Energies Marines Renouvelables

Etat de l 'art - Perspectives

présenté par Lionel LOUBERSAC, délégué Ifremer en NC

lionel.loubersac@ifremer.fr

Ifremer

Michel Paillard

Chef de projet Énergies Marines Renouvelables

Ifremer - Centre de Brest

Courriel : michel.paillard@ifremer.fr

Séminaire Maîtrise de l'Energie

8 décembre 2011 – Nouméa (NC)

Pourquoi des Energies Renouvelables ?

- Contexte énergétique international :

Energie fossile : réserves – coût – impact climatique

Engagements internationaux sur la réduction des GES

- Kyoto (97) -> Copenhague (12/2009)
  - Directive européenne de 2001 sur l 'accès des EnR au marché électrique
- En 2006/2008 -> suite Kyoto
  - Politique Maritime Européenne » : EnR marines citées
  - **Politique énergétique**

    OBJECTIF : 3 x 20 à 2020

    20% de réduction de GES (voire 30 si USA,…)

    20% de réduction de consommation d'énergie

    20% d'EnR dans la consommation finale d'énergie

    Grenelle de l'Environnement : 23 %

    Actuellement 8 à 11% suivant méthodologie de calcul

    Grenelle de la Mer et ses suites

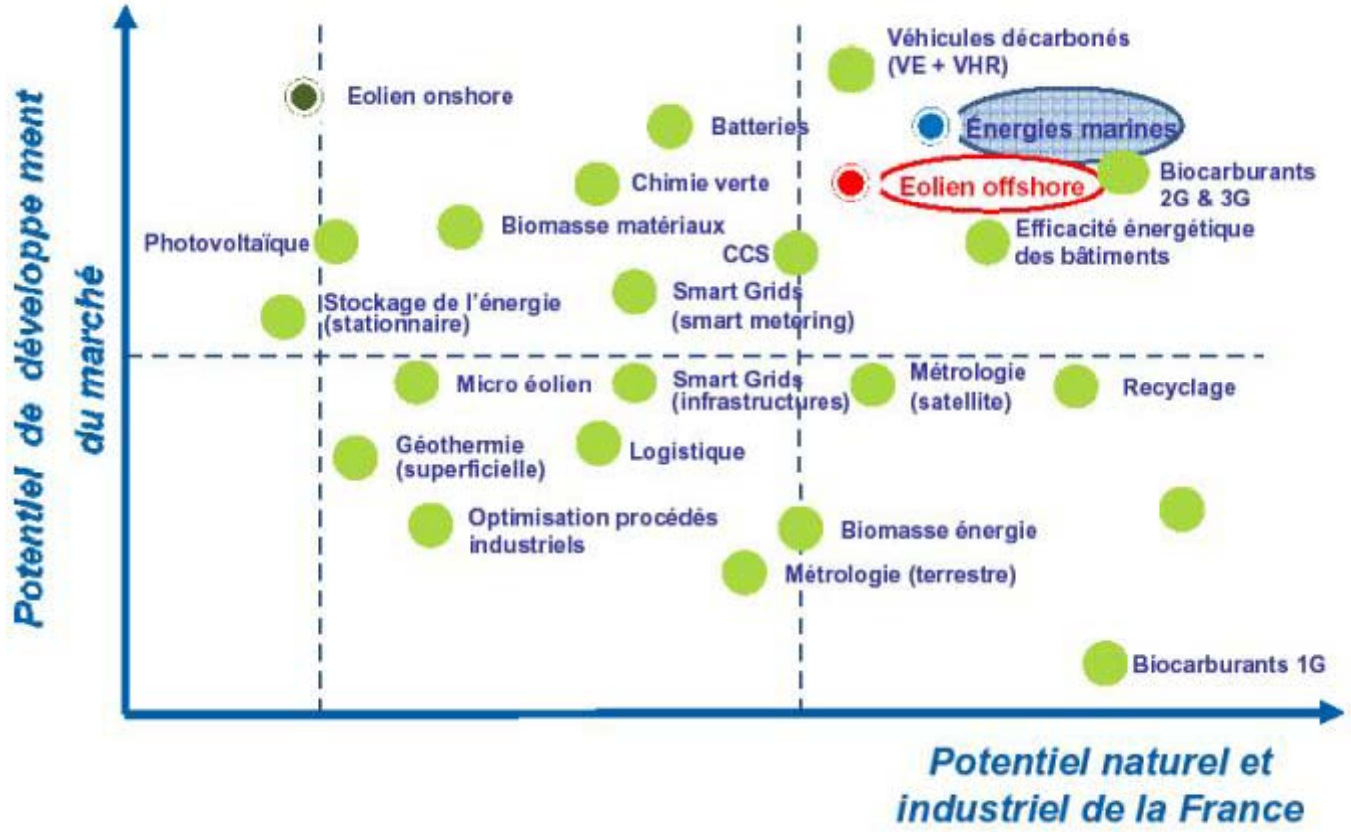
    contribution des EMR au bouquet énergétique à 2020 (éolien en mer,…)

    Plate-forme technologique – ANCRE

Chaque année, la Terre reçoit du soleil 8 380 fois la quantité d'énergie dépensée annuellement par l'humanité.

Ifremer

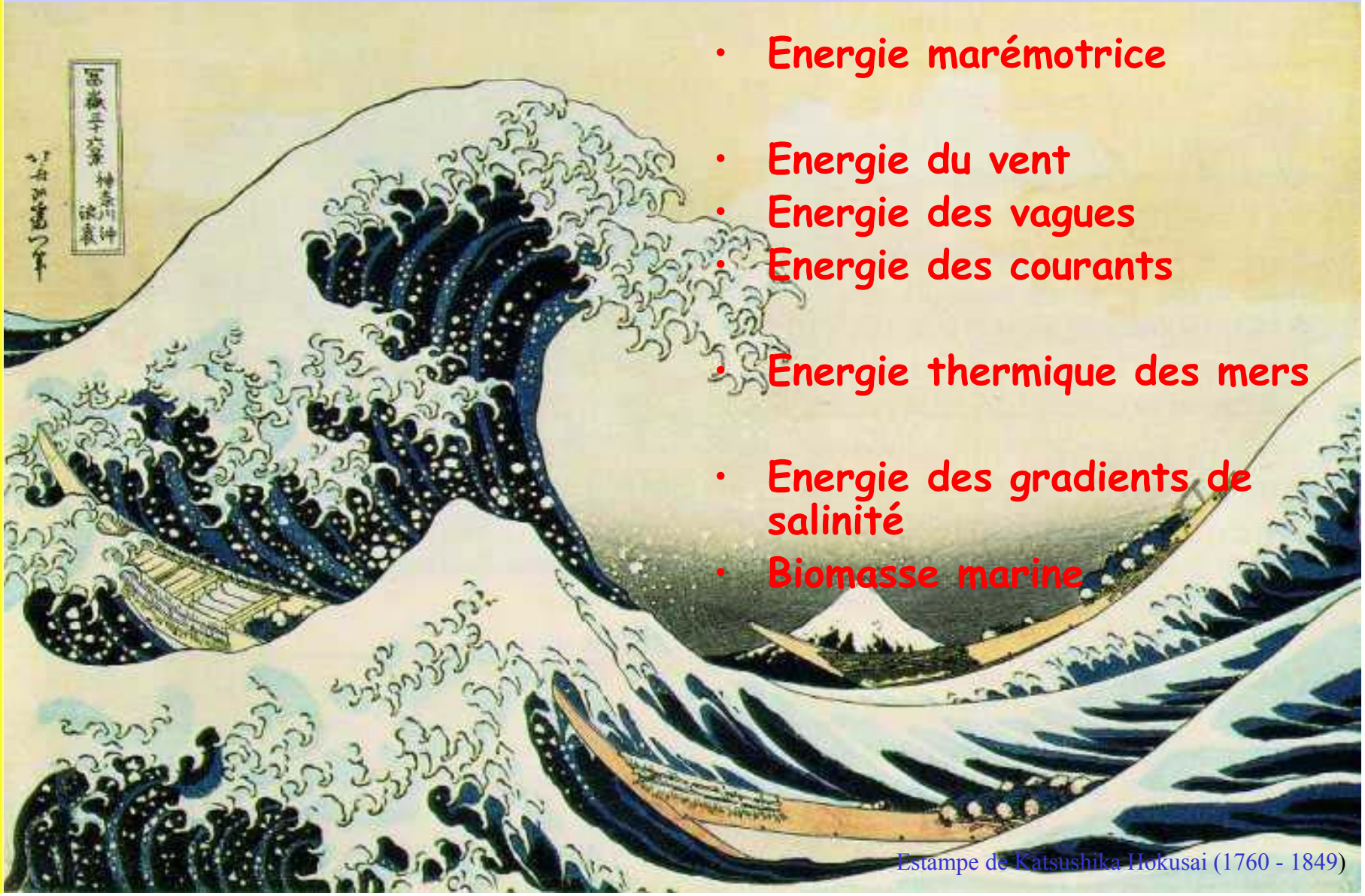
Développement des énergies renouvelables



Identification des filières stratégiques susceptibles de contribuer à la croissance verte française - Source : MEEDDM/CGDD – Mars 2010

Source Indicta 2010

Les EnR Marines



- Energie marémotrice
- Energie du vent
- Energie des vagues
- Energie des courants
- Energie thermique des mers
- Energie des gradients de salinité
- Biomasse marine

Estampe de Katsushika Hokusai (1760 - 1849)

Ifremer

Energie Marémotrice

Réalisation en France,

Usine marémotrice de la Rance (1966) EDF

240 MW - 640 GWh/an

Source EDF

au Canada,...

