



Journée parrainée par



Le marché géotechnique des éoliennes flottantes

Denys Borel (Fugro)

ANCRAGES DES ÉOLIENNES FLOTTANTES
14 MARS 2024

Eoliennes flottantes

Le Marché des Eoliennes Flottantes

Sommaire de l'intervention

- Perspectives Globales
- Situation Actuelle Europe
- Projets Existants en France
- Projets Futurs France

Eoliennes flottantes

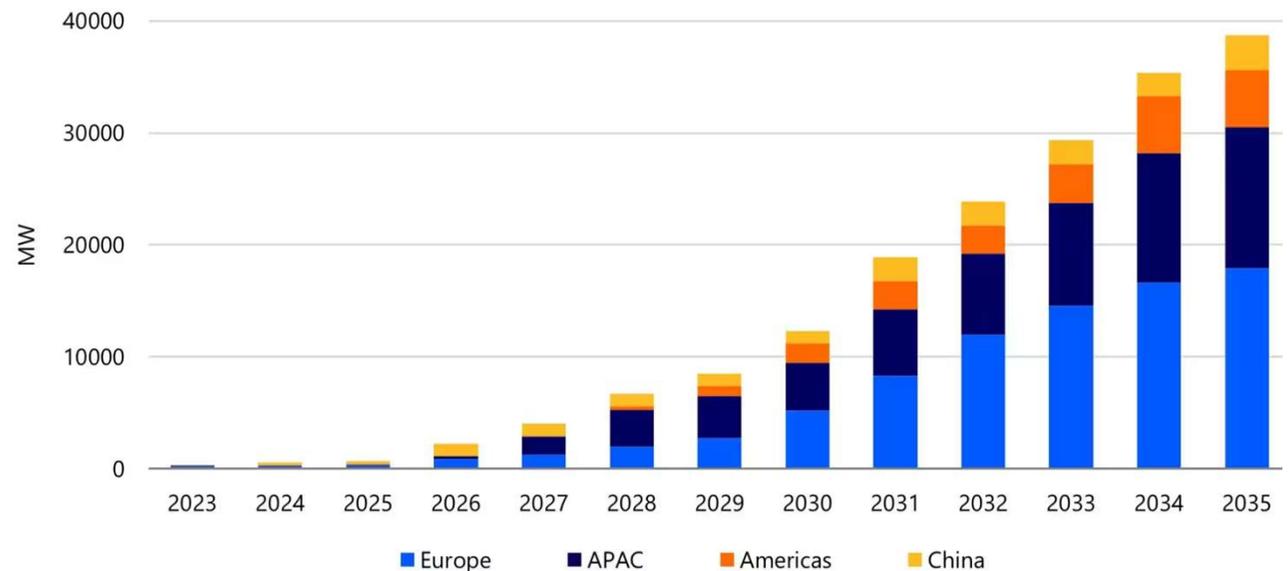
Le Marché des Eoliennes Flottantes

A – Perspective Globale par région

38 GW d'éolien flottant en 2035
~50% en Europe

Plus de 2500 turbines (hypothèse 15 MW en moyenne par turbine)

Total de ~250 MW installé



Source: 4C Offshore, A TGS Company: <4C Offshore_pop, release date 22/06/2023, updated 13/09/2023>, Rabobank 2023

Eoliennes flottantes

Le Marché des Eoliennes Flottantes

A – Perspective Globale 2023-2032 par pays

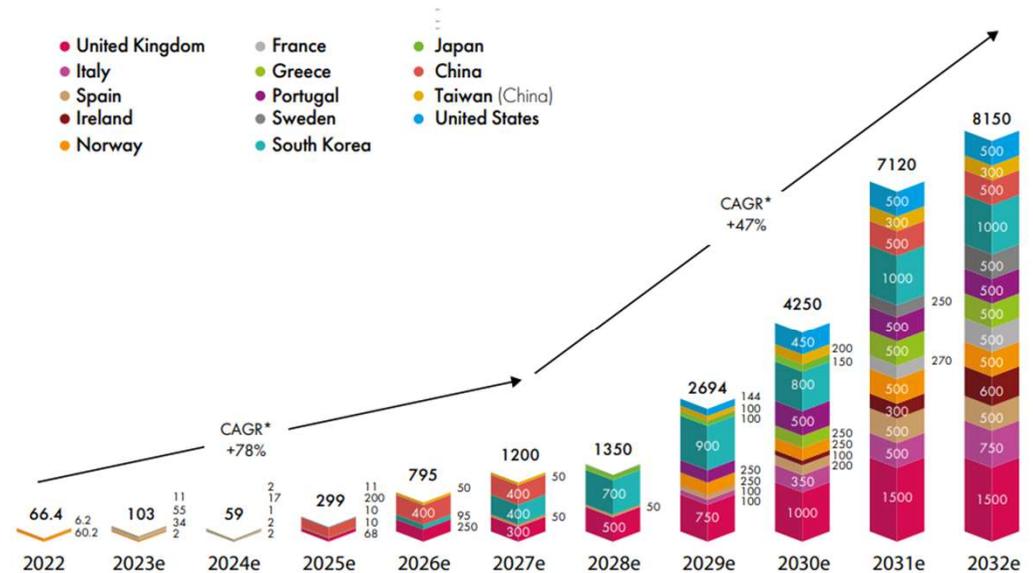
Marché très ouvert géographiquement

En tête:

- ✓ Royaume-Uni
- ✓ Corée du Sud

Nombreux pays à la suite

- ✓ Portugal
- ✓ France
- ✓ Espagne
- ✓ Irlande
- ✓ Norvège
- ✓ Italie
- ✓ Chine
- ✓ ...



