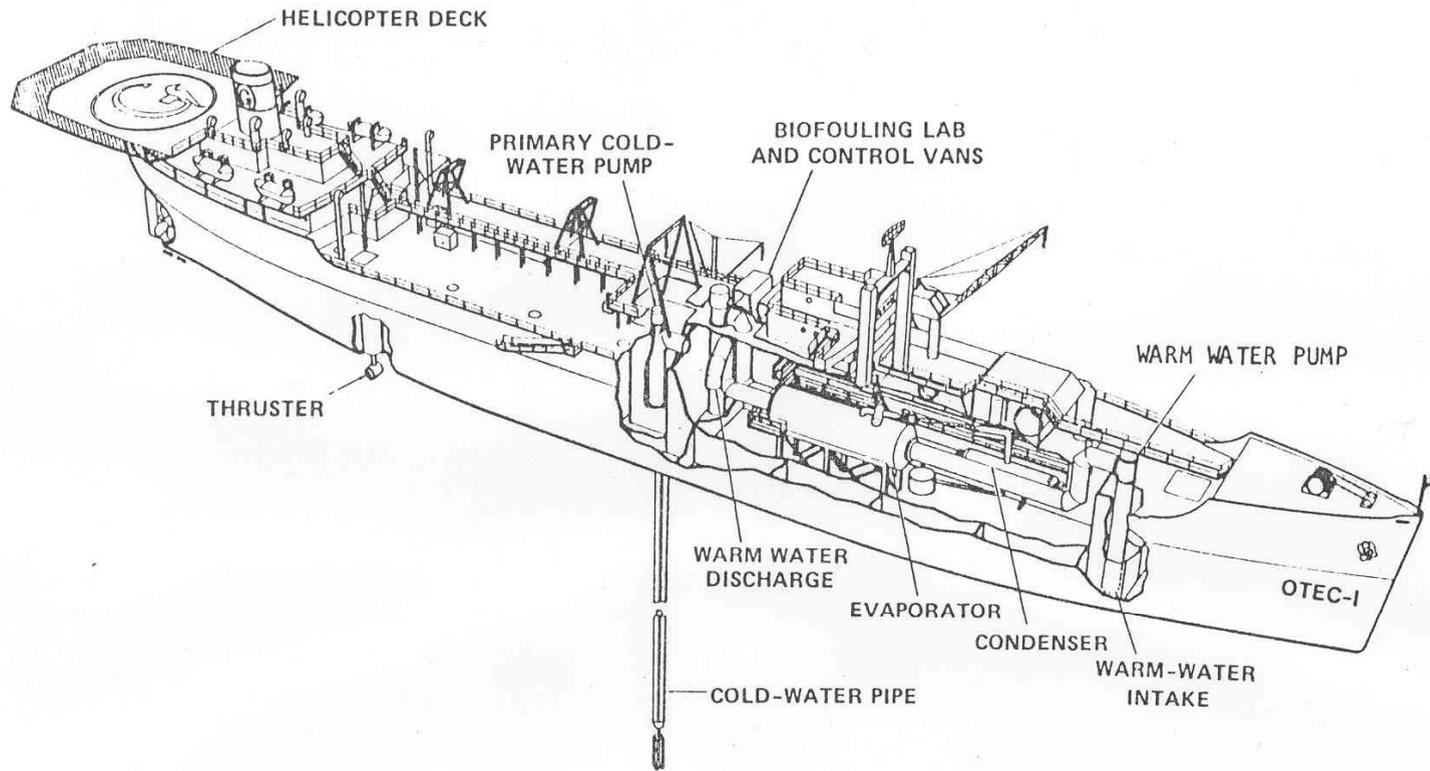
Abidjan - CEF - 1953

Energie thermique des mers



Mini OTEC – Hawaï - 1979

Energie thermique des mers



U.S. Navy T-2 Tanker Modified for Use as OTEC-1 Platform

OTEC-1 – Hawaï - 1980

Panorama:

