



# L'éolien en mer

## Focus sur le projet au large de Dunkerque

EIL Côte d'Opale  
*22 novembre, Dunkerque*

# SOMMAIRE



**01**

## L'éolien en mer en Europe et en France

L'éolien en mer en Europe où en est-on ?

Cadre législatif français en faveur de la diversification du mix énergétique

Pourquoi développer l'éolien en mer en France ?

Aujourd'hui, en France où en est-on ?

**02**

## Technologies de l'éolien en mer

Fonctionnement d'un parc éolien en mer

Infrastructures maritimes

**03**

## Les grandes étapes pour développer un projet éolien en mer

**04**

## Cas d'étude : le parc éolien en mer de Dunkerque



PARTIE

1

# L'éolien en mer en Europe et en France

# 1. L'éolien en mer en Europe

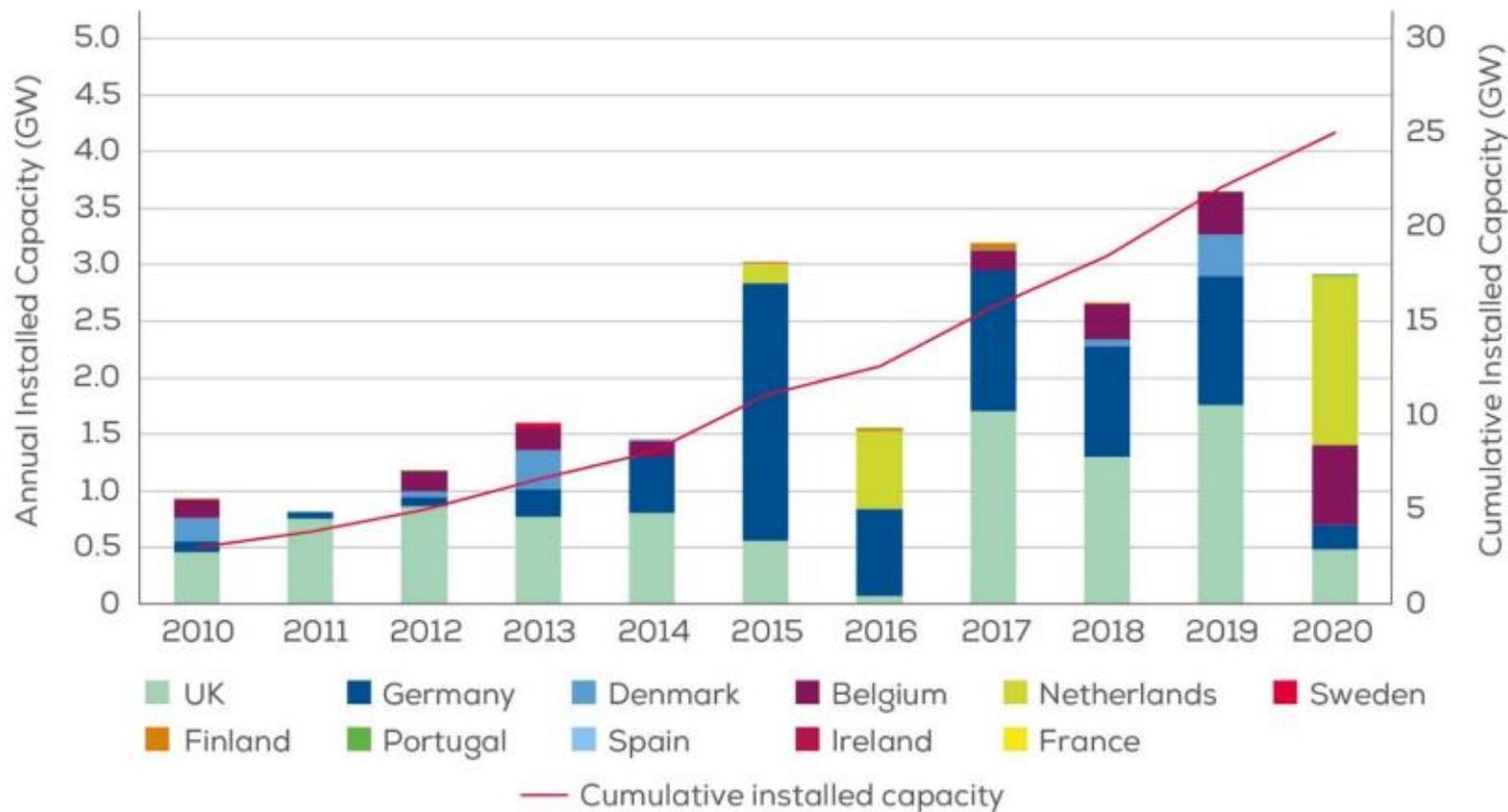
# L'éolien en mer en Europe

1<sup>er</sup> parc au Danemark 1991 - 2017

Développement x 28



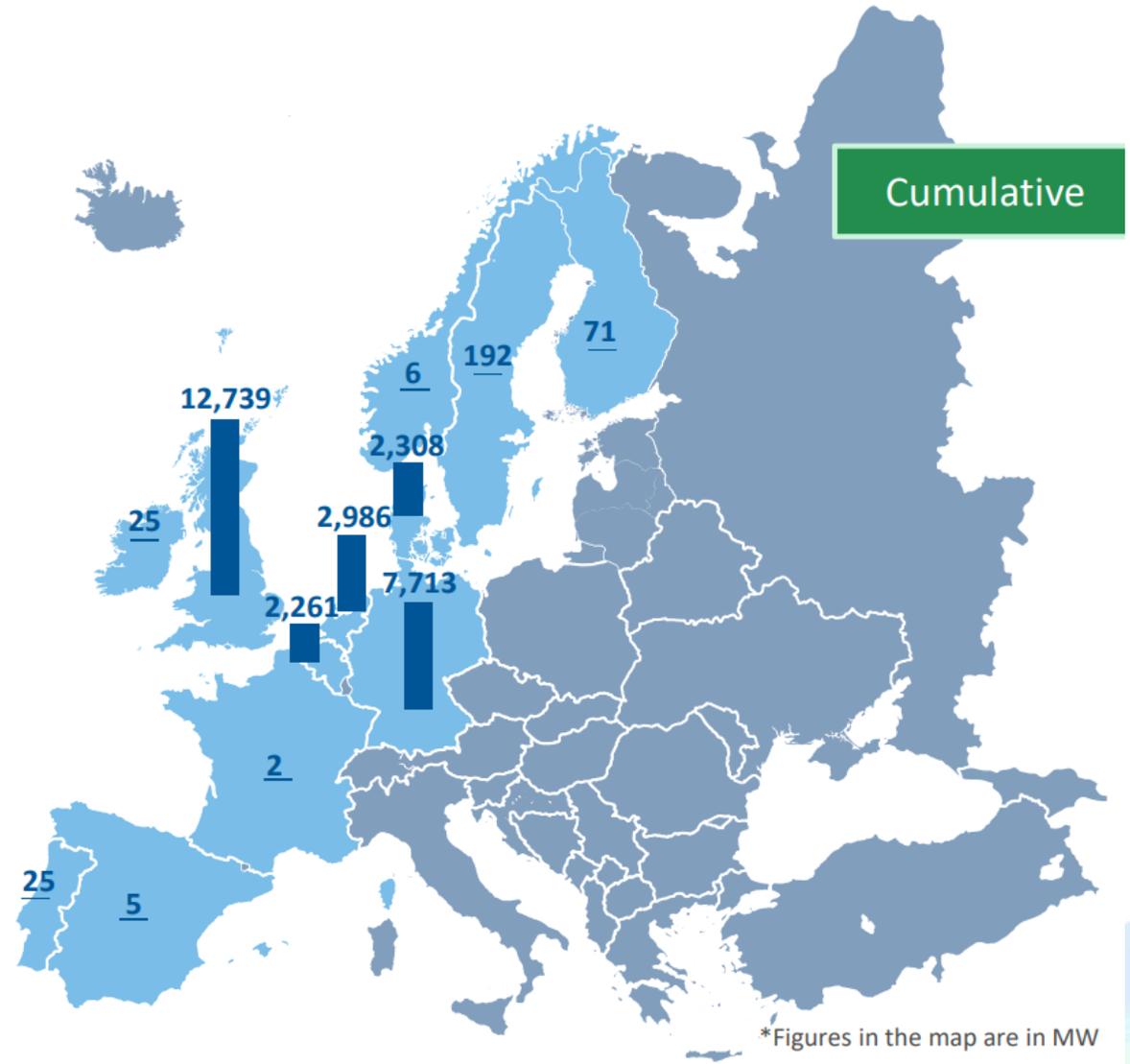
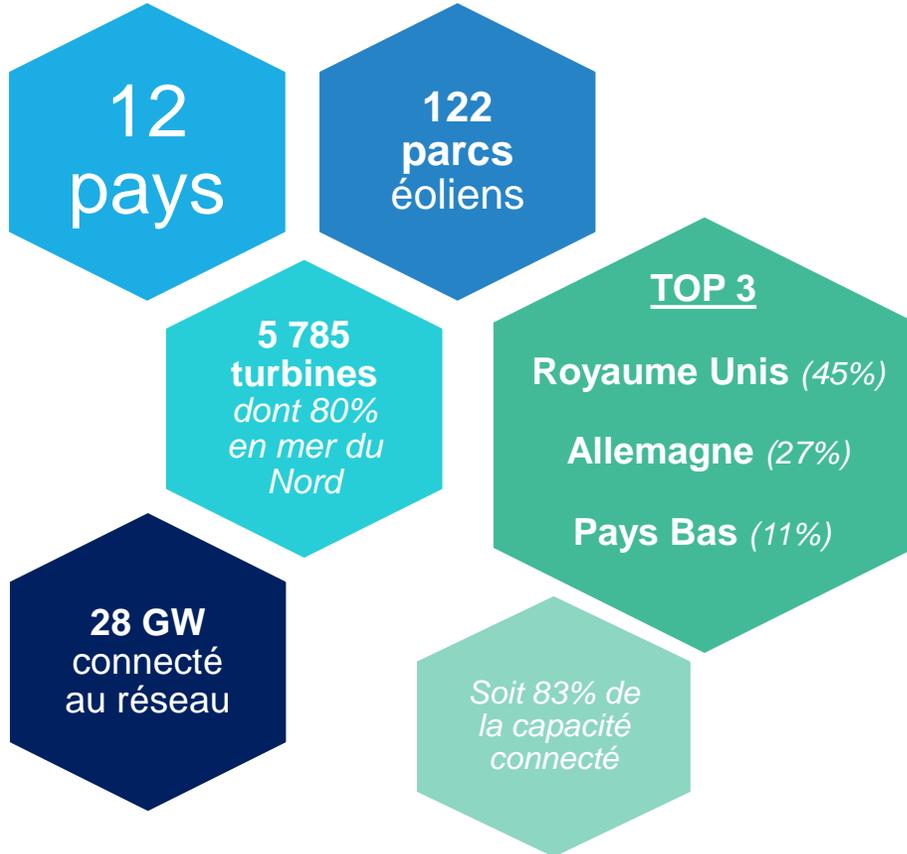
Installation et déconstruction du parc de Vindeby



Source : WindEurope

# L'éolien en mer en Europe

Données de 2021



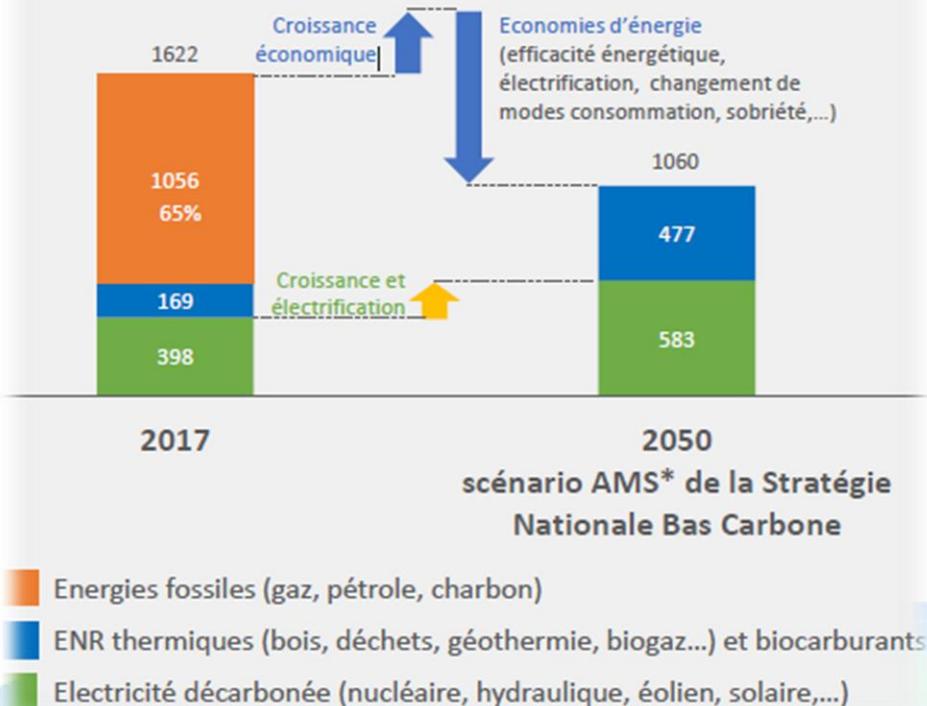
## 2. L'éolien en mer en France

# Stratégie bas carbone pour lutter contre le changement climatique

Réduction des émissions de gaz à effet de serre jusqu'à 2050 et fixe des objectifs

- atteindre la neutralité carbone à l'horizon 2050 (émissions nationales) ;
- réduire l'empreinte carbone de la consommation des Français (émissions à l'étranger).

Evolution de la consommation d'énergie finale en France entre 2017 et 2050 (TWh)



Les orientations de la SNBC relatives à la production d'énergie :

- **décarboner et diversifier le mix énergétique notamment via le développement des énergies renouvelables ;**
- maîtriser la demande via l'efficacité énergétique et la sobriété et lisser la courbe de demande électrique en atténuant les pointes de consommation saisonnières et journalières ;
- préciser les options pour mieux éclairer les choix structurants de long terme, notamment le devenir des réseaux de gaz et de chaleur.

# Cadre législatif français en faveur de la diversification du mix énergétique

## Loi du 17 août 2015 relative à la transition énergétique pour la croissance verte (LTECV)

Fixe le cadre politique de l'énergie

Objectif : **33% de la consommation électrique d'origine renouvelable** d'ici 2030, et 40% pour la production d'électricité

## Programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE)

Élaborée par le ministère de la Transition écologique et solidaire

Outil de pilotage de la politique énergétique et définit les priorités d'action du Gouvernement en matière d'énergie pour les 10 années à venir afin d'atteindre les objectifs de cette loi

Capacité de **production éolienne en mer installée** comprise entre **5 200 et 6 200 MW en 2028**

## Pacte éolien en mer

a été signé entre l'Etat et la filière des énergies renouvelables en mars 2022 pour accélérer le développement de l'éolien en mer et atteindre **40 GW en 2050**



# Pourquoi développer de l'éolien en mer en France ?

1

Une technologie faiblement émettrice en CO2

Bilan carbone éolien en mer en moyenne de 16 g CO2 eq/KWh

2

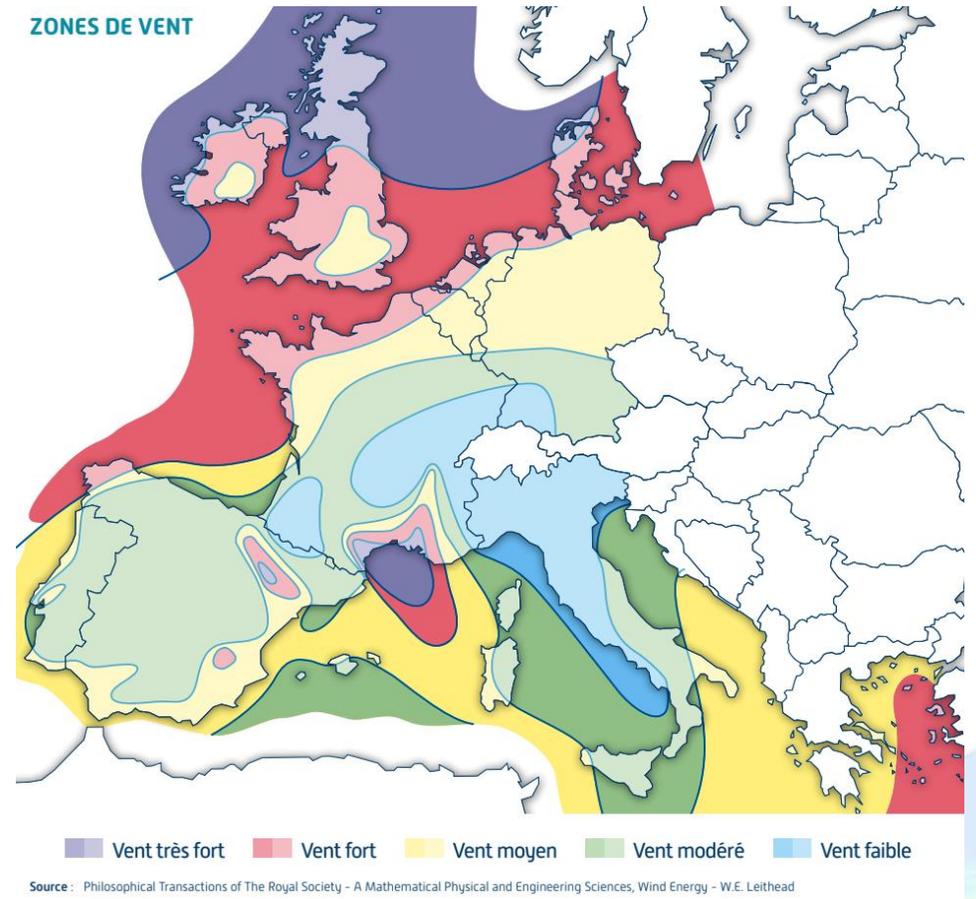
Une énergie avec un gisement important

France possède le 2ème plus important potentiel en Europe

3

Une meilleure productivité qu'à terre

- vent plus fort et plus régulier
- Eoliennes plus grandes et plus puissantes



# Pourquoi développer de l'éolien en mer en France ?

## Les principales filières de production d'électricité renouvelable : coûts

	Coûts de production actuels en €/MWh (notamment observés lors des procédures de mise en concurrence)
Solaire Photovoltaïque au sol	40-70
Solaire Photovoltaïque sur toiture	80-130
Éolien terrestre	60 – 70
Éolien en mer	40-80 (éolien posé) 120-150 (éolien flottant)*
Hydroélectricité	30 – 160 en fonction de la taille
Hydrolien	>200
Géothermie profonde	>200
Biomasse	100-150
Biogaz	120-145 (STEP**, ISDND***) 180 -190 (agriculture)

\* Les coûts de l'éolien en mer sont en forte diminution. En ce qui concerne l'éolien flottant, cette technologie atteint le stade commercial et un consensus se dégage sur une convergence des tarifs vers ceux de l'éolien posé d'ici une dizaine d'années.