*Compound Annual Growth Rate., **Note: this floating wind outlook is already included in GWEC's global offshore wind forecast.
Source: GWEC Market Intelligence, July 2023

Eoliennes flottantes

Le Marché des Eoliennes Flottantes

A – Technologie du flotteur

Plus d'une centaine de concepts en phase de test en bassin ou de déploiement (prototype, démonstrateur, pilote ou industriel).

~ 10 technologies testés en démonstrateur > 1 MW

4 technologies principales de flotteur:

- Semi-submersible
- Spar
- Barge
- TLP

- + hybrides



Eoliennes flottantes

Le Marché des Eoliennes Flottantes

B – Situation actuelle Europe

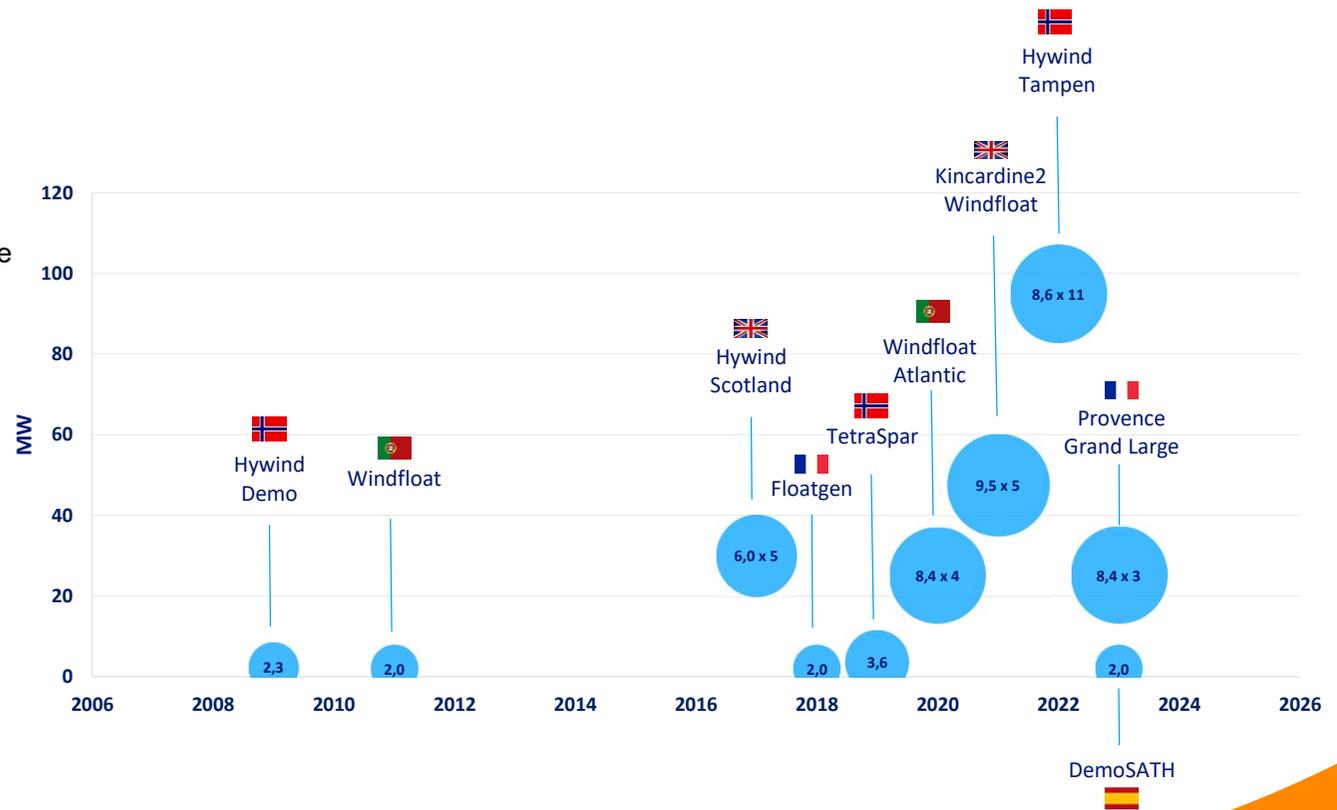
Norway, Portugal, UK and France leaders sur le marché

- 5 x Démonstrateurs
- 5 x Projets pilotes

Total opérationnel ~ 235 MW

4 technologies flotteur:

- Spar (steel and concrete)
- Semi-submersible
- Barge
- TLP



Eoliennes flottantes

Le Marché des Eoliennes Flottantes

C – Le précurseur en France: Floatgen

Première éolienne en mer française

Développement: BW IDEOL, Centrale Nantes et Bouygues Travaux Publics

- Site expérimental SEM-REV
- Profondeur d'eau : 33m
- Turbine : 2MW
- Flotteur Damping Pool® conçu par BW IDEOL
- Type: barge béton 36m x 36m – 7.5m tirant d'eau
- Construction : Bouygues Travaux Publics

