



ENERGIE · CLIMAT · OCEAN



## CONFÉRENCE EMR

Enjeux de développement des Energies  
Marines Renouvelables (EMR) pour contribuer  
à la transition énergétique française et  
mondiale



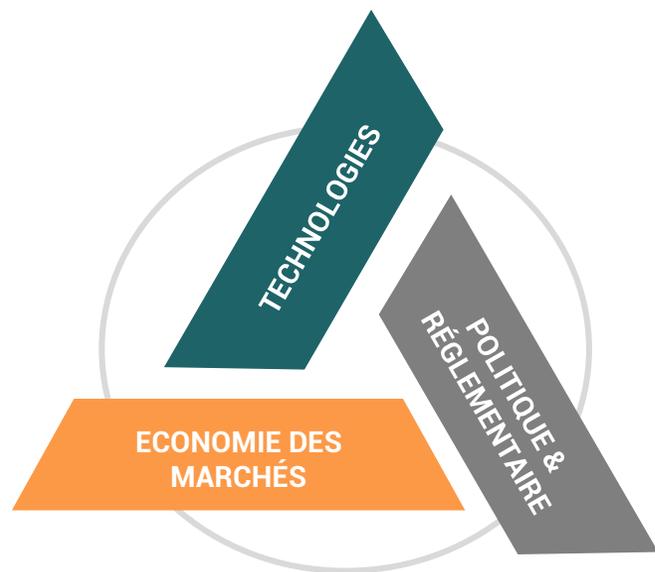
Antoine RABAIN  
GEEKOSPHERE®  
Propriété exclusive

23 septembre 2020  
Version 1.0

# Qui vous parle ?

## Conseil en stratégie et formation

Expertise **E**nergie · **C**limat · **O**céan



Un ADN à la convergence  
de **3 univers**



## Fondé et présidé par **Antoine Rabain** :

- ▶ 14 ans d'expérience dans le **conseil en stratégie**, la formation & l'accompagnement d'acteurs **privés** et **publics**
- ▶ Expert de la **transition énergétique** et de l'économie **maritime**
- ▶ Offre pionnière dans les **Energies Marines Renouvelables** (toutes filières) : France, Europe, Monde

# Préambule : résumé du topo par mots clés

---

**Fondamentaux** de la transition énergétique **mondiale**

**Electrification** du mix

**Urgence** climatique et neutralité **carbone**

**Criticité** des énergies renouvelables **#ENR**

**Incertitudes** sur le potentiel des seules filières **terrestres**

**Vision 360°** des enjeux de développement des **#EMR** : gisements et potentiels de marché, économie, politique, sociétal, impacts environnementaux, ...

**L'éolien en mer**, véritable **game changer** de la transition énergétique

**Les énergies de la mer**, des leviers **stratégiques** pour la politique énergétique **et industrielle** de la **France**



Septembre 2020

## Sommaire

Association Ecole Centrale

# CONFÉRENCE EMR

Enjeux de développement des Energies Marines Renouvelables (EMR) pour contribuer à la transition énergétique française et mondiale

**1. Fondamentaux et principes macro-économiques du marché des énergies renouvelables**

2. Bilan de situation & perspectives de développement des EMR

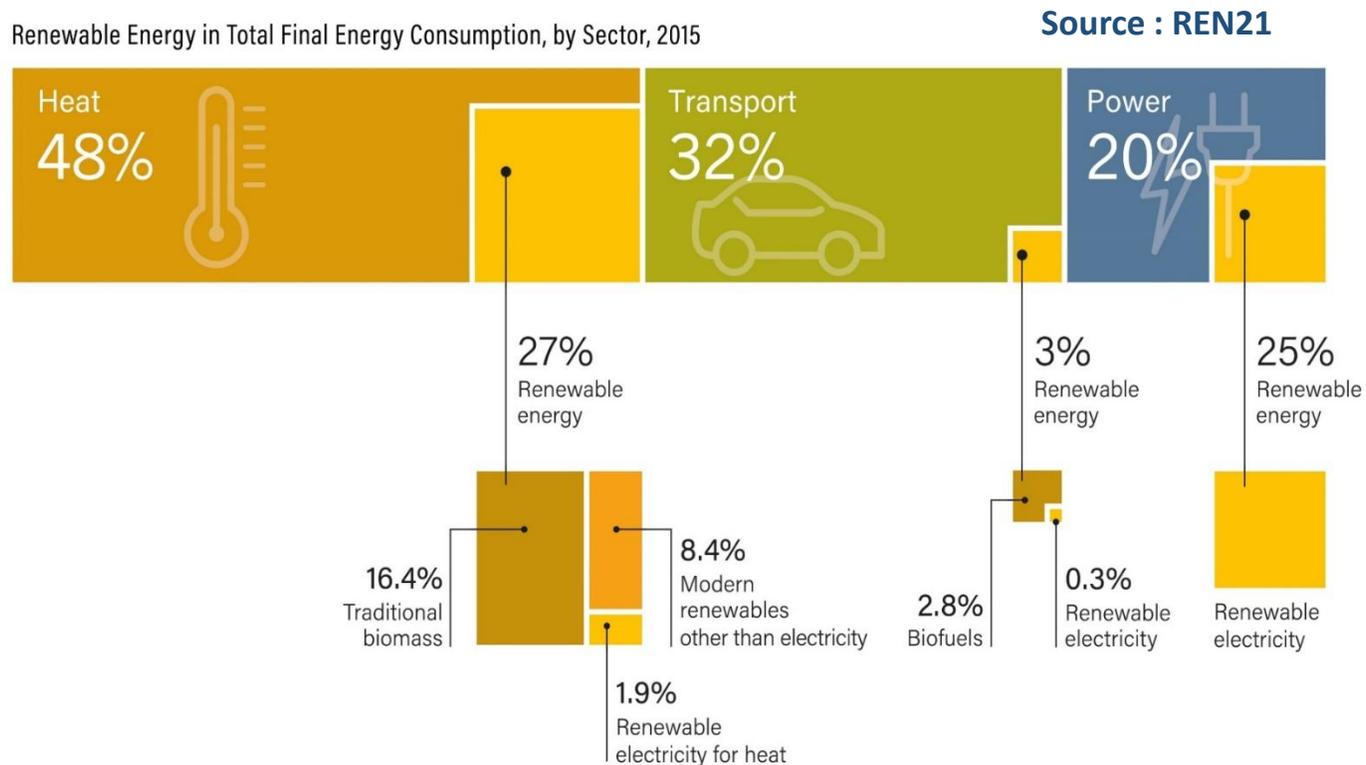
3. Conclusion / Points clés



## **B.A. BA : Ne pas confondre énergie et électricité !**

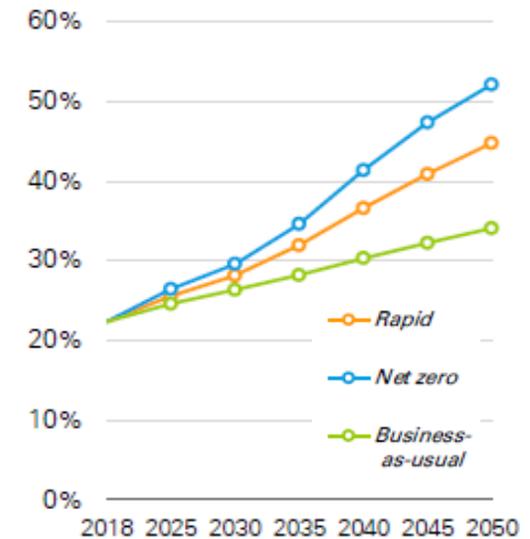
L'électricité représente aujourd'hui environ 20% de la consommation énergétique mondiale

Son poids ne fait que croître depuis l'après guerre (3% en 1940), avec des perspectives confortant son rôle déterminant dans les stratégies d'atténuation (jusqu'à plus de 50% en 2050)



### Electricity

Share of total final consumption

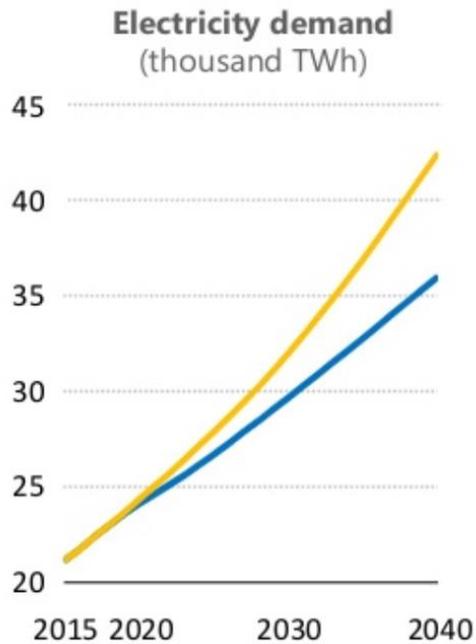


Energy Outlook / bp week: September 2020



## Explosion de la demande électrique à venir ?

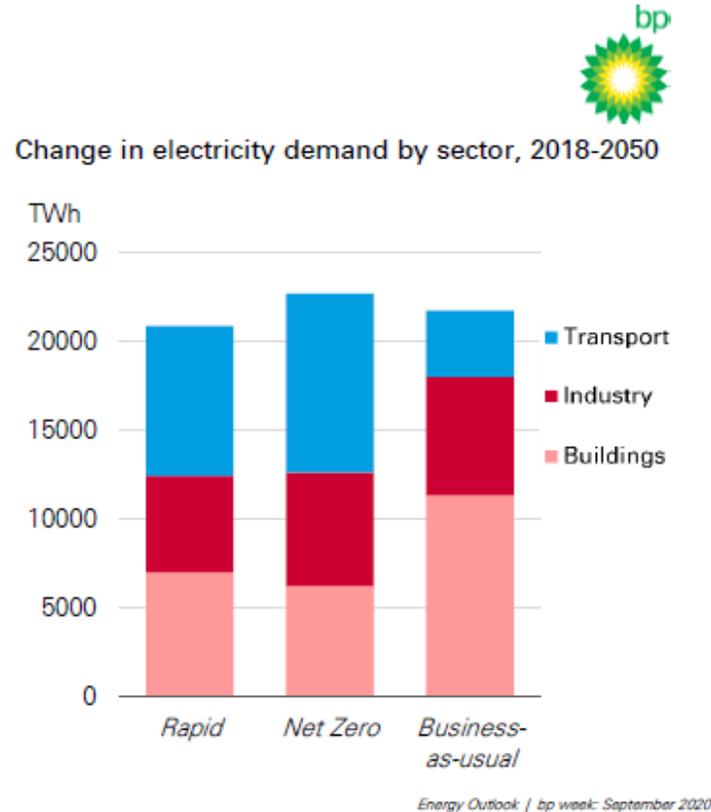
Tous les scénarii (ou la plupart...) sont fondés sur une augmentation de la demande électrique mondiale en valeur absolue