- Monaco:
installations courantes – interdiction des tours de réfrigération aériennes
- Canada - Halifax:
1986 - réseau de chauffage-climatisation de locaux de bureaux et commerciaux
- Suède - Stockholm:
1995 - réseau de chauffage-climatisation de locaux de bureaux et commerciaux - 170 MWf
- France – La Seyne / Mer - Var:
2008 - réseau de chauffage-climatisation de locaux de bureaux et commerciaux - 3 * 1.6 MWf

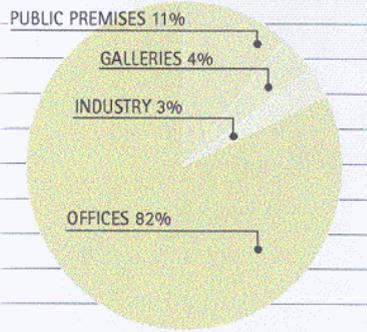
Energie thermique des mers

FACTS/District cooling in the City

■ INSTALLED POWER	170 MW
■ ENERGY	240 GWh/annum
■ MAINS	8.6 km
■ DISTRIBUTION NETWORK	12 km
■ OPERATING PRESSURE	10 bar
■ FEED TEMPERATURE	+6 C°
■ RETURN TEMPERATURE	+16 C°
■ NUMBER OF CUSTOMERS	300



DISTRIBUTION OF CUSTOMER SEGMENTS



Réseau Stockholm

Contexte national, des étapes récentes

2007) *Etude prospective sur les EMR à l'horizon 2030*

M. Paillard, D.Lacroix, V. Lamblin, Ifremer & Futuribles

2008) *Initiative pour l'essor des EMR : IPANEMA*

130 partenaires et un rapport

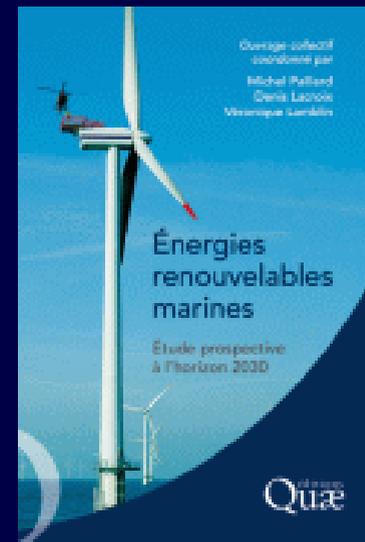
2009) « Grenelle de la Mer » et « Grenelle de l'Environnement »

En 2020, 6.000 MW du bouquet énergétique français issu des EMR

Juillet 2009) Mention d'une "plateforme technologique nationale des énergies marines renouvelables" par le président de la république

Dec. 2009) Le premier ministre désigne Ifremer pour coordonner à Brest la plateforme des énergies marines

Sep. 2010) "France Energies Marines" répond à l'appel à manifestation d'intérêt pour les "Instituts d'Excellence dans le domaine des énergies décarbonées"



Grand Emprunt, investissements d'avenir



Un budget total de 35 Md€

dont 22 Md€ pour Enseignement et Recherche

dont 18 Md€ sur appel à projets

dont 1 Md€ pour les Instituts d'Excellence
dans le domaine des énergies décarbonées (~ 6 instituts)

dont 2,85 Md€ pour l'ADEME

dont 1,35 Md€ pour les Démonstrateurs et
Plateformes technologiques en énergies renouvelables



2011

France Energies Marines
projet d'*institut* assurant
coordination/gestion
de *sites d'essais* en mer

en partenariat Public-Privé



2010

Un projet partenarial

groupes industriels

ALSTOM, AREVA, Bureau Veritas,
DCNS, EDF, GDF SUEZ, STX
France SA, Technip, Veolia
Environnement