Annapolis (Nouvelle Ecosse - Canada) – 20MW - 1984 -->

en Corée,...

Réalisation en Corée : 254 MW (Sihwa lake)

Mise en service le 4 août 2011

Marnage : 7,8 m en vives eaux

Associé à un parc de loisirs

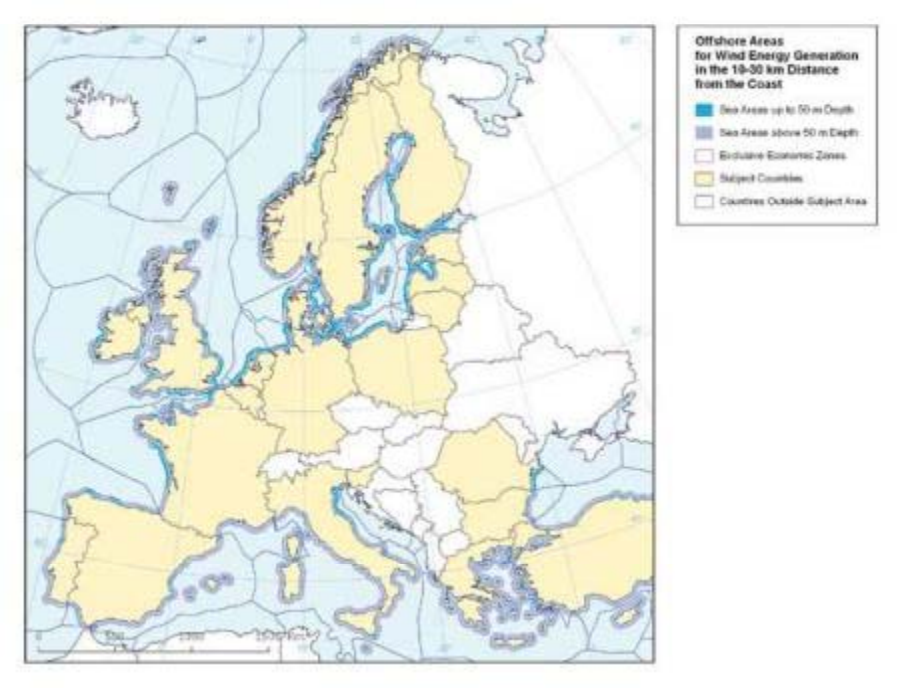
+ Potentiel en Corée : 2500 MW et 500 MW en courants de marée

Source K Power

Ifremer

Energie éolienne offshore

Ressource



France : 2ème potentiel européen

Wind Resources at 50 (45) m Above Ground Level

Colour	Sheltered terrain		Open plain		At a sea coast		Open sea		Hills and ridges	
	m/s	W/m²	m/s	W/m²	m/s	W/m²	m/s	W/m²	m/s	W/m²
	>6.0	>250	>7.5	>500	>8.5	>700	>9.0	>800	>11.5	>1800
	5.0-6.0	150-250	6.5-7.5	300-500	7.0-8.5	400-700	8.0-9.0	600-800	10.0-11.5	1200-1800
	4.5-5.0	100-150	5.5-6.5	200-300	6.0-7.0	250-400	7.0-8.0	400-600	8.5-10.0	700-1200
	3.5-4.5	50-100	4.5-5.5	100-200	5.0-6.0	150-250	5.5-7.0	200-400	7.0-8.5	400-700
	<3.5	<50	<4.5	<100	<5.0	<150	<5.5	<200	<7.0	<400
			>7.5							
			5.5-7.5							
			<5.5							

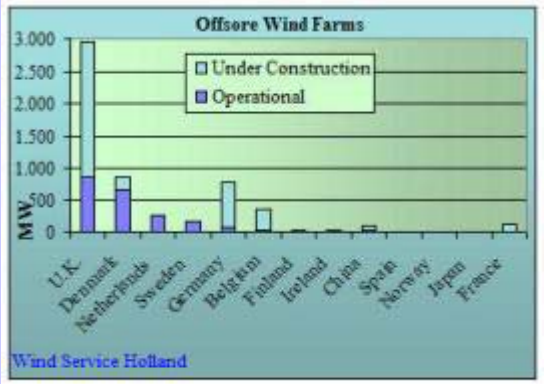
PPI 2020 : 6000 MW
Zonage SIG + concertation
Puissance par zone (RTE)

ifremer

Energie éolienne offshore

Country	Operational			Under Construction		
	Projects	Turbines	MW	Projects	Turbines	MW
U.K.	10	288	868	6	581	2.074
Denmark	10	313	656	1	90	207
Netherlands	4	126	247			
Sweden	6	76	164			
Germany	4	15	72	3	188	697
Belgium	1	6	30	2	79	309
Finland	1	10	30			
Ireland	1	7	25			
Spain	1	5	10			
China	2	8	23	1	31	93
Norway	1	1	2,3			
Japan	1	2	1			
France				1	21	105
Total	**42**	**857**	**2.128**	**14**	**990**	**3.485**

Parc de Nysted (DK) – Ifremer – G.Veron



Projets au Canada dans les Grands Lacs (ex : projet de la société SouthPoint Wind : 30 MW en consultation ?)

De nombreux projets aux Etats Unis (Côte Est et Grands Lacs), mais pas de réalisation en 2011 (Cape Wind autorisé)

Opérationnel : 2.128 MW

En Construction : 3.485 MW *source 2010 Wind Service Holland*

Ifremer

Energie éolienne offshore

Ancrages : monopieu, tripode, jacket, …

Gravitaire

Monopieu

tripode

jacket
RePower – 5 MW

Coûts : 2500 à 3000 €/kW installé **compétition sur machines (5 à 7 MW) et sur les barges**

Installation

Coût 3M€/MW

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

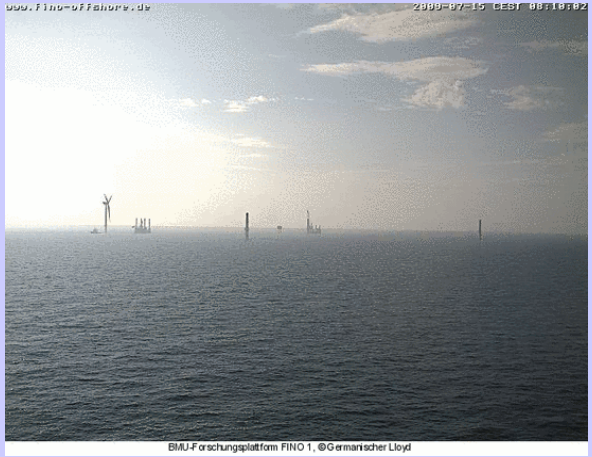
Maintenance

exigence de fiabilité

Ifremer

Energie éolienne R&D

- sites de démonstration et d'essais en mer : Alpha Ventus (Allemagne)



- autre projet de site d 'essais en Espagne : ZEPHIR (éolien posé et flottant)

ifremer

Eoliennes flottantes : nombreux projets …

Hywind

Norvège 2,5MW

120 à 700 m - test en 2009

Diwet (Blue H)

NL/UK/IT 3,5 à 5MW ?

50 à 200 m échelle réduite 2008

2 MW en 2012 ?

Principle power (Windfloat)

Etats-Unis 5 à 10 MW

en test au Portugal fin 2011 (puis Oregon et Maine)

Windsea

(Norvège 3 x 3,6 MW (2012?)

Sway

Norvège 2,5 à 5 MW (2011)

80 à 400 m prototype en test

Poseidon

Danemark couplage avec houle

Prototype échelle 1/2 en test (projet Oregon)

ifremer

Eoliennes flottantes : 2 projets cofinancés

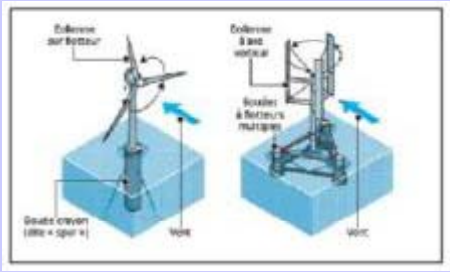
Winflo

DCNS, Nass&Wind, In Viv, Saipem, Ifremer

France 3,5 à 5MW

50 à 150 m 2013 ?

1er parc 2015



Vertiwind

Technip, Nénuphar, Seal, Converteam, EDF EN

Test à terre de 35 kW

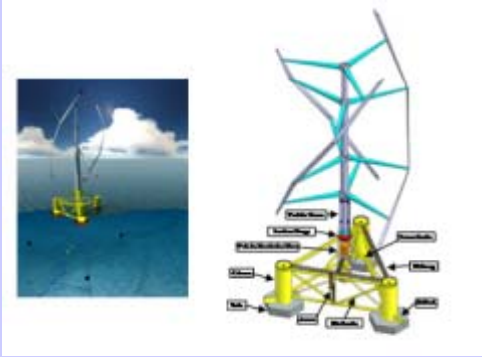
France 2MW puis 3 MW

50 à 200 m en 2013?