Installation : 2018 - Phase opérationnelle prolongée de 5 ans en janvier 2024

- 6 lignes d'ancrage en fibre synthétique (nylon)
- Ancres classiques DEA en contexte sédimentaire (sables)



Eoliennes flottantes

Le Marché des Eoliennes Flottantes

C – Les projets pilotes en France (AAP 2015) : Provence Grand Large (opérationnel)

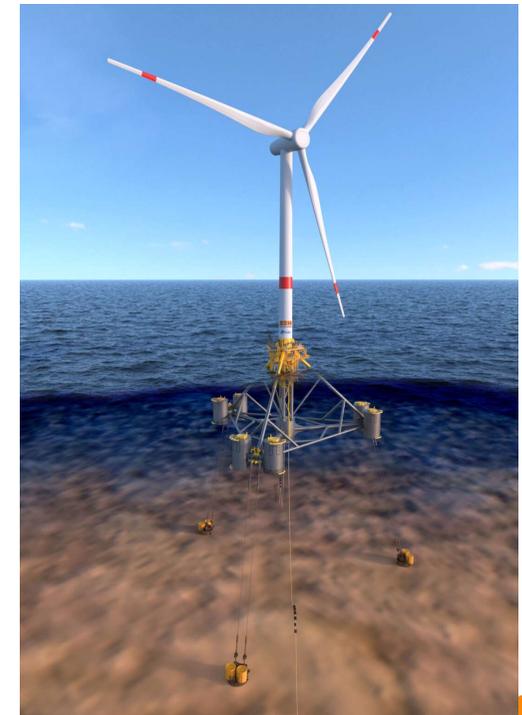
Premier parc pilote en France

Porteur du projet: EDF Renouvelables et Enbridge

- Site de Faraman au large du Golfe de Fos
- Profondeur d'eau : 100 m
- Turbines : 3 x 8.4 MW
- Flotteur conçu par SBM et IFP Energies Nouvelles
- Type: TLP 45 m de hauteur – 80 m de large
- Construction : Eiffage Métal à Fos sur Mer

Installation : 2023

- 6 lignes d'ancrage en fibre synthétique
- Ancres: 3 x caissons à succion en contexte sédimentaire d'argiles molles



Eoliennes flottantes

Le Marché des Eoliennes Flottantes

C – Les projets pilotes en France (AAP 2015) : Eolmed

Porteur du projet: Qair – TotalEnergies – BW Ideol

- Site à 18 km au large de Gruissan (Aude)
- Profondeur d'eau : 60 m
- Flotteur : Damping Pool® conçu par BW Ideol
- Type: barge acier 45 x 45 x 17 m
- Construction : Archimed
- Turbines : 3 x 10 MW (Vestas V-164)

En cours de construction
Installation prévue en 2024/25

- Ancres classiques (3 x 2) DEA caténaire en contexte sédimentaire sablo-argileux



Eoliennes flottantes

Le Marché des Eoliennes Flottantes

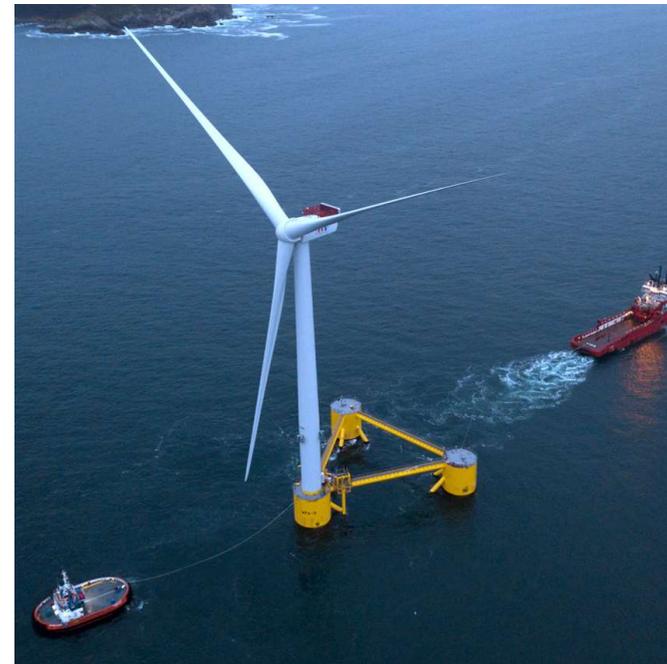
C – Les projets pilotes en France (AAP 2015) : Eoliennes Flottantes du Golfe du Lion (EFGL)

Porteur du projet: Ocean Wind – Engie – EDP Renewables

- Site à 16 km au large de Leucate (Aude)
- Profondeur d'eau : 70 m
- Flotteur : Windfloat® conçu par Principle Power
- Type: semi-submersible 70 x 24 m (14 m tirant d'eau)
- Construction : Eiffage à Port La Nouvelle
- Turbines : 3 x 10 MW (Vestas V-164)