PME

Cervval, Energie de la Lune,
Geocean, Nass & Wind, Nenuphar,
Sabella, Oceanide

établissements publics

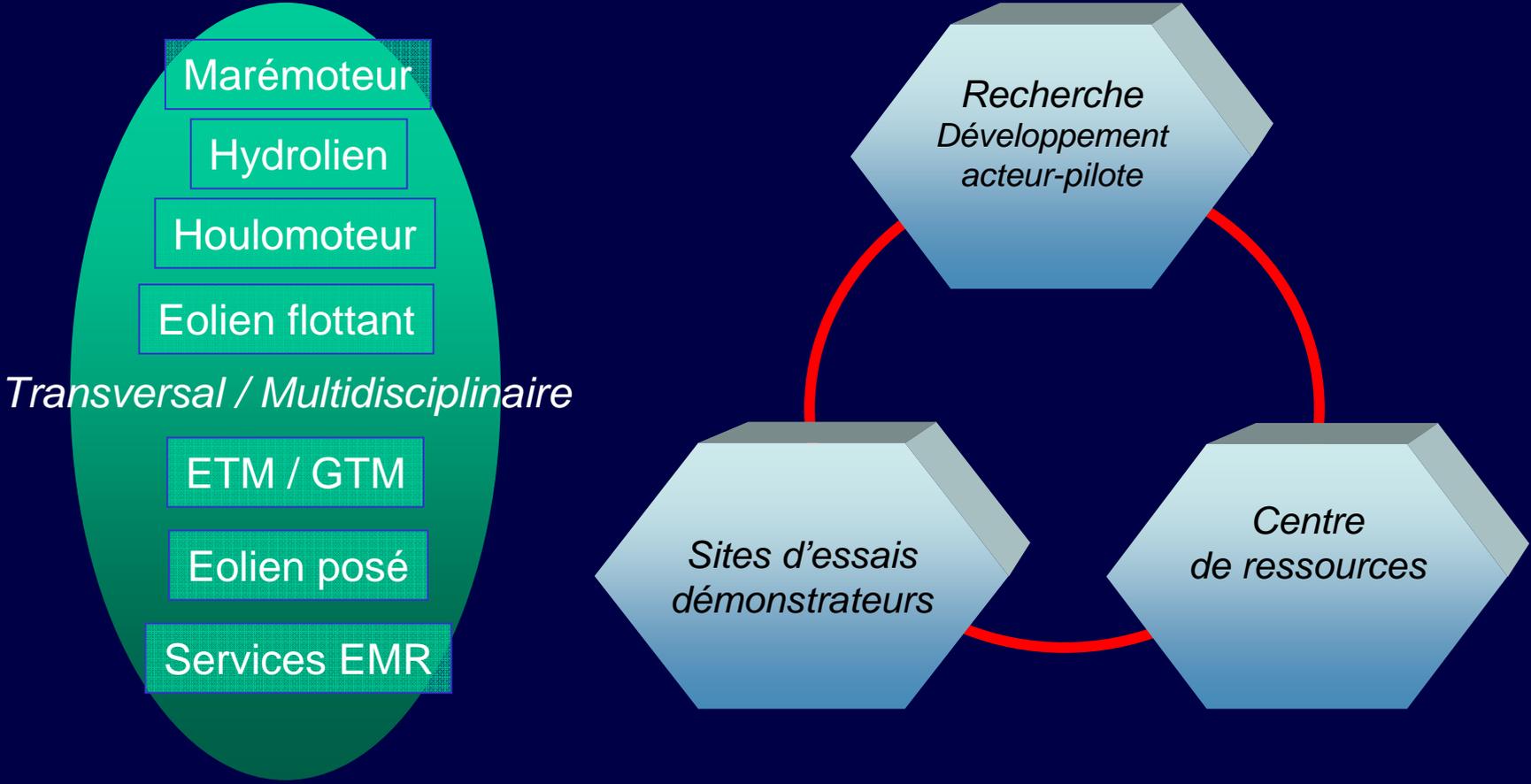
CEA², CNRS, ECN, Ecole Navale,
ENSIETA, IFP Energies nouvelles,
Ifremer, IRPHE, UBO

collectivités régionales

régions Bretagne, Pays de la Loire,
PACA, La Réunion, Aquitaine
et Pôles de compétitivité Mer



