

## DOMAINE ÉNERGIE

# DÉVELOPPER L'ÉOLIEN EN MER FLOTTANT À GRANDE ÉCHELLE

Développer la production d'électrolyseurs afin d'accroître la production d'hydrogène bas carbone à grande échelle et à faible coût (en dessous de 2€/kg pour les technologies à échelle, déployées à plus de 500 MW de puissance installée)

## 01

L'éolien flottant constitue une solution mature pour la souveraineté énergétique de la France

**La France dispose du 2<sup>ème</sup> gisement européen pour l'éolien en mer**, ce qui constitue un gros potentiel pour le développement de l'éolien flottant.

**L'éolien permet de se soustraire à la volatilité des prix de l'électricité grâce au tarif d'achat garanti** et contribue à fournir des revenus à l'Etat grâce au complément de rémunération (7,6 M € pour l'éolien terrestre sur 2022-2023).

**L'éolien flottant est mature**, mais sa commercialisation repose sur les appels d'offres de l'Etat, qui lui permettront de passer à l'échelle.

**La chaîne de valeur est déjà structurée** et les acteurs français y occupent une place prépondérante, avec une dynamique de réindustrialisation et de développement des ports.

## 03

A ce stade, l'éolien flottant pâtit d'un manque de compétitivité et d'un régime d'autorisations fastidieux

**La filière flottante manque encore de compétitivité par rapport aux autres filières renouvelables, éoliennes et solaires.** La start-up française Eolink a développé un prototype d'éolienne pour adresser cette problématique.

**Le cadre réglementaire**, très rigide au niveau des autorisations administratives, **ralentit fortement l'implémentation des parcs.**

## 02

Cette filière renouvelable se trouve adossée à un marché en forte expansion et incarne un vecteur de réindustrialisation

**L'éolien flottant contribue à l'augmentation de la part de renouvelables dans le mix électrique français mais ne contribue que faiblement sa décarbonation (il est décarboné à 93 %).** Il contribue néanmoins à produire plus d'électricité décarbonée en valeur.

**Le marché est en pleine croissance**, notamment en Europe et à l'international, il va concentrer des investissements massifs et constituer un important bassin d'emplois.

**La technologie est bien maîtrisée en France**, les usines se développent et le recours à des ressources critiques s'avère moindre.

## 04

Une vision précise des futurs parcs, un *permitting* accéléré et le renforcement des capacités industrielles et portuaires permettront à la filière de passer à l'échelle et de réduire ses coûts

**Donner de la visibilité sur les appels d'offres** pour fournir des garanties aux acteurs de la filière

**Renforcer les capacités industrielles et portuaires** pour soutenir la demande en forte croissance

**Réduire les coûts pour s'aligner sur les LCoE** (coût moyen sur la durée de vie de l'énergie produite) des autres filières renouvelables

**Simplifier le *permitting*** (3-4 ans actuellement) pour accélérer l'éclosion des parcs

# L'ÉOLIEN FLOTTANT EST MATURE, MAIS SA COMMERCIALISATION REPOSE SUR LES APPELS D'OFFRES DE L'ÉTAT, QUI LUI PERMETTRONT DE PASSER À L'ÉCHELLE

## Périmètre technologique

**Description :** l'éolien offshore peut prendre deux formes : posé ou flottant. La technologie flottante permet d'installer les éoliennes dans des zones où l'eau est plus profonde (>50 m) donc plus éloignées du rivage, ce qui permet de profiter de vents plus forts et plus réguliers.

### Maturité technologique

- Stade : **Accélération et passage à l'échelle**

Sous-structures de types spar, semi-submersible et barge	TRL 9
Sous-structure de type TLP (Tension Leg Platform)	TRL 8

Voir annexes pour les schémas des typologies de sous-structures.