En cours de construction
Installation prévue en 2024

- Ancres classiques DEA (x3) en contexte sédimentaire sablo-argileux



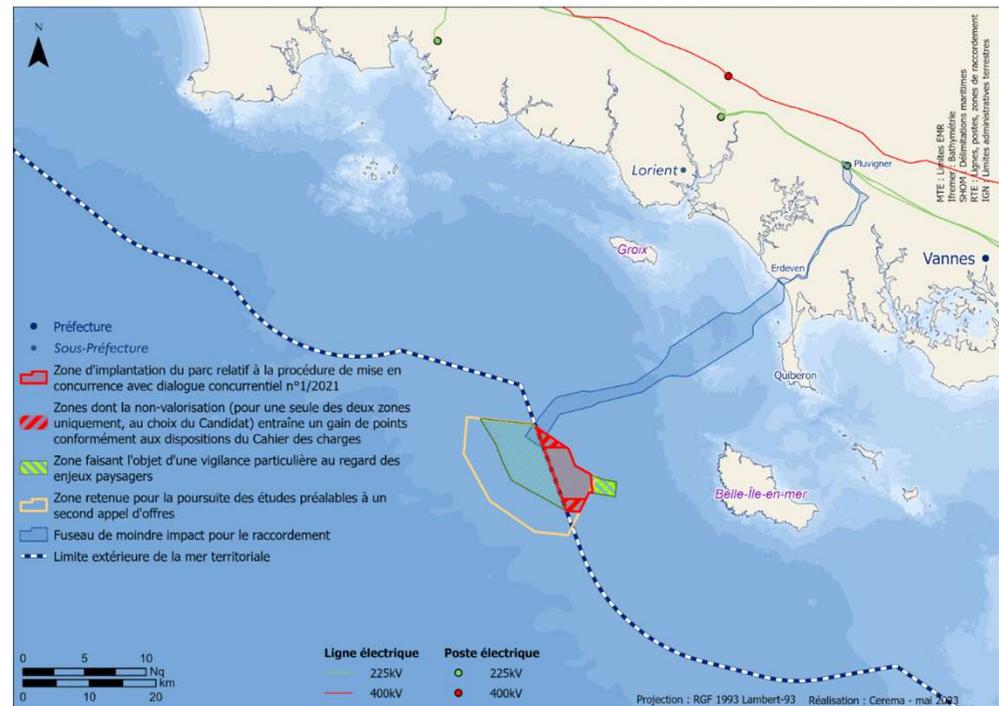
Eoliennes flottantes

Le Marché des Eoliennes Flottantes

C – Projets en cours d'Attribution: AO5 Bretagne Sud

Appel d'Offre AO5

- Puissance: 250 MW
- Extension de 500 MW
- Site à 20 km au large de Belle-Ile
- Profondeur d'eau : 80-90 m
- 10 candidats en lice
- Attribution prévue début 2024
- Géologie complexe avec couverture sédimentaire variable et affleurements rocheux
- Ancres pieux forés vraisemblablement nécessaires



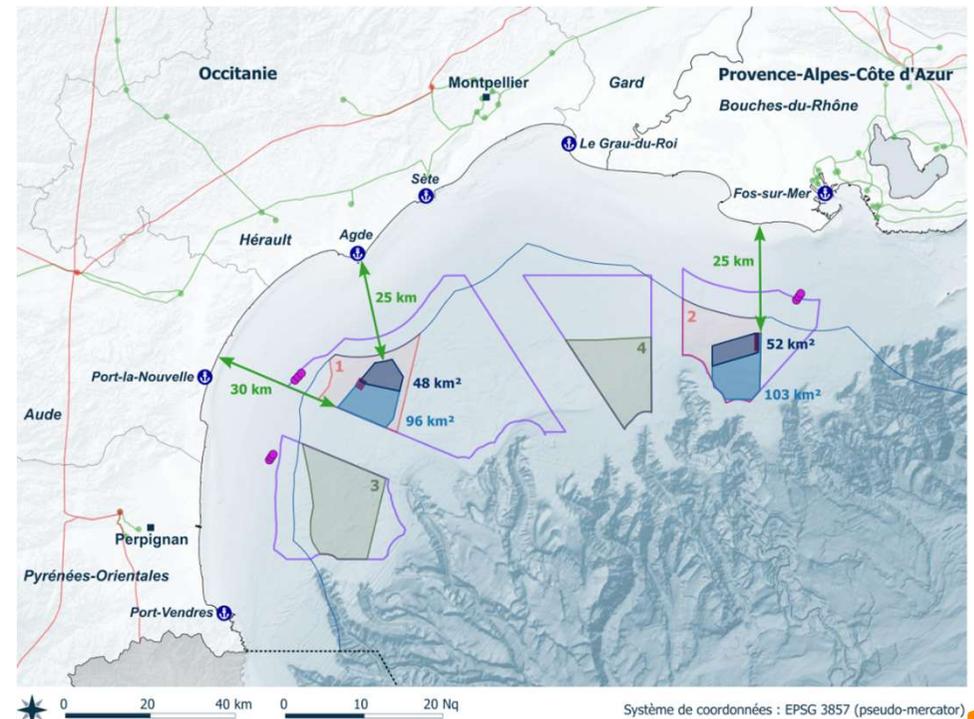
Eoliennes flottantes

Le Marché des Eoliennes Flottantes

C – Projets en cours d'Attribution: AO6 Méditerranée 1 & 2

Appel d'Offre AO6

- Puissance: 2 x 250 MW
- Extensions de 2 x 500 MW
- Site 1 - 48 km² au large de Narbonne
- Profondeur d'eau : 90-100 m
- Site 2 - 52 km² au large de Fos sur Mer
- Profondeur d'eau : 90-100 m
- 13 candidats en lice
- Attribution prévue été 2024