1er parc 2015

Marché visé : Méditerranée

35 kW



2MW

Autre projet : IDEOL

Projet français

Objectif : déplacer le flotteur pour réduire les effets de sillage (de 70%)

Ifremer

Energie des vagues

- **Puissance moyenne côte atlantique : 45 kW/m (% récupérable?)**
- **Energie dissipée côtes métropole : 417 TWh/an (dont exploitable?)**

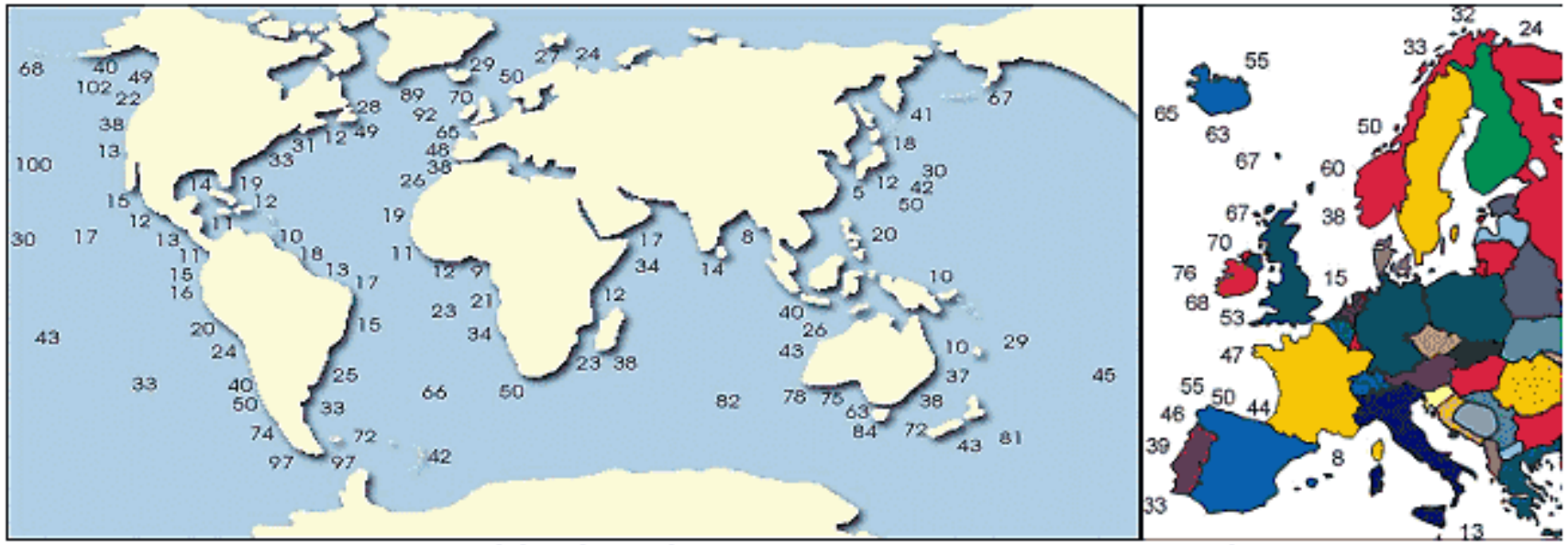


Figure One: Worldwide and European Wave Power Resource charts

potentiel exprimé en kW/m (Puissance par mètre de crête)

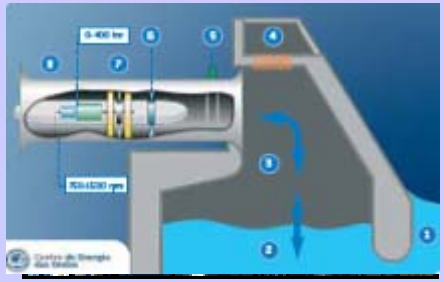
- en France : fort potentiel sur la côte Atlantique

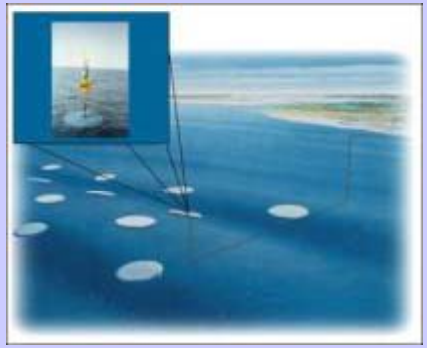
- DOM : étude du potentiel dans les RUP (dont DOM) , projet à La Réunin
- TOM : projet à Tahiti (SEDEP) – projet en Nouvelle Calédonie (îles Loyauté)

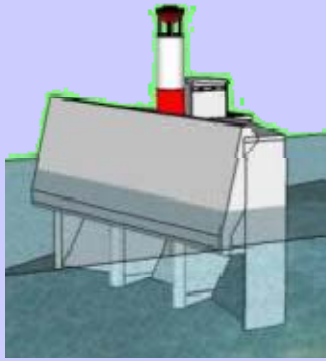
Ifremer

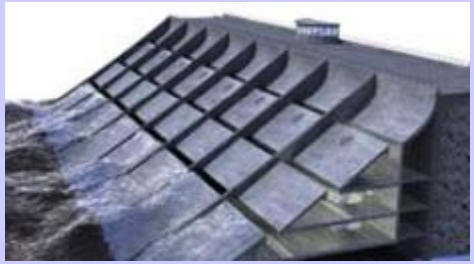
Energie des vagues

- De la côte vers l'offshore : un foisonnement de concepts









Installations à la côte

fort impact environnemental

Oyster, en test à l'EMEC

Fort soutien institutionnel aux démonstrateurs en UK

Ifremer

Energie des vagues

PELAMIS : 1er parc en 2008 mais...

Impacts - Acceptabilité ?

Prototype de 750 kW relié au réseau (EMEC) en 2003

120 m (5 x 24 m) – diamètre : 3.5m

Parc : 10 à 30 MW/km² selon le site

Enersis (8,5 Meuros): trois Pelamis installés au Portugal en juillet 2008 (tarif 23 c€/kWh)

Mais problèmes techniques en 2009 !

Source Pelamis Wave Power

Nouveau prototype en test depuis 2010 à l'EMEC

Projets de ferme en Ecosse

Projet à La Réunion (projet Seawatt)

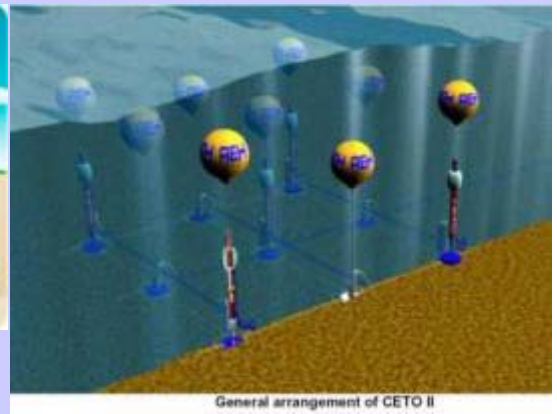
30 MW, au large de Saint Pierre

Pelamis cherche à développer cette technologie entre Outre-Mer

Energie des vagues

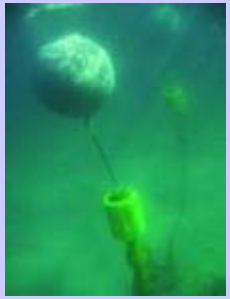
Projet CETO (SeaPower Pacific Pty Ltd (Australie) avec EDF EN)

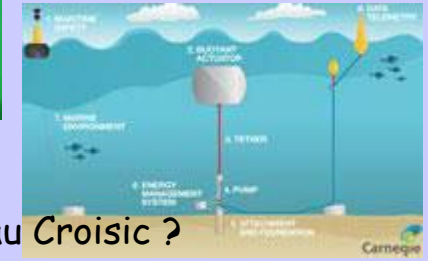
Objectif : produire de l'eau douce, à terre, à partir de l'énergie des vagues

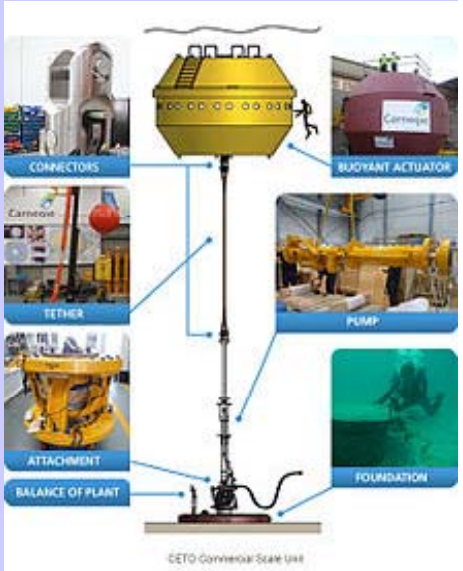


General arrangement of CETO II

1ère phase à Perth (Australie)







Projet à La Réunion (avec EDF EN et DCNS)

Tests préalable sur site d 'essais houlomoteur au Croisic ?