Sources : AIE

Principaux drivers :

- **Croissance démographique**
- **Demande/habitant**
- **Transferts d'usage**



Perspectives d'un **doublément** de la demande mondiale à horizon 2050

Y compris dans des trajectoires de **neutralité** carbone

**? VRAIMENT ?**



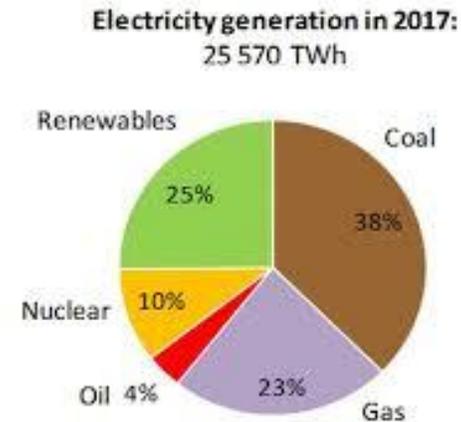
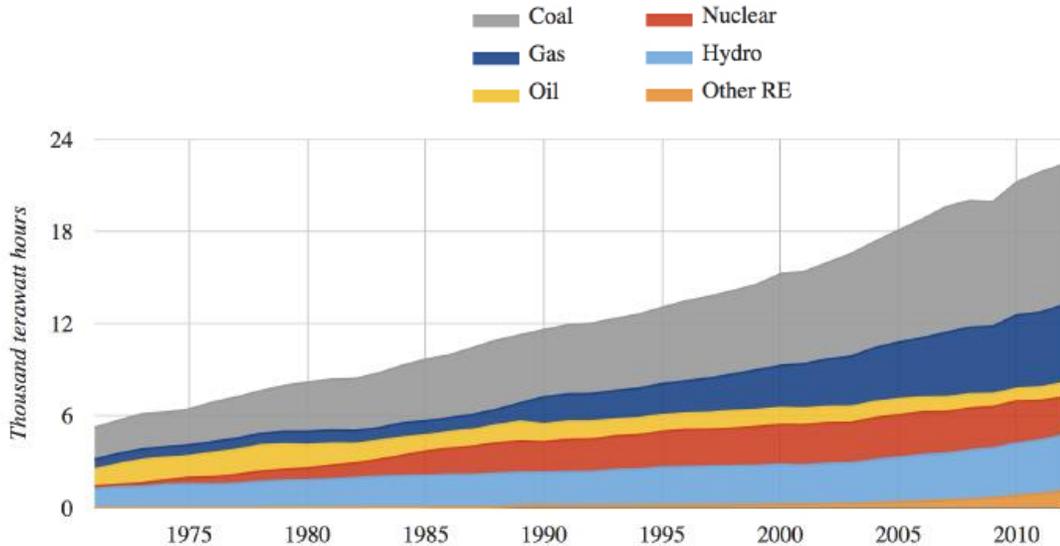
# Un enjeu critique autour du développement ... à temps ... des énergies décarbonées

La production électrique mondiale reste encore massivement carbonée

Hier

Aujourd'hui

Demain ?



Quel mix décarboné ?  
Quel poids  
des ENR ?

Source : AIE

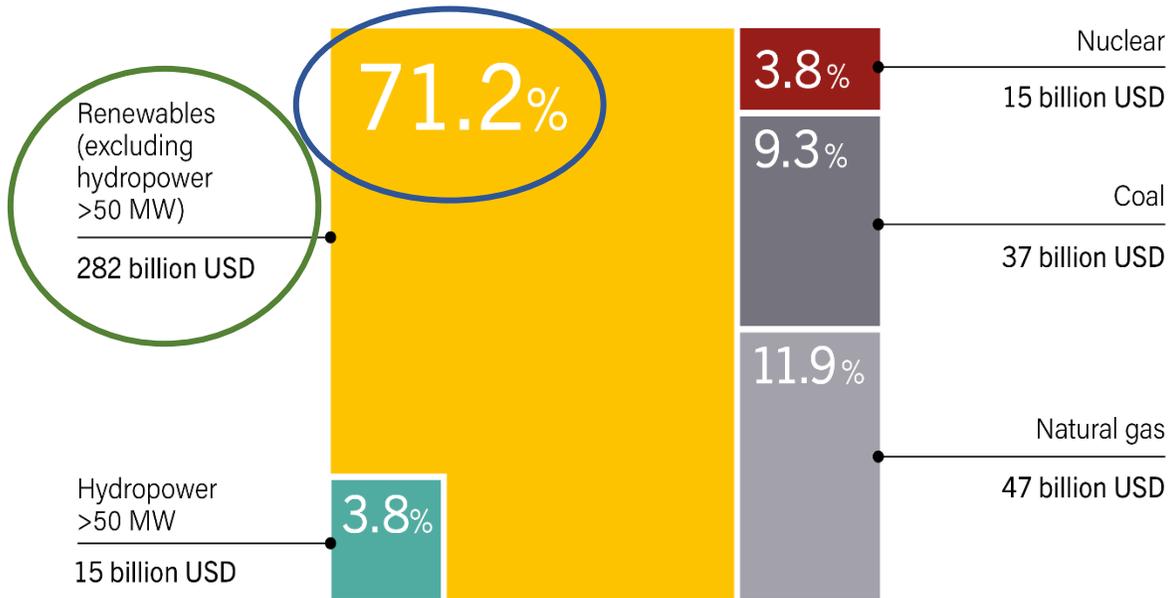
# Une orientation des investissements vers la transition énergétique

Les « énergies nouvelles matures » largement devant

**Avec en particulier l'éolien (~ +50-60GW/an) et le solaire (~ +100-120GW/an)**

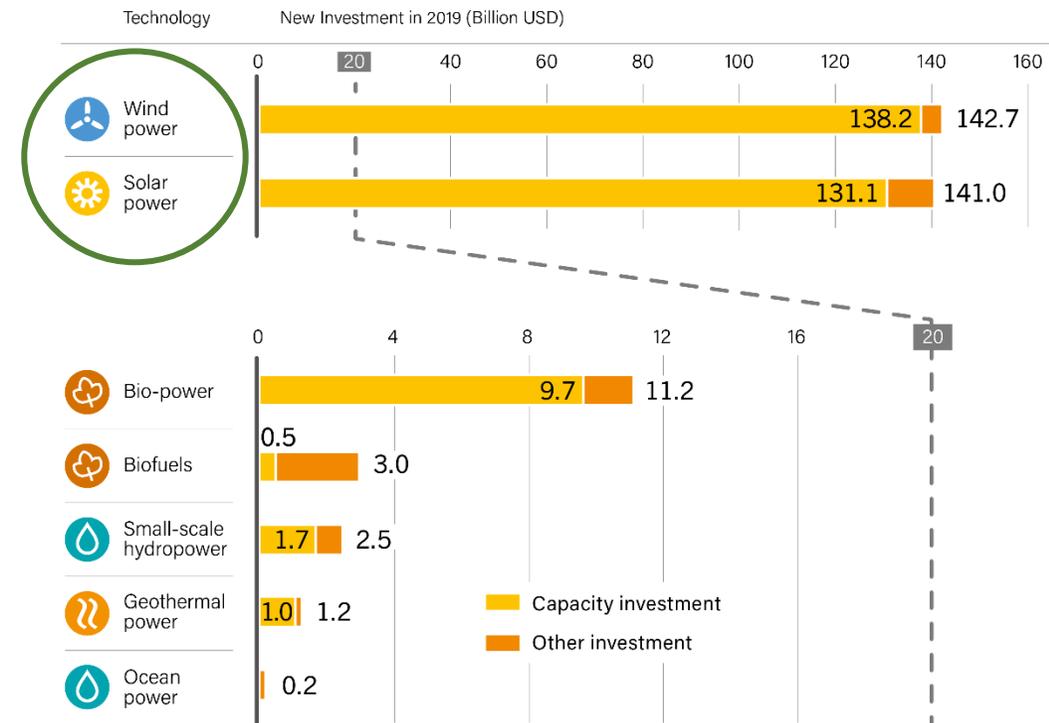
## CAPEX ~ 400 G\$ en 2019

Global Investment in New Power Capacity, by Type (Renewables, Coal, Gas and Nuclear Power) 2019



Note: Renewable investment data in figure exclude biofuels and some types of non-capacity investment.

Global Investment in Renewable Energy by Technology, 2019



Note: Capacity investment values include asset finance volume adjusted for re-invested equity as well as small distributed capacity investment for solar power. Total investment values include estimates for undisclosed deals as well as R&D and company investment (venture capital, private equity and public market new equity).