Eoliennes flottantes

Le Marché des Eoliennes Flottantes

D – Le futur de l'éolien flottant en France

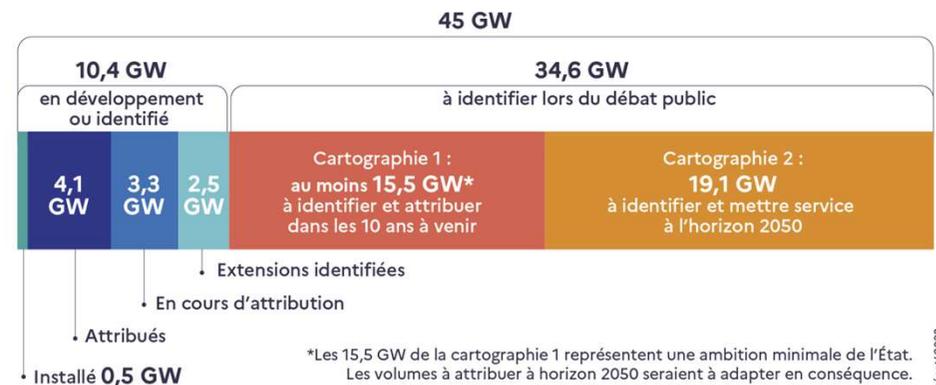
- Parmi les 10,4 GW en cours, 32% sont en flottant
- Débats publics par façade pour les 15,5 GW / 10 ans
- Quel pourcentage en flottant ?

Très nombreux facteurs:

- ✓ Navigation
- ✓ Paysage et acceptabilité
- ✓ Cohabitation, Pêche, ...
- ✓ Environnementaux
- ✓ Zones militaires
- ✓ Favorabilité (géologie)

- ✓ **Bathymétrie ?**
(limite actuelle de 100 m pour la sous-station électrique)

Répartition prévisionnelle des capacités à identifier



Source : Ministère de la Transition énergétique

Façade	Objectifs à horizon 10 ans de nouvelles capacités à attribuer (dont extensions déjà identifiées)	Objectifs à 2050 (comprenant tous les parcs déjà attribués, en cours d'attribution et extensions identifiées)	Capacités en développement ou attribuées (hors extensions)
MEMN	Entre 7 et 11 GW	Entre 12 et 15,5 GW	4,5 GW
NAMO	Entre 6 et 9,5 GW (dont 0,5 GW d'extensions)	Entre 17 et 25 GW	1,7 GW
SA	Entre 2,5 et 5,5 GW (dont 1 GW d'extensions)	Entre 7 et 11 GW	1 GW
MED	Entre 3 et 4,5 GW (dont 2x0,5 GW d'extensions)	Entre 4 et 7,5	0,6 GW
TOTAL	Entre 18,5 GW et 30,5 GW (dont 2,5 GW d'extensions)	Entre 40 et 59 GW	7,8 GW