Objets et articulation



Marémoteur

Hydrolien

Houlomoteur

Eolien flottant

ETM / GTM

Eolien posé

Services EMR

Transversal / Multidisciplinaire

*Recherche
Développement
acteur-pilote*

*Sites d'essais
démonstrateurs*

*Centre
de ressources*

Pôle recherche

Verrous technologiques

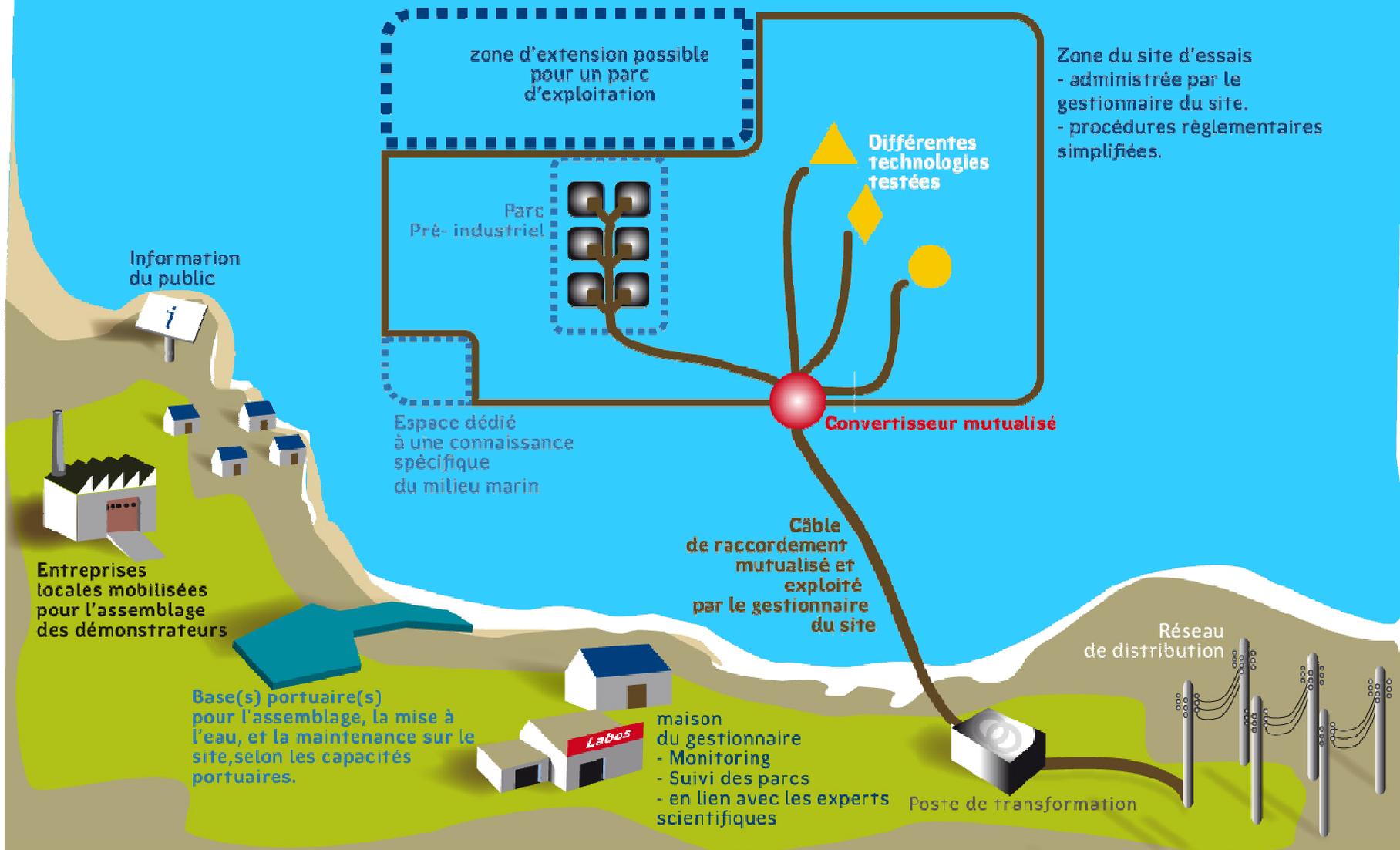
Évaluation de la ressource / optimisation
Tenue en mer des structures de production
Efficacité énergétique des récupérateurs
Déploiement, maintenance
Cycle de vie des systèmes, démantèlement
Connexion et intégration au réseau
Stockage de l'énergie
Industrialisation des procédés de construction



Environnement et société

*Impact environnemental unitaire et en parc,
physique et biologique*
Acceptabilité / usages
Evolution de la réglementation
*Modèles économiques des productions d'EMR,
optima coûts-performances*
Valorisation des co-produits, co-activités

Un exemple d'organisation d'un site d'essais



Zone du site d'essais
 - administrée par le gestionnaire du site.
 - procédures réglementaires simplifiées.