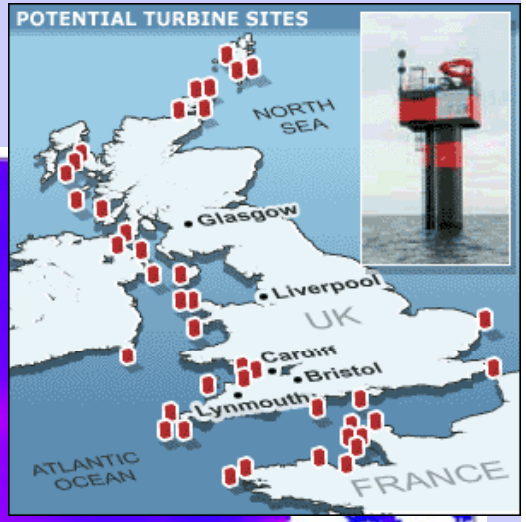
Projets en Irlande et aux Bermudes,

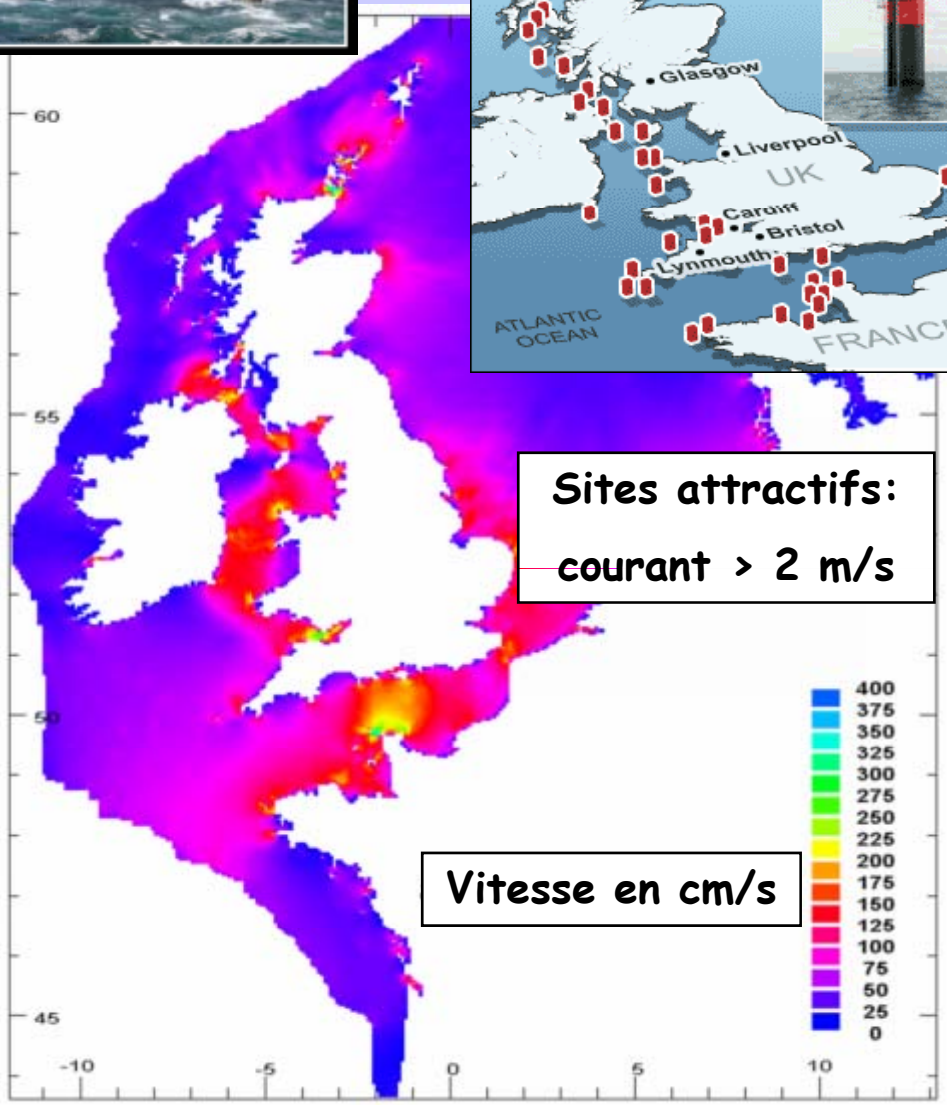
Source : Projet CETO, mais retards

projet semblable avec l'énergie hydrolienne en France, mais abandonné

Energie hydrolienne

Energie cinétique des courants de marée





Sites attractifs:

courant > 2 m/s

Vitesse en cm/s

La France et l'Angleterre partagent la plus grande ressource

PREDICTIBLE

450 TWh/an monde ?

10 TWh/an en France ?

10 MW/km² ?

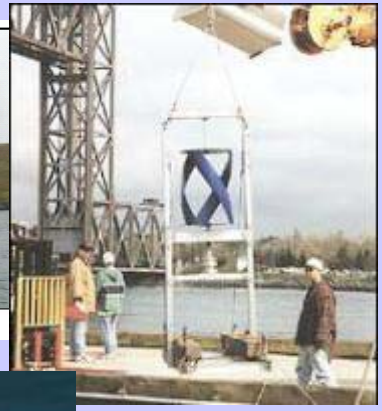
Dans les DOM-TOM (passes de lagons, ...?

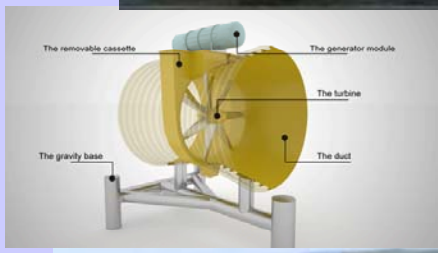
Ifremer

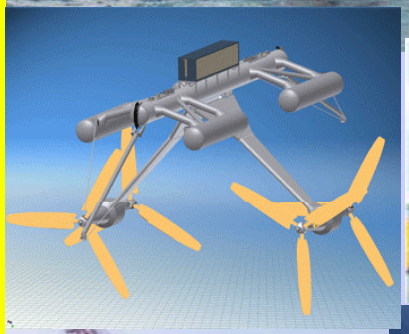
Energie hydrolienne

- un foisonnement de dispositifs en test ou en projet

y prototype is deployed from a barge for installation in Yell Sound off the Shetland Islands





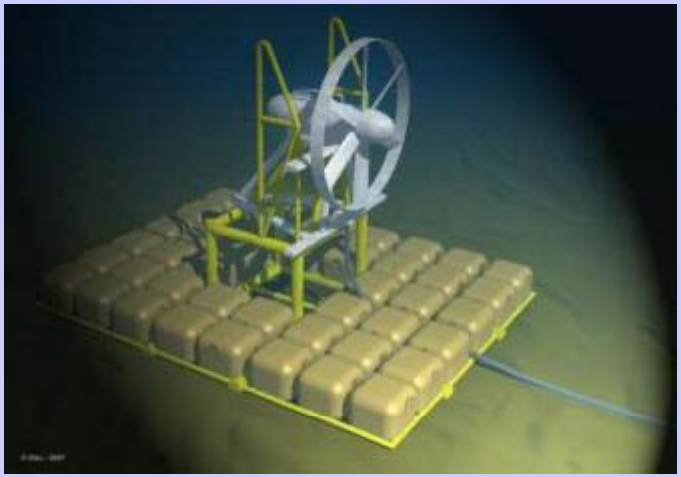


Ifremer

Energie hydrolienne

- **Projet français Sabella**

Etape de démonstration de 3 m de diamètre
projet Sabella D03 en 2008/2009 en Bretagne (Odet)



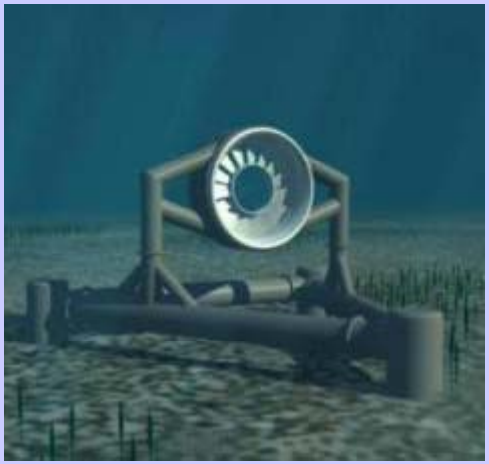
-> Objectif : échelle 1 – Sabella D10 – 200 kW
(cofinancement via Investissements d'avenir ADEME)
Mise à l'eau printemps 2012 au large de l'île d'Ouessant (Bretagne)
Projet labellisé par le Pôle Mer Bretagne

Source : Sabella

Ifremer

Energie hydrolienne

- **Parc pré-industriel d'EDF: Paimpol–Bréhat (Bretagne)**



1ère turbine installée le 22 octobre 2011 sur site (non connectée au réseau) , relevage 2mois
4 turbines pour 2 MW seront installées en 2012 et connectées au réseau

-> Barge spécifique de pose : pour Paimpol fabriquée par STX France

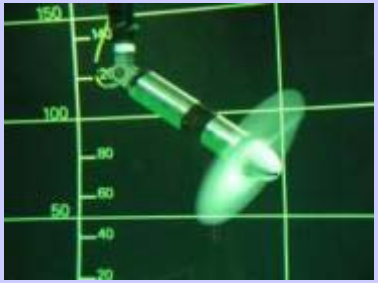
Technologie OpenHydro : 4 hydroliennes en 2012 (2MW)