Source : REN21



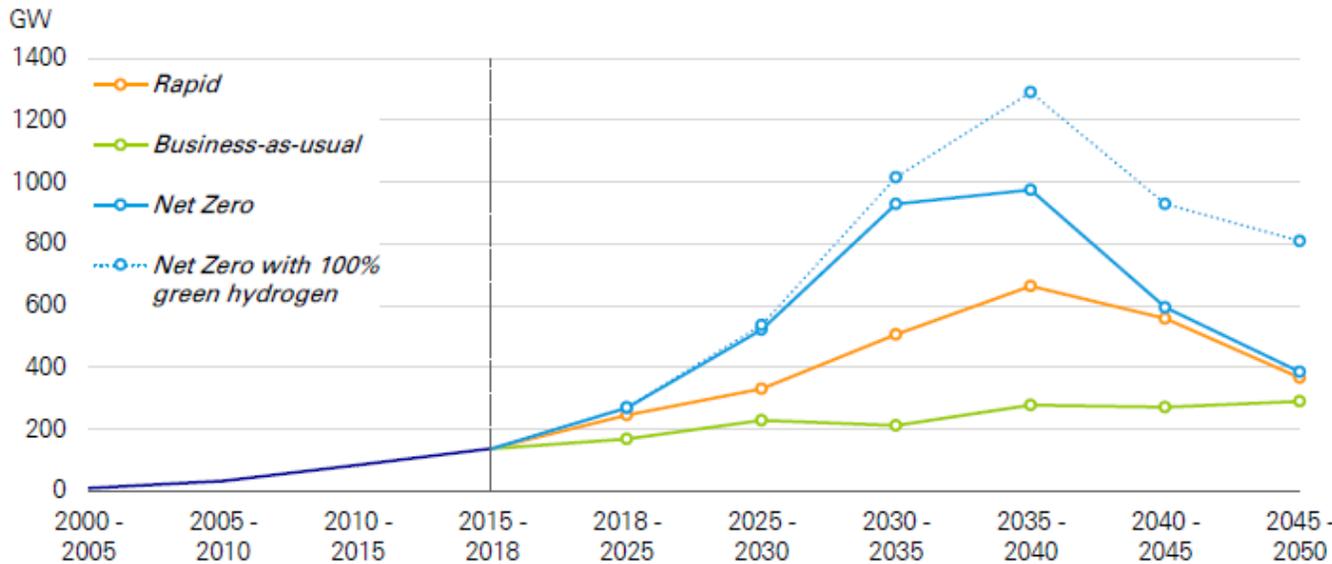
# Où va-t-on dans les ENR électriques ?

Des perspectives à moyen-long termes très ambitieuses pour l'éolien et le solaire  
L'éolien en mer représente vraisemblablement ici un levier clé

## Wind and solar capacity



Annual average increase in wind and solar capacity



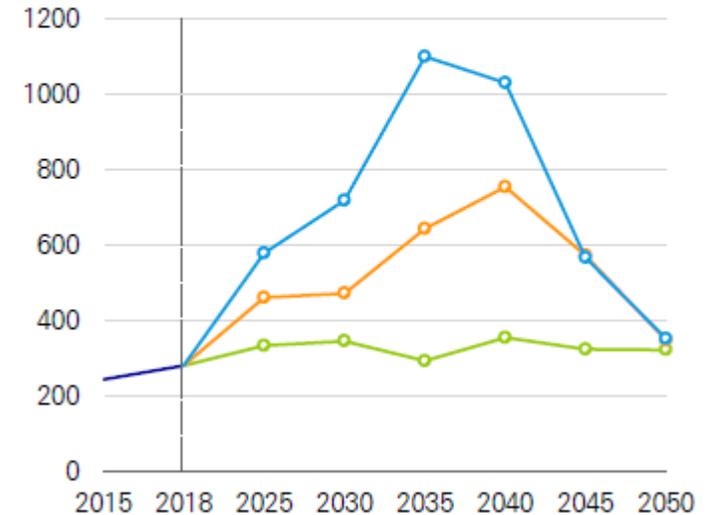
© BP p.l.c. 2020

Energy Outlook | bp week: September 2020



Average annual investment in wind and solar

Five-year rolling average, 2018 US\$ Billion



Energy Outlook | bp week: September 2020



# Pourra-t-on « se passer » d'énergies en mer ?

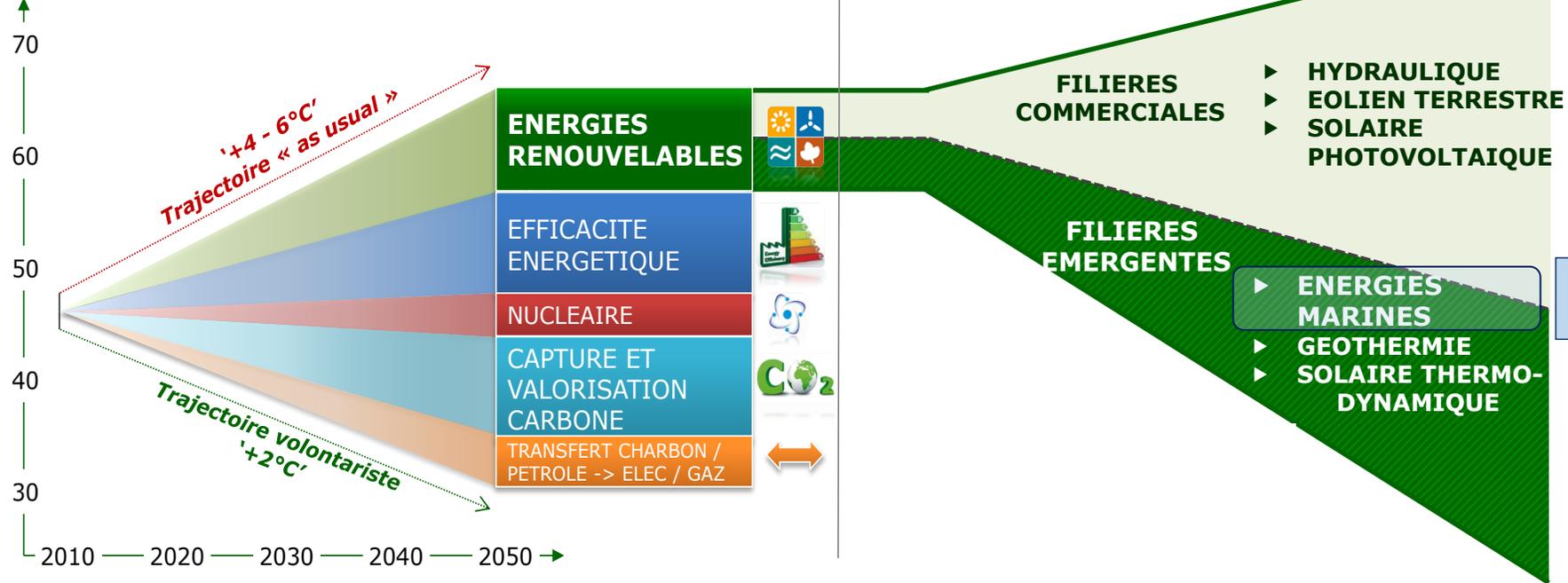
Sans (aucun) doute NON, sans compter les considérations socio-politiques !!!

**ENJEUX ENERGIE – CLIMAT :  
LES ENR COMME PRINCIPAL LEVIER ...**

**... NECESSITANT LE DEVELOPPEMENT  
DE NOUVELLES FILIERES**

Source : A.Rabain

Emissions (Gt CO<sub>2</sub>)



**Les EMR sont des filières déterminantes pour répondre aux enjeux :**

- énergétiques et climatiques au niveau mondial
- socio-économiques / industriels des territoires



Septembre 2020

## Sommaire

Association Ecole Centrale

# CONFÉRENCE EMR

Enjeux de développement des Energies Marines Renouvelables (EMR) pour contribuer à la transition énergétique française et mondiale

1. Fondamentaux et principes macro-économiques du marché des énergies renouvelables

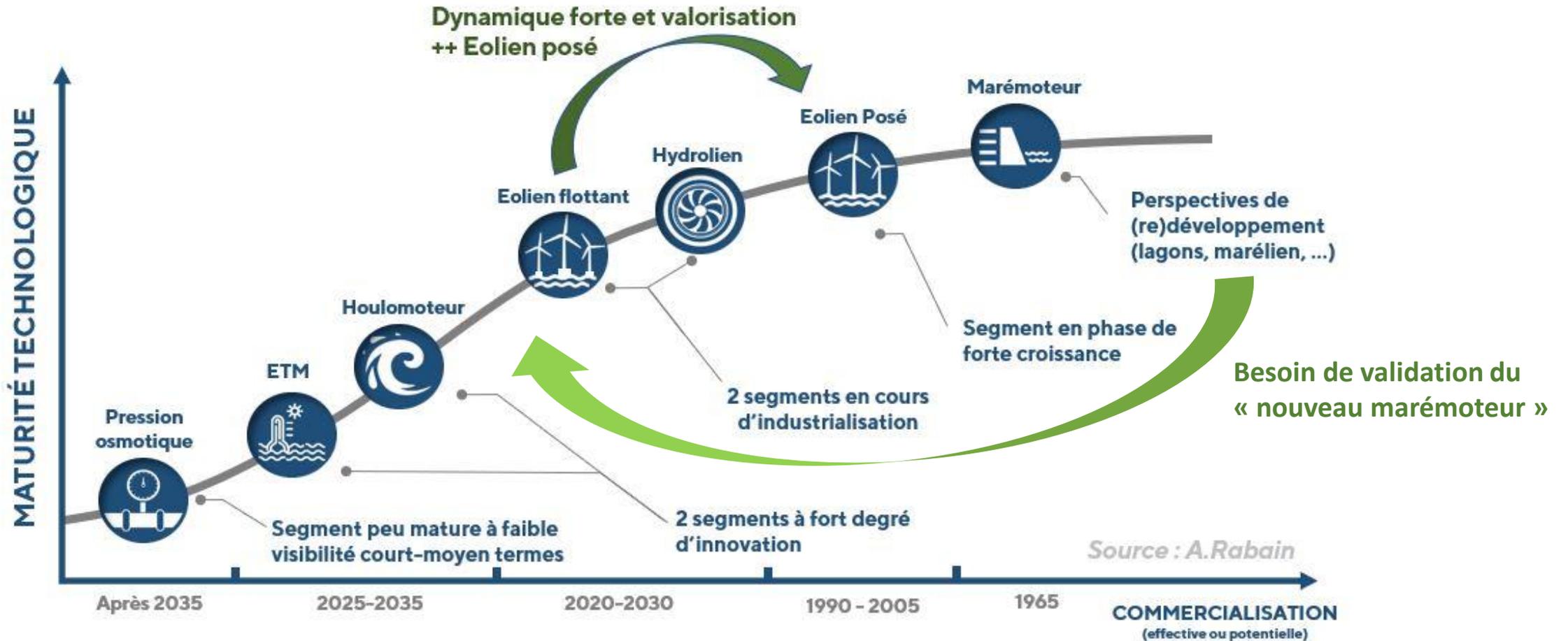
**2. Bilan de situation & perspectives de développement des EMR**