\*\* Station de transfert d'énergie par pompage

\*\*\* Installation de stockage de déchets non dangereux

Source : ministère de la Transition écologique et solidaire

4

Une  
technologie  
toujours plus  
compétitive

Des coûts en forte  
diminution depuis  
10 ans

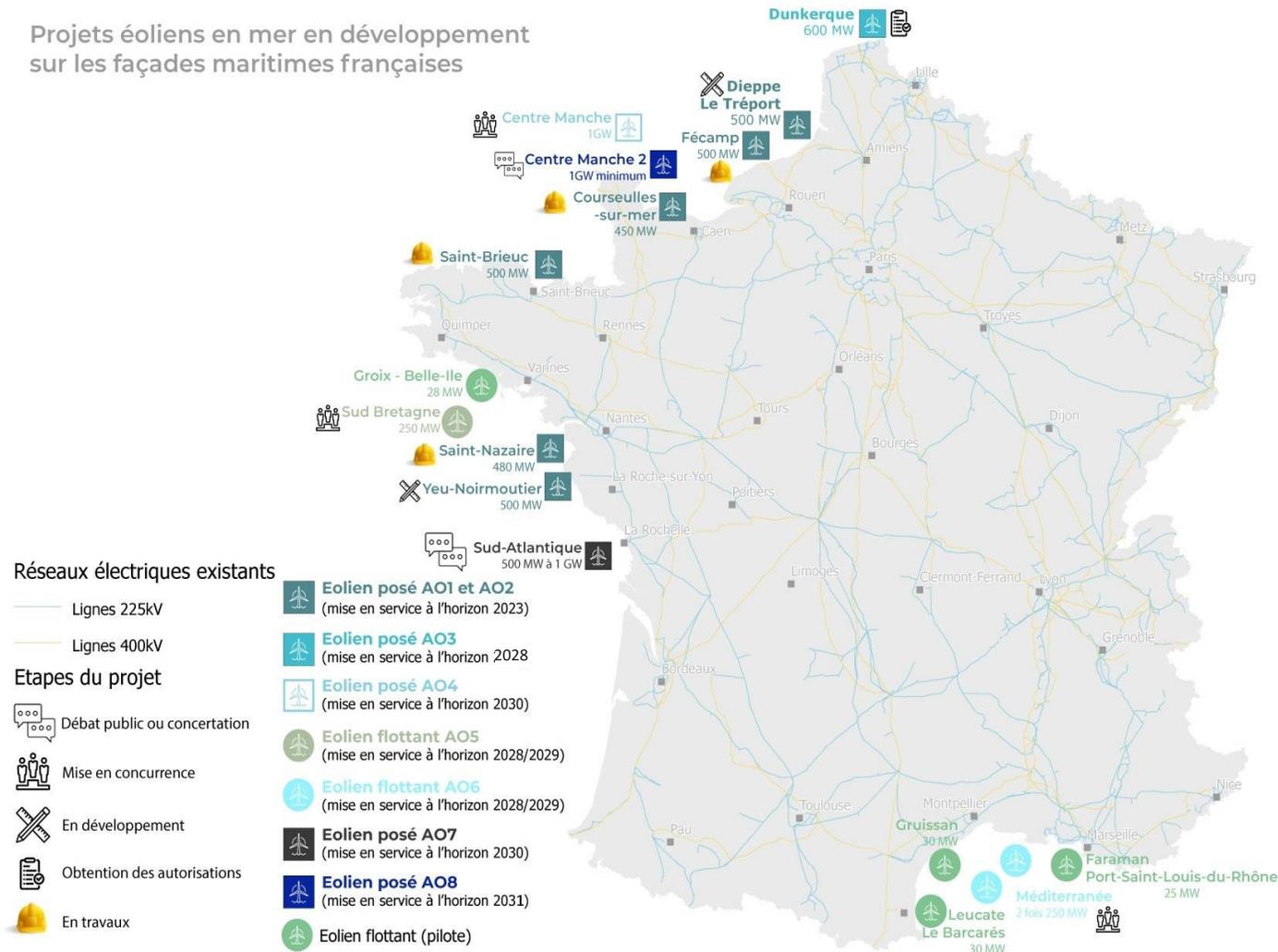
5

Une nouvelle  
filiale  
industrielle

6500 emplois en  
2021 dans les  
énergies marines  
renouvelables

# Aujourd'hui, en France où en est-on ?

Projets éoliens en mer en développement sur les façades maritimes françaises



17 parcs éoliens issus d'un appel d'offre dont :

- 7 parcs déjà attribués (3 530 MW)
- 4 fermes pilotes flottantes attribuées



**Eoliennes en mer en France**

## Parc éolien en mer de Saint Nazaire 1<sup>er</sup> en France

Mise en service au 4<sup>ème</sup> trimestre 2022





PARTIE

# 2

## Technologies des parcs éoliens en mer

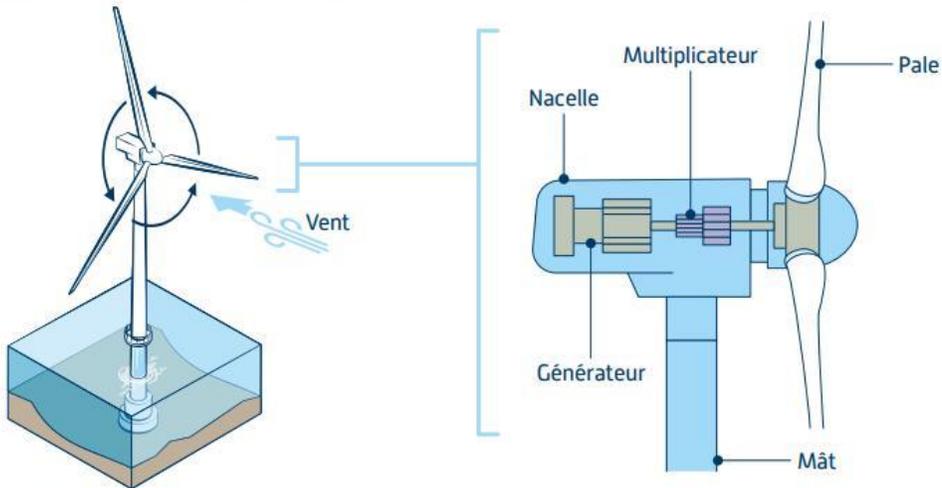
# Fonctionnement d'un parc éolien en mer

Même principe en mer qu'à terre

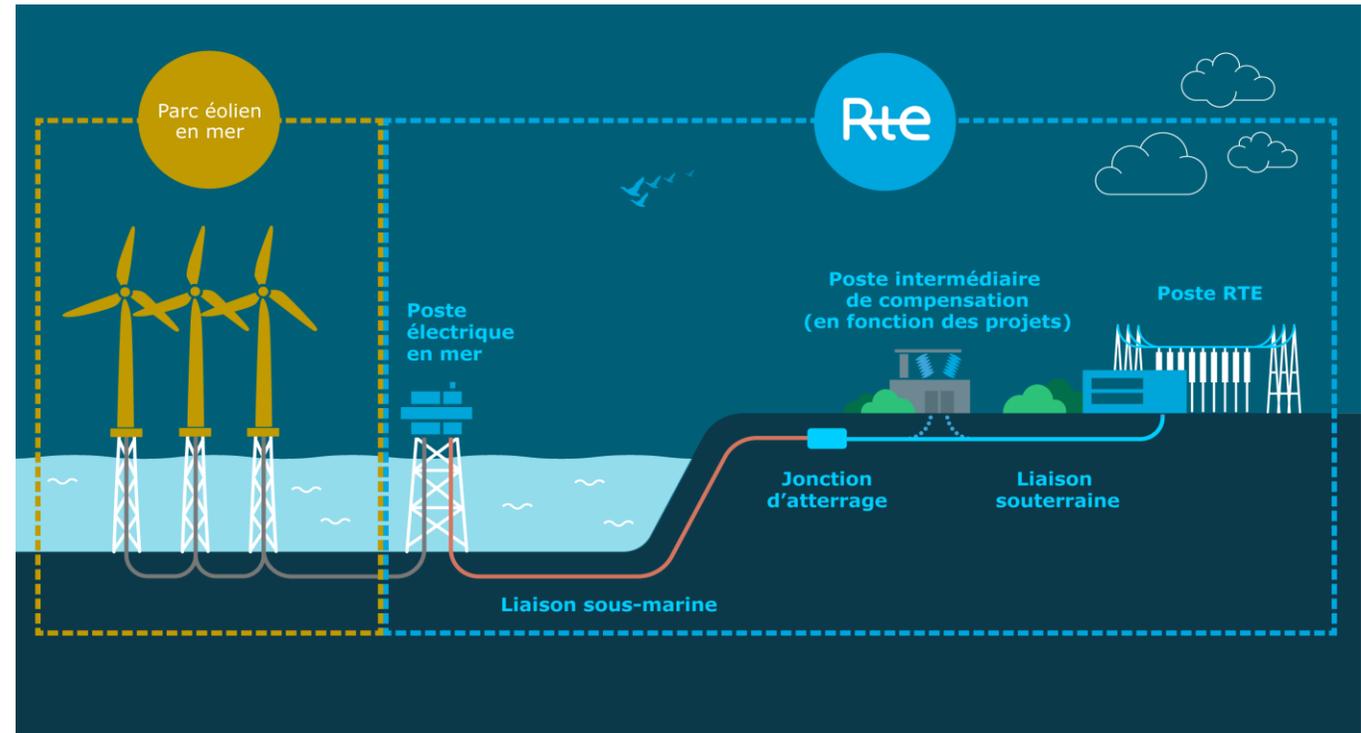
Plage de fonctionnement pour des vents **entre 10 km/h et 90 km/h.**

**Mise à profit du vent marin, plus fort et régulier.**

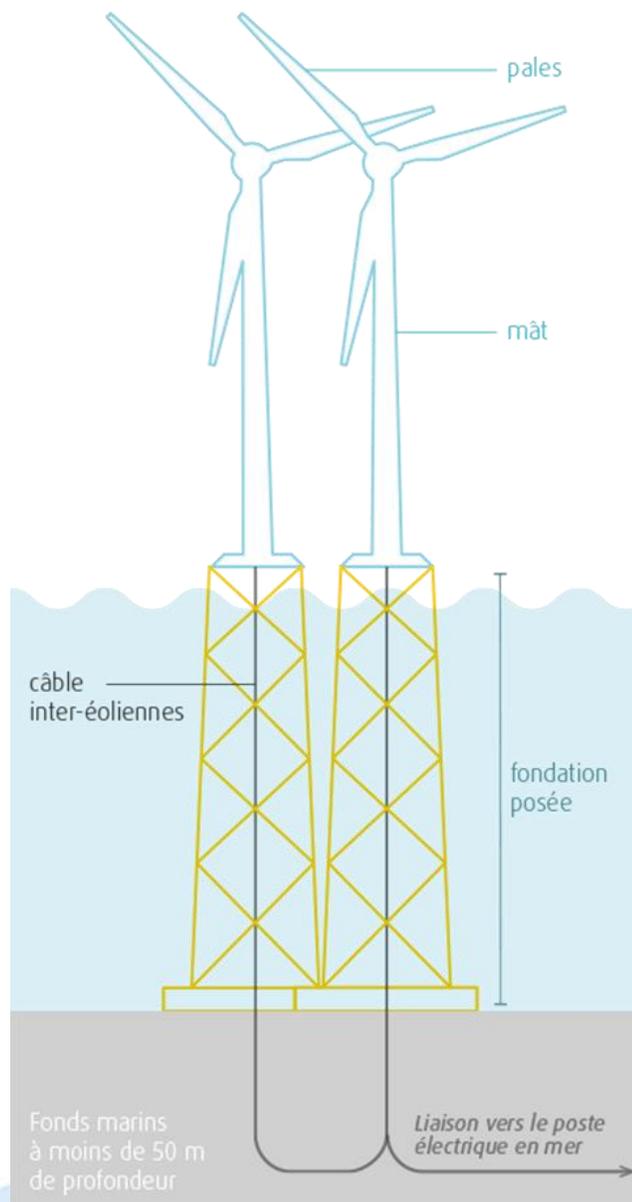
SCHÉMA DE PRINCIPE D'UNE ÉOLIENNE EN MER



Source : EMD

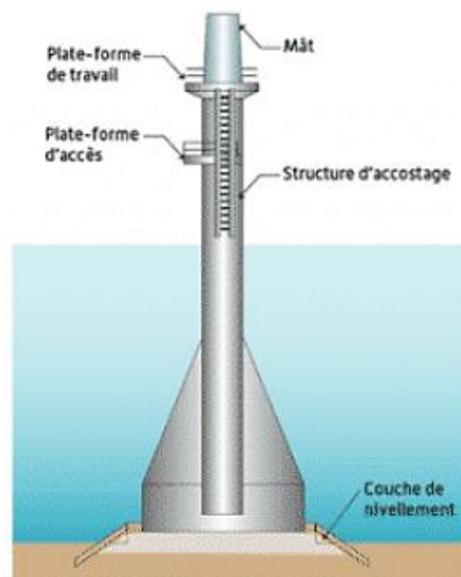


# Infrastructures maritimes d'un parc éolien – Les fondations posées

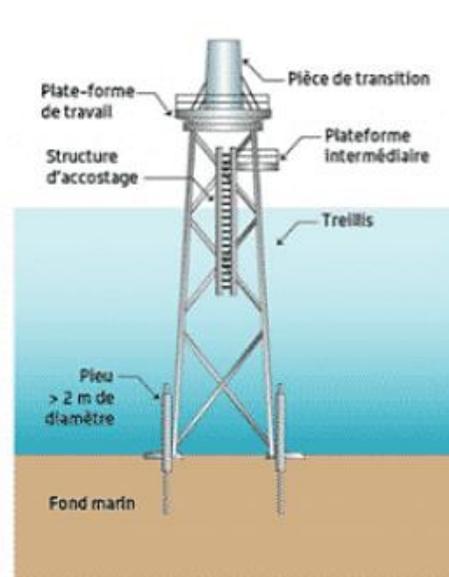


Permet d'installer des éoliennes **en eaux peu profondes (jusqu'à environ 50m)**

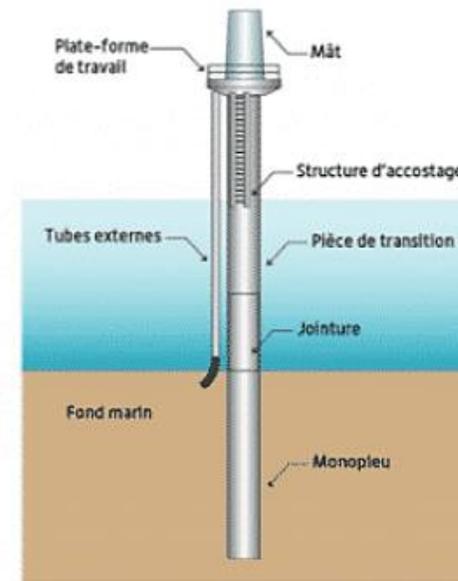
**3 types de fondation** selon en fonction des caractéristiques physiques du site, de la nature des sols



40m  
LA FONDATION GRAVITAIRE

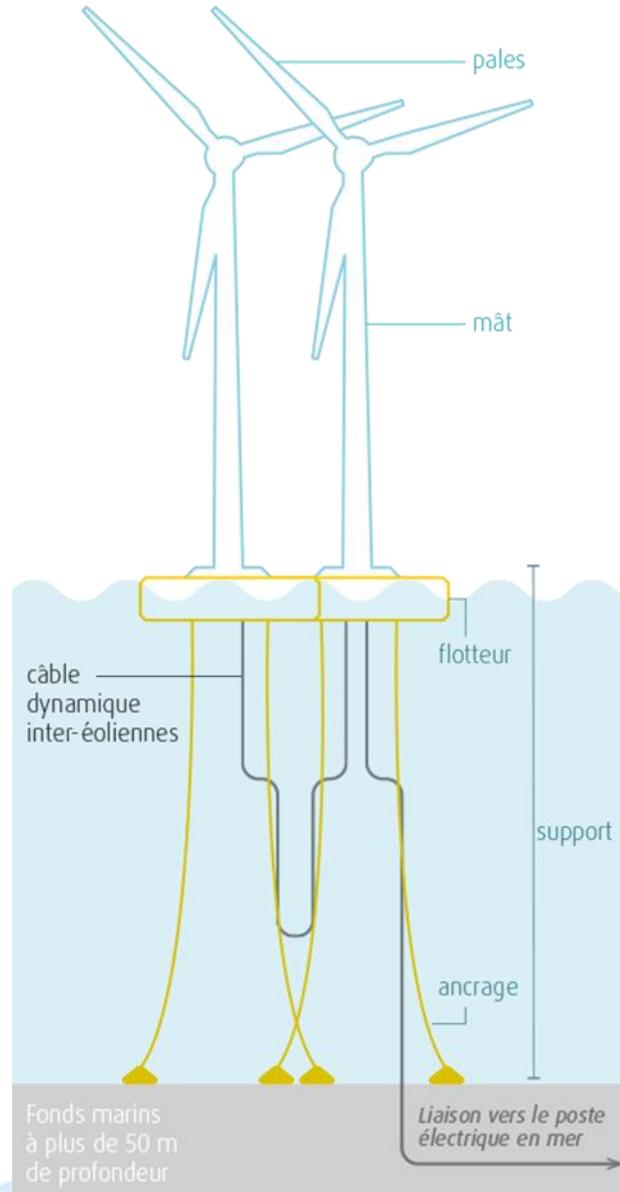


28m  
LA FONDATION JACKET



8m  
LA FONDATION MONOPIEUX

# Infrastructures maritimes d'un parc éolien – Les fondations flottantes



En **développement** et atteint **actuellement un stade commercial**.

Plusieurs : support **semi-submersible**, **support barge** et **support avec ancrage à lignes tendues**



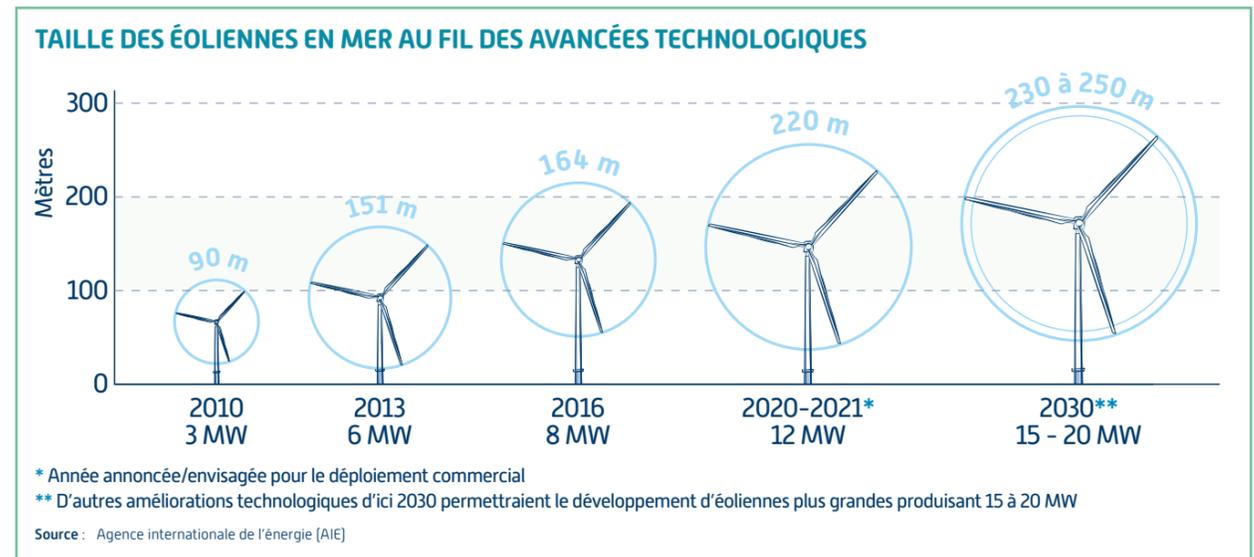
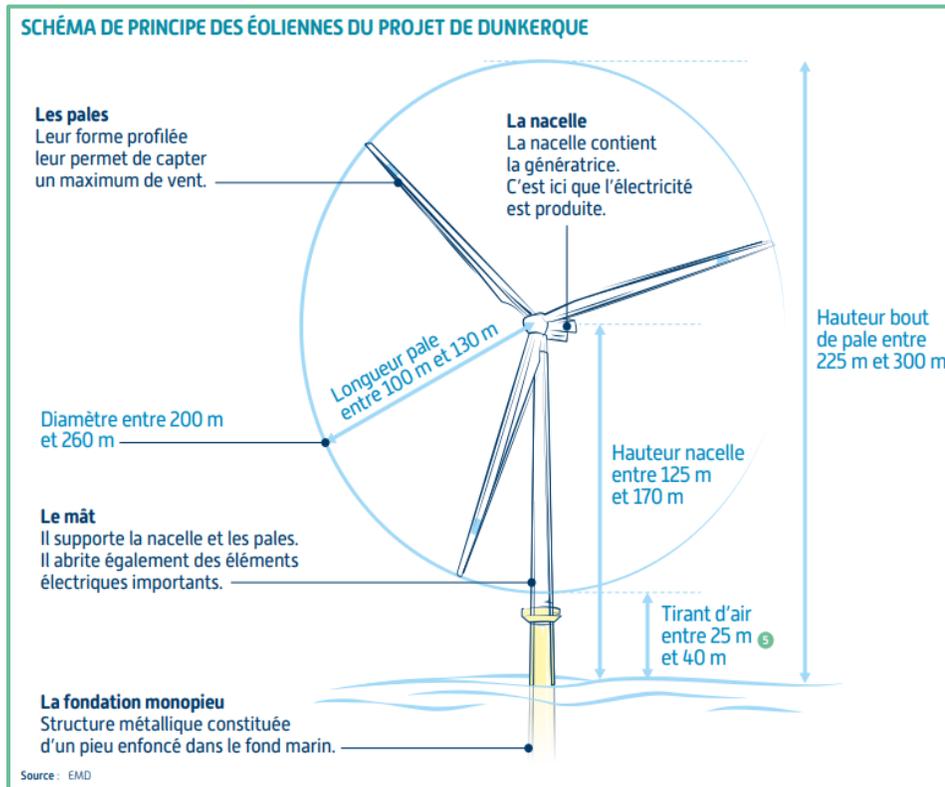
*Selon la technologie utilisée, les lignes d'ancrage doivent être plus ou moins tendues.  
Différents types d'ancres existent : ancre marine, corps-mort, pieux ou ancre à succion*

# Infrastructures maritimes d'un parc éolien – Les éoliennes

La puissance varie en fonction de sa taille.