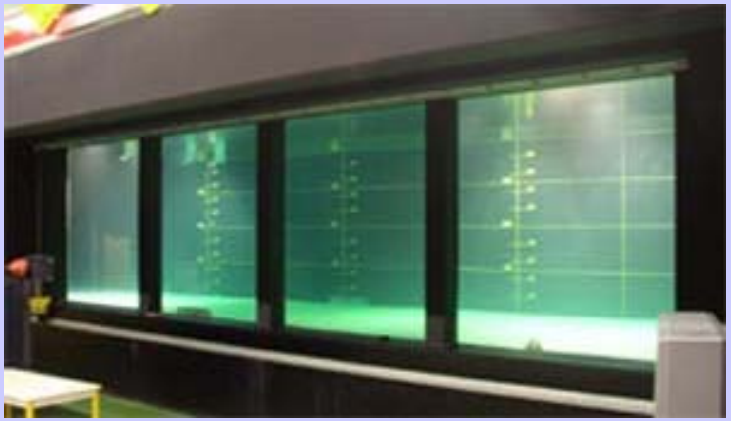
Sources EDF , Open Hydro, DCNS, Ifremer

Energie hydrolienne R&D

- modélisation numérique et physique : des compétences en France
- essais en boucle hydrodynamique ou en bassin : METRI II

-climatologie, matériaux, impacts, usages: des compétences en France





Veine de Courant de l'Ifremer (Boulogne/mer)

Essai du Lunar Energy (UK)
dans un bassin/canal identique
à celui de l'Ifremer (Brest)

Tests Turbine Feldon ltd à Brest

copyright Ifremer

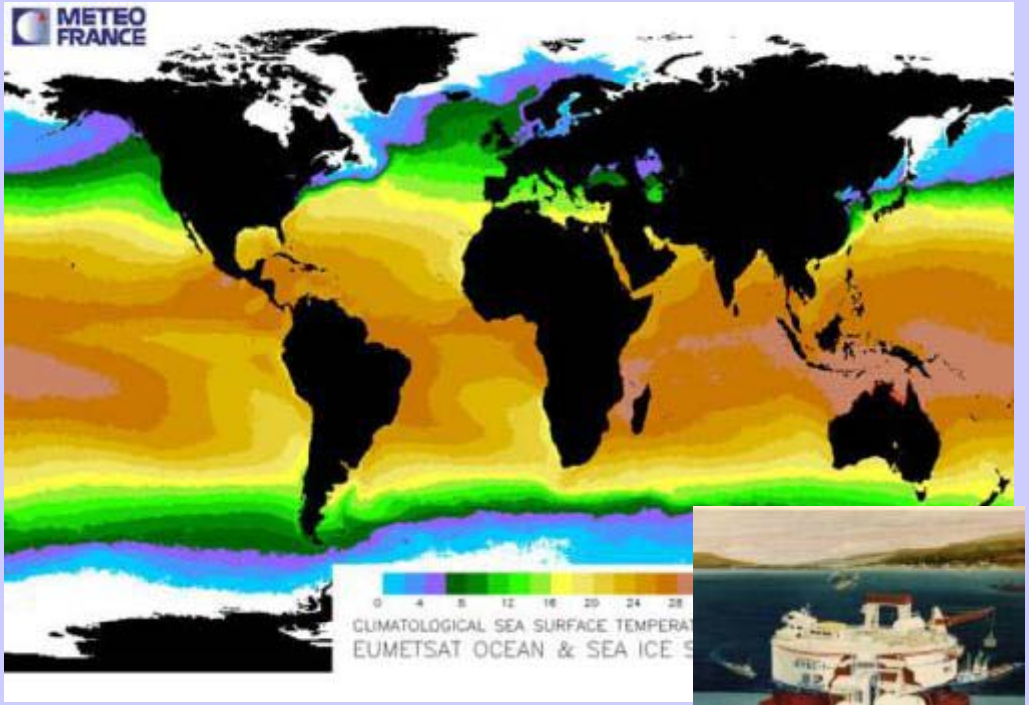
Energie Thermique des Mers

- D'une idée ancienne aux premières expérimentations

  Dans la zone intertropicale (dont DOM-TOM),

  on peut utiliser la différence de température entre la surface et le fond (25°C) pour produire de l 'électricité, de l 'eau douce, du froid

- Disponible 24h/24, 365 j/an !

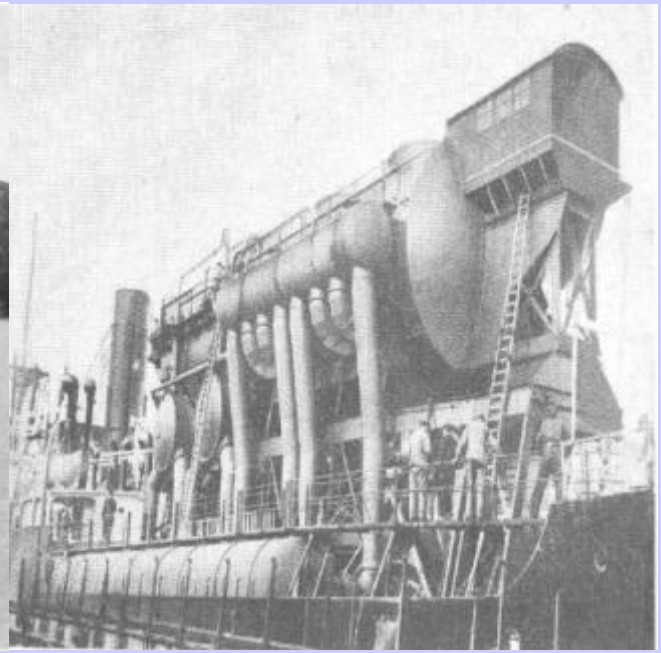


- Avenir ? :

  centrales pour production d 'hydrogène,...

Energie Thermique des Mers

- Dans les années 30 puis 50



Georges Claude

Cuba - Matanzas - 1930 Brésil - La Tunisie - 1935

Société EDM

Abijan - 1953

La faisabilité est démontrée par Georges Claude
Production par ETM supérieure à la consommation (pompes)

Abandon (barrage hydroélectrique)

Ifremer

Energie Thermique des Mers

- Dans les années 70-80
  - plusieurs expérimentations :
    - à Hawaï notamment
      - Mini-OTEC, OTEC 1
    - à Nauru
      - centrale cycle fermé (81) 100 kW

- 1983 - 1987 : Projet ETM français

* avant-projet pilote de 5 MW à Tahiti (Polynésie) - Ifremer + industriels
Abandon en raison du contre-choc pétrolier de 1986

- Années 2000,...
  - Barge indo-japonaise « Sagar Shakthi »
    - projet de 1MW (mais perte du tuyau à l'installation en 2003)

Nouvelle installation destinée à la production d'eau douce annoncée par le NIOT en mai 2007

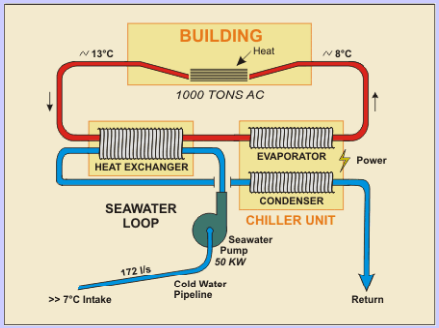
Travaux continus au Japon (Saga) et aux US
(boucles thermodynamiques et sous produits de valorisation de l'eau froide au NELHA)

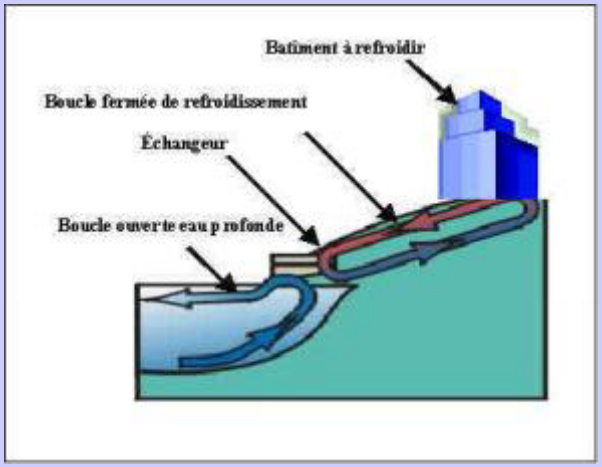
Projet à Hawaii (1 MW) ?

ETM :

Climatisation en Polynésie

- hôtel à Bora-Bora
- projet à l'hôpital de Papeete (Tahiti)



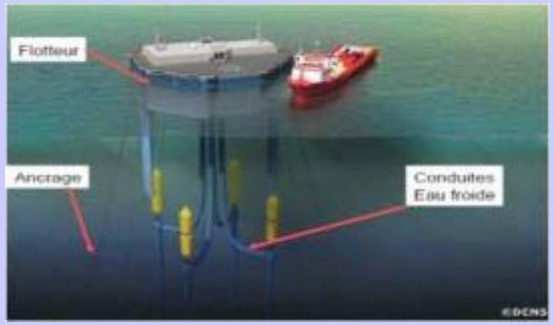


Climatisation par pompage d'eau profonde océanique à quelques °C
en Métropole : Pompes à chaleur eau de mer (La Seyne sur Mer)

ETM :

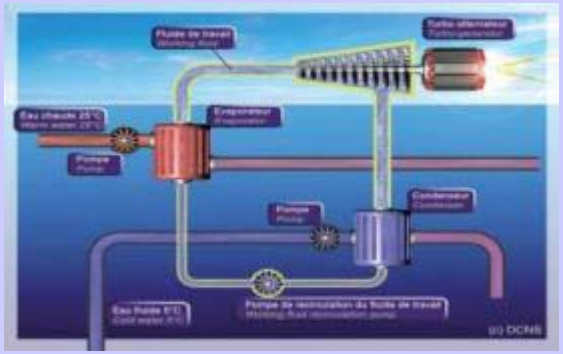
Etudes de faisabilité pour production d'électricité