## ÉTAT DES LIEUX

- Engagement politique :** un engagement stratégique ambitieux qui va devoir se concrétiser par des appels d'offres  
**La PPE fixe un objectif de 2,4 GW de capacité installée en 2023 et 5,2 à 6,2 GW en 2028 pour l'éolien en mer (posé et flottant).** Le Gouvernement a lancé 2 appels d'offres commerciaux pour le flottant : Bretagne Sud pour 250 MW et Méditerranée pour 2 x 250 MW. Un appel d'offres a été annoncé en juillet 2022 pour 2 parcs au large d'Oléron, dont un potentiellement flottant de 1000 MW.
- Acceptabilité :** une technologie suscitant peu de contestations  
**Impact faible sur les paysages car éloigné des côtes;** impact faible sur la biodiversité; impact modéré sur la pêche et le trafic maritime.
- Compétences & savoir-faire :** un vivier de compétences déjà présent sur le territoire  
**L'éolien en mer bénéficie des compétences et de l'expérience acquise par les entreprises de l'Oil & Gas, de la construction navale et de l'aéronautique.** Des passerelles entre divers secteurs d'activité et l'éolien en mer permettent aux entreprises d'y trouver un relais de croissance et de se diversifier.
- Réseau existant de partenaires :** un réseau qui se structure autour de clusters régionaux  
**2 acteurs fédérateurs au niveau national :** France Energie Eolienne et le Cluster Maritime Français et **5 clusters régionaux :** Aquitaine Blue Energies, Bretagne Ocean Power, Neopolia EMR, Normandie Maritime, Wind'Occ.
- Structuration macro de la chaîne de valeur et du territoire :** une filière bien représentée par les acteurs français et des infrastructures portuaires à faire évoluer  
**De nombreux champions français tractent la filière et le maillage industriel se renforce à proximité des zones côtières** (voir Zones d'implantation privilégiées).
- Voies de commercialisation :** le calendrier des appels d'offres doit être précisé à partir de 2024  
**Les appels d'offres lancés par l'Etat français constituent les vecteurs de mise sur le marché des parcs** et pour l'instant seulement 2 ont été officiellement lancés pour le flottant.
- Leviers de déploiement et voies d'industrialisation :** un enjeu fort de passer à l'échelle pour gagner en compétitivité  
**Nécessité de développer plusieurs projets pour gagner en compétitivité** et ainsi faire converger le coût vers celui de l'éolien en mer posé.

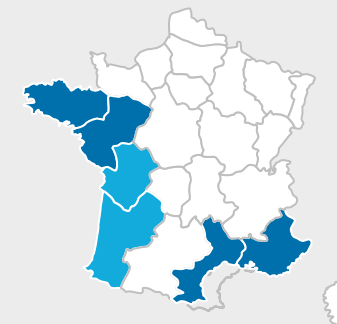
### Niveau de déploiement en France

**4 fermes pilotes mises en service en 2022-2023, pour une capacité totale de 120 MW.**

*N.B. Capacité installée éolien en mer posé pour mise en service d'ici 2028 : 3,6 GW.*

### Zones d'implantation privilégiées

Avec 3 500 km de côtes, la France métropolitaine dispose du 2ème gisement éolien en mer d'Europe, derrière le Royaume-Uni.



■ Zones concernées par les AO flottants  
■ Zones non liées aux AO 5-6 flottants mais à potentiel

*N.B. DROM COM au stade de quantification du potentiel, planification des AO en attente du REX de la Métropole*

# LA CHAÎNE DE VALEUR EST DÉJÀ STRUCTURÉE ET LES ACTEURS FRANÇAIS Y OCCUPENT UNE PLACE PRÉPONDÉRANTE, AVEC UNE DYNAMIQUE DE RÉINDUSTRIALISATION ET DE DÉVELOPPEMENT DES PORTS

## ÉVALUATION DE L'ÉCOSYSTÈME

- **Les acteurs de la recherche jouent un rôle crucial** pour permettre l'optimisation des coûts et l'excellence opérationnelle de l'éolien flottant.
- **Le tissu industriel se renforce**, dans la veine des 3 usines de pales et nacelles : Siemens Gamesa au Havre, LM Wind Power à Cherbourg et General Electric à Saint Nazaire.
- **Les développeurs-exploitants français cherchent à gagner en compétitivité**, afin de remporter les AO français et de rayonner à l'international.
- **Les ports** sont en pleine transformation et nécessitent un accompagnement dans leurs investissements et dans les travaux d'évolution de leurs infrastructures.