- plus l'éolienne est grande, plus sa puissance nominale est élevée
  - quantité d'électricité produite plus importante

Pour un parc d'une puissance totale donnée, plus les éoliennes sont grandes, plus leur nombre diminue.



# Infrastructures maritimes d'un parc éolien – Le poste électrique en mer

## Son rôle :

héberge les matériels électriques (poste électrique, transformateurs, équipements de contrôle commande) nécessaires à la **transformation et à l'évacuation de l'énergie produite par les éoliennes vers le réseau terrestre**

## Son dimensionnement selon :

- la technologie du raccordement (en courant continu ou alternatif),
- du niveau de tension retenu pour le poste électrique
- la puissance devant transiter vers le réseau terrestre.





PARTIE

3

## Les grandes étapes pour développer un projet éolien en mer

# Les grandes étapes d'un parc éolien en mer

1  
Elaboration des  
stratégies de façades  
maritimes





# Cartographie du potentiel éolien en mer

## Potentiel technico-économique

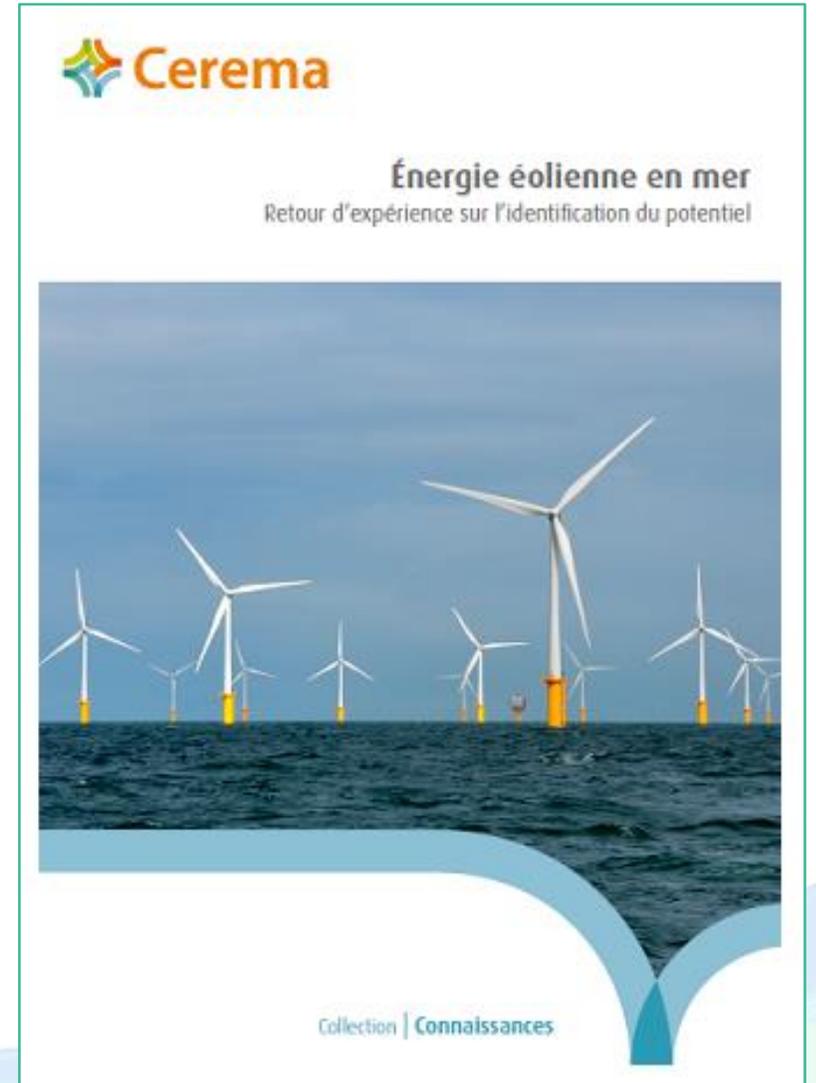
réalisé par :



déterminé par une :

- **analyse de la ressource en vent** permettant de caractériser la production ;
- **analyse des conditions météocéniques et des fonds marins** apportant des informations relatives aux coûts d'investissement, d'exploitation et de maintenance des installations.

**concertés et validés** avec les **organisations professionnelles** et la **Direction Générale de l'Énergie et du Climat (DGEC)** du ministère de la Transition écologique et solidaire

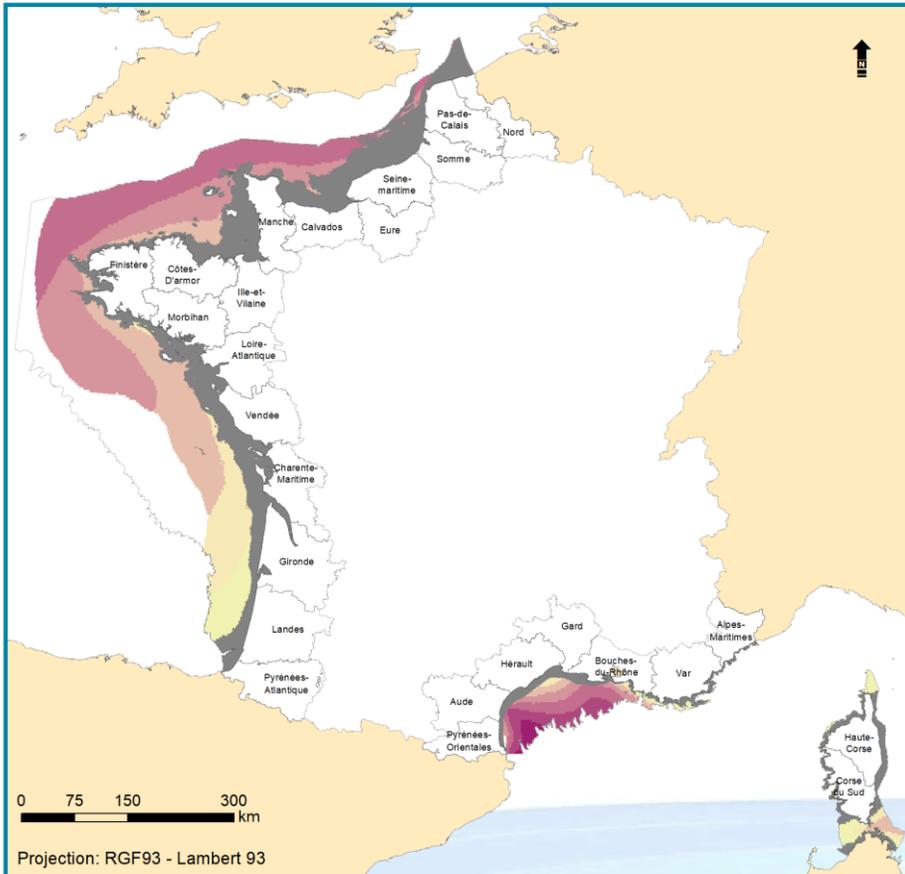




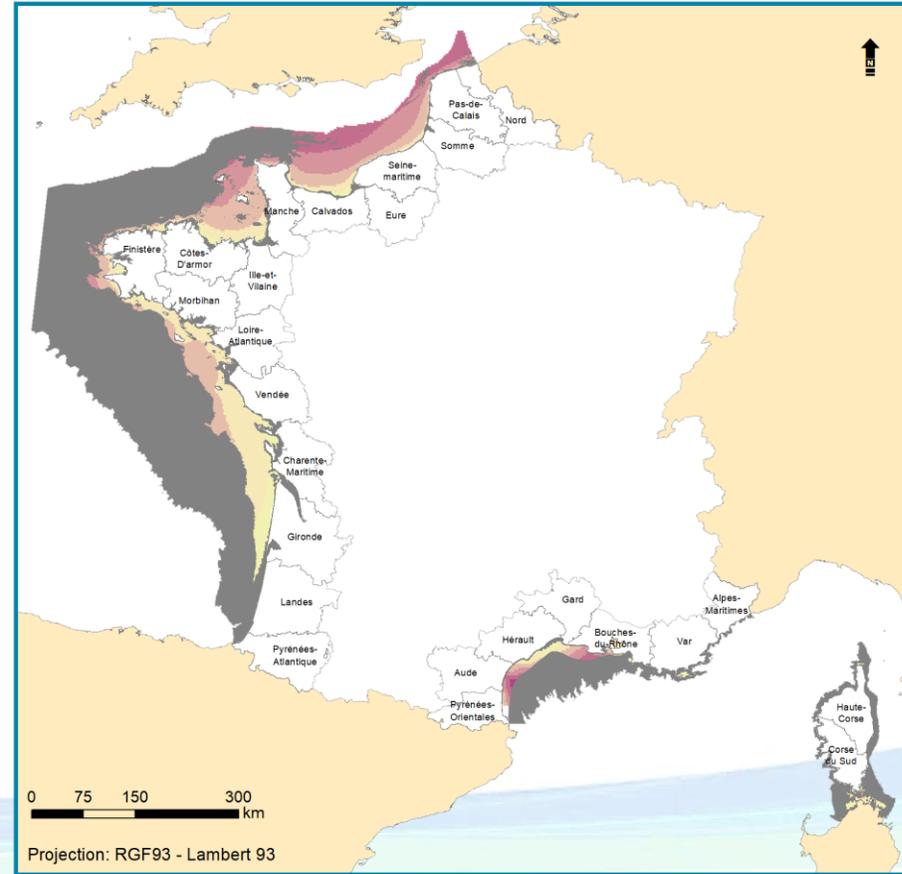
# Cartographie du potentiel éolien en mer

## Potentiel technico-économique

### Eolien en mer flottant

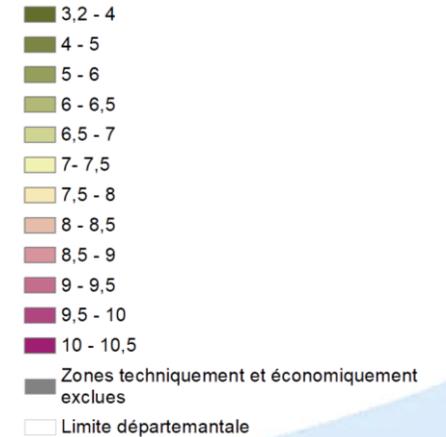


### Eolien en mer posé



Critère	Zone favorable éolien flottant
Vitesse moyenne du vent à 100 m d'altitude	> 7 m/s
Bathymétrie	> 40 et < 350 m ou 200 m
Vitesse des courants de marées coefficient 95	< 2,5 m/s

#### Vitesse moyenne du vent à 100m d'altitude (m/s)

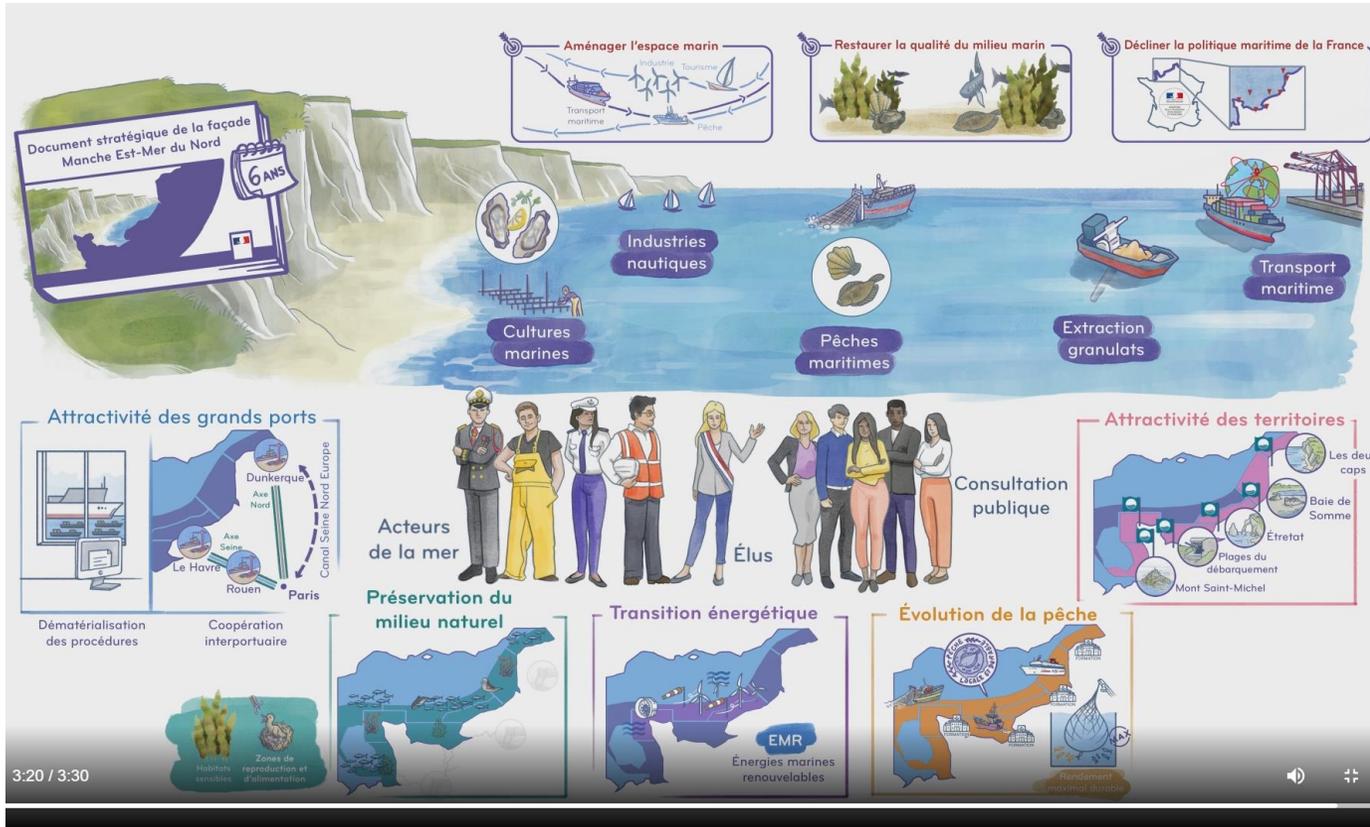


Analyse et réalisation: Cerema (2018)  
D'après informations : SER / FEE  
Sources :  
Cerema - SHOM - Ifremer - Météo France  
Ifremer Pays limitrophes - EEA  
GEOFLA® - ©IGN Paris -  
Reproduction interdite



# Cartographie du potentiel éolien en mer

## Elaboration du document stratégique de façade maritime



## Identification des sites d'implantation de parcs éoliens en mer

### Planification au regard de divers enjeux :

- protection des écosystèmes ;
- Pêche ;
- Énergies ;
- trafic maritime ;
- sécurité et défense ;
- tourisme et patrimoine.

### ➤ Document Stratégique de Façade

Par qui ? **Préfets coordonnateurs de façade et les acteurs locaux**

Quoi ? **Etudes scientifiques et techniques**

[https://webissimo.developpement-durable.gouv.fr/IMG/mp4/20200108\\_motion\\_design\\_dsf\\_memnor\\_video2\\_cle63b233.mp4](https://webissimo.developpement-durable.gouv.fr/IMG/mp4/20200108_motion_design_dsf_memnor_video2_cle63b233.mp4)

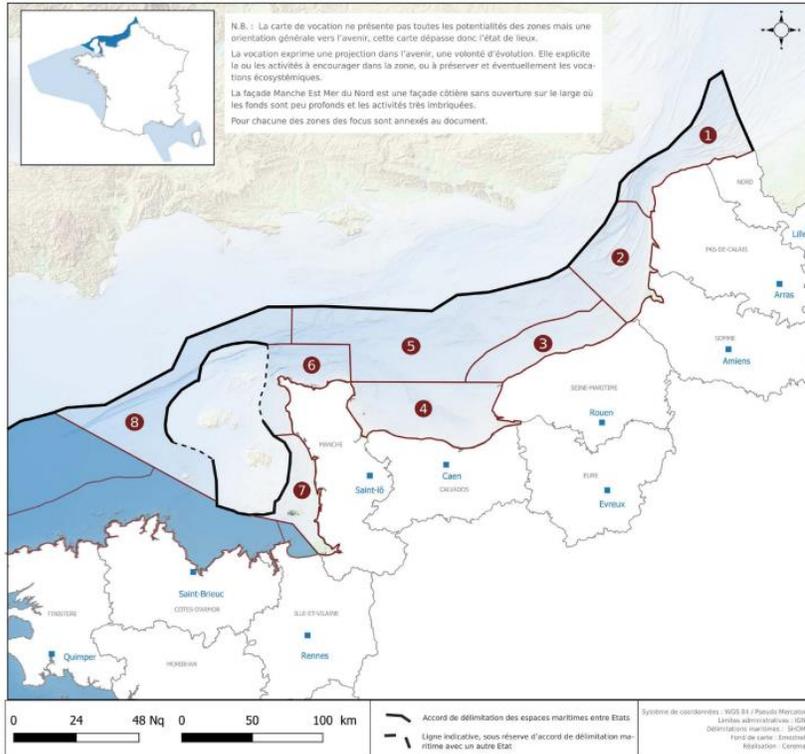


# Cartographie du potentiel éolien en mer

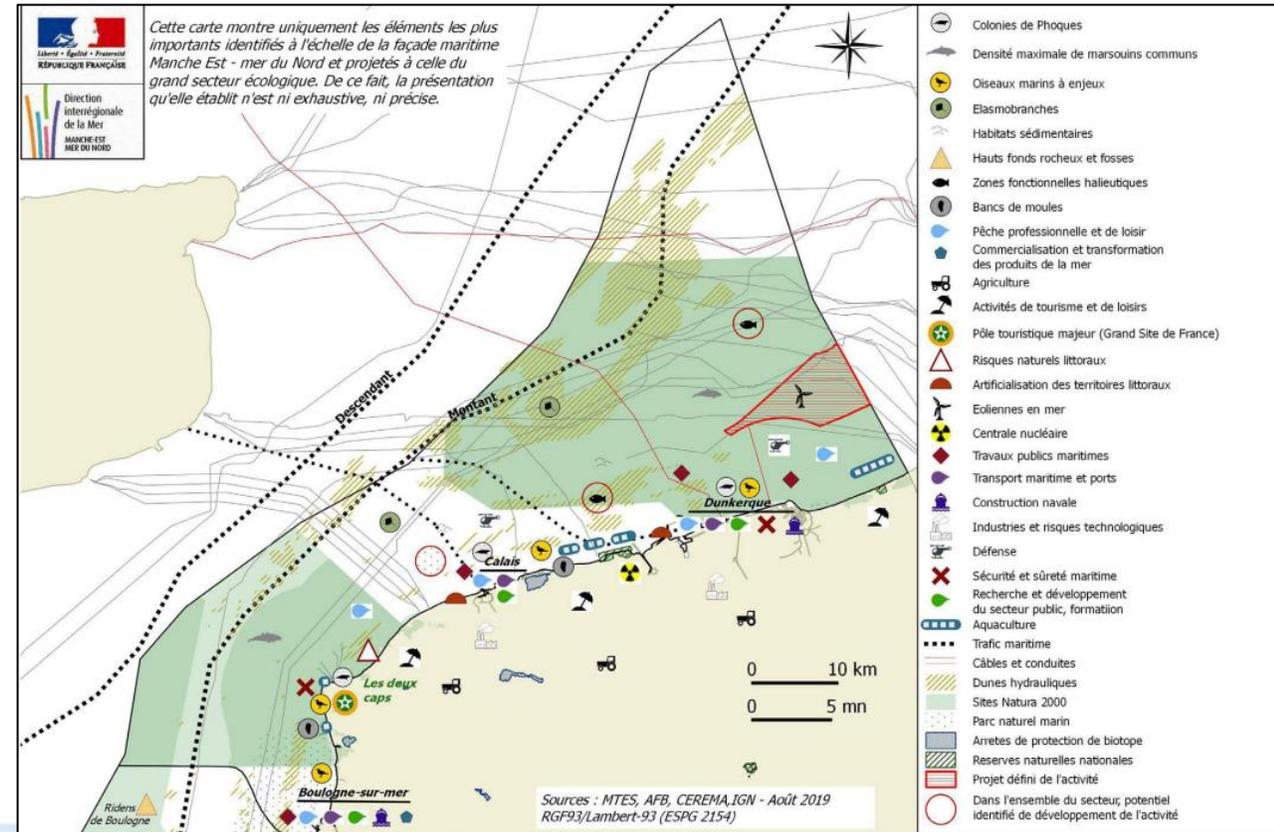
## Elaboration du document stratégique de façade maritime

### Carte des vocations de la façade maritime Manche Est - Mer du Nord

V8 - septembre 2018



- 1 Caps et détroit du Pas de Calais**  
Prédominance de la navigation maritime, des enjeux de sécurité maritime et des infrastructures portuaires et EMR. Besoin de maintenir l'activité de pêche maritime, le potentiel aquacole de la zone ainsi que de granulats marins, tout en permettant l'accueil des activités touristiques grandissantes. Préservation des corridors migratoires et des habitats remarquables.
- 2 Estuaires picards et mer d'Opale**  
Prédominance de la navigation maritime et des enjeux de sécurité maritime.  
Zone de développement de la connaissance du patrimoine marin, de protection et de développement durable du milieu marin (pêche et aquaculture marine durables, et activités portuaires associées, tourisme littoral, préservation des zones fonctionnelles halieutiques et granulats).
- 3 Côte d'Albâtre et ses ouverts**  
Zone de confortement du potentiel des énergies marines renouvelables, des activités de pêche durable et d'extraction de granulats marins dans le respect des zones fonctionnelles halieutiques
- 4 Baie de Seine**  
Zone de renforcement de la cohabitation des usages dans un contexte de multi-activités présentes ou à venir (granulats marins, pêche, aquaculture, énergies marines renouvelables, attractivité touristiques, infrastructures portuaires, industrielles majeures et défense) et de forts enjeux écologiques estuariens (nourrices, frayères, sites de nidification, etc.).
- 5 Large baie de Seine**  
Prédominance de la navigation maritime et des enjeux de sécurité maritime.  
Zone de développement des EMR et des granulats marins, en cohabitation avec les activités maritimes existantes, dont la pêche et la défense, et le besoin spécifique de protection des mammifères marins.
- 6 Nord Cotentin**  
Zone à fort potentiel de développement durable des activités maritimes actuelles ou émergentes (pêche et aquaculture marine durables, production d'énergie par hydroliennes, construction navale, activités militaires, tourisme littoral, etc.).
- 7 Ouest Cotentin - Baie du Mont Saint-Michel**  
Zone de conciliation de sa vocation conchylicole et de pêche maritime d'une part avec son attractivité touristique, la richesse de son patrimoine naturel et de ses écosystèmes marins d'autre part.
- 8 Manche ouest au large des îles anglo-normandes**  
Prédominance de la navigation maritime et des enjeux de sécurité maritime en cohabitation prioritairement avec la vocation de développement d'énergies marines renouvelables.  
Zone de préservation des mammifères et oiseaux marins.