- à La Réunion : DCNS (et forte volonté politique)
  test de boucle thermodynamique,…
- en Polynésie (Pacific OTEC, DCNS,…)
- en Martinique (DCNS, …)



Projet industriel

Centrales flottantes : modules de 10MW (2015?)
Dépôt d'un dossier AO européen (NER300) pour la Martinique



Banc d'essais thermodynamique (La Réunion)

Source DCNS

Autres énergies marines

•Energie des gradients de salinité

•transformer la pression osmotique issue du mélange entre l'eau de mer et l'eau douce. En théorie : 26 bars

•Projet pilote de Statkraft (Norvège) : quelques kW

- besoin de membranes performantes : 5 W/m² (contre 3W/m²)

•Energie de la biomasse algale

•micro-algues : Carburant 3ème génération (biofuel)

jusqu'à 50% de leur poids sec en acides gras - Projet SHAMASH

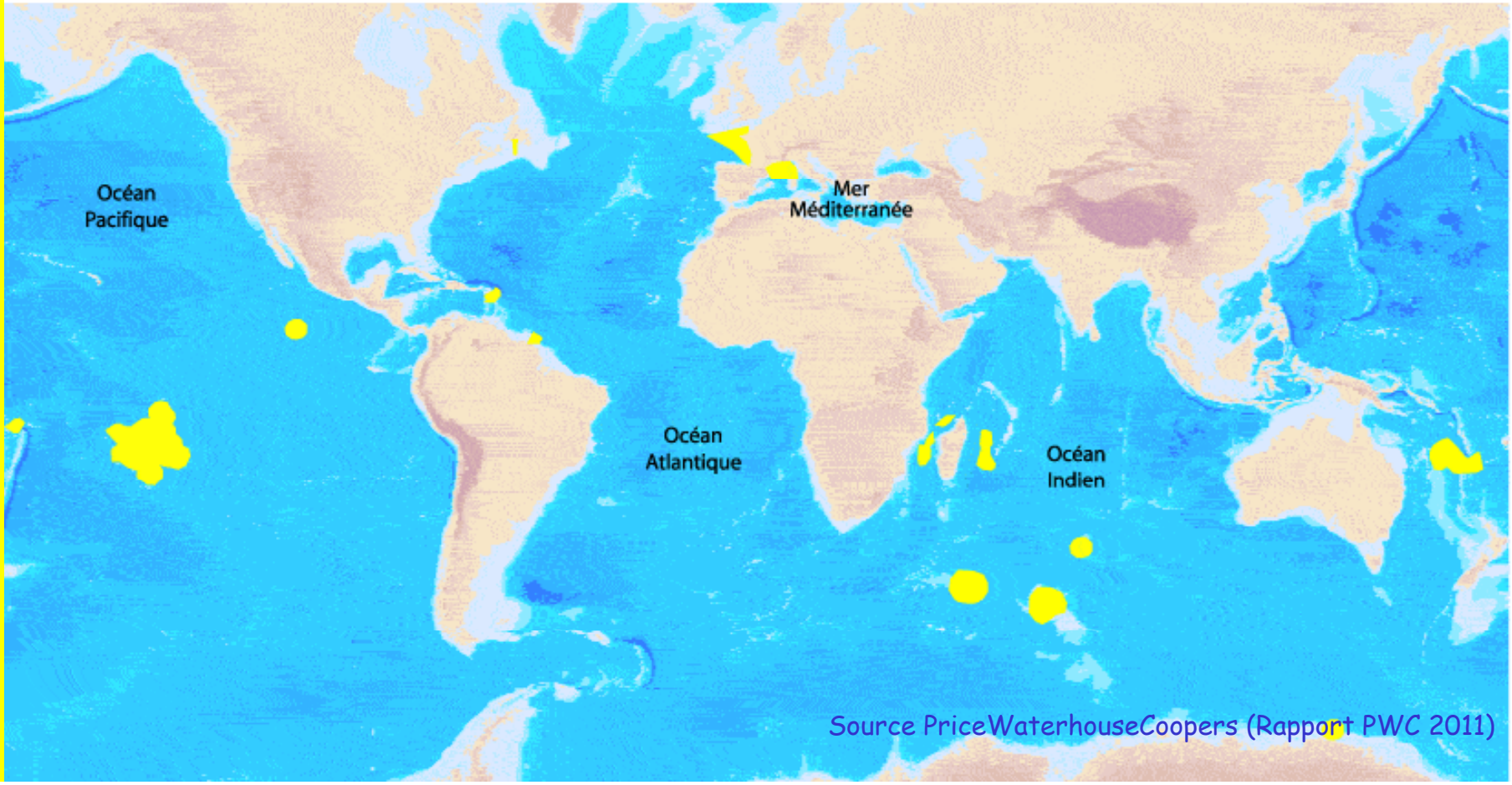
Intérêt des groupes pétroliers comme TOTAL en développement rapide : IEED Greenstars

Extensif

Intensif

Potentiels : 11 millions km² de zones maritimes sous juridiction française

fort potentiel en énergie des vagues, énergie thermique des mers, en éolien et localement en énergie des courants marins et µalgues.



Source PriceWaterhouseCoopers (Rapport PWC 2011)

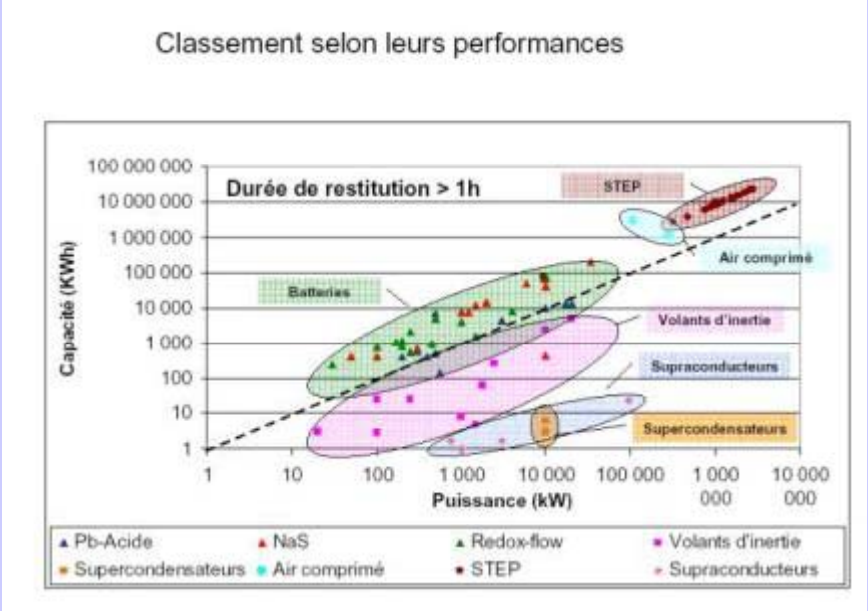
ifremer

Le stockage de l'énergie

- L'intermittence de certaines énergies marines renouvelables
  - Energie marémotrice - Energie des courants de marée : prédictible (marées)
  - Energie thermique des mers (produite 24 h/24, 365 j/an)
  - Eolien offshore (intermittente mais modélisation de la prévision à court terme)
  - Energie des vagues (idem, mais modélisation de la prévision à court terme)

.

Le stockage de l'énergie : condition du déploiement à grande échelle des énergies marines renouvelables ... sauf pour µalgues.

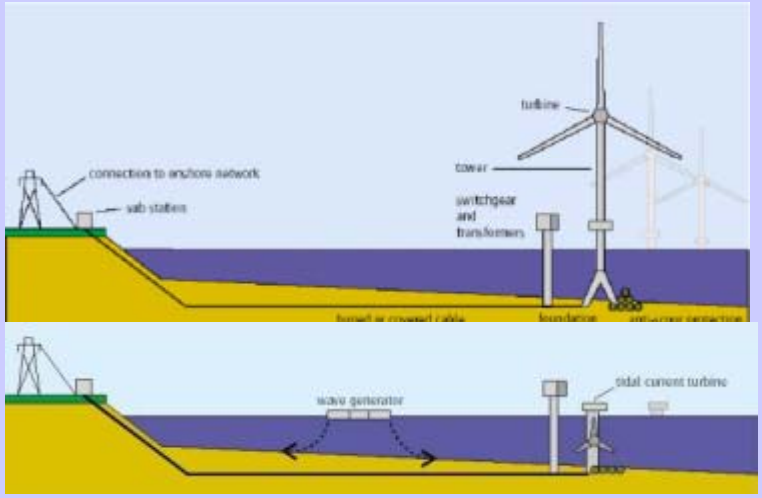


stockage court terme (< 1 h) et stockage long terme

Source : SATIE - ENS CACHAN

L 'impact des énergies renouvelables en mer

- 3 zones concernées:
  - production
  - transit
  - Atterrage

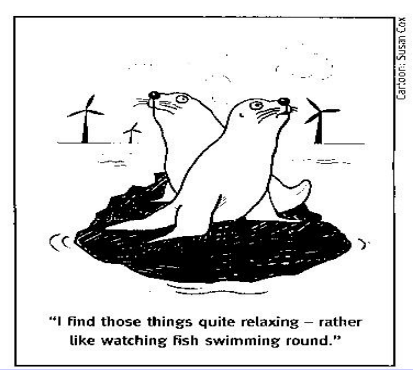


- L'étude d'impact :
  - analyse de l 'état initial
  - recensement des usages (pêche, plaisance,…) et servitudes (radars,… sécurité)
  - évaluation des impacts
  - mesures envisagées pour leur réduction – suivi