Entreprises locales mobilisées pour l'assemblage des démonstrateurs

Base(s) portuaire(s) pour l'assemblage, la mise à l'eau, et la maintenance sur le site, selon les capacités portuaires.

Espace dédié à une connaissance spécifique du milieu marin

zone d'extension possible pour un parc d'exploitation

Parc Pré-industriel

Différentes technologies testées

Câble de raccordement mutualisé et exploité par le gestionnaire du site

Convertisseur mutualisé

Réseau de distribution

Poste de transformation

maison du gestionnaire
 - Monitoring
 - Suivi des parcs
 - en lien avec les experts scientifiques

Information du public

Sites d'essais

Prestations

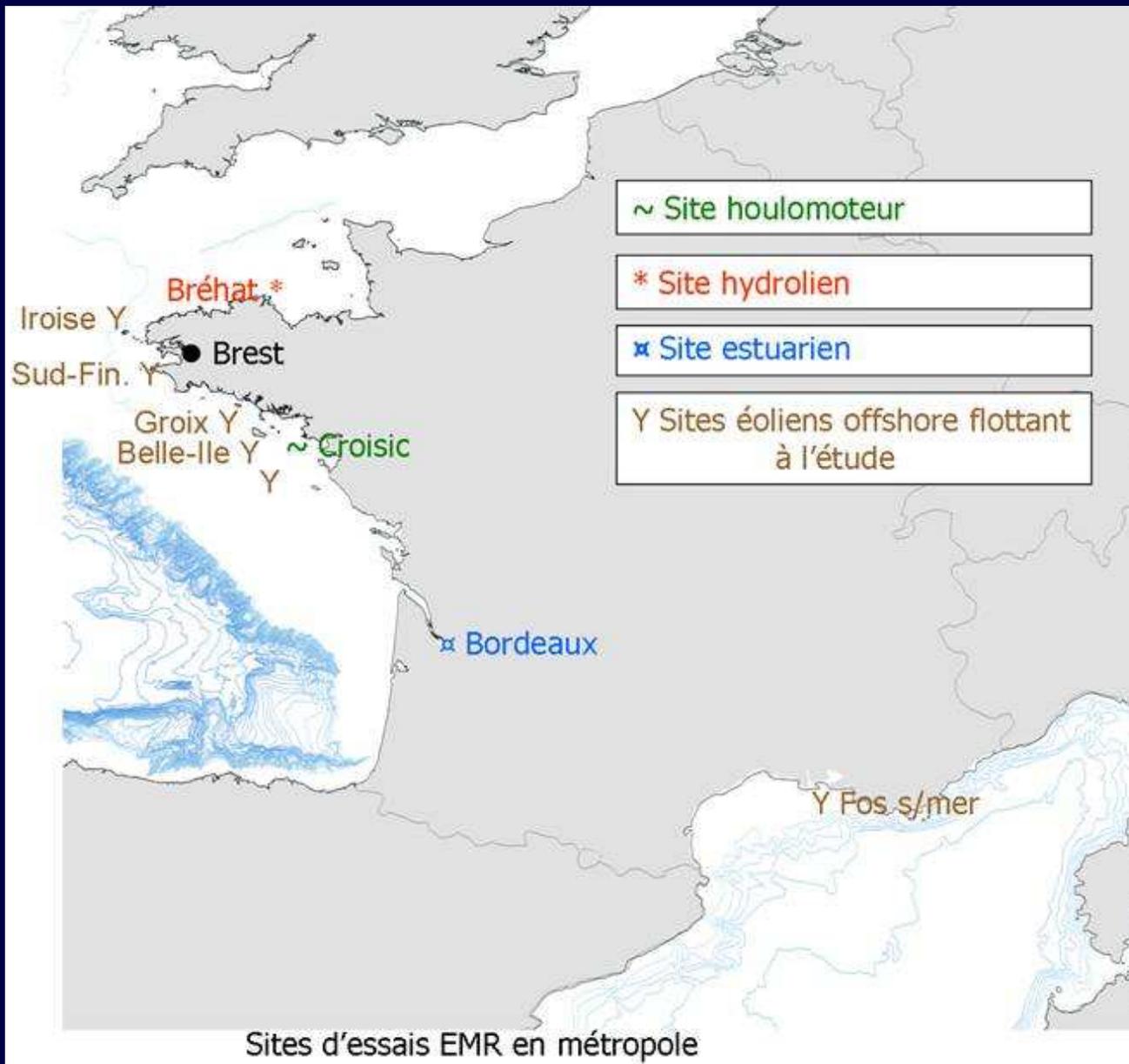
- o accès réglementé facilité par respect cahier des charges
- o mesures environnementales
- o mesures de performance
- o mesures de comportement et de tenue à l'épreuve
- o mesures d'impact
- o télémaintenance & réseau informatique
- o logistique de routine
(le client assure la mise à l'eau, l'ancrage, le branchement, l'enlèvement)
- o rapport d'évaluation des performances (cas par cas)
- o certification (optionnel)
- o rachat de la production électrique (cas par cas)