# Les grandes étapes d'un parc éolien en mer





# Débat public



Défini par la loi ESSOC du 10 août 2018 : **le public est consulté pour identifier des zones préférentielles d'implantation de projets éoliens en mer.**

**Objectif :** accès des participants à une information complète pour formuler un avis éclairé

**Organisé et animé par :** Commission Particulière du Débat Public (CPDP) nommée par la Commission Nationale du Débat Public (CNDP)

**Les missions de la CNDP :**

Veiller au droit constitutionnel à l'information et à la participation du public

Organiser les débats publics et garantir les concertations

Rendre compte des résultats des débats

Développer la culture de la participation

Concilier

**Et après ?** Compte rendu par la CPDP et la CNDP dresse un bilan. Elles émettent des recommandations mais ne donnent pas d'avis sur le projet.

# Les grandes étapes d'un parc éolien en mer





# Elaboration du projet

## Dialogue concurrentiel et désignation du lauréat



Un **parc éolien** est développé par un consortium d'industriels désigné lauréat à l'issue d'une procédure de **mise en concurrence**.

- Candidatures soumissent au **Ministère chargé de l'énergie**
- Examen des capacités techniques et financières des candidatures par La Commission de Régulation de l'Energie (CRE)
- **dialogue concurrentiel avec la Direction Générale de l'Énergie et du Climat** (DGEC) pour les candidatures retenues
- Finalisation du CdC par la DGEC
- **CdC soumis à la CRE** pour avis et notifié à la Commission européenne.
  - Si accord, les candidats remettent ensuite leurs offres à l'Etat afin qu'elles soient analysées par la CRE, qui propose finalement au **Ministre un lauréat**.

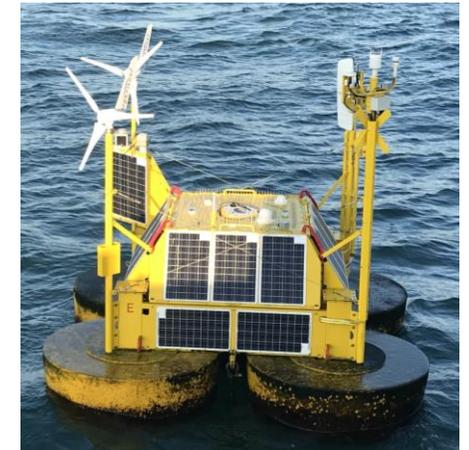
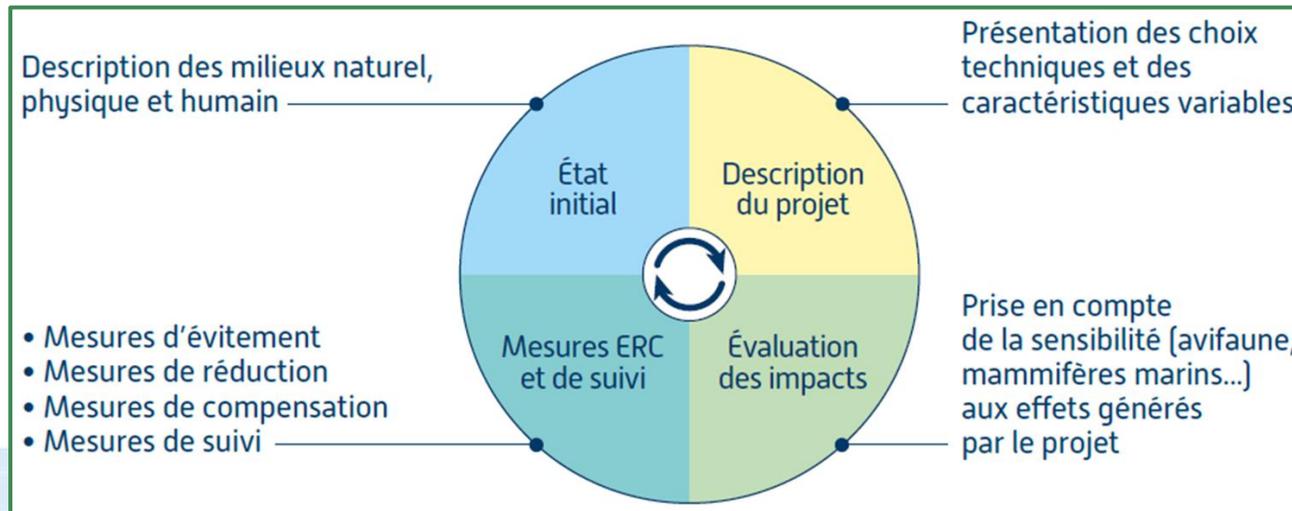


# Elaboration du projet

## Etudes complémentaires sur la zone du projet

Pour obtenir les autorisations : poursuite des études de levées des risques et de caractérisation du site entamées par l'Etat.

- Des études des fonds et sous-sols (détection et un inventaire des UXO)
- Des études météo-océaniques.
  - configuration du projet et le dimensionnement des fondations pour chacune des éoliennes.
- Des études sur l'environnement (réalisation d'une étude d'impact pour proposer les mesures ERC)





# Elaboration du projet

## Etudes complémentaires sur la zone du projet : études environnementales

### Des suivis environnementaux sur chaque compartiment biologique



Mammifères marins



Avifaune



Ressource halieutique



Bio-sédimentaire et qualité de l'eau



Acoustique sous-marine

### Des études menées par des experts environnementaux indépendants

(bureaux d'étude, associations environnementales ou scientifiques)





# Elaboration du projet

PROJET DE PARC EOLIEN EN MER DE  
DUNKERQUE : En ce moment,  
approfondissez une thématique !  
L'environnement (eolien-en-mer-  
dunkerque.fr)



## Etudes complémentaires sur la zone du projet : études environnementales

Exemple : les mammifère marins

### Éléments d'état initial

Le marsouin commun, le phoque gris et le phoque veau-marin fréquentent majoritairement la zone

Des lieux emblématiques connus comme le Phare de WALDE

Une présence locale mais moindre que celle observée en Baie de Somme

Importance de la prise en compte du bruit sous-marin ambiant existant

### Principaux impacts

Modification de l'ambiance sonore sous-marine

Perte, altération ou modification des habitats

Risque de collision avec des navires

Modification du champ magnétique

### Principales mesures envisagées

Choix d'éoliennes avec une puissance unitaire élevée afin d'en limiter le nombre

Minimisation de la présence des animaux sur la zone des travaux (effarouchement, démarrage progressif des travaux, réduction du bruit à la source...)

Mise en place de suivis (visuels et acoustiques) pendant la construction, l'exploitation, le démantèlement du parc



Phoque veau marin

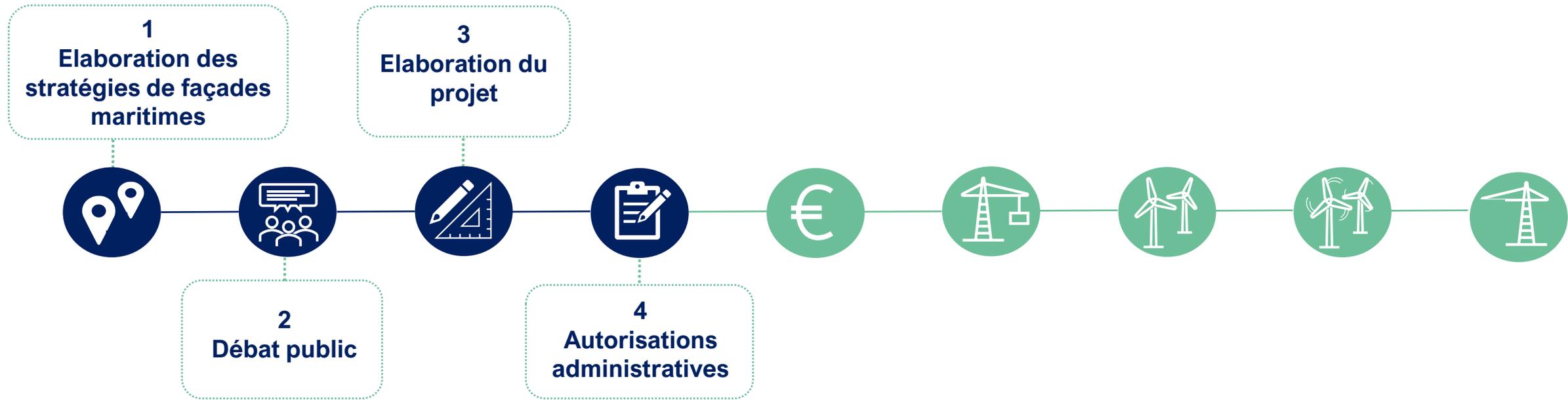


Phoque gris



Marsouin commun

# Les grandes étapes d'un parc éolien en mer





# Autorisations administratives

## Demandes d'autorisation

dépend de l'espace maritime du parc éolien : soit dans domaine public maritime (DPM), ou en zone économique exclusive (ZEE).

Autorisation d'occupation du domaine public maritime (DPM) et la zone économique exclusive (ZEE)

Autorisation au regard des impacts environnementaux du projet

Procédure spécifiques au réseau public de transport d'électricité

Autorisation au titre des prescriptions en matière d'urbanisme



# Autorisations administratives

## Demandses d'autorisation

Autorisations principales à obtenir par EMD et RTE (soumises à enquête publique) :

<i>Demandses d'autorisation sollicitées</i>	<i>Demandses d'autorisation environnementale</i>	<i>Demandses d'autorisation environnementale</i>	<i>Demandses de déclaration d'utilité publique « Lignes électriques » emportant mise(s) en compatibilité des documents d'urbanisme</i>	<i>Demandses de déclaration d'utilité publique « Poste électrique terrestre » emportant mise(s) en compatibilité des documents d'urbanisme</i>	<i>Demandses de Concession d'Utilisation du Domaine Public Maritime (hors des limites administratives des ports)</i>	<i>Demandses de Concession d'Utilisation du Domaine Public Maritime (hors des limites administratives des ports)</i>	<i>Demandses de Concession d'Utilisation du Domaine Public Maritime (à l'intérieur de la circonscription du Grand Port Maritime de Dunkerque)</i>	<i>Demandses de Convention d'Occupation Temporaire (à l'intérieur de la circonscription du Grand Port Maritime de Dunkerque)</i>
<i>Demandeur de l'autorisation</i>	EMD	RTE	RTE	RTE	EMD	RTE	RTE	EMD
<i>Base juridique</i>	Articles L.181-1 et s. et R.181-1 et s. du code de l'environnement	Articles L.181-1 et s. et R.181-1 et s. du code de l'environnement	L.323-3 et s. et R.323-1 et suivants du code énergie	L.323-3 du code de l'énergie, code de l'expropriation et code de l'environnement	L.2124-1 et suivants et R.2124-1 et s. CGPPP	L.2124-1 et suivants et R.2124-1 et s. CGPPP	L.2124-1 et R.2124-1 et s. CGPPP	L.2122-1 et suivants et R.2122-1 et suivants. CGPPP
<i>Entité décisionnaire</i>	Préfet de Département	Préfet de Département	Ministre chargé de l'énergie	Préfet de Département	Préfet de Département	Préfet de Département	GPMD	GPMD
<i>Service instructeur</i>	DDTM/SENT	DDTM/SENT	DREAL – ...	...	DDTM/DML	DDTM/DML	Directoire du GPMD	Directoire du GPMD
<i>Ouvrages concernés</i>	. Parc éolien . Base de maintenance (bâtiment + ponton)	. Poste électrique en mer . Double liaison électrique sous-marine . Double liaison électrique souterraine ? . Poste électrique terrestre ? . Liaison de raccordement au RPT ?	. Double liaison électrique sous-marine et souterraine du poste électrique en mer au poste électrique à terre . Liaison de raccordement au RPT	. Poste électrique terrestre	Parc éolien	. Poste électrique en mer . Une partie de la double liaison électrique sous-marine	. Une partie de la double liaison électrique sous-marine	Base de maintenance (bâtiment + ponton)



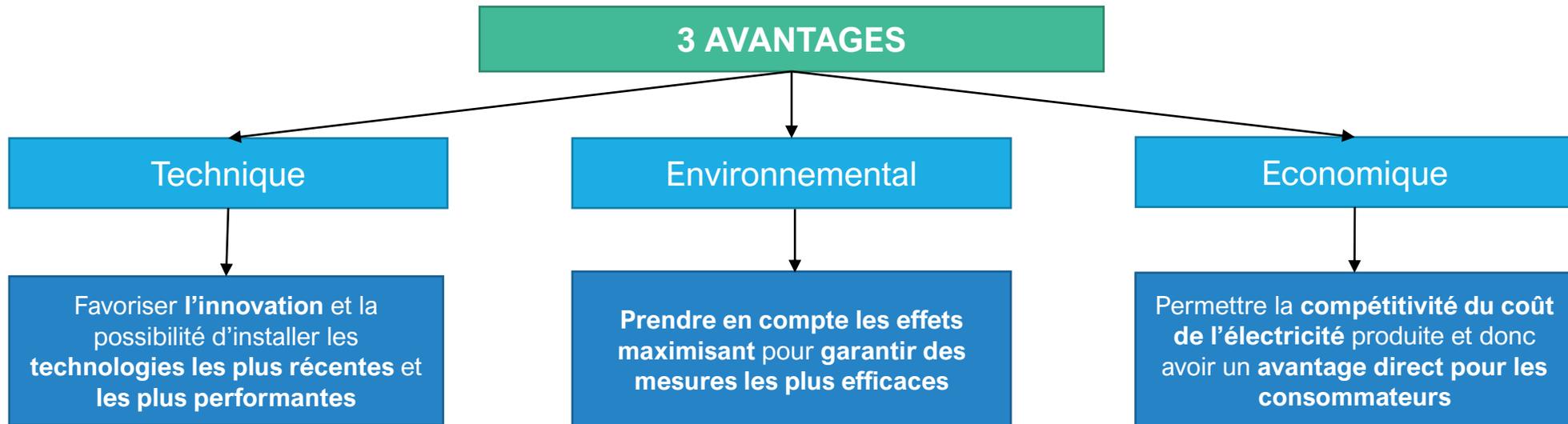
# Autorisations administratives

## Demandes d'autorisation

### Nouveauté introduite par la loi ESSOC

L'autorisation dite à « **caractéristiques variables** » depuis décembre 2018.

Permet de faire évoluer leurs projets en tenant compte de l'évolution rapide des technologies, en particulier des modèles d'éoliennes





# Autorisations administratives

## Enquête publique et décision administrative

### Qu'est ce qu'une enquête publique ?

Étape obligatoire préalable à l'obtention des autorisations

Objectif : assurer l'information et la participation du public en amont des décisions publiques



# Autorisations administratives

## Enquête publique et décision administrative

### Qu'est ce qu'une enquête publique ?

Etape obligatoire préalable à l'obtention des autorisations

Objectif : assurer **l'information et la participation du public** en amont des décisions publiques

### Comment l'enquête publique se déroule-t-elle ?

Tous les documents **mis à disposition dans les mairies** déterminées **par arrêté préfectoral**  
Registres permettant au **public de consigner ses observations et commentaires**



# Autorisations administratives

## Enquête publique et décision administrative

### Qu'est-ce qu'une enquête publique ?

Etape obligatoire préalable à l'obtention des autorisations

Objectif : assurer l'**information et la participation du public** en amont des décisions publiques

### Comment l'enquête publique se déroule-t-elle ?

Tous les documents **mis à disposition dans les mairies** déterminées **par arrêté préfectoral**  
Registres permettant au **public de consigner ses observations et commentaires**

### Et après ?

Rapport établi par la **commission d'enquête** (synthèse de l'ensemble des avis)

**Conclusions** de la commission d'enquête en précisant si elles sont **favorables**, favorables **sous réserves** ou **défavorables** au projet.