3. Conclusion / Points clés



## De la diversité des EMR : des maturités technologiques échelonnées

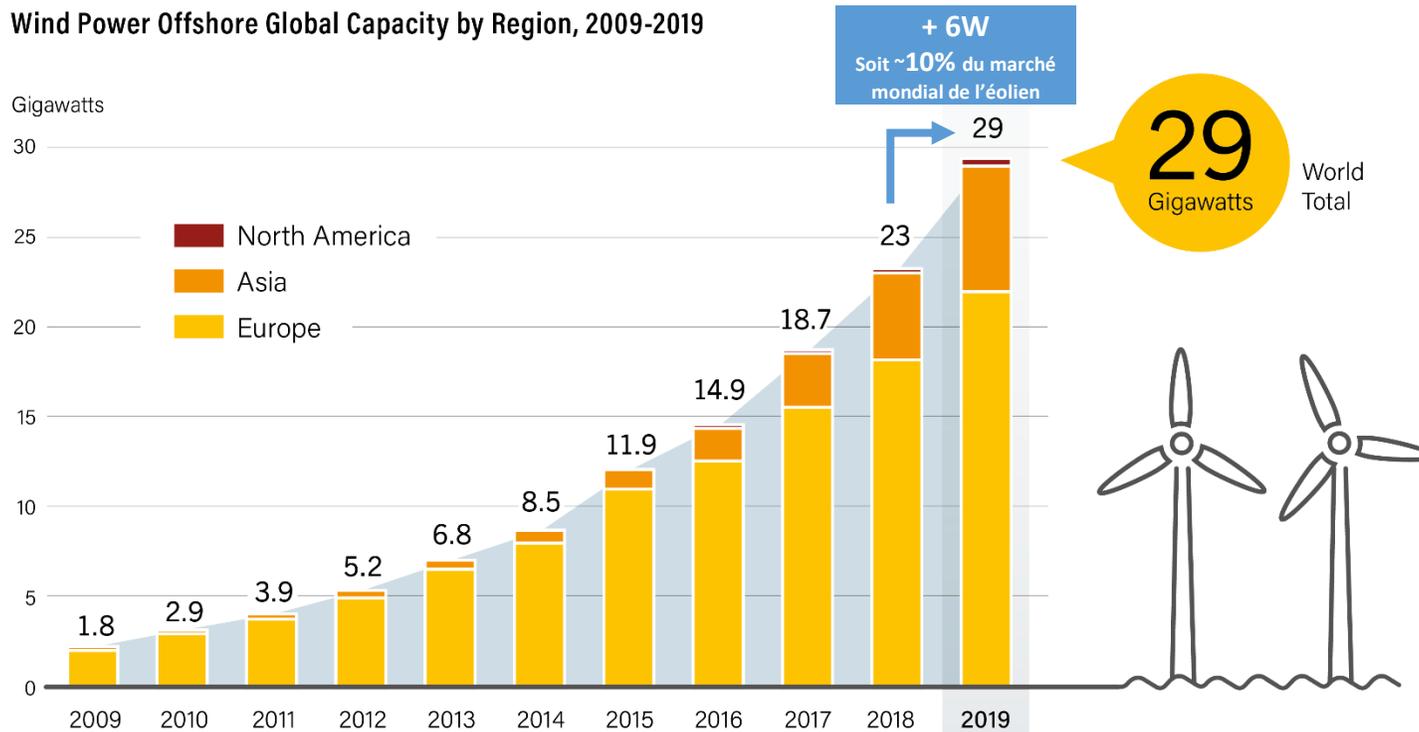
2 mondes à distinguer : l'éolien en mer et les autres EMR



## L'éolien en mer : aujourd'hui 10% du marché éolien, et demain ?

Le marché « offshore » en plein boom, d'abord en Europe leader historique et en cours de déploiement ++ en Asie et bientôt en Amérique du Nord

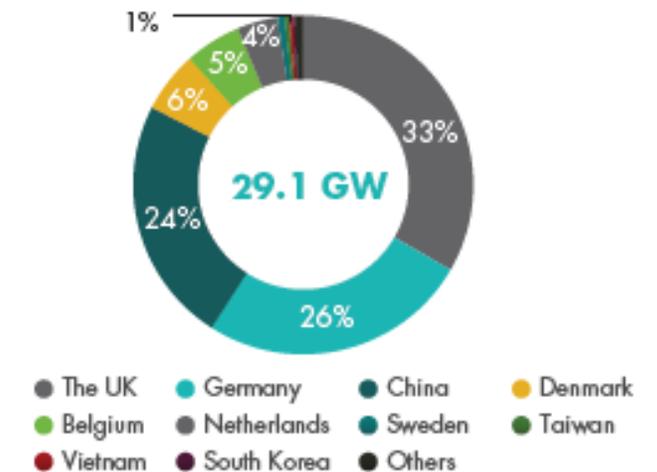
Wind Power Offshore Global Capacity by Region, 2009-2019



### A fin 2019

L'UK + l'Allemagne restent les grands pays de l'éolien offshore posé ... pour le moment

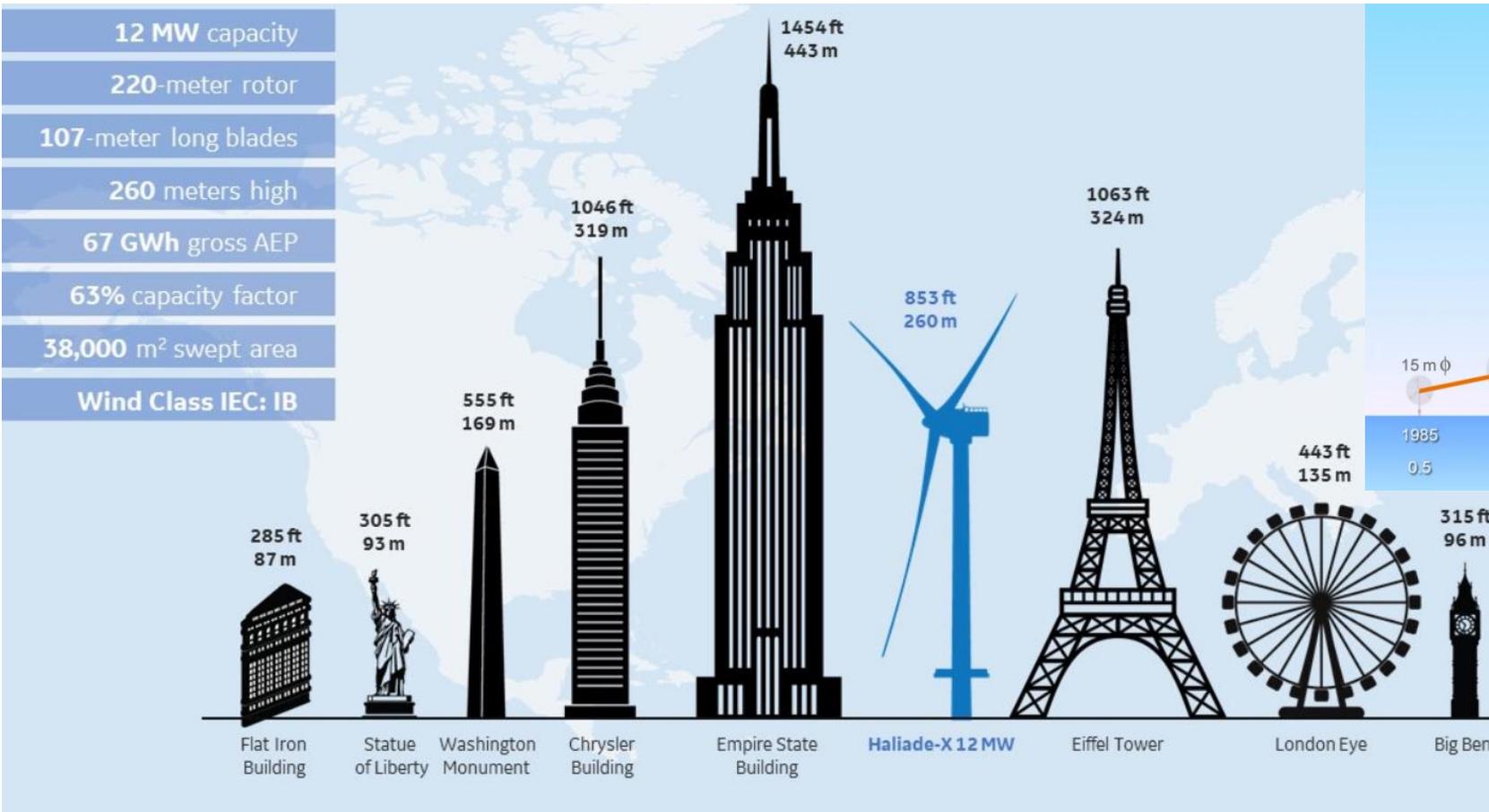
Total offshore wind installations by country



Source : GWEC 2020

## L'éolien en mer : un #GameChanger des ENR ?!

Taille des systèmes et des projets, « productible » et intégration réseaux, ...