Organismes de recherche et de formation	Prestataires et fournisseurs de la chaîne de valeur	Développeurs-Exploitants	Acteurs institutionnels, organismes publics, collectivités territoriales et gestionnaires de port
<p><b>Les sujets de recherche</b> portent sur les axes d'optimisation, notamment des flotteurs, des ancrages, et des câbles CCHT, dans une optique de réduction des coûts.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Écoles d'ingénieurs, dont les Écoles Centrale de Nantes et de Marseille</li> <li>• Universités (Nantes, notamment)</li> <li>• Laboratoires</li> <li>• IRT Jules Verne</li> <li>• Institut France Energies Marines</li> </ul>	<p><b>La France compte déjà de nombreux acteurs de premier plan, leaders sur le plan européen.</b> La pérennisation de cette tendance passe par la réindustrialisation des territoires, dans une logique de proximité des activités avec les zones d'implantation privilégiées des parcs.</p> <p><b>Leaders internationaux impliqués sur les parcs français :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Études</b> : BRL ingénierie (FR), Fugro (FR)</li> <li>• <b>Turbines (dont Nacelles, Pales et Sections de mats)</b> : GE Renewable Energy (FR), Vestas (DK) et Siemens Gamesa (ES)</li> <li>• <b>Flotteurs</b> : Dilinger (FR/DE), BW Ideol (NO-FR), Eiffage Smulders (FR), Navantia (ES), Asm Industries (PT)</li> <li>• <b>Systèmes d'ancrage</b> : Eiffage (FR), FMGC (FR)</li> <li>• <b>Câbles</b> : Nexans (FR), JDR (UK), Prysmian (IT); Orange Marine (FR) pour leur installation</li> <li>• <b>Sous-stations électriques</b> : Chantiers de l'Atlantique (FR)</li> <li>• <b>Logistique</b> : Foselev (FR), Idea Logistique (FR); Louis Dreyfus Armateur (FR)</li> <li>• <b>Installation et travaux en mer</b> : Bourbon (FR), DEME (BE), Saipem (IT), Van Oord (NL), Jan De Nul (BE)</li> <li>• <b>Exploitation et maintenance</b> : VALEMO (FR), Cornis (FR)</li> <li>• <b>PME/ETI FR à renommée internationale</b> : Rollix Defontaine pour les couronnes d'orientation et Ferry-Capitain pour la fonderie</li> <li>• <b>Start-up FR</b> : Eolink, membre de la French Tech, visant à réduire le coût de production avec un LCoE cible de 35 €/MWh en 2030</li> </ul>	<p><b>La concurrence est forte au niveau européen</b>, avec un enjeu de se positionner sur les premiers AO. Les développeurs-exploitants jouent directement le rôle d'investisseurs.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Principaux acteurs répondant aux AO sur le territoire FR</b> : EDF Renouvelables (FR), Ocean Winds (FR-ES), TotalEnergies Renewables (FR), Iberdrola (ES), RWE (DE), Vattenfall (SE), etc.</li> <li>• <b>PEM/ETI FR à renommée internationale</b> : Eolfi racheté par Shell (EN) en 2019 et Qair</li> <li>• <b>Start-up FR</b> : Lhyfe pour stockage d'électricité issue de l'éolien en mer (dont flottant) sous forme d'H2, en partenariat avec les Chantiers de l'Atlantique</li> </ul>	<p><b>Les ports</b> font face au défi d'adapter leurs infrastructures pour permettre le déploiement des projets.</p> <p><b>Le maillage territorial</b> des clusters est déjà en place.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Ports</b> : Brest, SEMOP Port-la-Nouvelle, Saint Nazaire, etc.</li> <li>• <b>Fédérations et clusters</b> : France Energie Eolienne, Cluster Maritime Français, Syndicat des Energies Renouvelables, Pôles mer (Méditerranée et Bretagne-Atlantique) et 5 clusters régionaux (Aquitaine Blue Energies, Bretagne Ocean Power, Neopolia EMR, Normandie Maritime, Wind'Occ)</li> <li>• ADEME</li> </ul>

### Ferme pilote - EolMed

Parties prenantes	Qair développeur, TotalEnergies co-développeur, Vestas pour les turbines, BW Ideol pour les fondations
Localisation	Port-la-Nouvelle (Aude)
Jalons	Décision finale d'investissement le 09/05/22, démarrage des travaux en automne 2022, mise en service prévue mi-2024
Chiffres clés	30 MW (3 éoliennes) de capacité, 110 GWh de production annuelle prévue
Sources de financement	BEI, Banque Postale, BPCE Energieco et BPI France en tant que prêteurs; Natix et la Banque Postale en banque de couverture; Eolmed est soutenu dans le cadre du Programme d'Investissements d'Avenir (PIA) opéré par l'ADEME