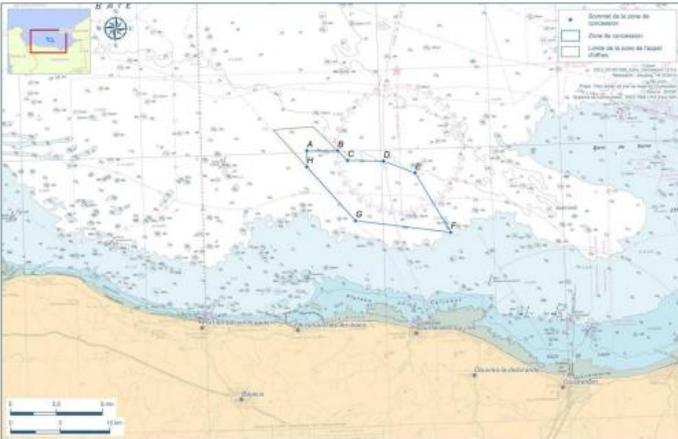
➤ **Disponibles pendant un an en mairie et en préfecture, et sera consulté par le Préfet qui prendra une décision finale sur le projet.**



# Autorisations administratives

## Exemple : Parc éolien en mer au large de Courseulles-sur-Mer

### Enquête publique "Parc éolien offshore au large de Courseulles-sur-Mer"



du 10 août 2015 au 28 octobre 2015

Commission d'enquête publique composée de

Christian TESSIER, André NÉRON, Danielle FAYSE, Catherine de la GARANDERIE et Jean-François GRATIEUX

### 2ème partie - Conclusions et Avis de la commission d'enquête publique

Enquête publique "Installation d'un parc éolien en mer au large de Courseulles-sur-Mer" - du 10 août au 28 octobre 2015 -  
Conclusions et avis de la commission page 1/49

Dans ces conditions, la commission, après en avoir délibéré,

- constate que les inconvénients sont limités, rapportés aux avantages du projet,
- et émet un avis favorable à **demande d'autorisation au titre de la loi sur l'eau**, telle qu'elle a été présentée à l'enquête publique, et formulée par la sas Éoliennes Offshore du Calvados (EOC)

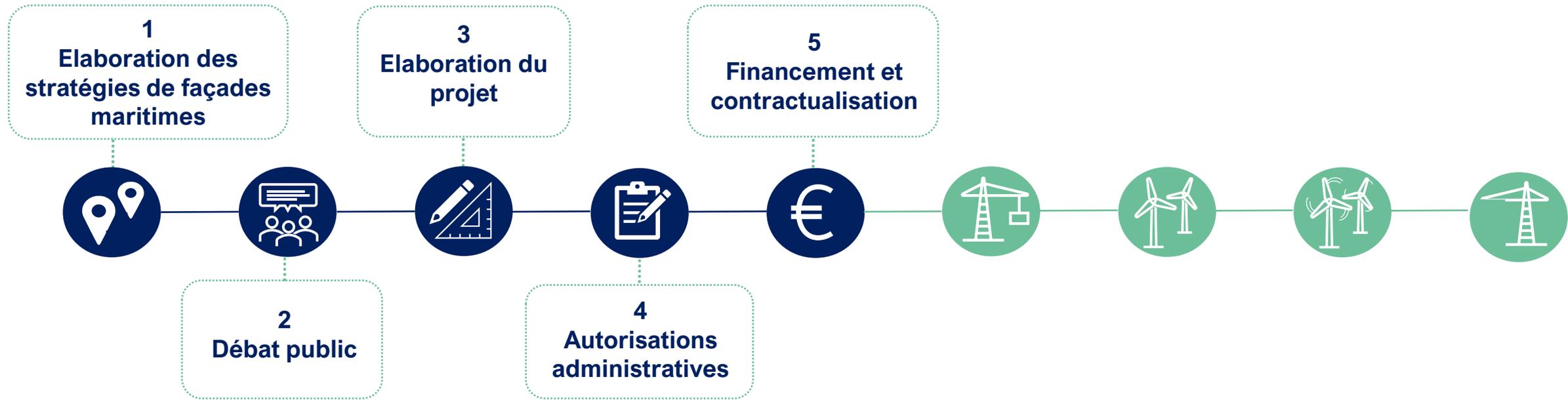
Enquête publique "Installation d'un parc éolien en mer au large de Courseulles-sur-Mer" - du 10 août au 28 octobre 2015 -  
Conclusions et avis de la commission page 48/49

Cet avis favorable est assorti des **recommandations suivantes**:

- **Mutualisation des données recueillies lors de la réalisation des études d'impact et des suivis** afin d'améliorer la connaissance du milieu marin et de l'ensemble des impacts cumulés générés par les différents projets éoliens. Ces données, gérées par l'État, devraient être mises à disposition des porteurs de projets en amont des appels d'offres;
- **Transmission des résultats du programme de suivi** de la qualité chimique des sédiments, de la qualité de l'eau et de la toxicité des anodes sacrificielles sur les bivalves aux autorités compétentes pour règlementer les activités de pêche à l'intérieur du parc éolien;
- **Transmission des résultats des suivis environnementaux**, aux services de l'État ainsi qu'à l'Instance de concertation et de suivi et, en cas de constat d'effets anormaux, **validation des mesures correctives** ou compensatoires par l'Instance de concertation et de suivi;
- **Battage des pieux** : interdiction du battage simultané de deux pieux sur le parc de Courseulles-sur-Mer ou en concomitance avec celui de Fécamp.

Fait à Caen, le 11 janvier 2016

# Les grandes étapes d'un parc éolien en mer





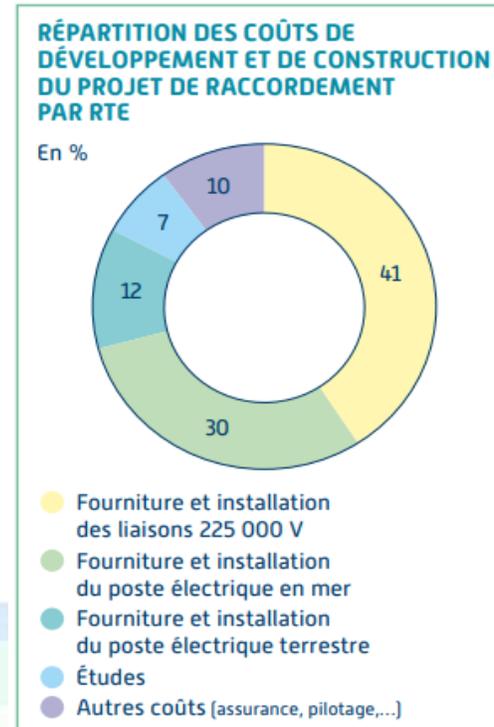
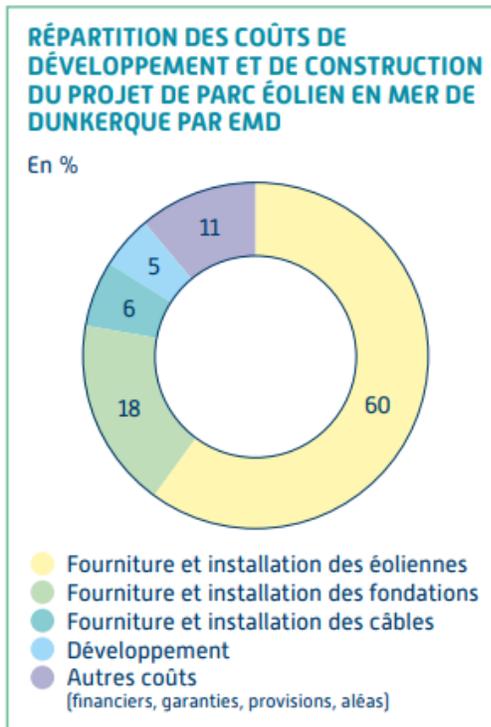
# Financement et contractualisation

## Financement

### La plus part du temps financement en plusieurs étapes :

- **phase de développement** entièrement financée **par les actionnaires** de la société de projet ;
- **phase construction** financée en partie par de la **dette bancaire** long terme et sans recours, et en partie **par les actionnaires**.

*Exemple de répartition des coûts pour le projet éolien en mer de Dunkerque*





# Financement et contractualisation

## Contractualisation : prestataires, ressources et partenaires potentiels

### Phase de développement :

- **Ressources internes au projet ;**
- **bureaux d'études ;**
- **laboratoires et instituts de R&D ;**
- **université, écoles d'ingénieurs et de commerce ;**
- **pêcheurs professionnels locaux, comité régionale des pêches ;**
- **associations environnementales ;**
- **agences de communication ;**
- **cabinets avocats, huissiers ;**
- **centre de formation Total Oléum et Réseau JADE ;**
- **cabinet d'architecture...**

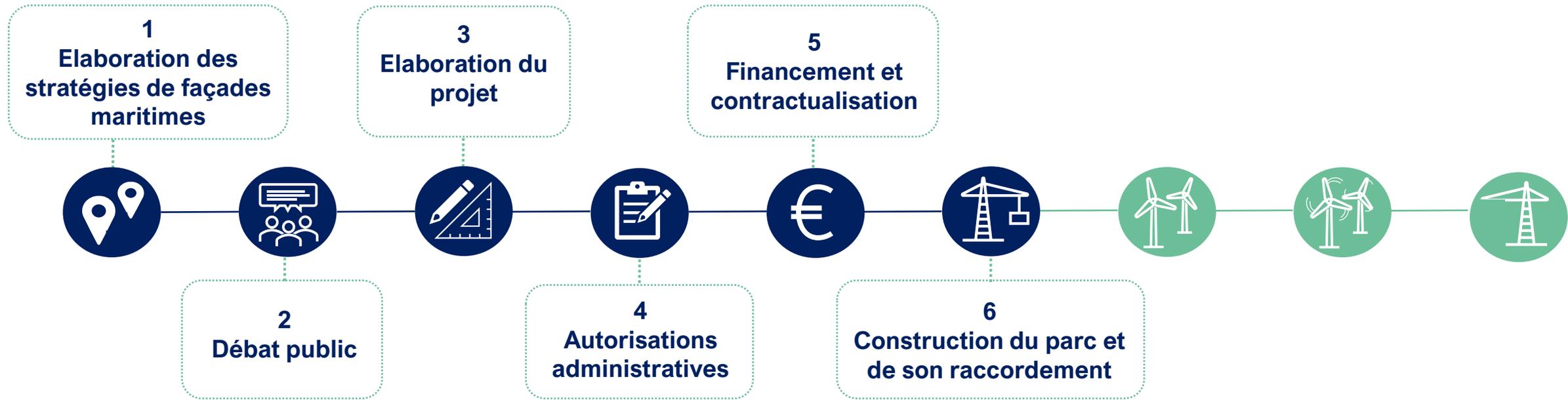
### Phase d'exploitation et de maintenance :

- **Remorquage et activités nautiques** (Boluda, Bourbon, LD Travocean, Jifmar...) ;
- **services logistiques et portuaires** (Barra SNM, Bolloré Logistique Portuaire) ;
- **maintenance électrique et mécanique** (SGM, Actemium, Endel) ;
- **contrôles-inspections** (Apave, Socotec, Veritas) ;
- **Total Oléum et Réseau JADE ...**

### Phase de construction :

- Fournisseurs des **éoliennes** (GE, SGRE, MHI Vestas) ;
- fournisseurs des **fondations** (Eiffage, Bouygues, Saipem...) ;
- fournisseurs des **câbles inter-éoliennes** (Prysmian, Nexans...) ;
- **installateurs en mer** (Deme, Jan de Nul, Louis Dreyfus Travocean...) ;
- **remorquage et activités nautiques** (Boluda, Bourbon, LD Travocean, Jifmar...) ;
- **tôles fortes-laminage** (Dillinger) ;
- **Bureaux d'études et d'ingénierie ;**
- **AMOA ;**
- **services logistiques et portuaires** (Barra SNM, Sarens, Dufour) ;
- **services maritimes** (Humann & Taconet, Agena Tramp) ;
- **chantiers navals** (Socarenam, Damen), BTP (Ramery) ;
- **pêcheurs professionnels ;**
- **Total Oléum et Réseau Jade ;**
- **ressources internes au projet ...**

# Les grandes étapes d'un parc éolien en mer





# Construction du parc et de son raccordement

## Les chantiers d'installation



### Etape 1

Installation des fondations monopieux

### Etape 2

Installation des câbles inter-éoliennes

### Etape 3

Installation des éoliennes

12 mois de chantier en mer pour installer les différents composants du parc éolien et leur mise en service

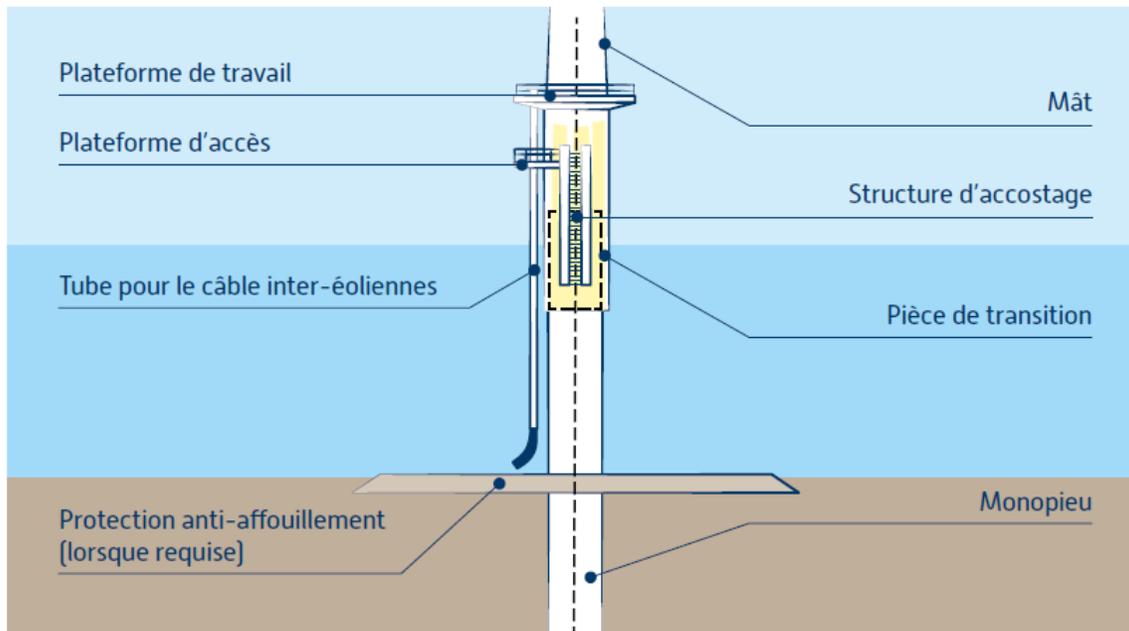


# Construction du parc et de son raccordement

## Les fondations monopieux

### Deux parties :

- Un **monopieu en acier** ;
- Une **pièce de transition en acier**.



### Méthode d'installation :

- 2 solutions : le **battage** ou/et le **vibro-fonçage** ;
- Profondeur d'environ **25 à 45 mètres** dans le sous-sol marin ;
- Durée : maximum **6h par fondation**.
- Mise en place d'une **protection anti-affouillement**.





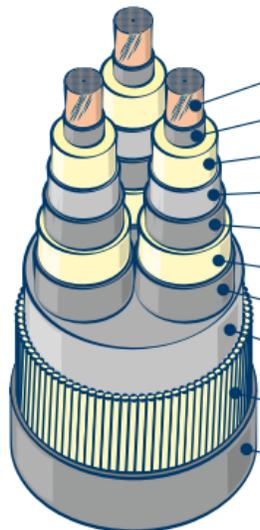
# Construction du parc et de son raccordement

## Les câbles inter-éoliennes

Les éoliennes seront reliées par des câbles électriques sous-marins :

- 3 sections pour un **diamètre extérieur compris entre 11 et 20 cm**, conducteurs en aluminium et un isolant en polyéthylène ;
- **Enfouis dans le sol marin** (3 possibilités).

### STRUCTURE D'UN CÂBLE SOUS-MARIN TRIPOLAIRE 225 000 V



- Âme (cuivre ou aluminium)
- Écran semi-conducteur sur âme
- Enveloppe isolante
- Écran semi conducteur sur enveloppe isolante
- Dispositif empêchant la propagation longitudinale de l'eau
- Écran métallique
- Gaine de protection
- Rembourrage
- Armure
- Gaine de protection extérieure

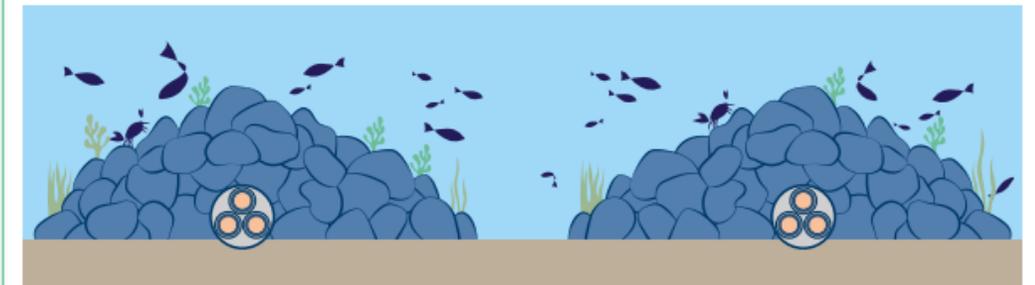
Source : RTE

### TYPES DE PROTECTION DES CÂBLES SOUS-MARINS

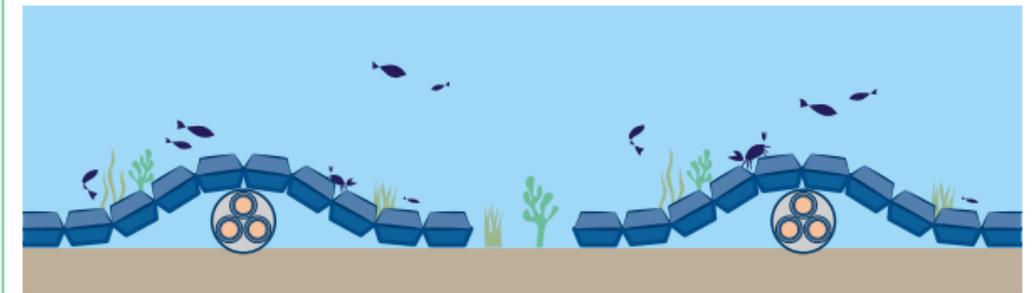
#### ENSOUILLAGE



#### ENROCHEMENT



#### MATELAS BÉTON



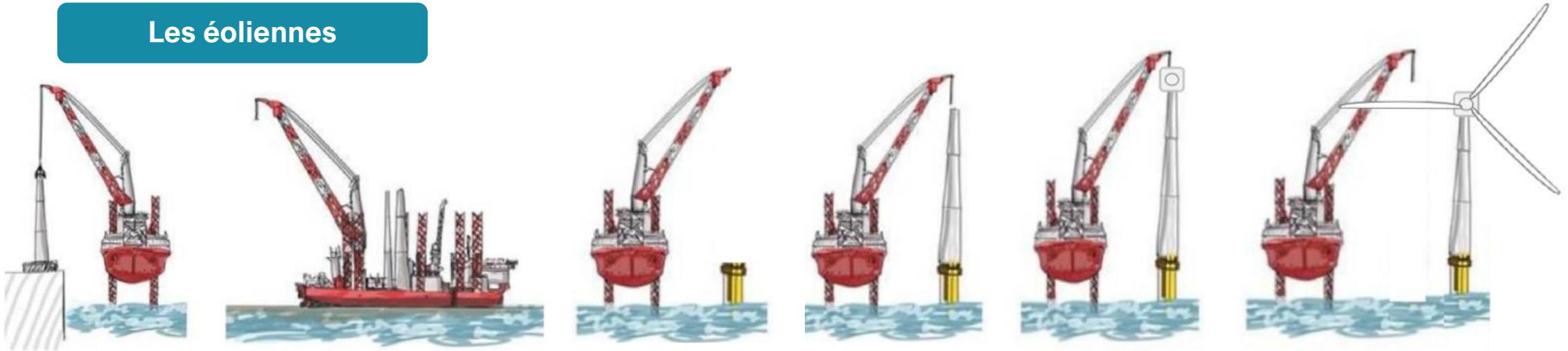
Source : RTE





# Construction du parc et de son raccordement

## Les éoliennes



### Etape 1

Chargement des éoliennes à bord d'une plateforme de transport



### Etape 2

Transport jusqu'au site en mer



### Etape 3

Positionnement et stabilisation de la plateforme autoélevatrice



### Etape 4

Levage et installation du mât de l'éolienne



### Etape 5

Levage et installation de la nacelle



### Etape 6

Levage et installation de chaque pale



# Construction du parc et de son raccordement

Les chantiers d'installation – le poste électrique en mer

## CHANTIERS DE L'ATLANTIQUE



[Construction de la sous-station électrique du parc éolien en mer de Saint-Nazaire - YouTube](#)