2-3 techniciens

sous-traitance

1-2 ingénieurs

Sites d'essais EMR



Coordination des moyens de simulation, d'expérimentation et d'essais

Centre de
ressources

Moyens non dédiés EMR

- o *Simulation partielle ou intégrée*
- o *Accès aux moyens de calcul*
- o *Bassins d'essais*
- o *Machines d'essais matériaux et structures (traction, pression)*
- o *Essais / expériences de corrosion, bio-salissure*
- o *Bancs d'essais électriques, convertisseurs*



copyright "© Ifremer/O. Dugornay
Tidalstream project

Coordination des moyens de simulation, d'expérimentation et d'essais

Centre de
ressources

Rôle de la coordination

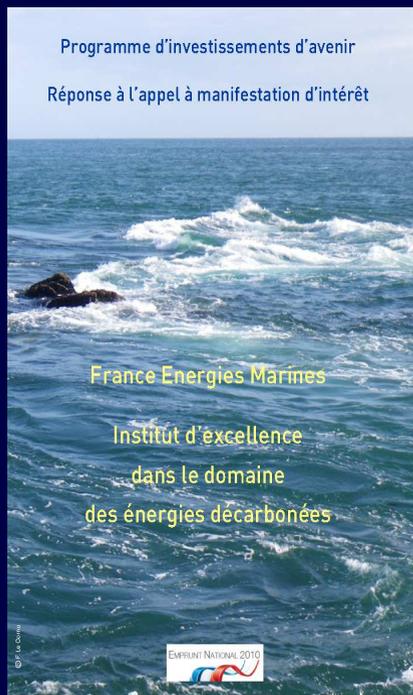
- o Catalogue de l'offre, harmonisation des accès*
- o Offrir des prestations avec expertises / rapports*
- o Possibilité d'ouvrir l'accès à des moyens industriels (privés)*
- o Participer aux GT normes européennes (budget d'incitation)*

Base d'information, formation

Centre
de ressources

- *documentation, guides méthodologiques*
- *couches SIG*
- *dissémination (grand public, décideurs, professionnels, ...)*
- *produits adaptés de climatologie et d'océanographie opérationnelle*
- *suites logicielles documentées (dont certaines OpenSource)*
- *expertise technico-économique*
- *veille technologique*
- *participation aux instances européennes (ex: AEIE)*
- *médiation entre offre et demande de formation*
- *insertion dans un parcours européen de formation*

Calendrier de France Energies Marines



- 2010 :

- définition détaillée des missions de la plate-forme

↳ dossier technique et financier de création de la plateforme

- projets de R&D génériques, mise en place de sites d'essais suivant les financements

- 2011 :

- mise en place des infrastructures pour les sites d'essais (qui devra être compatible au niveau planning avec les essais des démonstrateurs retenus par l'Ademe notamment), poursuite des actions de R&D,

- 2012-2020 :

- poursuite des activités de R&D, d'études génériques (impacts,...) et de tests de démonstrateurs et de parcs pré-commerciaux, activités de formation et de valorisation, de promotion.

- ouverture européenne