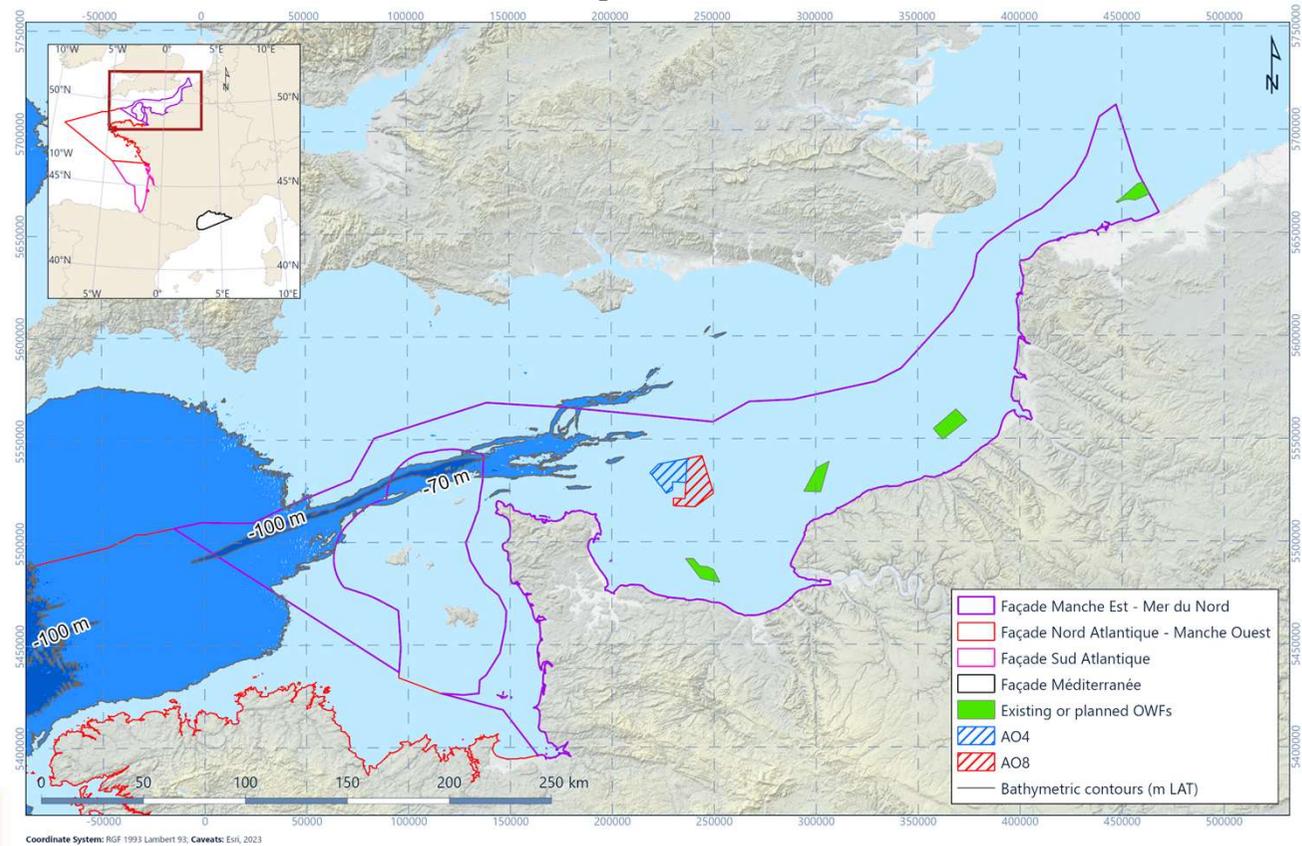
Eoliennes flottantes

Le Marché des Eoliennes Flottantes

D – Localisations des futurs projets éoliens flottant en France – Façade MEMN

Bathymétrie très peu propice à l'éolien flottant

L'objectif de 7,0-11,0 GW en MEMN devrait être essentiellement posé



Eoliennes flottantes

Le Marché des Eoliennes Flottantes

D – Localisations des futurs projets éoliens flottant en France – Façade NAMO

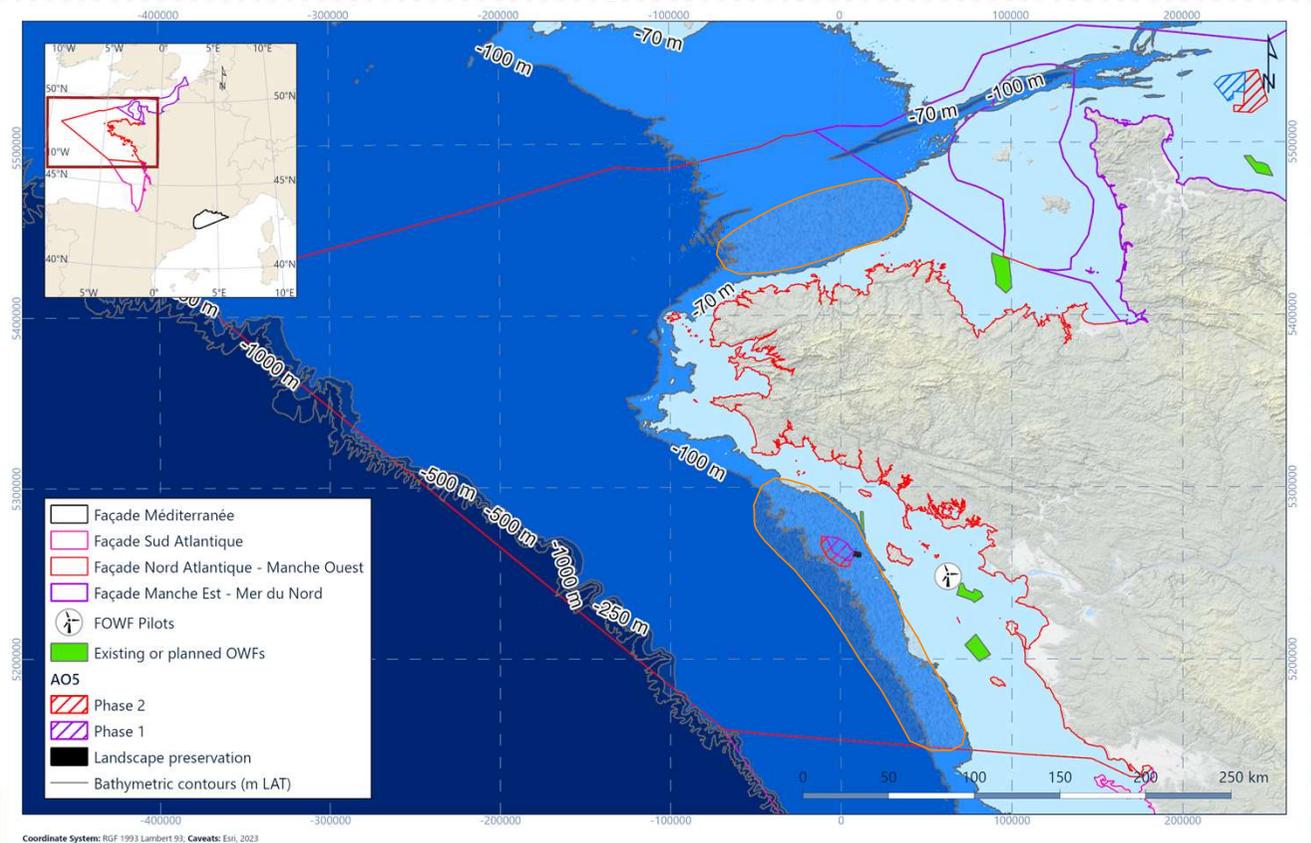
Bathymétrie assez propice à l'éolien flottant, mais surtout dans la zone -100 à -250m