# Construction du parc et de son raccordement

## Le raccordement électrique du parc par RTE

### SCHÉMA DE PRINCIPE DU RACCORDEMENT ÉLECTRIQUE DU PARC ÉOLIEN

Rte  
Le réseau de transport d'électricité

D Poste électrique en mer

Double liaison électrique\* sous-marine et souterraine

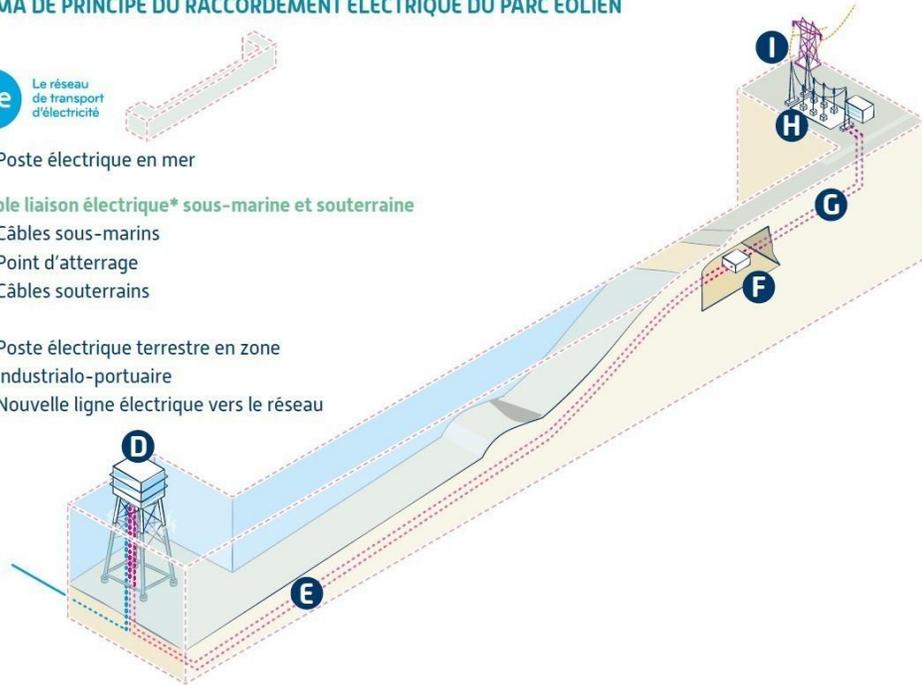
E Câbles sous-marins

F Point d'atterrissage

G Câbles souterrains

H Poste électrique terrestre en zone industrialo-portuaire

I Nouvelle ligne électrique vers le réseau



D



E



F



G



H



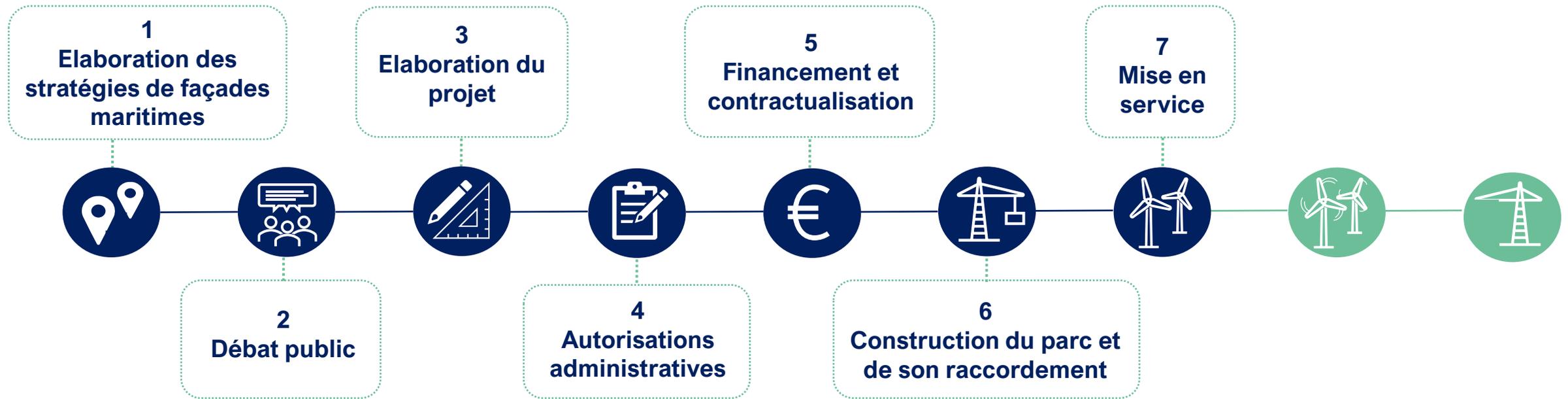
# Construction du parc et de son raccordement

Les chantiers d'installation – Exemple du Parc éolien en mer de Saint Nazaire



Film – Les étapes clés de ce projet majeur pour la transition énergétique nationale | [Parc éolien en mer de Saint-Nazaire \(parc-eolien-en-mer-de-saint-nazaire.fr\)](http://parc-eolien-en-mer-de-saint-nazaire.fr)

# Les grandes étapes d'un parc éolien en mer





## Mise en service

Chaque étape de la mise en service suit un process précis et détaillé pour vérifier la conformité des éoliennes :

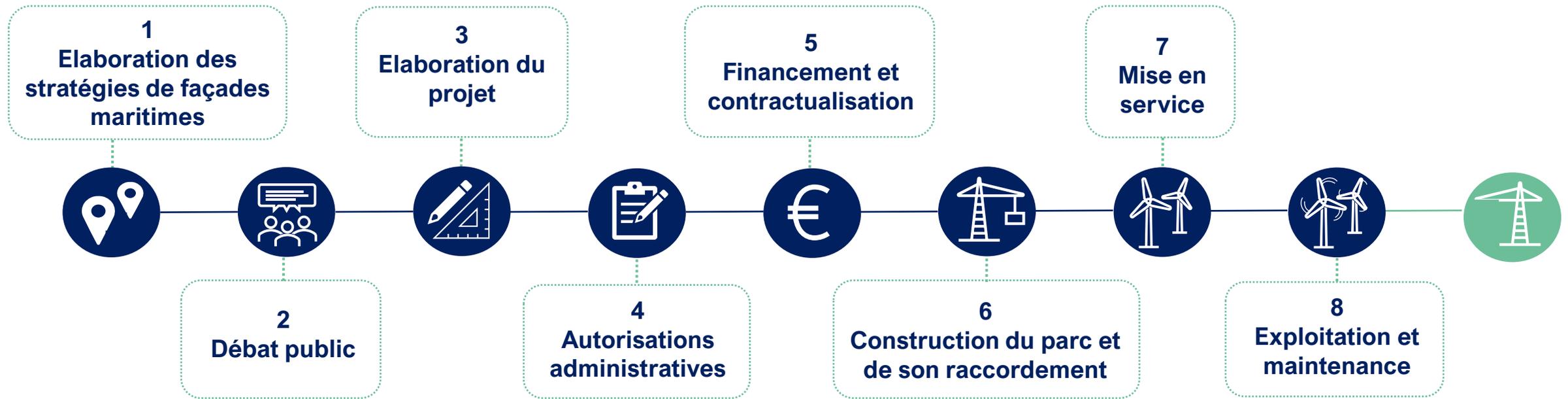
- **Finalisations mécaniques et électriques** avant de les mettre sous tension
- Réalisation de **tests de rotation des pales, de production et de fiabilité** (5 jours)



**Mise en service du 1<sup>er</sup> parc éolien en mer en France**

*le 23 novembre dernier*

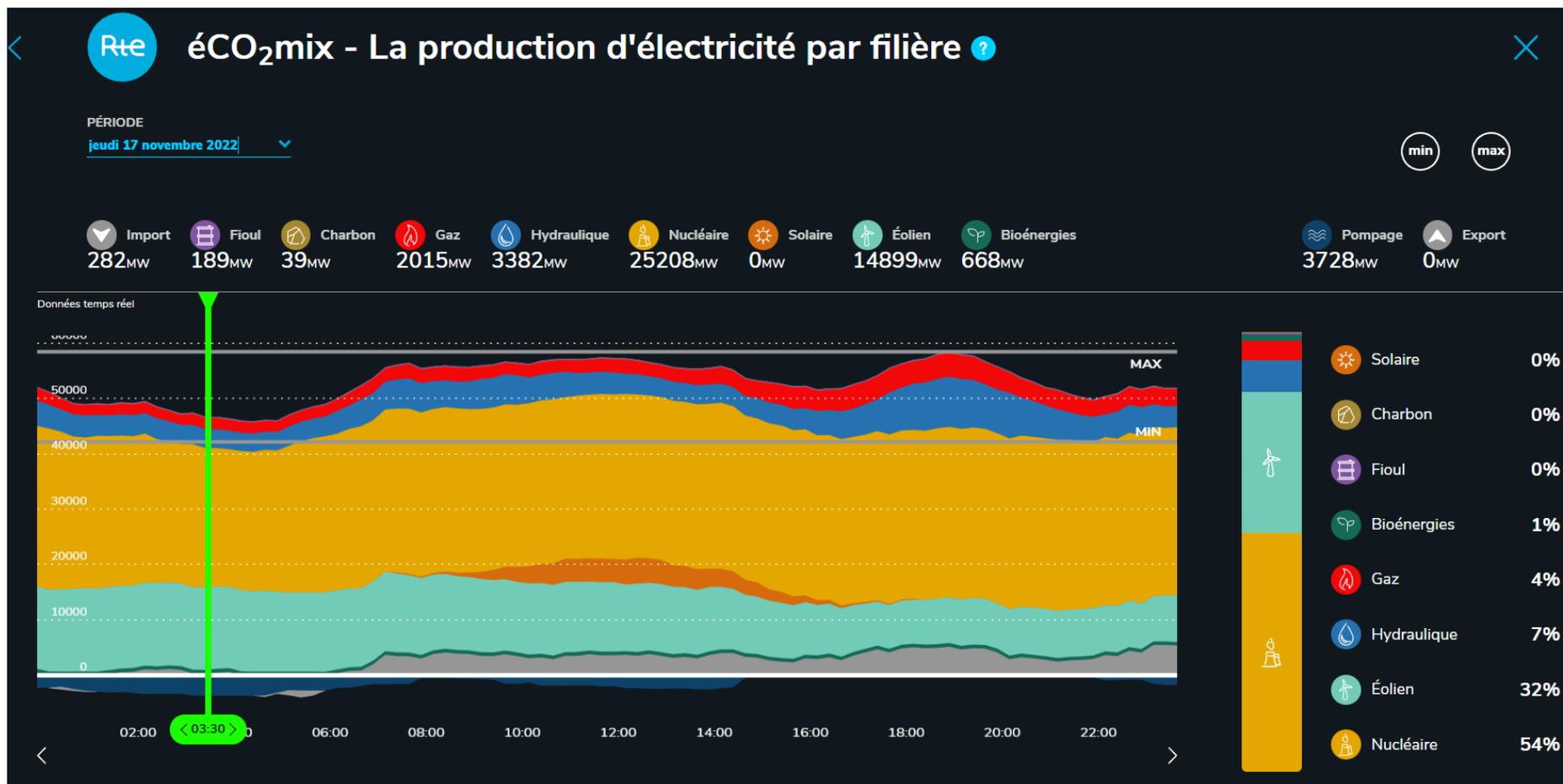
# Les grandes étapes d'un parc éolien en mer





# Exploitation et maintenance

## Production d'électricité



Eco2mix – Production d'électricité par filière en France | RTE ([rte-france.com](http://rte-france.com))



# Exploitation et maintenance

## Maintenance

Durant toute la phase d'exploitation du projet, soit en moyenne 30 ans

**Emplois mobilisés** : techniciens de maintenance, pilotes de navires de transport du personnel et marins, techniciens de surveillance et de supervision, logistique et activités supports...

### 2 types de maintenance :

- préventive ;
- corrective.



Base de maintenance pour le parc éolien en mer de Fécamp



Bureaux



Zone d'entrepôt



Navire type CTV



# Exploitation et maintenance

## Rémunération du producteur

Schéma de fonctionnement du complément de rémunération lorsque les prix du marché sont **inférieurs** au tarif cible

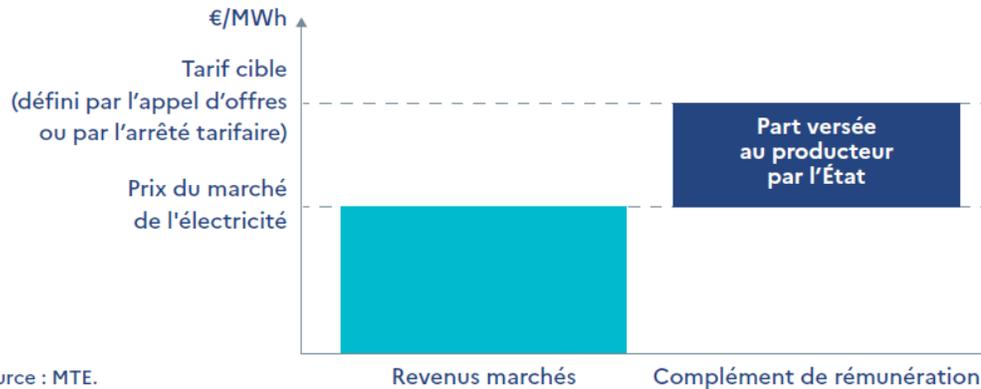
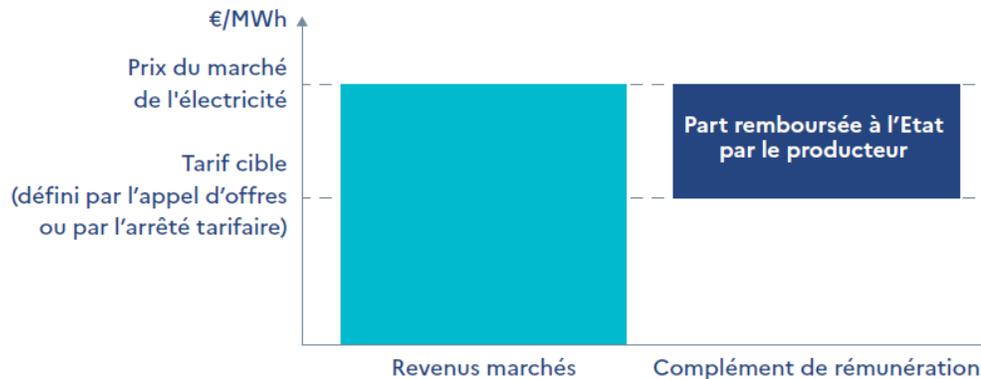


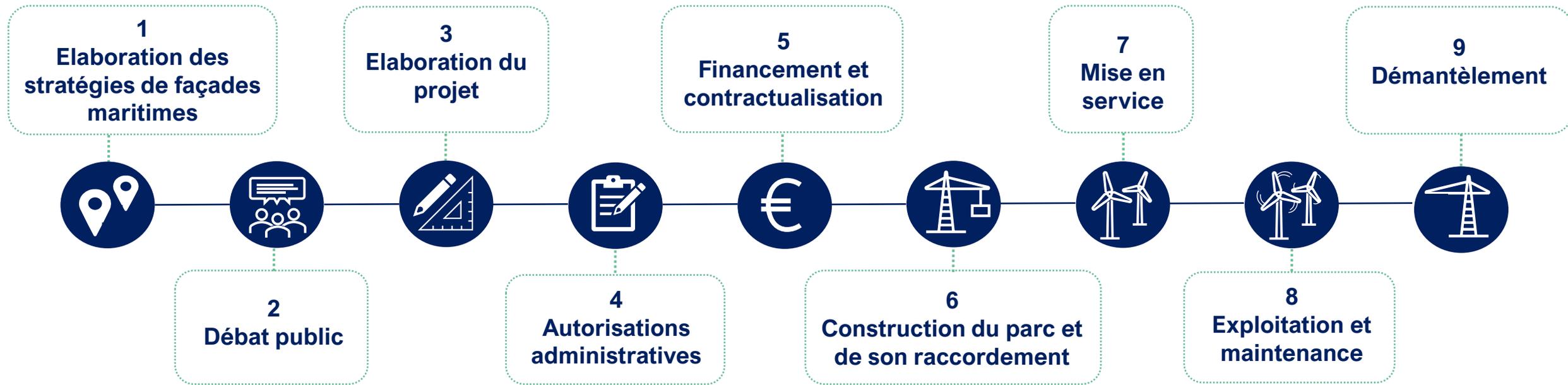
Schéma de fonctionnement du complément de rémunération lorsque les prix de marché sont **supérieurs** au tarif cible



Dispositif de complément de rémunération transposé dans le code de l'énergie.

Le producteur d'électricité à partir d'énergie renouvelable **commercialise son électricité directement sur les marchés.**

# Les grandes étapes d'un parc éolien en mer





PARTIE

4

## Cas d'étude : le parc éolien en mer au large de Dunkerque

# A) Les principales caractéristiques du projet

# Les deux maîtres d'ouvrage du projet

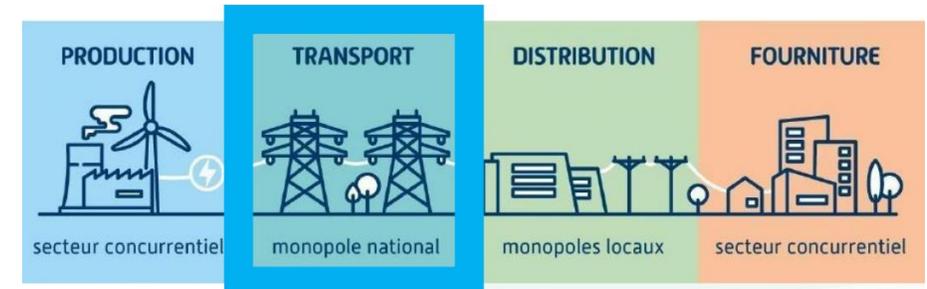


**Eoliennes en Mer de Dunkerque (EMD)** est en charge du parc éolien en mer au large de Dunkerque

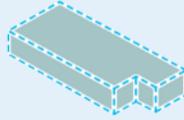


Le réseau  
de transport  
d'électricité

**RTE (Réseau de Transport d'Electricité)** raccorde au réseau électrique le parc éolien de la mer vers la terre



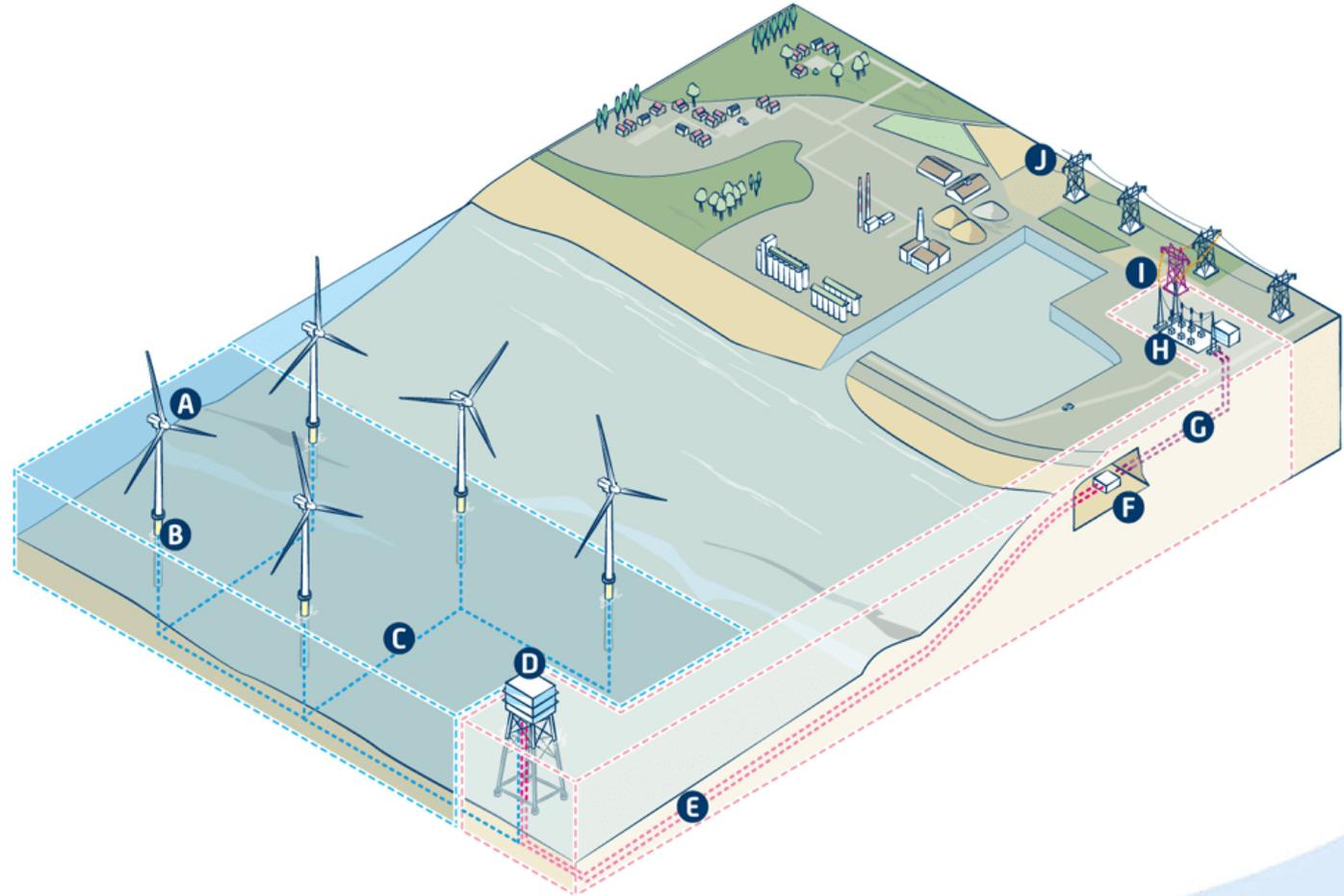
# Les ouvrages composant le projet



- A** Éoliennes en mer (46 maximum)
- B** Fondations monopieux
- C** Câbles inter-éoliennes sous-marins



- D** Poste électrique en mer
- Double liaison électrique sous-marine et souterraine
- E** Câbles sous-marins
  - F** Point d'atterrage
  - G** Câbles souterrains
  - H** Poste électrique terrestres en zone industrialo-portuaire
  - I** Nouvelle ligne électrique vers le réseau
  - J** Réseau électrique existant