### Appel d'offres 5 – Bretagne Sud

Parties prenantes	10 candidats présélectionnés
Localisation	Au large de Groix et de Belle-île-en-mer (Bretagne Sud)
Jalons	Dialogue concurrentiel entre octobre 2021 et juin 2022, désignation du lauréat début 2023
Chiffres clés	250 MW (15 à 20 éoliennes), 50 km <sup>2</sup> , entre 600 et 700 millions d'euros d'investissements (hors raccordement)
Sources de financement	Par les développeurs, avec une part de fonds propres d'au moins 20% du montant de l'investissement

## EVALUATION DU POTENTIEL FRANÇAIS

**Positionnement de la France : la France a une carte à jouer pour compter parmi les leaders, à la fois sur son territoire et à l'étranger**

Leaders du marché en 2030 : Europe (47% de la capacité installée) avec Norvège, France, Royaume-Uni et Irlande / Asie (45% de la capacité installée) avec Corée du Sud, Japon et Chine.

En France, l'ADEME estime le potentiel exploitable de l'éolien flottant à 33 GW à horizon 2028, en tenant compte des autres usagers de la mer.

**Potentiel de décarbonation :** la contribution de l'éolien flottant est limitée, étant donné que le mix électrique français est décarboné à 93%

**Émissions de CO2 évitées :**

- 14,8 gCO<sub>2</sub>/kWh pour un parc éolien en mer posé, à comparer au taux d'émissions moyen du mix électrique français de 51,1 gCO<sub>2</sub>/kWh
- Prévisions 2030 : 0,2 Mt CO<sub>2</sub> évitées (*analyse Capgemini*)

**Potentiel de création de valeur :** l'éolien flottant représente un marché d'avenir et constitue un vivier d'emplois conséquent

**PIB - valeur du marché généré :**

- Chiffres 2021 : 76 millions d'euros de CA (vs 52 en 2020) et 164 millions d'euros d'investissements (vs 85 en 2020)
- Prévisions 2030 : 215 millions d'euros de CA et 430 millions d'euros d'investissements (*analyse Capgemini*)

**Emplois générés :**

- Chiffres 2021 : 230 ETP (vs 163 en 2020)
- Prévisions 2030 : 6450 ETP dans la construction et 3220 ETP dans l'exploitation (*analyse Capgemini*)

**Potentiel d'accroissement de la souveraineté énergétique et industrielle de la France :** les composants majeurs de l'éolien flottant ne représentent pas des ressources critiques et la forte recyclabilité en fait une technologie de souveraineté

**Criticité des ressources majeures :**



Ressource	Criticité	Problématique (si criticité forte ou modérée)
Terres rares	●	extraction à 60% et première transformation à 80% par la Chine (mais faible dépendance de la filière éolienne)
Cuivre	●	extraction à 30% par le Chili et première transformation à 40% par la Chine
Aluminium	●	extraction à 30% par l'Australie et première transformation à 55% par la Chine
Nickel	●	
Graphite	●	
Béton	●	

**Potentiel de circularité :**

- Aujourd'hui, 90% de la masse totale d'une éolienne est recyclable**, étant composée à 90% d'acier et de béton. À partir du 01/01/2024, tout parc en fin d'exploitation devra recycler 95 % de la masse totale, tout ou partie des fondations incluses, devra être réutilisable ou recyclable.
- Recyclage :** extraction des métaux et parties métalliques pour recréer des matières premières pour l'Industrie ou le Bâtiment. Plusieurs constructeurs d'éoliennes européens ont annoncé la mise sur le marché de pales 100% recyclables dès 2022.
- Valorisation :** broyage des matériaux composites comme combustibles ou composants de nouveaux matériaux composites.

**Provenance de la technologie :** 6 composants présentent une opportunité stratégique pour faire de la France un leader de la filière : Nacelles, Pales, Flotteurs, Systèmes d'ancrage, Câbles sous-marins et Sous-stations électriques.