Pour microalgues et biocarburants, impact limité (site aquacole sur zone intertidale)

Ifremer

L 'impact des aménagements à évaluer



sur la ressource halieutique, l'avifaune et les mammifères marins

mise en valeur des zones soumises à restriction d 'usage

étude paysagère (simulation de parc éolien)

évaluer l'impact pendant la construction

la perception des impacts varie suivant les pays, les populations

ifremer

L 'acceptabilité des énergies marines

navigation et transport

Marine nationale

Pêche

Loisirs nautiques

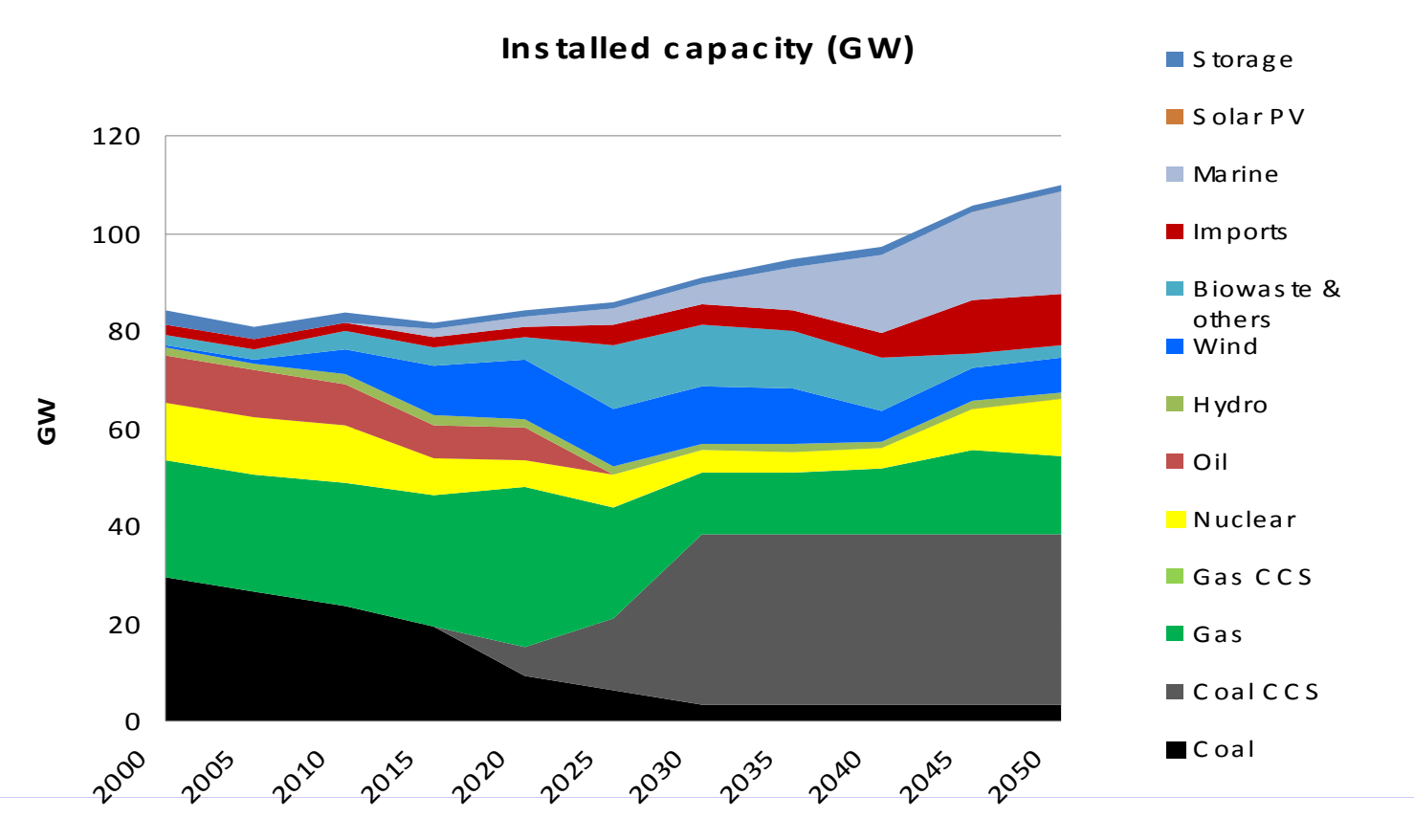
Tourisme balnéaire

Concertation avec tous les usagers

Ifremer

Les enjeux du développement des EMR

- *CONTRIBUER À L'APPROVISIONNEMENT ÉNERGÉTIQUE*



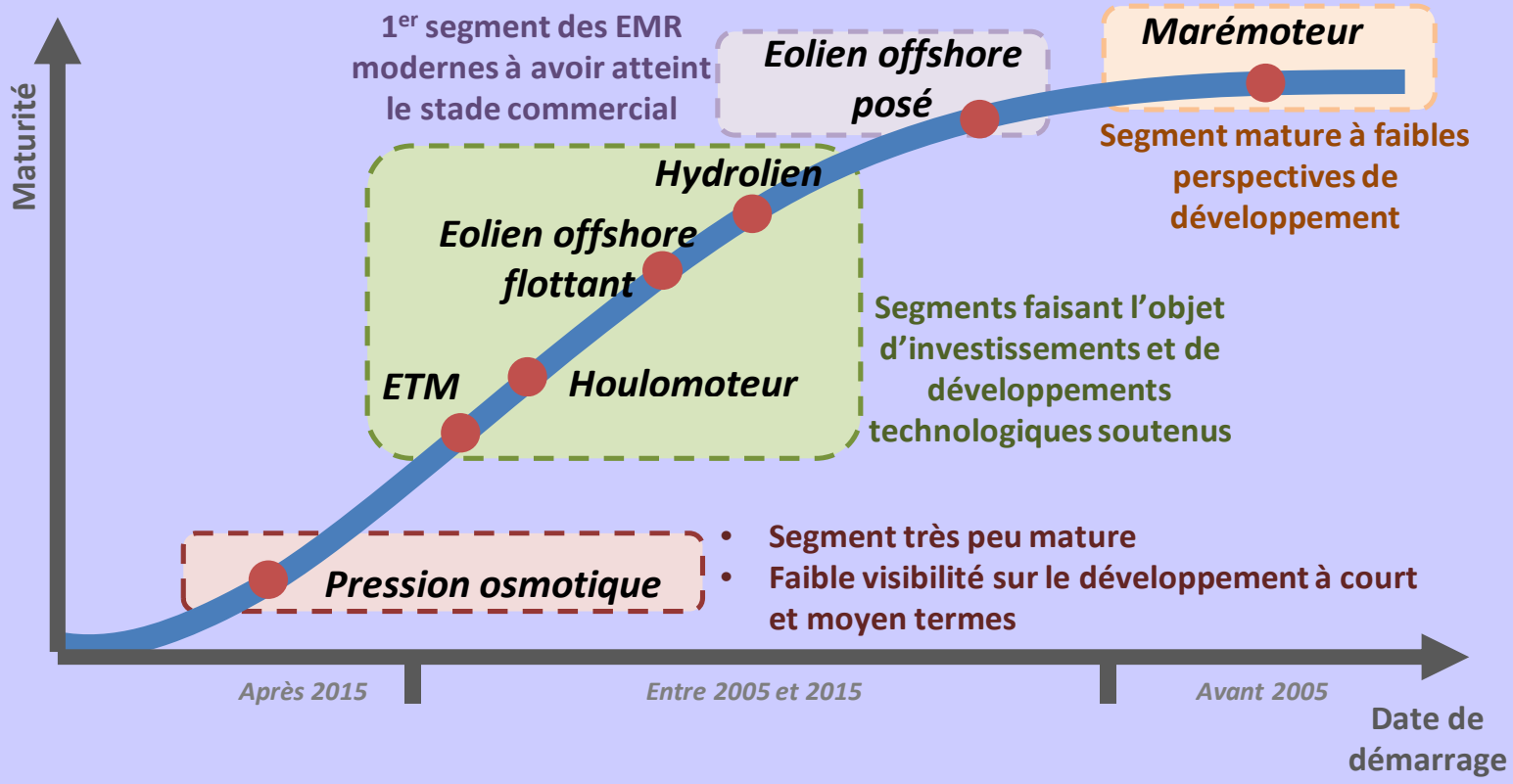
Prospective à 2050 en Grande Bretagne

UK Energy Research Centre

Ifremer

Les enjeux du développement des EMR

- *CONSTRUIRE LA FILIÈRE INDUSTRIELLE*

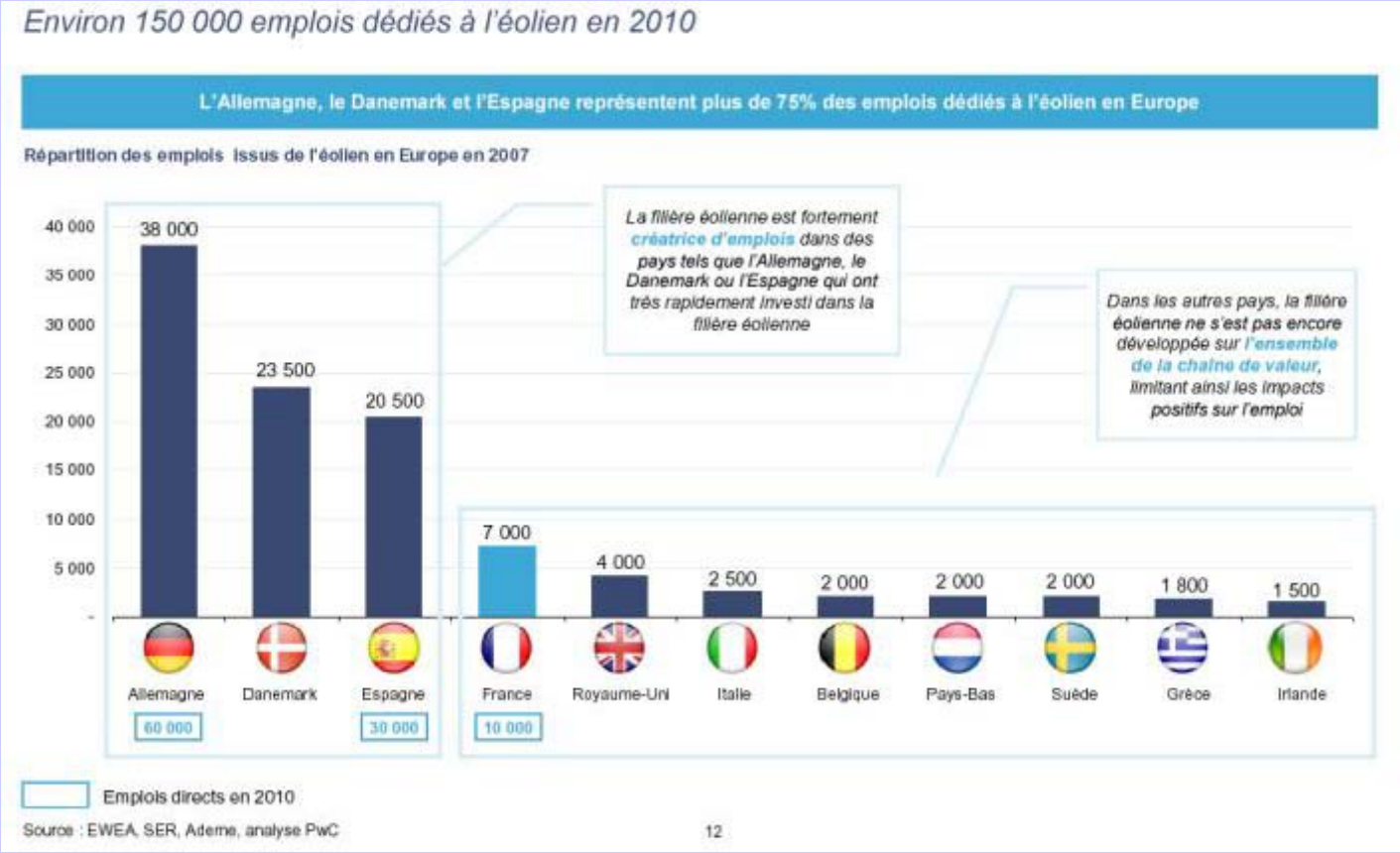


Degré de maturité relatif aux 7 segments des énergies marines

Source Indicta 2011 - France Energies Marines

Les enjeux du développement des EMR

- *Et CREATION D'EMPLOIS – Exemple l'éolien*



Source PriceWaterhouseCoopers

(Rapport PWC 2011)

Energies marines renouvelables

* les conditions du déploiement

- levée des verrous non technologiques
- meilleure connaissance des impacts
- réglementation adaptée
- concertation

- levée des verrous technologiques
- soutien public à la R&D
- centres d 'essais et/ou sites de démonstration
- soutien aux démonstrateurs (partenariat public/privé avec acteurs industriels et énergéticiens)

CREATION DE FRANCE ENERGIES MARINES

Ifremer

Vision de l'IEED France Energies Marines

UN LEADER EUROPÉEN ET UN FORT POTENTIEL DE CROISSANCE

France Energies Marines

Objectifs de la création d'un institut dédié

Construire un leadership industriel de niveau mondial

- conjonction de filières en pointe *(off-shore pétrolier, naval, énergétique)*
- promotion du caractère soutenable des technologies *(critères européens)*

Consolider une excellence scientifique

- multi-disciplinarité *(aujourd'hui, équipes uni-thématiques)*
- synergie privé-public *(différentes phases d'avancement technologique)*

Valider les technologies et réduire leurs coûts

- démonstrateurs / prototypes / pilotes *(panoplie d'intervention avec analyses)*
- mutualisation des moyens *(simulation, expérimentation, sites d'essais)*

Préparer les futurs emplois par une formation adaptée

- définition des besoins de formation initiale et continue
- diffusion d'outils pédagogiques *(en complément d'une base d'information)*

Périmètre

Eolien offshore

Hydrolien

Marémoteur

Houlomoteur

Energie thermique des mers

Ifremer

France Energies Marines

naît de la synergie de ses membres

L'ambition du projet Green Stars

- Le projet Green Stars concerne plus particulièrement les marchés de masse à moyen terme et long terme :

3 ans **5 ans** **7 ans** **10 ans**

Temps d'accès au marché

Marché de l'aquaculture

Marché de la Nutrition

Compléments Nutritionnels, nutraceutiques alimentaire

Marché de la cosmétique

Principes actifs, Pigments, Excipients

Marché de la chimie verte

Nouveau sourcing et substitution de molécules issues de la pétrochimie

Marché de l'Energie

Approvisionnement de la filière existante

Lipides bio fuels et bio kérosène

Marchés de masse
Molécules à moins forte valeur ajoutée

Verrous
- **des espèces adaptées**
- **récolte , extraction**
- **abaissement des couts**

Marché des biogaz

Méthanisation Valorisation de la biomasse en méthane