Deux zones envisageables à l'horizon 10 ans

- Nord Bretagne 3000 km²
- Sud Bretagne-Vendée 6000 km²

Mais: forts enjeux et contraintes

L'objectif de 6,0-9,5 GW en NAMO pourrait comporter une part importante en flottant, plutôt en partie Sud de la façade



Eoliennes flottantes

Le Marché des Eoliennes Flottantes

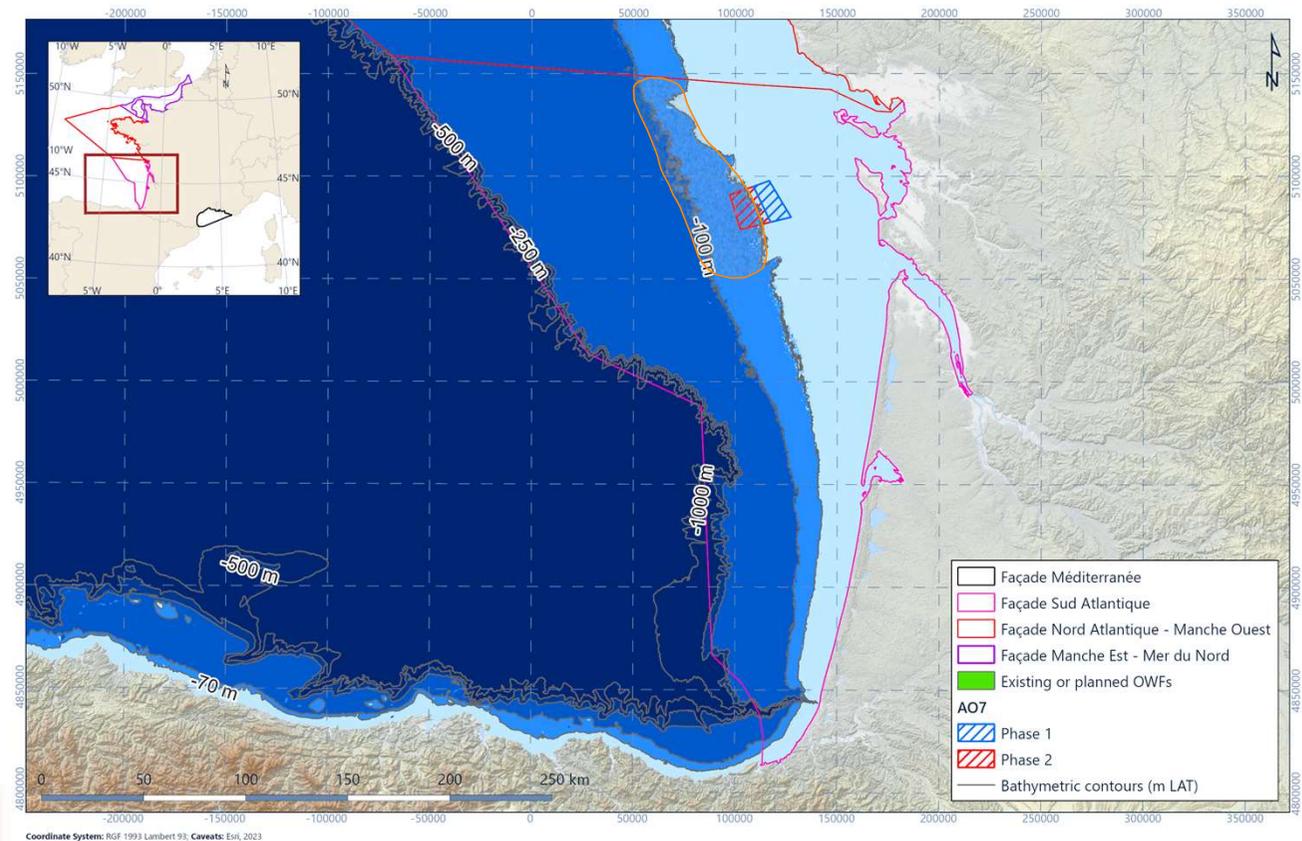
D – Localisations des futurs projets éoliens flottant en France – Façade SA

Bathymétrie assez propice à l'éolien flottant, surtout dans la zone -100 à -250m

Mais vents favorables uniquement dans la partie nord (Lat >45,5°)

Zone favorable Charente: 3000 km²

L'objectif de 2,5-5,5 GW en SA pourrait comporter une part importante en flottant, plutôt dans en partie nord de la façade