# UNE AMBITION FORTE S'APPUYANT SUR DES FINANCEMENTS IMPORTANTS, MAIS FREINÉE PAR UN MANQUE DE COMPÉTITIVITÉ DE LA FILIÈRE ET UN CADRE RÉGLEMENTAIRE TROP RIGIDE

## Cadre public de déploiement

### Engagement politique : un engagement fort pour l'éolien en mer, mais qui manque de cibles spécifiques au flottant

- Accord récent sur RED III dans le cadre de Fit for 55 : 300 GW d'éolien en mer (posé et flottant) en 2050
- PPE : 2,4 GW de capacité installée en 2023 et 5,2 à 6,2 GW en 2028 pour l'éolien en mer
- Signature du Pacte éolien en mer le 14/03/22 : l'Etat français se fixe un

objectif d'attribution de 20 GW d'ici à 2030 pour une cible de 18 GW en service en 2035 et de 40 GW en 2050. La filière s'engage à quadrupler le nombre d'emplois directs et indirects (i.e. à 20 000 ETP) liés à l'éolien en mer d'ici 2035, à engager plus de 40 milliards d'euros d'investissement au cours des 15 prochaines années et à atteindre un contenu local à hauteur de 50 % sur les projets.

### Dispositifs de financement : un soutien national d'envergure par le biais de France 2030 et des AMI et AAP qui en découlent

- **France 2030** : 300 millions d'euros dédiés au soutien de l'industrie de l'éolien flottant
- **2 AMI du gouvernement** lancés 2022 dans le cadre de France 2030 :
  - Développement des infrastructures portuaires métropolitaines pour l'éolien flottant
  - Développement de la filière industrielle de l'éolien flottant
- **3 AAP de l'ADEME** lancés en 2022 dans le cadre de France 2030 :
  - PME Innovations
  - Briques technologiques et démonstrateurs pré-industriels
  - Aide à l'investissement de l'offre industrielle des EnR
- **Raccordements des parcs réalisés par RTE** et financés par le TURPE.

### Cadre législatif et réglementaire : un cadre à assouplir pour favoriser l'émergence rapide des parcs

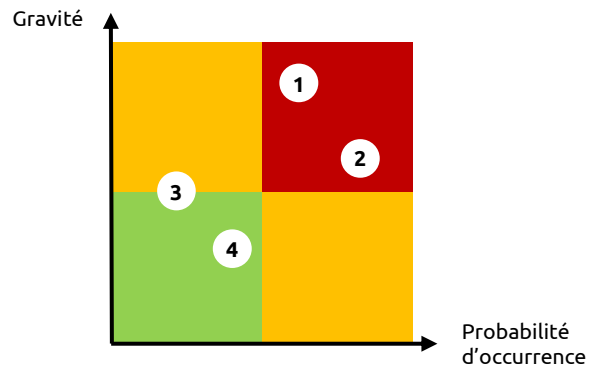
- **Permitting** : 1 an et demi pour phase de débat public et 2-3 ans pour phase d'autorisations administratives
- **Loi ESSOC** du 10/08/2018 : les projets d'énergies renouvelables en mer et leur raccordement font l'objet d'une procédure de participation du public organisée avant la désignation du développeur éolien.
- **Singularité propre à l'éolien flottant** : les zones d'implantation des parcs pourraient se situer à cheval entre le Domaine Public Maritime (DPM) et la Zone Économique Exclusive (ZEE). Ce phénomène peut engendrer une complexité de la coordination des procédures administratives et des autorisations, et mérite une clarification juridique.
- **La loi d'accélération des énergies renouvelables** de fin 2022 fournit une opportunité de traiter le sujet du *permitting*.