# Quelles perspectives sur l'éolien flottant, dont le potentiel est « quasi illimité » ?

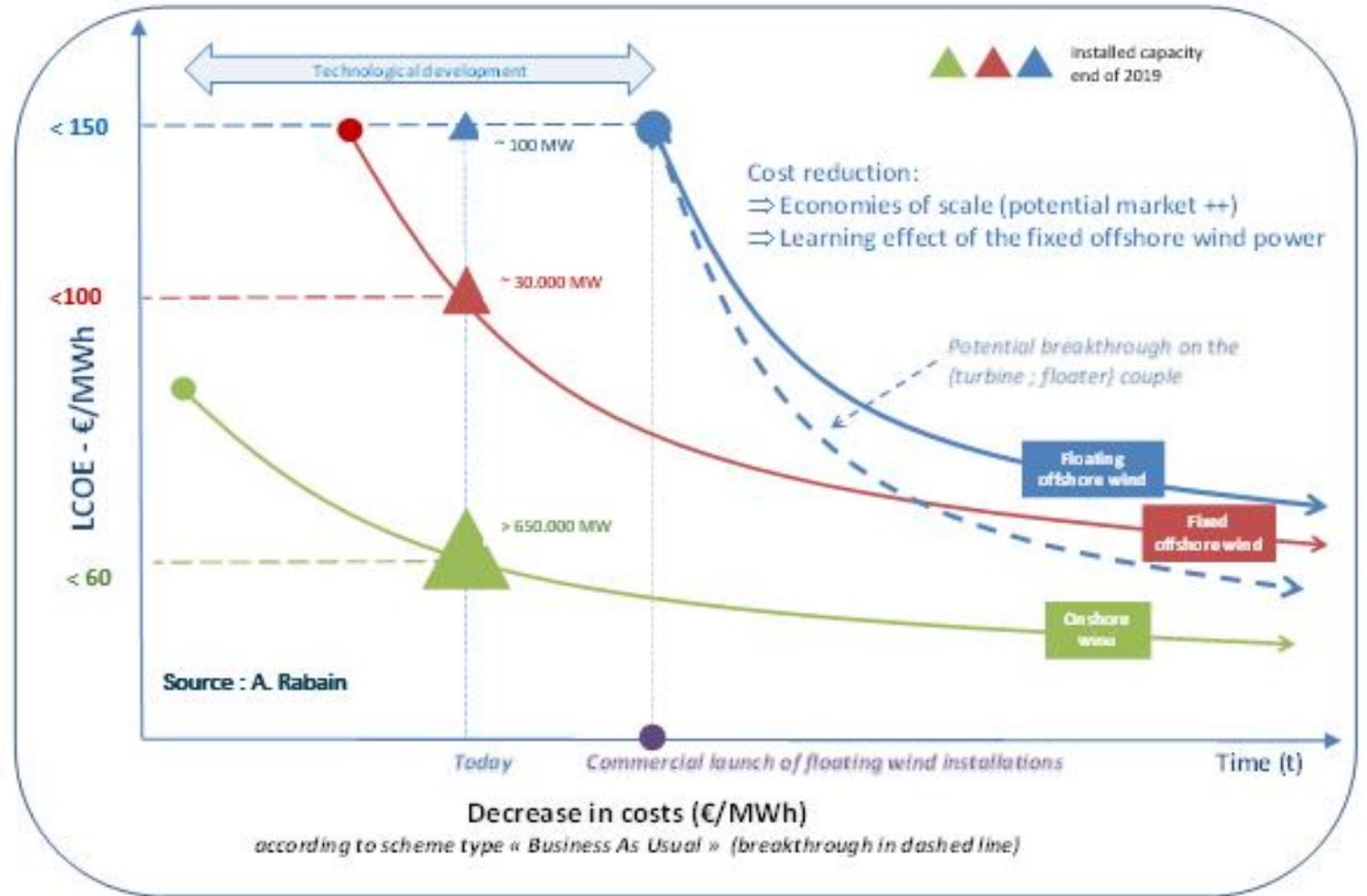
## Valorisation des technologies existantes



Dilemme focalisé sur le flotteur



## ... VS Recherche d'une rupture avec des architectures nouvelles (turbines verticales, ...)



## **Hydroliens : plusieurs concepts pour la valorisation des courants**

Une ressource prédictible et bien identifiée ... avec un potentiel régional plutôt que mondial

**Grand hydrolien maritime**



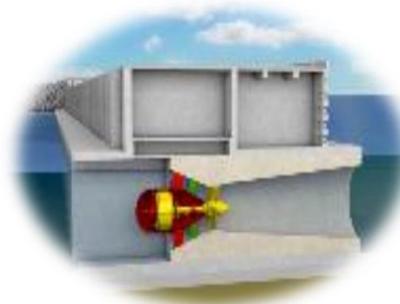
**Petit hydrolien maritime**



**Hydrolien fluvial et d'estuaire**

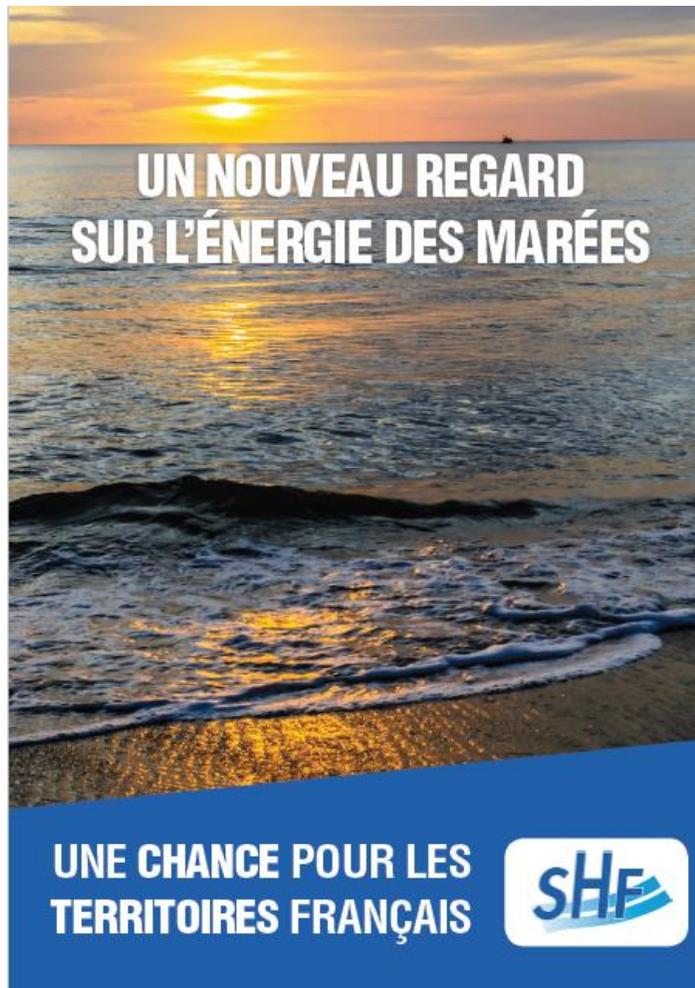


**« Nouveau » Marémoteur**



## **Le marémoteur : une filière historique ... en renouveau avec le multi-usages territorial**

### Historique : la Rance



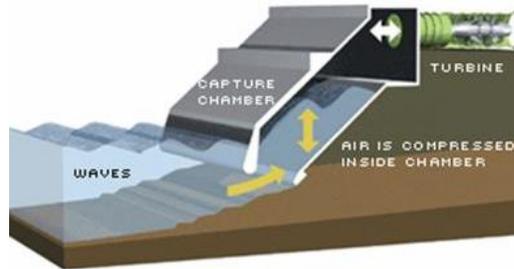
### Perspectives : Swansea Bay ?



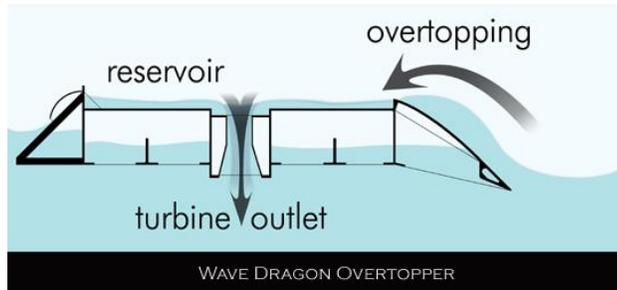
# La houlogénération : foisonnement technologique et potentiel diffus