# Les chiffres clés



**+ de 11,4 km**  
des communes  
balnéaires



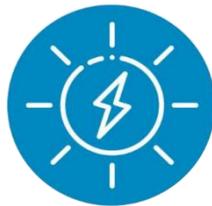
**46 éoliennes**  
au maximum



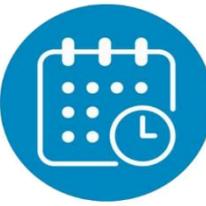
**Environ 24 km**  
de liaison électrique pour  
le raccordement



**Environ 1,4 milliard  
d'euros**  
Coût total estimé  
(parc + raccordement)

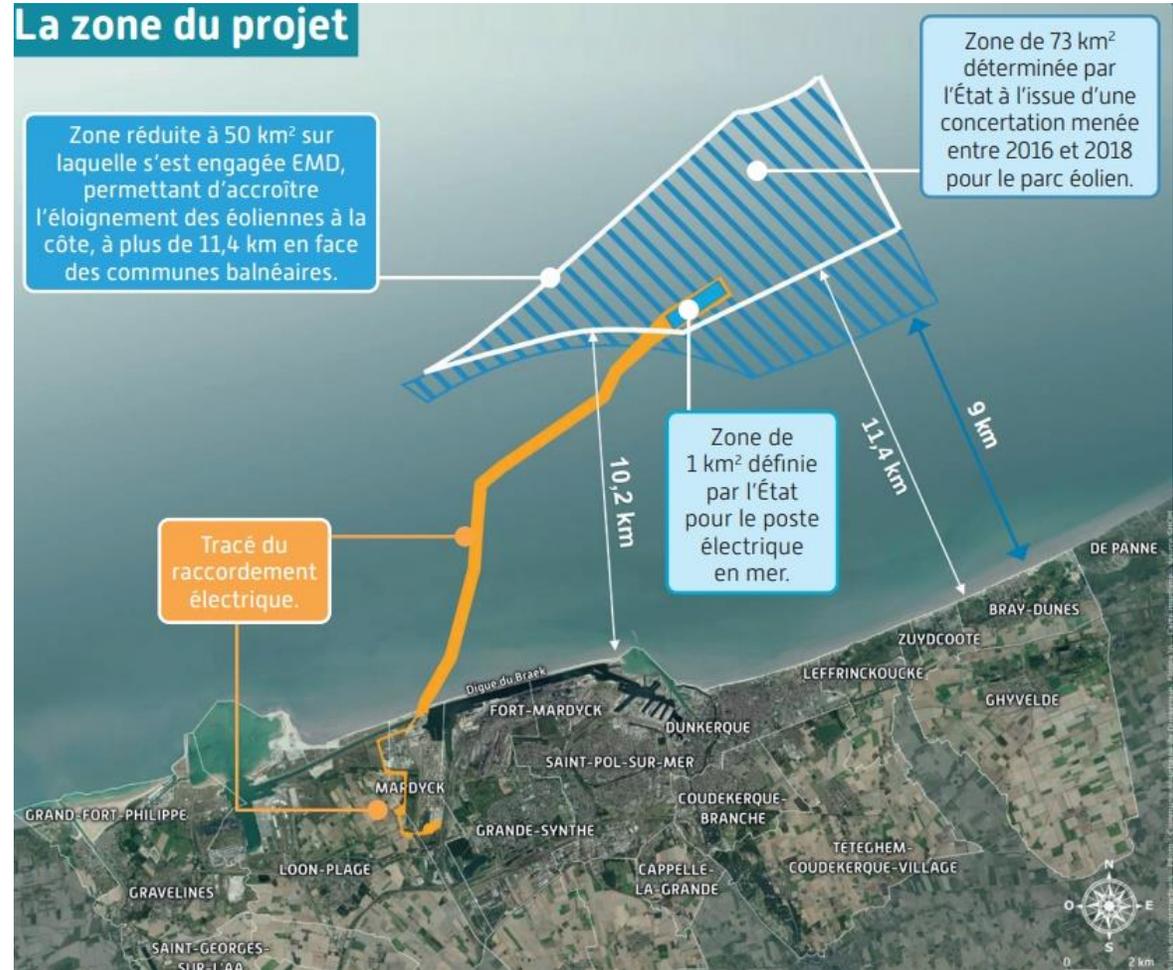


**Près d'1 millions  
d'habitants**  
alimentés en électricité  
renouvelable

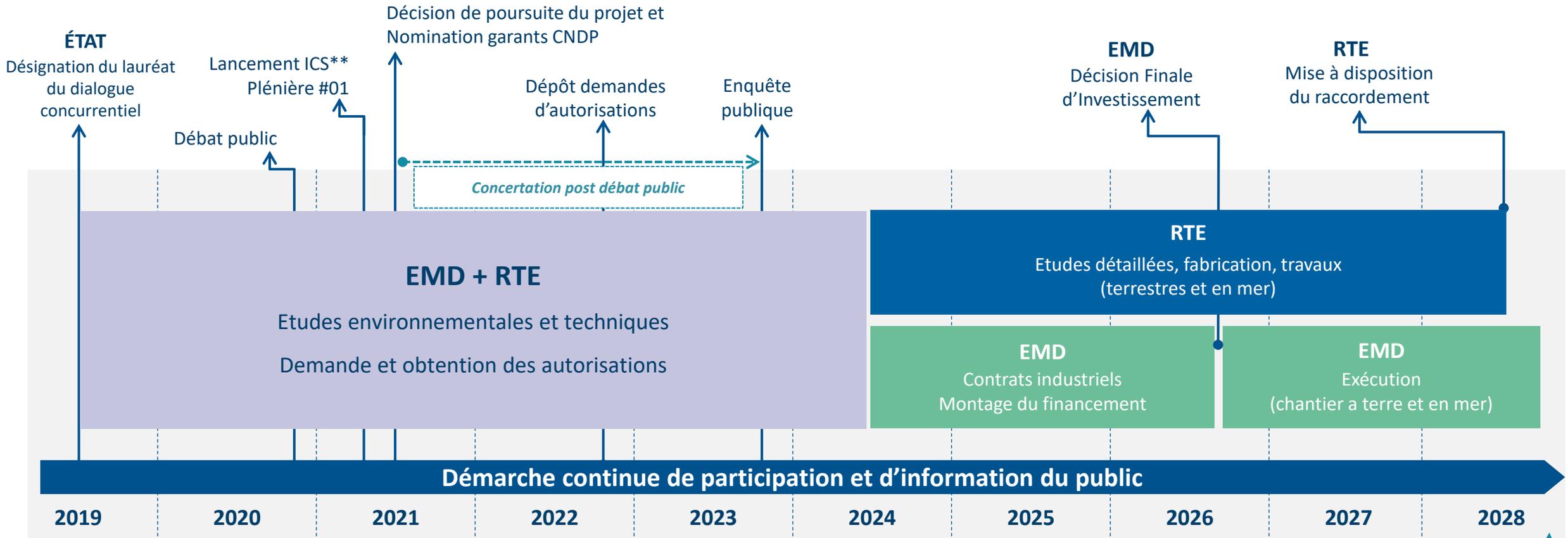


**2028**  
Mise en service prévue

## La zone du projet



# Le calendrier prévisionnel



Calendrier hors aléas

\*\* ICS = instance de concertation et de suivi

**Mise en service  
30 ans d'exploitation**

## B) Exercice pratique

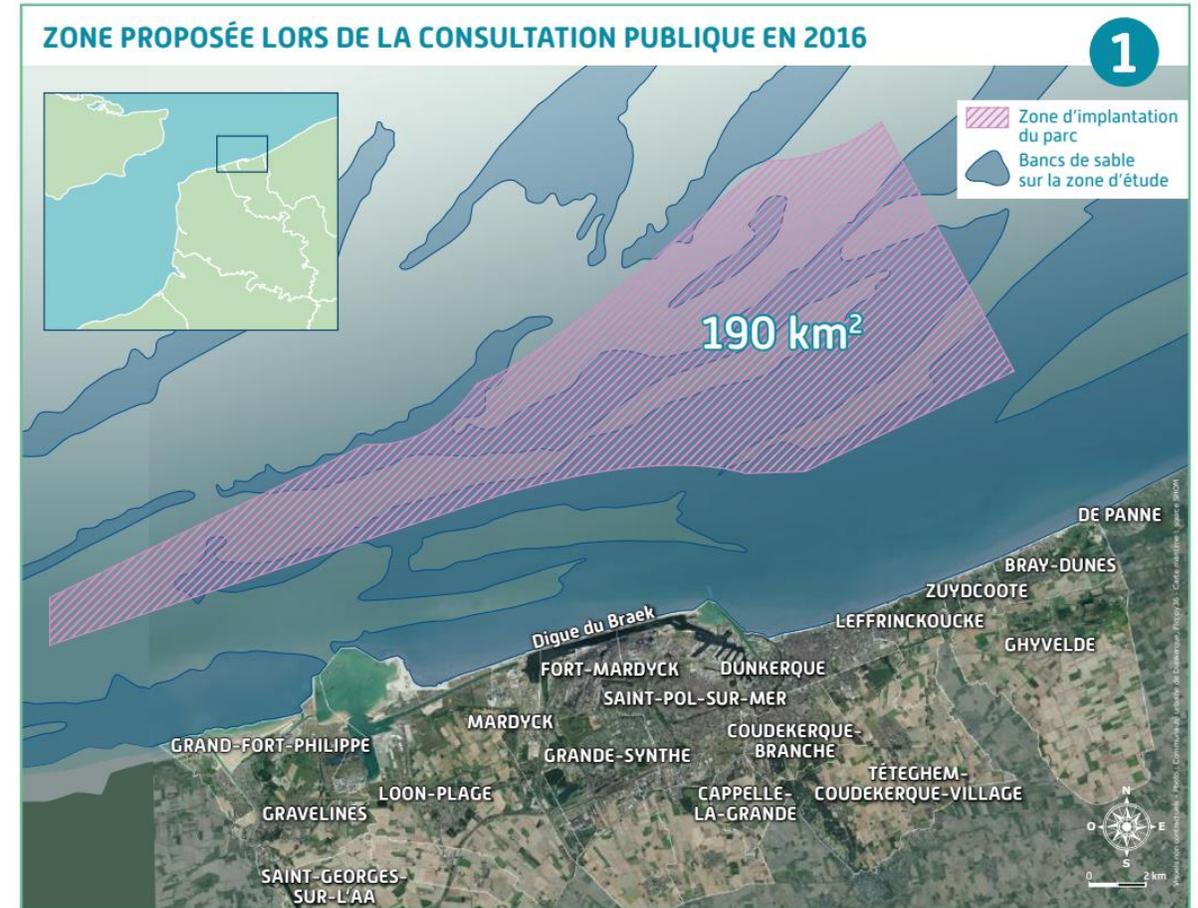


# Elaboration stratégies de la façade maritime Manche Est – Mer du Nord

## Concertation auprès des acteurs locaux

Lors de différentes **réunions thématiques** organisées à l'été 2016 par les services de l'État, les élus locaux, le public et les parties prenantes ont été invités à donner leur avis sur une **zone d'étude proposée d'une surface d'environ 190 km<sup>2</sup>**.

L'objectif était de concilier les différents enjeux et usages propres à cette zone.

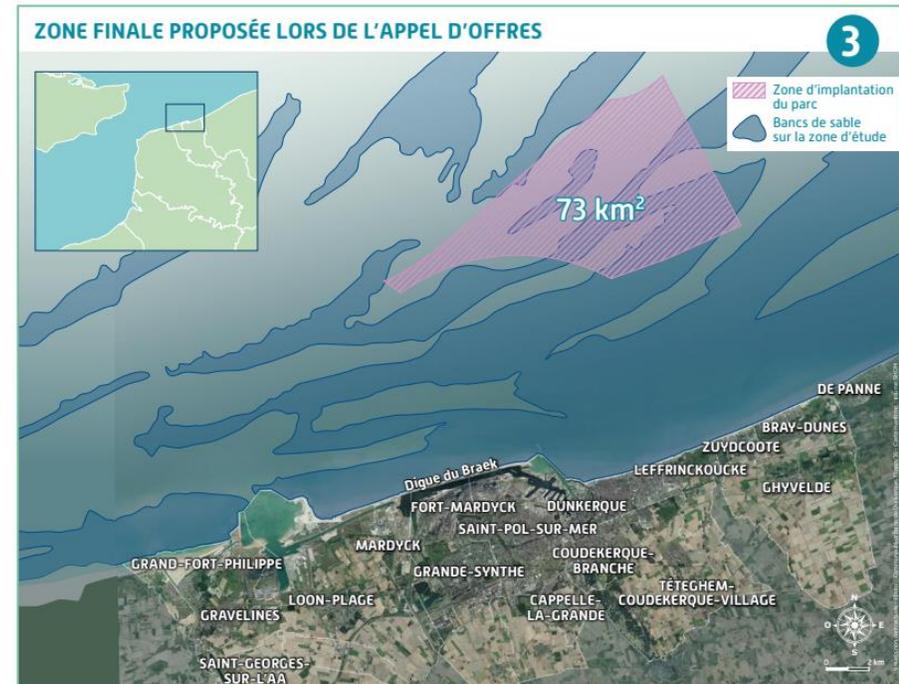
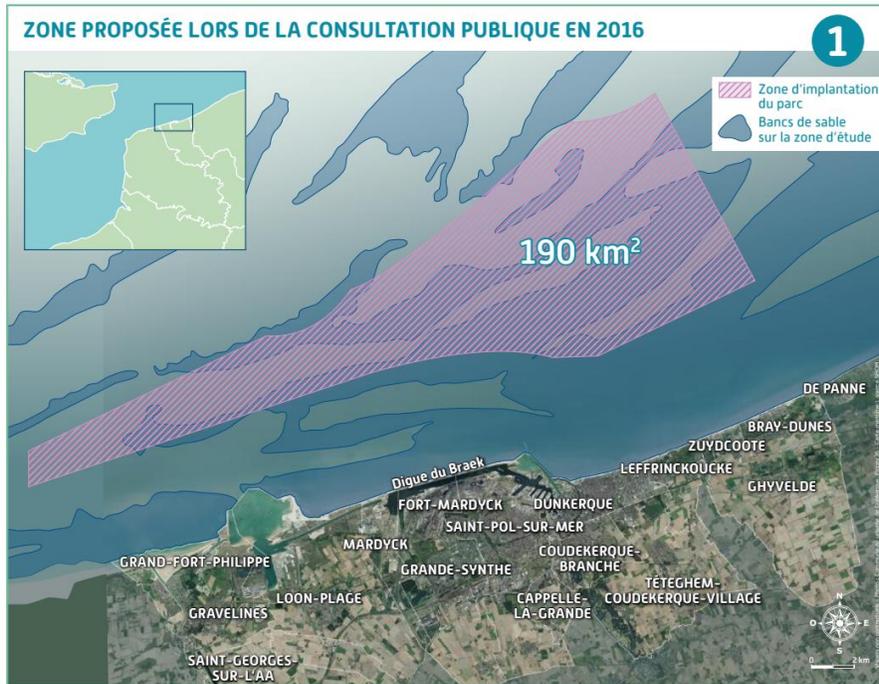




# Elaboration stratégies de la façade maritime Manche Est – Mer du Nord

## Exercice pratique

Quels critères pris en compte dans la réduction de la superficie de la zone ?





# Elaboration stratégies de la façade maritime Manche Est – Mer du Nord

## Exercice pratique

[Les Energies Marines Renouvelables \(arctgis.com\)](https://lc.cx/qJ4X6E)

<https://lc.cx/qJ4X6E>



CEREMA - DGEC

REPUBLIQUE FRANÇAISE Cerema

### Les Energies Marines Renouvelables

Porter à connaissance des données géographiques utilisées dans le cadre de la consultation au large des côtes de Dunkerque pour l'implantation d'un parc éolien posé en mer.

Les informations affichées sont issues d'un recueil de données effectué en 2014/2015 dans le cadre de la consultation EMR auprès des services gestionnaires.

Les cartographies dynamiques sont organisées par thématiques. Pour y accéder, faites défiler le journal cartographique.

Les métadonnées associées sont accessibles [ici](#).

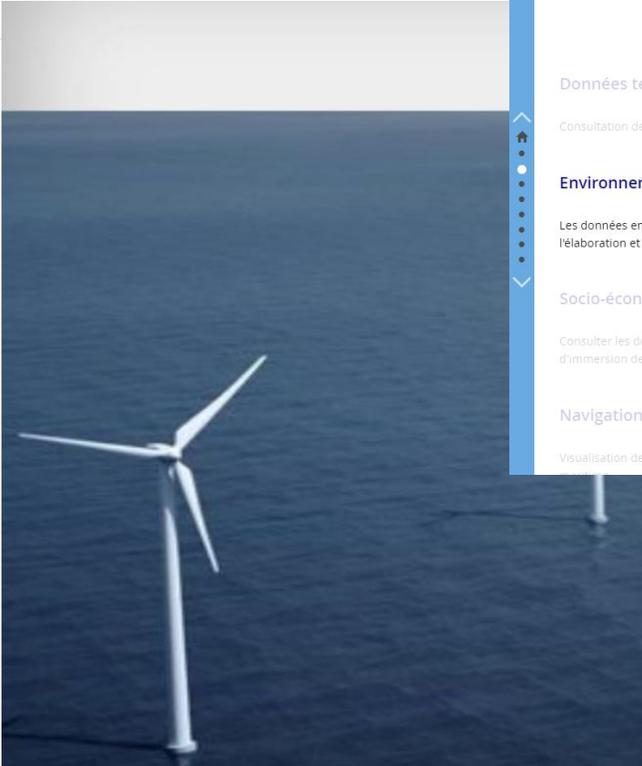
Crédits illustration : ©MEEM

Données techniques

Consultation de la bathymétrie, de la vitesse du vent ...

Environnement, paysage et patrimoine

Les données environnementales, paysagères et patrimoniales utiles à l'élaboration et la mise en place d'EMR sont présentées ici.



CEREMA - DGEC

REPUBLIQUE FRANÇAISE Cerema

### Les Energies Marines Renouvelables

thématiques. Pour y accéder, faites défiler le journal cartographique.

Les métadonnées associées sont accessibles [ici](#).

Crédits illustration : ©MEEM

Données techniques

Consultation de la bathymétrie, de la vitesse du vent ...

Environnement, paysage et patrimoine

Les données environnementales, paysagères et patrimoniales utiles à l'élaboration et la mise en place d'EMR sont présentées ici.

Socio-économie

Consulter les données sur les granulats marins, sur les sites d'immersion de sédiments de dragage, les accès au DPM ...