## Barrières au déploiement

	Faible	Forte	
Approvisionnement (matériaux et technologie)			<b>Composants majoritaires issus de ressources non critiques</b> et technologies bien maîtrisées en France.
Capacité de développement et infrastructures			<b>Développement industriel fort</b> , grâce aux acteurs français présents historiquement et à l'ouverture d'usines dédiées à l'éolien en mer. <b>Le défi de mise à niveau des infrastructures portuaires</b> a été identifié et est en cours de traitement par les principaux ports concernés.
Compétences			<b>Compétences déjà présentes</b> au sein des autres filières éoliennes et dans les domaines maritime et industriel. La réalisation des projets pilotes permet de former et d'attirer des sous-traitants issus d'autres filières capables d'investir et de se déployer sur l'éolien flottant. <b>Des tensions sur les ressources existent néanmoins</b> et risquent de s'accroître.
Économiques			<b>Enjeu fort de compétitivité de la filière</b> : LCoE encore élevé par rapport aux autres technologies, avec estimation pour 2030 de l'ADEME : 100 €/ MWh.
Financières			<b>De nombreux développeurs se positionnent sur les appels d'offres. Les mécanismes de soutien de la filière sont multiples.</b> Le financement des projets flottants restera plus cher que les projets posés car plus risqué (en cause la maturité de la technologie plus faible que l'éolien posé), mais bénéficie tout de même de la garantie d'un site et d'un tarif de rachat fixes.
Acceptabilité			<b>Acceptabilité plus grande que l'éolien terrestre.</b> Travaux préalables de zonage, d'étude de site, de planification et de débat public désormais réalisés avant le lancement de l'AO, permettant la diminution des contestations.
Législatives et réglementaires			<b>Besoin d'assouplissement des cadres législatif et réglementaire grâce au retour d'expérience des projets d'éolien en mer posé</b> : retards dans les procédures préalables aux travaux, complexité des bouclages contractuels et des recours contentieux.

# RISQUES ET RECOMMANDATIONS

## Cartographie des risques majeurs



## Recommandations et leviers (publics / privés) à mettre en œuvre

### Infrastructures et approvisionnement

- Réindustrialiser les composants stratégiques non acquis : flotteurs, systèmes d'ancrages et câbles sous-marins.
- Adapter les infrastructures portuaires.

### Commandes publiques

- Concrétiser les objectifs du Pacte éolien en mer et planifier d'ici à 2024 les appels d'offres de l'Etat pour des horizons de temps jusqu'à 2033 (PPE), afin de donner de la visibilité à la filière sur les volumes projetés, la localisation des futurs parcs et l'échéancier dans la durée de leurs attributions.
- Préparer les réseaux électriques à une plus grande flexibilité de l'offre et prévoir des dispositifs de stockage de l'électricité complémentaires à l'offre existante, dans la Métropole et les Zones Non Interconnectées (ZNI).

### Programmes de recherche et d'innovation

- Faire foisonner les innovations technologiques pour réduire les coûts grâce à des réglages et un fonctionnement optimaux, en mettant l'accent sur les spécificités du flottant : couplage entre l'éolienne et le flotteur, systèmes d'ancrage et fondations, coexistence des usages.

### Industrialisation et structuration de la filière

- Augmenter la taille des projets pour améliorer la compétitivité de la filière.
- Soutenir les projets permettant de renforcer les capacités industrielles françaises dédiées à l'éolien offshore et de développer les compétences clés pour garantir l'autonomie stratégique.

- Encourager la cohabitation entre plusieurs types de mécanismes (dont contrats avec l'Etat et *corporate PPA*), quitte à partager la production des parcs entre l'injection sur le réseau public et les usages privés (ex : production d'hydrogène).

### Financements & investissements

- Orienter les investissements publics vers les ports, étant donné la forte appétence des développeurs à mobiliser des investissements privés pour financer les parcs.
- Favoriser les modèles de partenariat public-privé, sur le modèle de la SEMOP Port-la-Nouvelle, en intégrant les nouveaux usages dont la production d'hydrogène.

### Capital-risque

- Encourager le recours au capital-risque par des acteurs français, pour conserver les pépites françaises, afin d'éviter des cas comme celui d'Ideol racheté par un groupe norvégien.

### Réglementation

- Simplifier et accélérer le processus de *permitting*:
  - En passant d'un débat public par projet à un débat par façade maritime valable 10 ans
  - En renforçant le volume de ressources des services de RH des services en charge des autorisations administratives et des missions de l'Etat (au sens de la loi ESSOC et de la planification maritime).

1. Indécisions et retards sur la planification des appels d'offres
2. Lenteur des phases d'études et de concertations et complexité des régimes d'autorisations
3. Insuffisance de développement du tissu industriel et des infrastructures portuaires
4. Incapacité de la technologie à atteindre une compétitivité suffisante par rapport aux autres filières

## Rapports

- Observatoire de l'Eolien par FEE et Capgemini
- Observatoire des Energies de la mer par CMF
- La SNBC sous contrainte de ressources par INEC et Capgemini