## Systemes littoraux

Systeme de porte oscillante

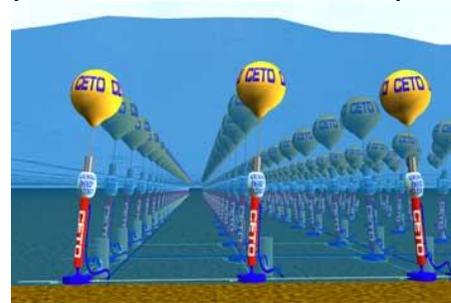


Débordement de chenal

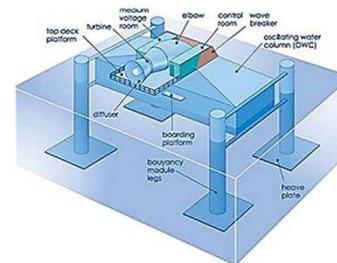


## Systemes nearshore

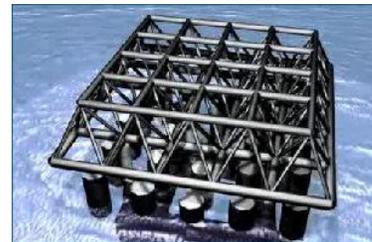
Absorbeurs immergés modulaires



Colonne d'eau oscillante



Absorbeurs émergés modulaires

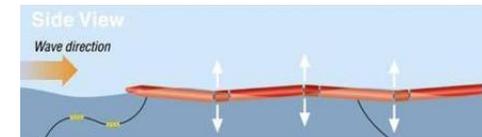


## Systeme offshore

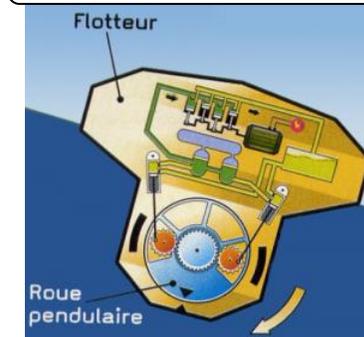
Absorbeur émergée



Caissons flottants



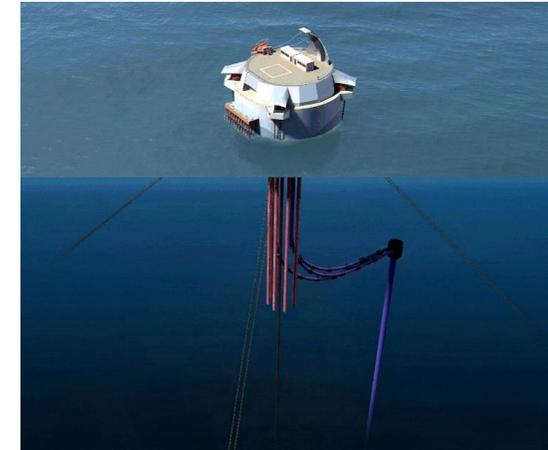
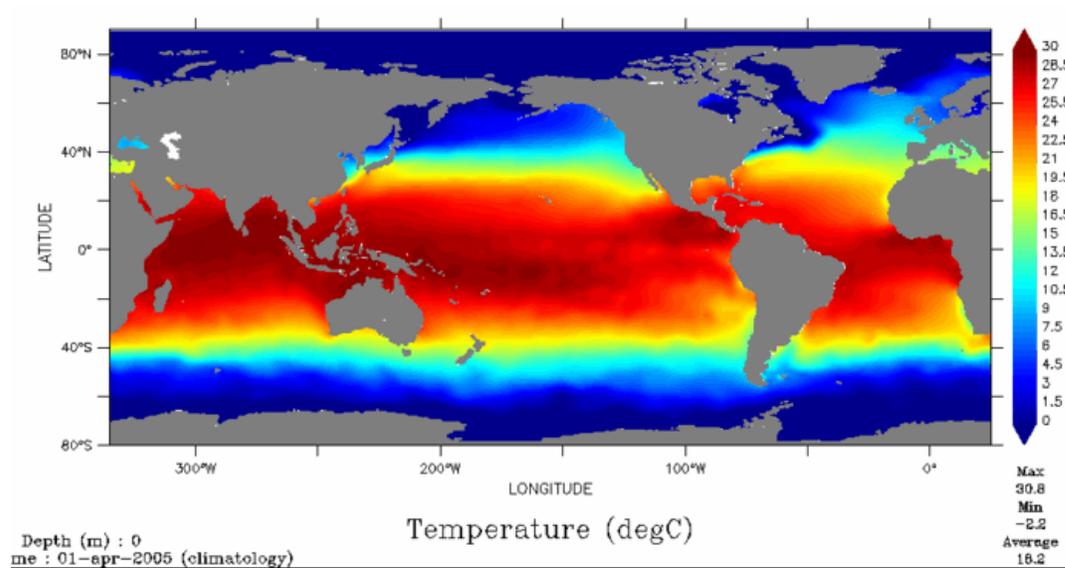
Absorbeur émergée



## L'ETM : la clé d'accès à l'autonomie énergétique des îles

Production de base et applications secondaires nombreuses (froid, eau douce, ...)

**Cartographie de la température des eaux de surface**



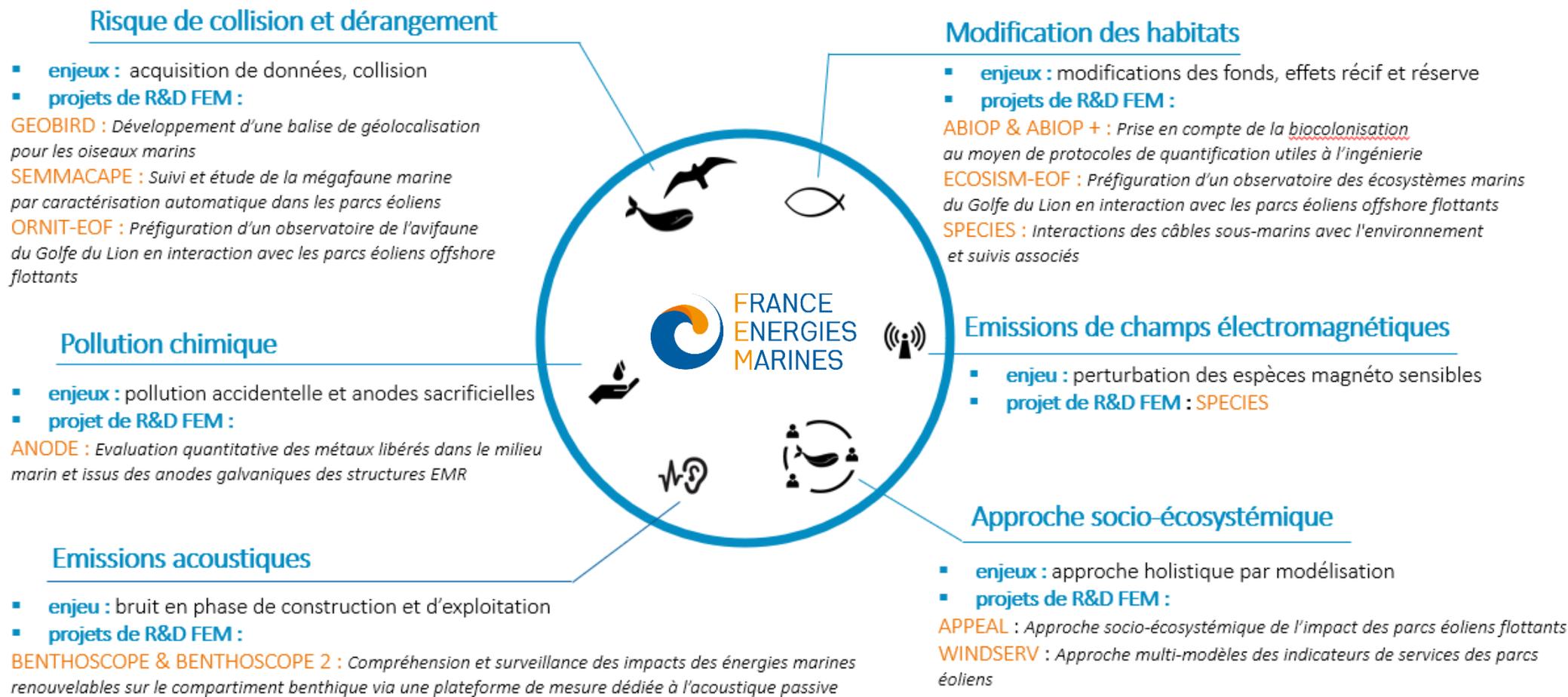
Régions intertropicales:

Plus d'une centaine  
de zones accessibles

1<sup>er</sup> critère d'identification de la ressource ETM:  
différentiel de température  $\Delta T^{\circ} \geq 20^{\circ}\text{C}$

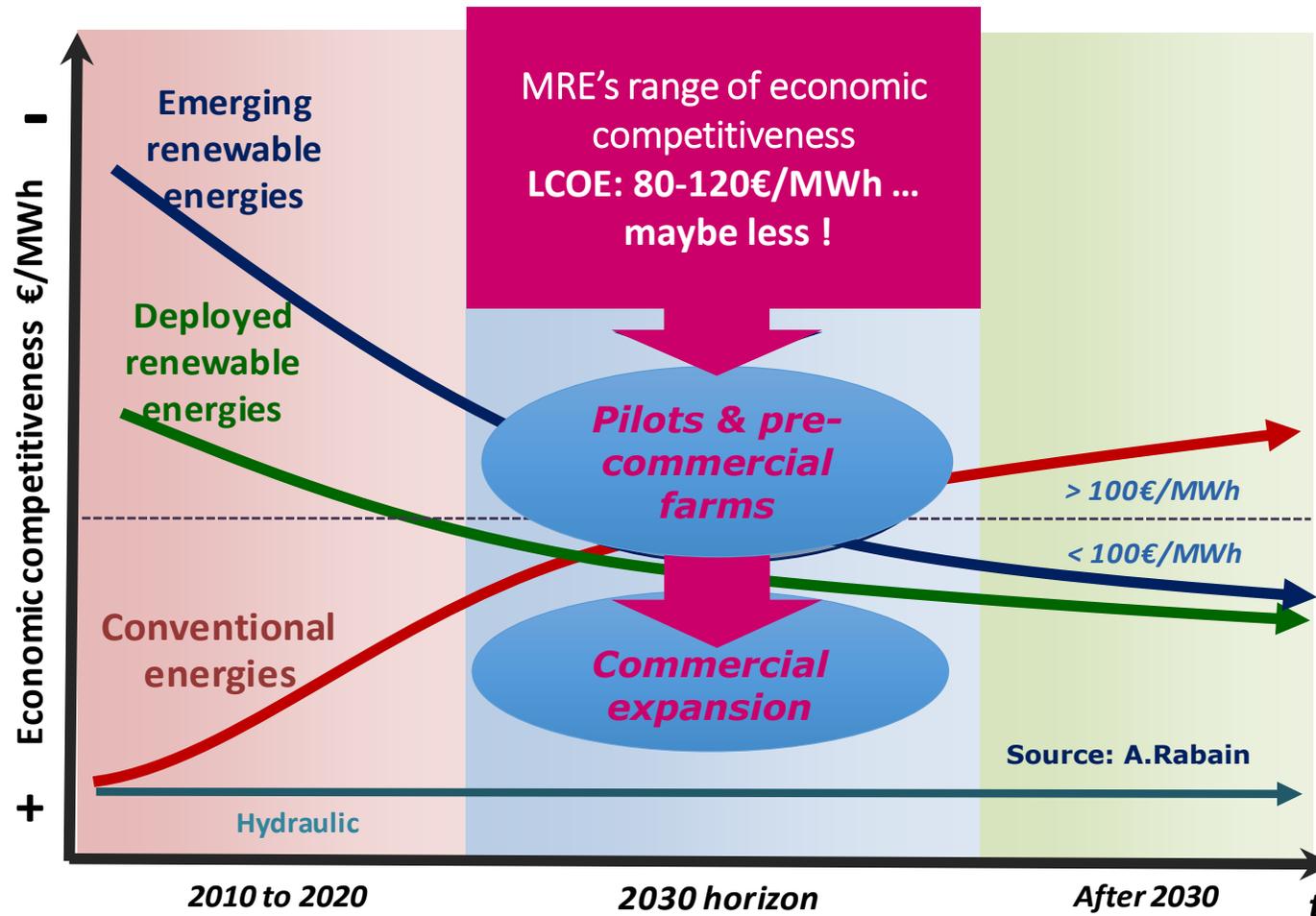
## Un des enjeux clés : investir dans la R&D et l'industrialisation des projets pilotes