Marché de la nutrition animale

Valorisation de la partie protéinique et lipidique des extraits pour la nutrition animale

Marchés de niche
Molécules à forte valeur ajoutée

PC

L'IEED Green Stars

Des partenaires engagés !

INRA
INRIA
cnrs
IRD
UM2 Université Montpellier 2
UPMC Sorbonne Universités
fremer
VEOLIA
Rhodia
Sofiprotéol, l'engagement durable
la compagnie du vent GDF SUEZ
Naskeo environnement
Fermentalg ocean green energy
GREENSEA
microphyt
envolure
aba
trimatec
Pôle Mer PACA
IAR
la Région Languedoc Roussillon
CCNBT
Gouvernement de la Nouvelle Calédonie
Conseil Général des Alpes-Maritimes
Nice Côte Azur

Les Energies Marines Renouvelables à l'Ifremer

* les ressources énergétiques *(implication et sollicitations)*
  - éolien en mer (dont flottant)
  - énergie des courants marins et énergie des vagues
  - gradient thermique (climatisation) et- énergie thermique des mers (OTEC)
  - biofuels (micro-algues)

• Axes prioritaires
  - développer les études pour l'évaluation de l'impact environnemental et socio-économique
  - accompagner en recherche technologique les projets industriels de démonstration (partenariats) ;
  - contribuer à une meilleure connaissance des potentiels exploitables des ressources énergétiques marines
  - amplifier les recherches sur les biocarburants à base de microalgues

* 3 domaines d'activités concernés : activité transversale à l'Ifremer
  technologie marine : océano-météo, hydrodynamique, matériaux, fouling,…
  impacts environnementaux
  acceptabilité/conflits d 'usage

• Contributions : **études , R&D, Expertises**

Animation du groupe de travail « énergies marines » d'ANCRE

Pilote du projet d'IEED France Energies Marines

Ifremer

Conclusion

* les atouts en France et outre-mer,

- ressource potentielle élevée
- compétences en R& D et industries marines
- … mais des difficultés spécifiques (sites, impacts, acceptabilité, financement,…)

• les conditions du déploiement

- respect des engagements internationaux (Kyoto, Directives CE,…)
- soutien public à la R&D -> FEM
- politiques incitatives -> Investissements d'avenir –AAP
- centres d 'essais et/ou sites de démonstration -> FEM
- soutien aux démonstrateurs (partenariat public/privé avec acteurs industriels et énergéticiens) - FEM
- meilleure connaissance des impacts - FEM
- réglementation adaptée
- concertation

Conditions réunies en 2011 ?

Ifremer

La Nouvelle-Calédonie et les EMR

un placement sur le moyen long terme

- Associée aux deux IEED en préparation : France Energies Marines et Greenstars
- Potentiel houlomoteur à préciser,
- Potentiel hydrolien dans les passes à évaluer,
- potentiel éolien off-shore hors lagon (éolien flottant), à considérer

- Potentiel ETM en quelques sites où lagon étroit mais aussi utilisation du gradient eau chaude industrielle/eau froide marine,

- Micro-algues et biocarburants 3G : projet en définition avec Technopole, atouts du pays en matière de conditions naturelles (soleil, foncier en bord de mer, savoir faire en aquaculture, biodiversité naturelle favorable…)

Ifremer

« Réfléchissez au mouvement des vagues, au flux et reflux, au va-et-vient des marées. Qu'est-ce que l'océan? Une énorme force perdue. Comme la terre est bête! Ne pas employer l'océan! »

Victor Hugo (Quatre-vingt treize)

«J'aurais pu, en effet, en établissant un circuit entre des fils plongés à différentes profondeurs, obtenir de l'électricité par la diversité des températures qu'ils éprouvaient ». Capitaine Némo

Jules Vernes (Vingt mille lieux sous les mers)

Ifremer