## Sources détaillées

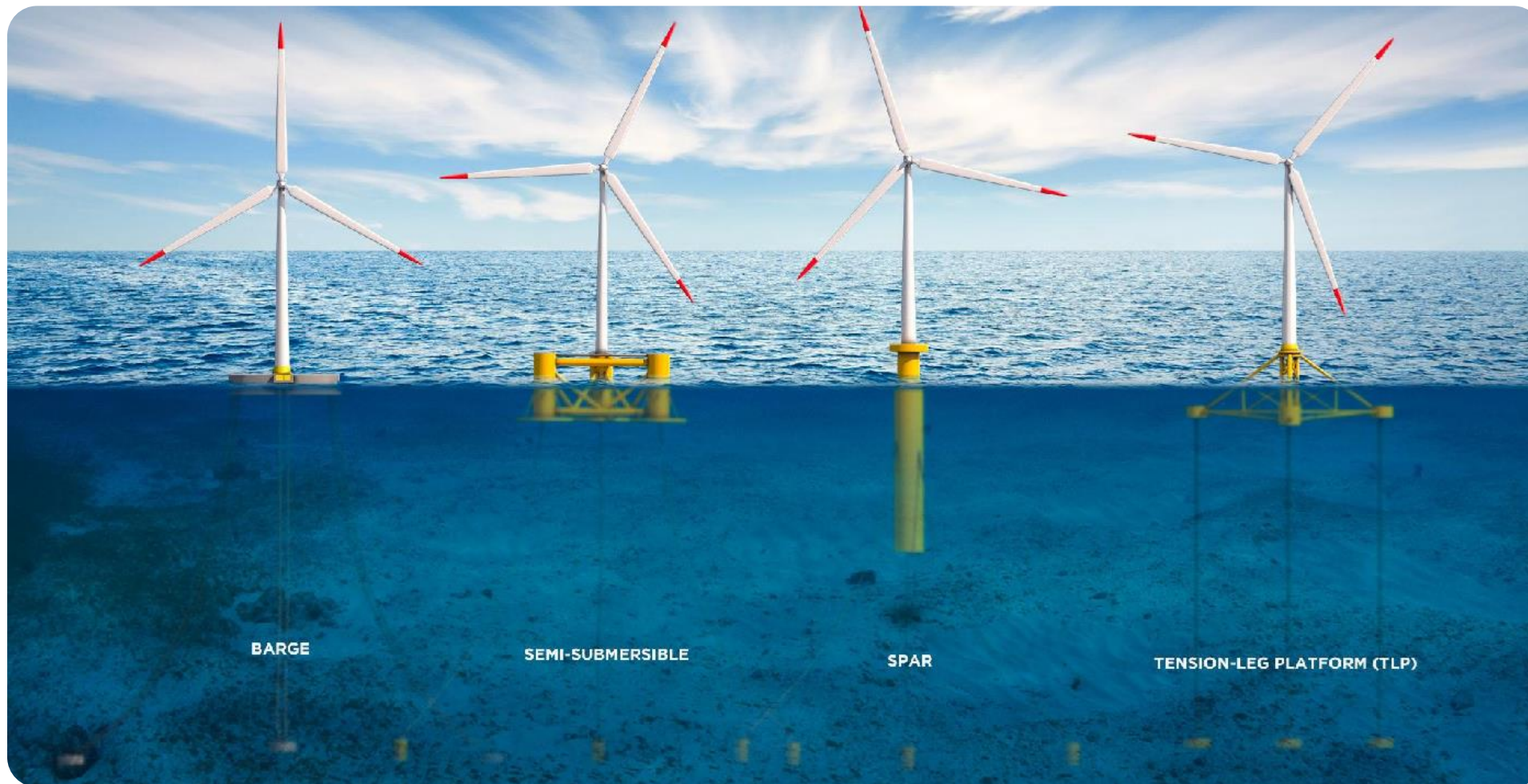
- France Energie Eolienne (FEE)
- Cluster Maritime Français (CMF)
- Syndicat des Energies Renouvelables (SER)
- WindEurope
- Global Wind Energy Council (GWEC)
- Secrétariat d'Etat en charge de la Mer
- Agence De l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME)
- Secrétariat Général pour l'Investissement (SGPI)
- European Environment Agency (EEA)

## Interviews

- Matthieu Monnier - Adjoint au Délégué général - France Energie Eolienne (FEE)
- David Bronsard - Business developer - Eolink



# ANNEXE – LES TYPES DE SOUS-STRUCTURES FLOTTANTES



*Crédits : Observatoire des Energies de la Mer*