25 projets français sur l'intégration socio-environnementale de l'éolien en mer et des EMR plus généralement



# Un des enjeux clés : l'évolution du LCOE\* ou coûts complets de production de l'électricité

Plus globalement, la compétitivité économique des EMR au sein du (des) mix sera critique !



Nécessité de crédibiliser les trajectoires de baisse de coûts des ENR émergentes :

- De 80 à 120 €/MWh en phase de démarrage commercial / industrialisation
- Jusqu'à **50-80 €/MWh à horizon 2030** (voire moins)

*Ou avec des seuils d'attractivité spécifiques plus élevés sur certains territoires (ZNI, îles...)*



## Autres enjeux clés (liste non exhaustive)

Traitement technico-économique de la **variabilité (externalités)** en plus du **LCOE**



**En France** (source Grandjean *et al*, 2020) :

+10% pour pertes de **stockage**  
+ 5 €/MWh pour **capacités pilotables** supplémentaires  
+10-20€/MWh pour différentiel de coût dans les **réseaux**

Analyse sur l'ensemble du cycle de vie  
**EROEI (Energy Returned On Energy Invested)**



- Extraction **minière**
- Pression sur les **terres rares**

Enjeux sociétaux et **d'acceptabilité**



- Nouvelles méthodes de **concertation** amont
- Création **d'emplois**
- **Filières industrielles** et valorisation des savoir-faire existants

Vision **globale** de la **valorisation durable** des océans



- « **Les EMR pour la mer** »

Septembre 2020

## Sommaire

Association Ecole Centrale

# CONFÉRENCE EMR

Enjeux de développement des Energies Marines Renouvelables (EMR) pour contribuer à la transition énergétique française et mondiale

1. Fondamentaux et principes macro-économiques du marché des énergies renouvelables
2. Bilan de situation & perspectives de développement des EMR
3. **Conclusion / Points clés**



## **BIG PICTURE : de l'énergie à l'électricité sous toutes ses composantes – 1/2**

- ✓ **L'électricité ne représente « que » 20% de la consommation énergétique finale** actuelle ; sans doute plus (25-30% voire au-delà) à plus long terme avec les transferts d'usage (mobilité électrique, ...)
- ✓ La tendance est à la croissance soutenue de la demande électrique au niveau mondial : 25.000 TWh/an aujourd'hui et potentiellement plus de **50.000 TWh/an à horizon 2050**



**QUESTION QUI TUE : COMPATIBLE AVEC L'OBJECTIF DE NEUTRALITÉ CARBONE ?!**



- ✓ **Le déploiement massif des ENR est une nécessité absolue** pour répondre aux enjeux énergie-climat, en comptant en premier lieu sur :
  - **L'hydraulique, filière ENR historique et majoritaire** aujourd'hui (50% du parc ENR environ), mais cette filière est mature et subit déjà des contraintes de développement tant sur les potentiels / disponibilité de la ressource que sur les impacts environnementaux des grands projets de barrage
  - **Les ENR en plein boom** que sont **l'éolien terrestre (+50-60 GW/an environ actuellement, stable)** et **le solaire PV (+100-120GW/an actuellement, encore en croissance soutenue)**
    - L'attente vis-à-vis de ces deux filières technologiquement matures et à très fort potentiel en termes de ressources disponibles, est énorme à court/moyen termes

➤ **Question clé : la transition énergétique et climatique est-elle réalisable uniquement via les filières technologiquement matures ?**



## **BIG PICTURE : de l'énergie à l'électricité sous toutes ses composantes – 2/2**

- ✓ Dans un contexte de croissance de la demande électrique et de convergence de plus en plus assumée entre politique énergétique et industrielle :
  - ✓ **Les ENR émergentes seront tout aussi indispensables à moyen / long termes**, tant les besoins ENR sont importants (et pourront encore s'accroître à l'avenir), avec des contraintes de développement pour celles qui sont développées aujourd'hui de plus en plus importantes
  - ✓ Parmi les technologies émergentes, **les Energies Marines Renouvelables (EMR) représentent les filières les plus stratégiques**, en particulier dans les pays développés
  
- ✓ L'attractivité économique des filières électriques convergent vers des niveaux de **LCOE à terme de l'ordre de 50 à 80 €/MWh**
  - ✓ Ces seuils sont déjà largement atteints pour les filières commerciales en plein déploiement
  - ✓ Ils le sont /seront sur les filières émergentes sous conditions, et notamment :
    - ✓ de volumes de déploiement
    - ✓ de soutiens politiques à l'industrialisation



## Points clés sur les EMR

- ✓ Les EMR font référence à un **large spectre de technologies** et de ressources de maturités échelonnées
  - ✓ Parmi elles, **l'éolien offshore** connaît aujourd'hui une croissance importante, où l'Europe est leader
  - ✓ Leur potentiel de contribution à la transition énergétique mondiale pourrait être déterminante à moyen / long termes : **de 10 à 20% du mix électrique à horizon 2050, voire au-delà** avec les progrès de l'éolien en mer, qui défie tous les pronostics réalisés jusqu'alors, y compris les plus optimistes
  - ✓ Pour cela la **baisse des coûts** et de la **maitrise des risques** sur l'ensemble du cycle de vie des projets est un enjeu de premier plan
- **Vers un objectif global multi-filières de l'ordre de 50 à 100 €/MWh d'ici 15 ans** (peut-être moins!)
- ✓ Déjà atteint dans des conditions favorables pour l'éolien offshore posé
  - ✓ Atteignable sous conditions pour les EMR émergentes (éolien offshore flottant, nouveau marémoteur, hydrolien, houlomoteur, mais hors ETM)

✓ **Besoins de politiques volontaristes :**

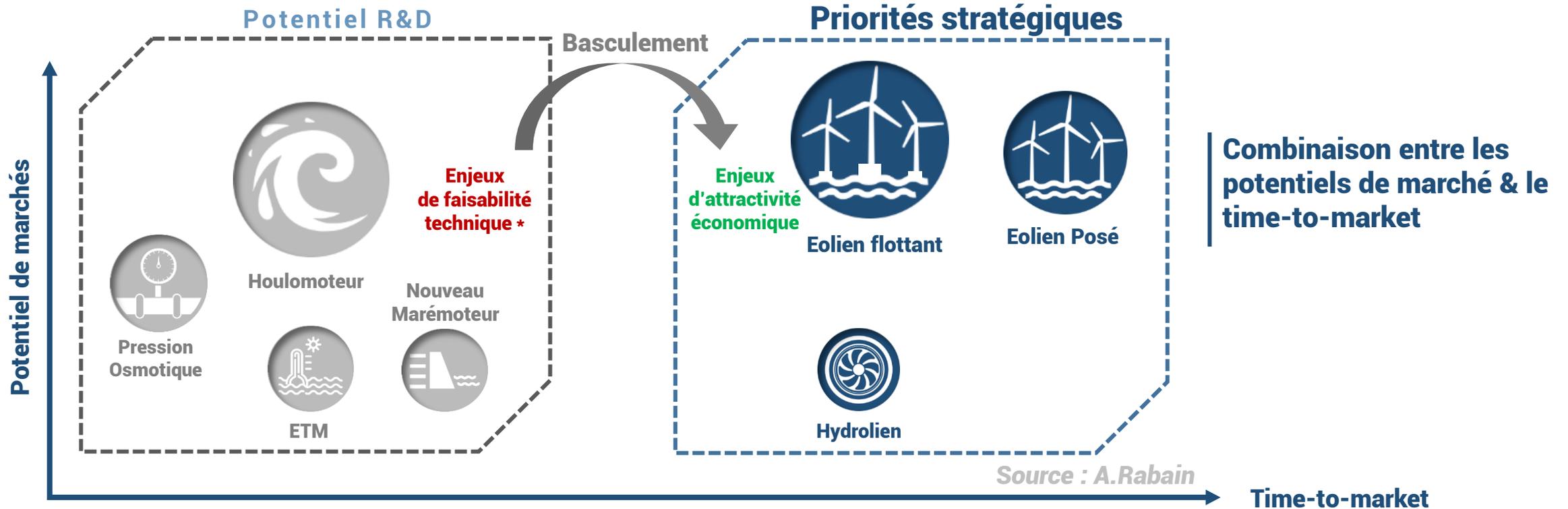
- de soutien R&D
- d'accompagnement à l'industrialisation
- de visibilité sur les projets commerciaux
- d'internationalisation
- ...

✓ **Avec des bénéfices socio-économiques attendus :**

- Relais de croissance d'activités matures voire décroissantes
- Innovations technologiques transverses (énergie / mer),
  - notamment via le vecteur hydrogène
- Développement d'offres industrielles et de services notamment à l'export
- ...