Eoliennes flottantes

Le Marché des Eoliennes Flottantes

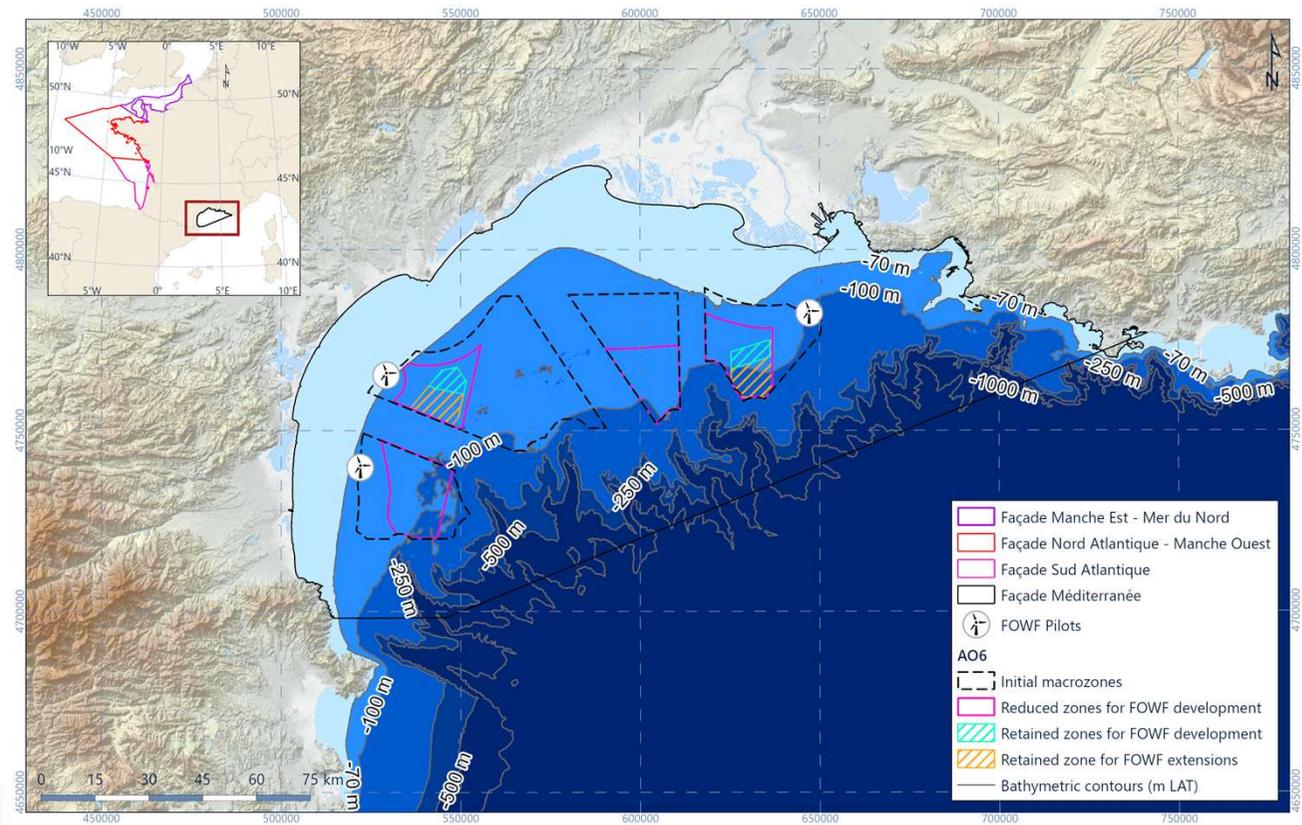
D – Localisations des futurs projets éoliens flottant en France – Façade MED

Bathymétrie assez propice à l'éolien flottant, surtout dans la zone -70 à -100 m

Zonage préalable établi par le gouvernement en préparation de l'AO6

Macrozones: 3400 km²

L'objectif de 3,0-4,5 GW en Méditerranée d'éolien flottant devrait être 100% flottant



Eoliennes flottantes

Le Marché des Eoliennes Flottantes

D – Impacts de la géologie sur les futurs parcs éoliens flottants

Façade	Zone	Géologie	Impacts
NAMO	Bretagne Nord	Faible couverture sédimentaire Substratum Eocène (Lutétien? Calcaires grès,...) proche de la surface. Risque de substratum cristallin	Ancre DEA classiques et ancre à succion non envisageables Ancres pieux forés vraisemblables
NAMO	Bretagne Sud et Vendée	Épaisseurs sédimentaires variables, possiblement < 10 m (surépaisseurs de sédiment si présence de Miocène) Substratum très variable (Paléocène, voire cristallin)	Impacts sur les types d'ancre difficile à établir sans une étude détaillée de site
SA	Charentes	Épaisseurs sédimentaires variables, possiblement < 10 m (surépaisseurs de sédiment si présence de Miocène) Substratum très variable (Eocène à Jurassique)	Impacts sur les types d'ancre difficile à établir sans une étude détaillée de site
MED	Méditerranée (toutes zones)	Sédiments post Messinien Pliocène et Quaternaire sur de grandes épaisseurs. Majoritairement argileux à l'est, sableux à l'ouest. Aléas géologiques possible: shallow gas, beach rocks, sismicité et proximité des canyons	Plusieurs types d'ancre envisageables

Eoliennes flottantes

Le Marché des Eoliennes Flottantes

Conclusion

- ❖ Le marché potentiel éolien flottant (hors DOM TOM) en France pourrait représenter 6 à 10 GW, soit 40 à 65%, des projets à attribuer à l'horizon 10 ans
- ❖ Estimation du nombre de turbines: 400 à 700
- ❖ Estimation du nombre d'ancrages: 1200 à 2100 (hypothèses turbine de 15 MW, 3 ancres par turbine)
- ❖ Nombreux défis technologiques et industriels
- ❖ Nécessité de sécuriser et viabiliser les filières
- ❖ A l'horizon 2050, une majorité des 19,1 GW supplémentaires devrait être flottant
- ❖ Sans oublier les Départements et Territoires d'Outremer !