# Positionnement stratégique des EMR

Priorités « marchés » à l'éolien et l'hydrolien et besoins de R&D publique/privée pour les autres EMR

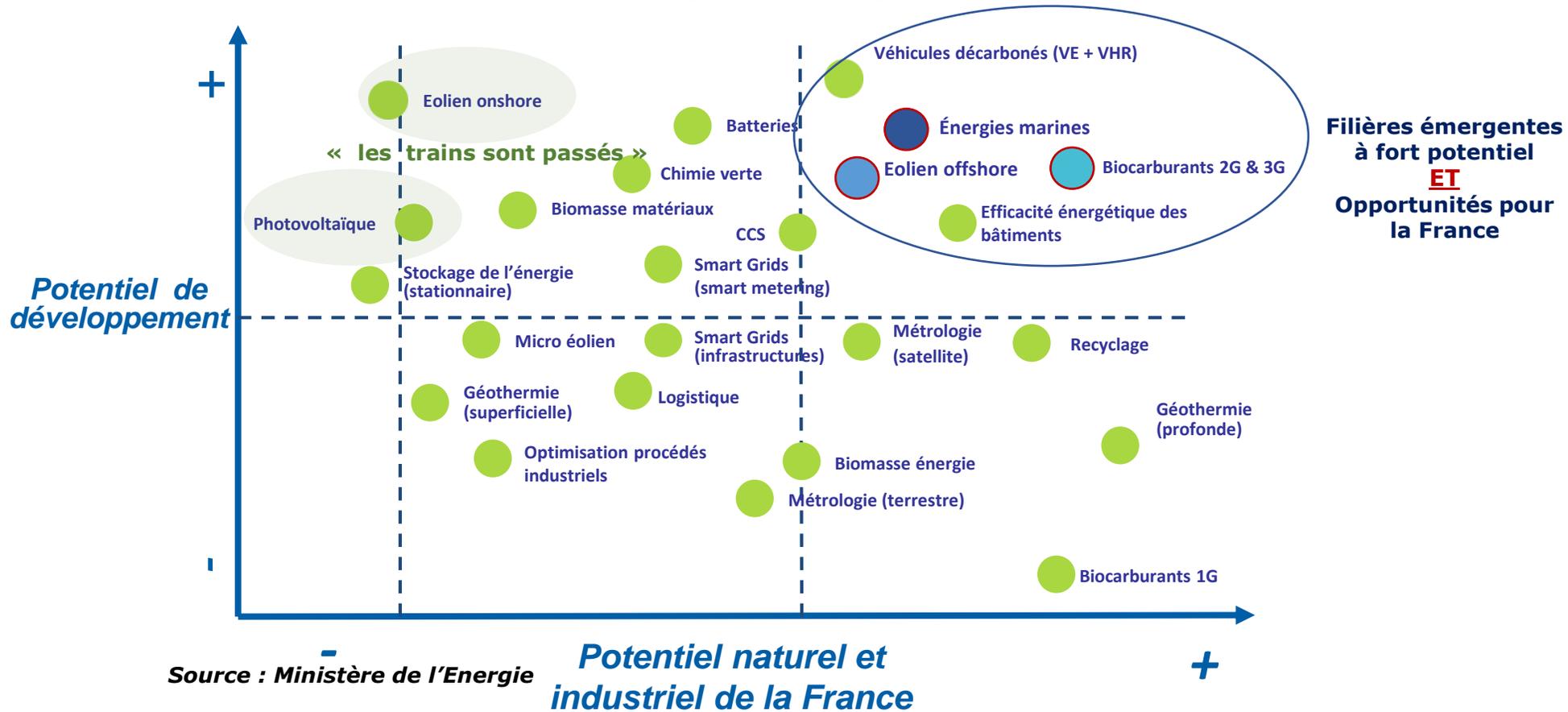


**Volets clés : impacts environnementaux, juridique, social et sociétal, technologique, économique, politique, ...**

# Et la France dans tout ça ?

Les EMR comme filières stratégiques de la transition énergétique nationale ?

## Panorama des leviers de réponse à l'enjeu énergie-climat en France



# Merci de votre attention ... des questions ?

Pour vous plonger dans **l'article complet** sur les enjeux de développement des EMR (avril 2020) :

✓ <https://www.connaissancedesenergies.org/mais-pourquoi-diable-chercher-convertir-des-energies-renouvelables-en-mer-200424>

Nous sommes **trois co-auteurs** pour répondre à vos questions :

## Antoine Rabain

Conseil expert de la transition énergétique et de l'économie maritime, Président de GECKOSPHERE.

## Bernard Multon

Ex-enseignant chercheur, ENS Rennes et laboratoire SATIE-CNRS (SATIE = Systèmes et Applications des Technologies de l'Information et de l'Energie).

## Michel Paillard

Ex-chef de projet EMR à Ifremer (Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer).

## Mais pourquoi diable chercher à convertir des énergies renouvelables en mer ?

Réflexions sur le potentiel et la capacité des Energies Marines Renouvelables à contribuer à la transition énergétique mondiale et française en particulier

Antoine RABAIN, Bernard MULTON, Michel PAILLARD



Océan, des quantités gigantesques d'énergie particulièrement difficiles à valoriser - Crédit photo: Michel Paillard

### Résumé

Cet article porte sur le rôle et le potentiel de contribution des principales sources d'énergies marines renouvelables (EMR) en réponse à l'enjeu de transition énergétique mondiale, dont l'urgence est désormais bien établie. Il se veut le plus factuel possible, tant sur les filières EMR qui pourraient demain contribuer massivement à l'approvisionnement en énergie, que sur le bien-fondé des politiques de

soutien à la Recherche & Développement (R&D) et à l'industrialisation de ces technologies nouvelles qui ont émergé ces dernières décennies en France et à l'international.

L'expérience partagée et complémentaire des trois co-auteurs dans ce domaine s'étale sur près de 40 ans, des premiers projets de R&D datant des années 1980, en passant par le redémarrage progressif des investissements au début du XXI<sup>e</sup> siècle, jusqu'aux projets en déploiement préindustriel ou commercial les plus récents.

Leur démonstration s'établit en plusieurs étapes :

Après un rappel des fondamentaux du secteur et de la place grandissante de l'électricité dans le mix énergétique mondial, les co-auteurs s'interrogent, en prenant appui sur de nombreuses références, sur la capacité des filières terrestres industriellement matures à atteindre les indispensables objectifs de décarbonation et de soutenabilité. Ils soulignent alors l'intérêt de considérer d'autres filières émergentes dont les EMR font partie.

### Antoine Rabain

Conseil expert de la transition énergétique et de l'économie maritime, Président de GECKOSPHERE.

### Bernard Multon

Ex-enseignant chercheur, ENS Rennes et laboratoire SATIE-CNRS (SATIE = Systèmes et Applications des Technologies de l'Information et de l'Energie).

### Michel Paillard

Ex-chef de projet EMR à Ifremer (Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer).

Article publié sur [www.connaissancedesenergies.org](http://www.connaissancedesenergies.org) en avril 2020

1



# Pour aller plus loin

Quelques liens sur **d'autres publications** à la convergence entre **transition énergétique** et le développement de **l'industrie française** de l'éolien en mer



**Tribune sur le rôle stratégique de l'éolien flottant en France :**

- ✓ <https://www.latribune.fr/opinions/tribunes/l-eolien-offshore-flottant-est-doublement-strategique-pour-la-france-795725.html>

**L'USINE NOUVELLE**

**Tribune pour renforcer le rôle des EMR via le volet industriel dans le cadre de l'élaboration de la PPE française (Programmation Pluriannuelle de l'Énergie) :**

- ✓ <https://www.usinenouvelle.com/article/tribune-a-quand-une-veritable-programmation-pluriannuelle-de-l-energie-et-de-son-industrie.N779089>



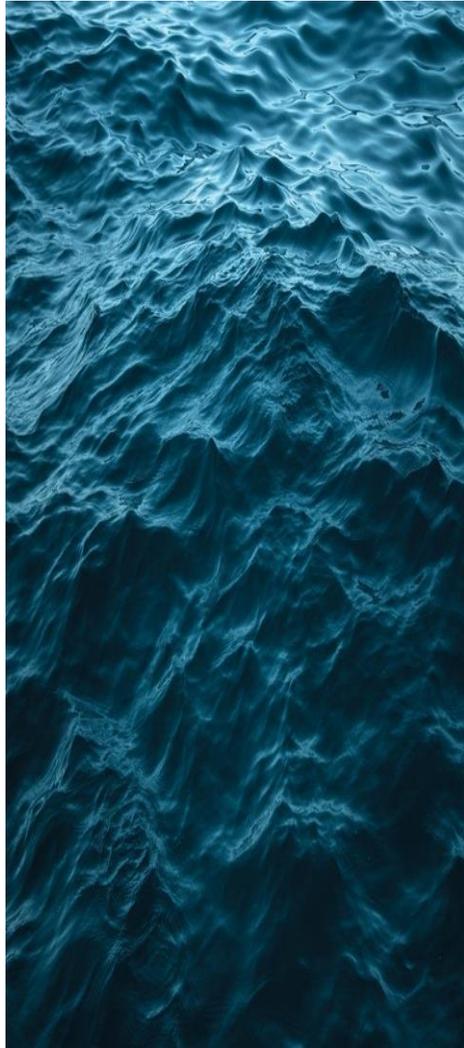
**Publication sur la compétitivité de l'éolien en mer en Europe :**

- ✓ <https://www.lemondedelenergie.com/guerre-prix.../2018/03/21/>



# Contact

---



## Antoine Rabain

Président & Fondateur  
GECKOSPHERE®



ENERGIE · CLIMAT · OCEAN



[antoine.rabain@geckosphere.fr](mailto:antoine.rabain@geckosphere.fr)



+33 615 600 433



7, Cour des Fabriques - 75011 Paris



[www.geckosphere.fr](http://www.geckosphere.fr)