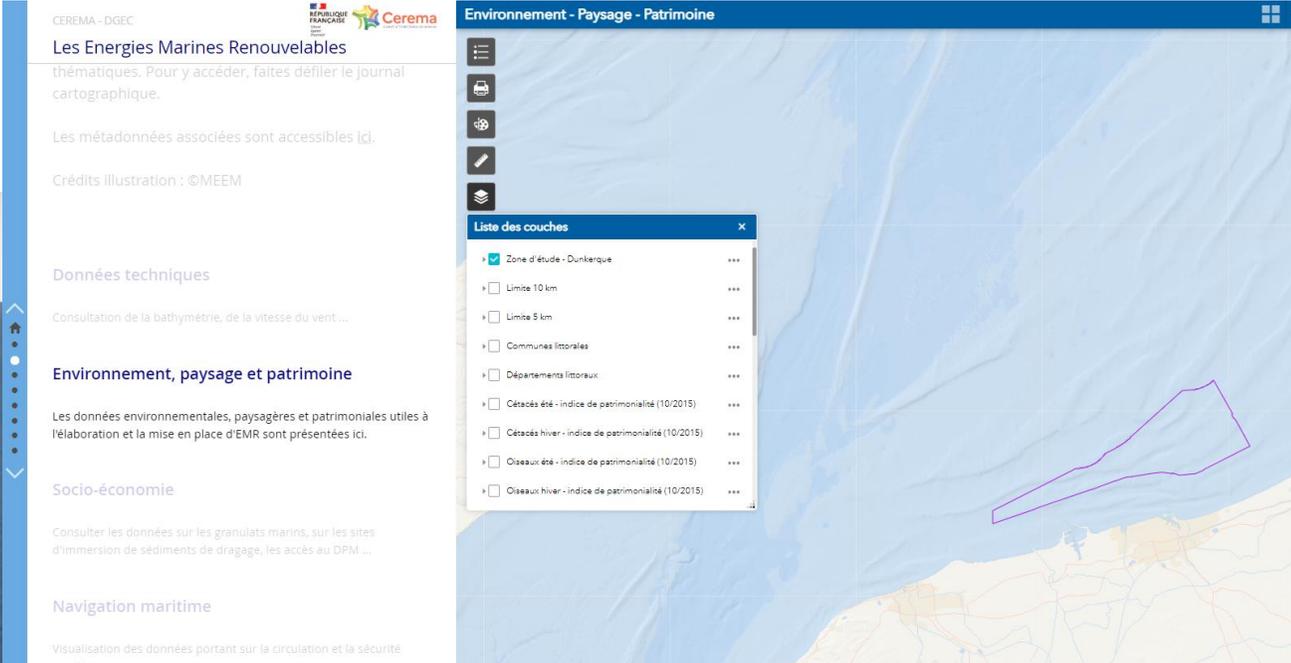
Navigation maritime

Visualisation des données portant sur la circulation et la sécurité

Environnement - Paysage - Patrimoine

Liste des couches

- Zone d'étude - Dunkerque
- Limite 10 km
- Limite 5 km
- Communes littorales
- Départements littoraux
- Cétacés été - indice de patrimonialité (10/2015)
- Cétacés hiver - indice de patrimonialité (10/2015)
- Oiseaux été - indice de patrimonialité (10/2015)
- Oiseaux hiver - indice de patrimonialité (10/2015)

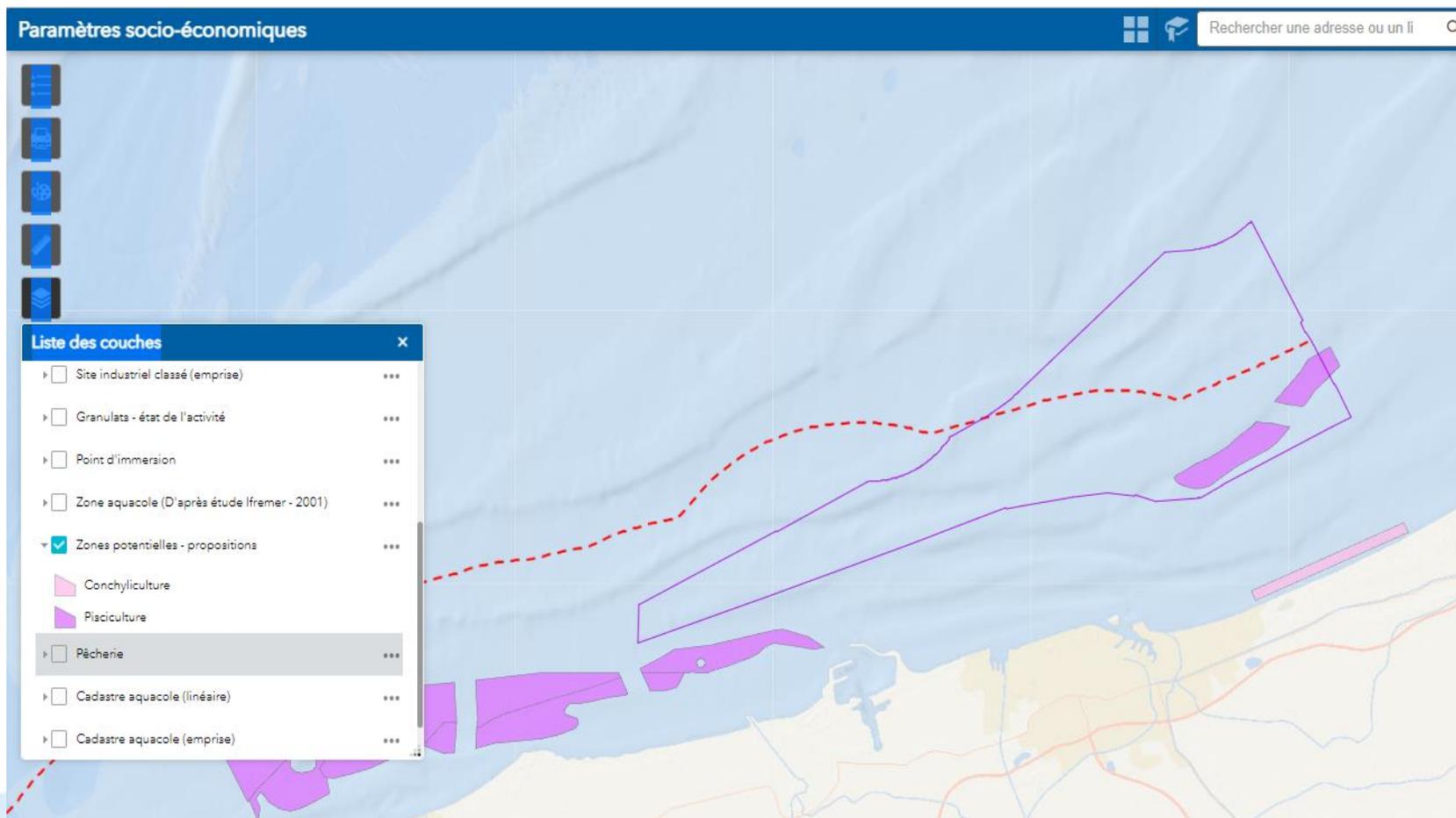




# Elaboration stratégies de la façade maritime Manche Est – Mer du Nord

## Exercice pratique

*Les Energies Marines Renouvelables (arctgis.com)*

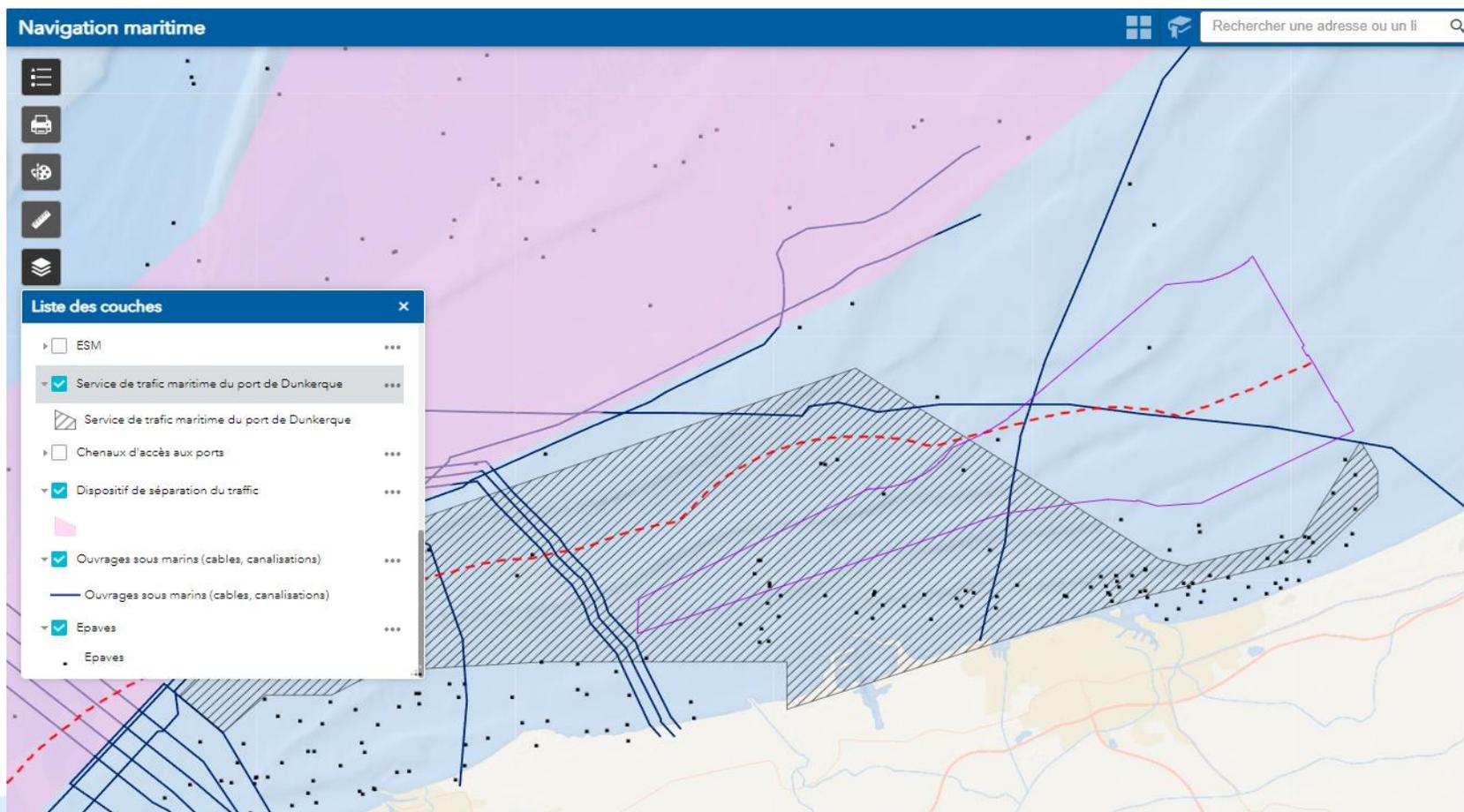




# Elaboration stratégies de la façade maritime Manche Est – Mer du Nord

## Exercice pratique

*Les Energies Marines Renouvelables (arcgis.com)*

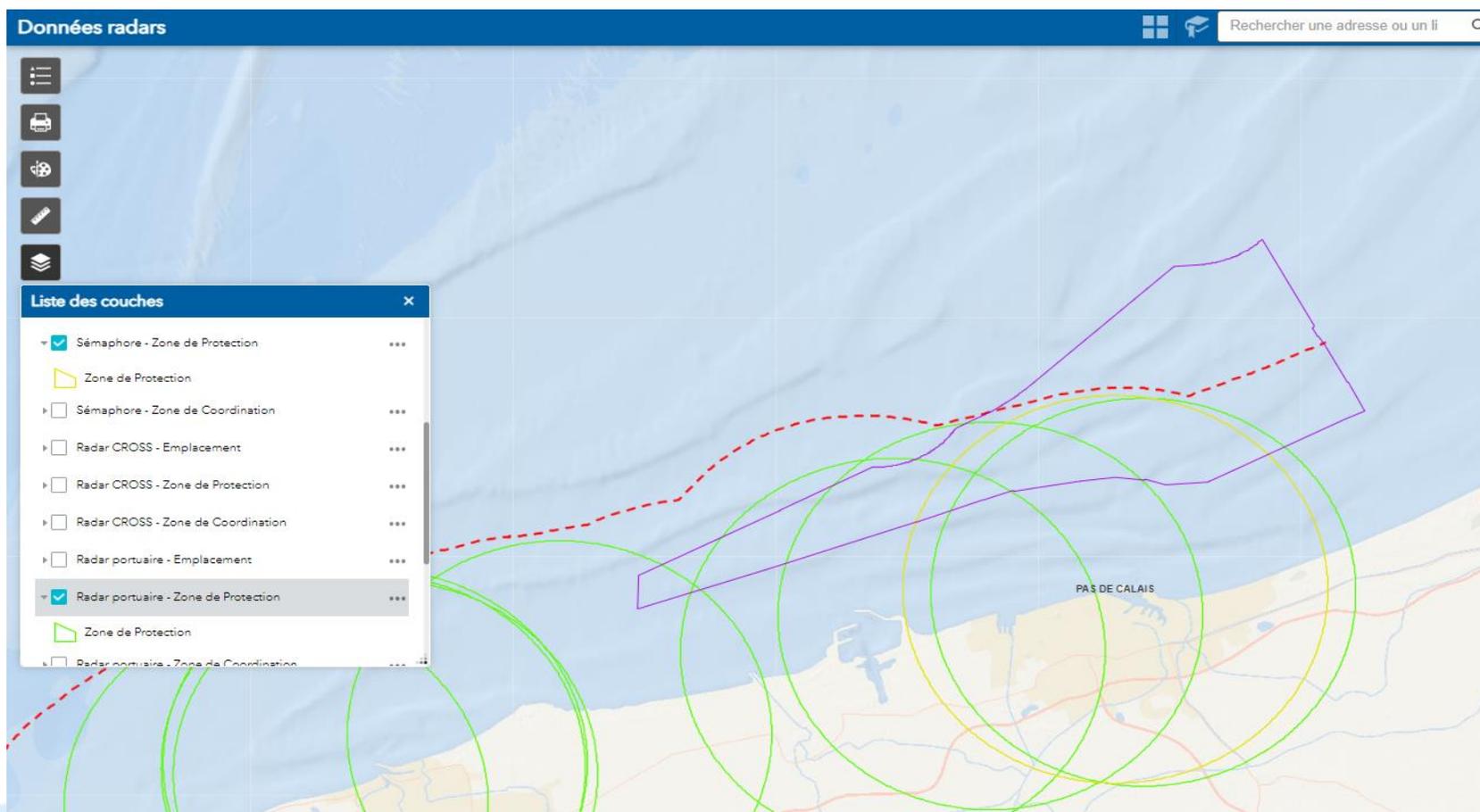




# Elaboration stratégies de la façade maritime Manche Est – Mer du Nord

## Exercice pratique

[Les Energies Marines Renouvelables \(arcgis.com\)](#)

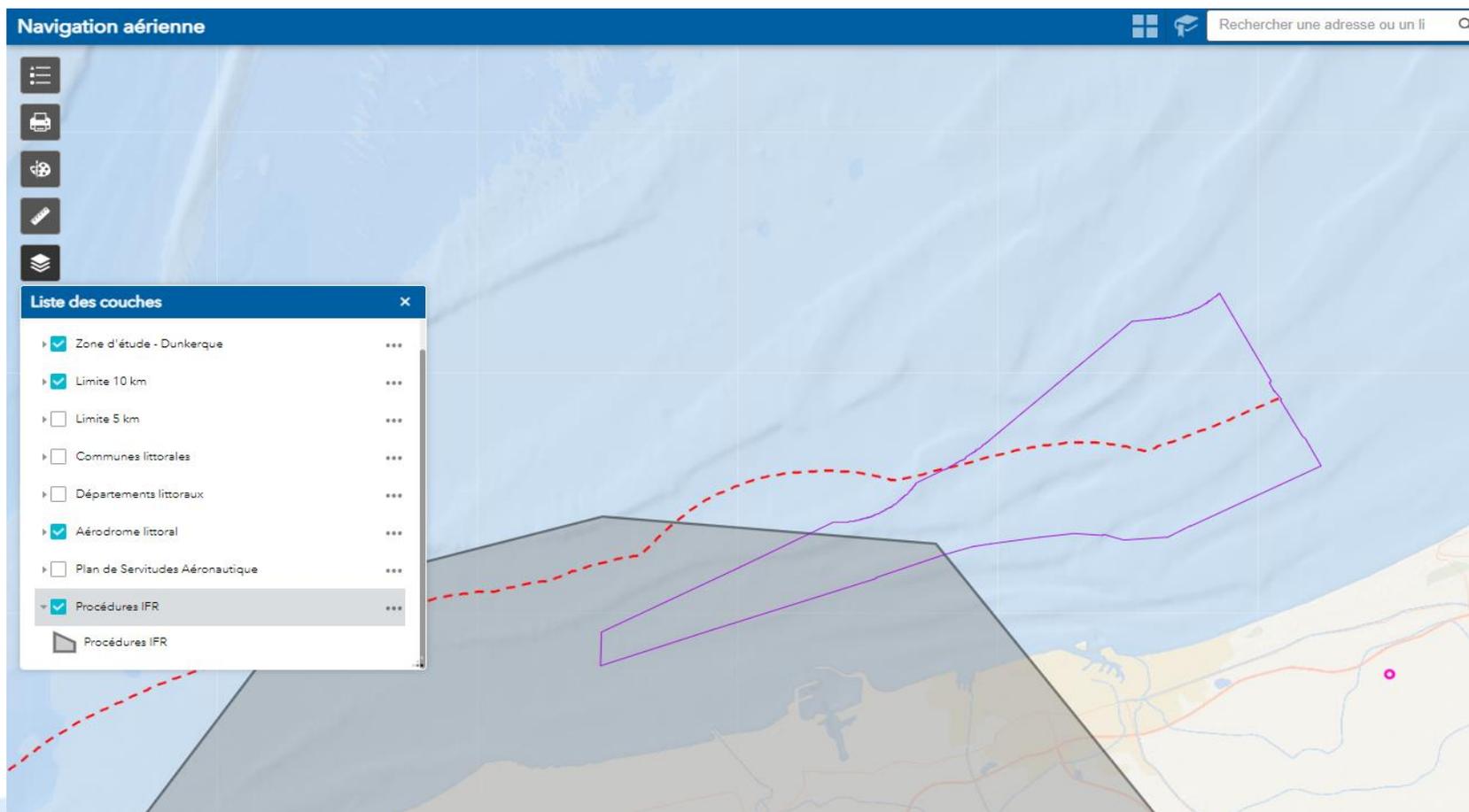




# Elaboration stratégies de la façade maritime Manche Est – Mer du Nord

## Exercice pratique

*Les Energies Marines Renouvelables (arctgis.com)*



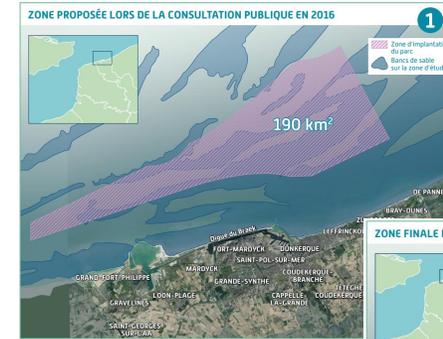
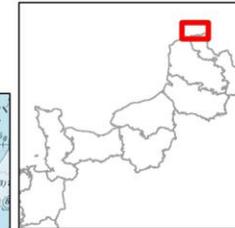
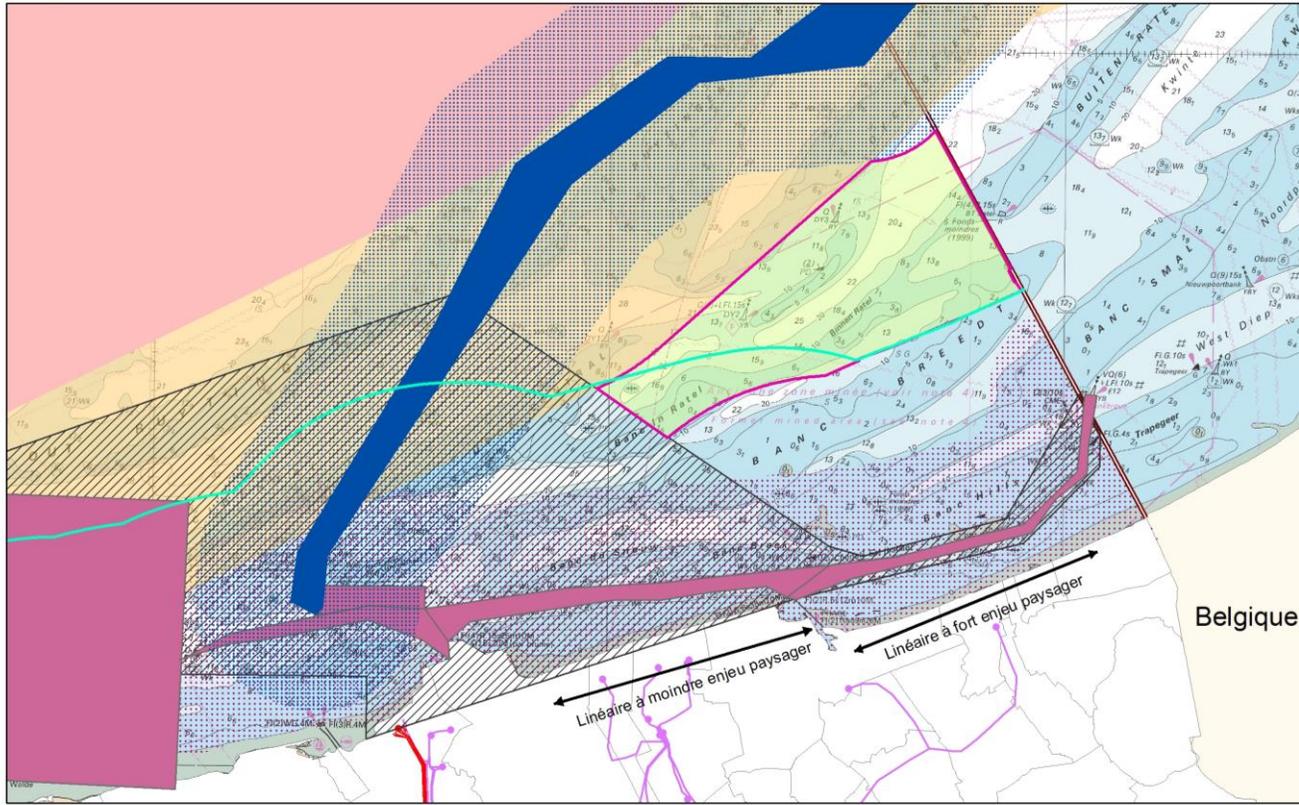


# Elaboration stratégies de la façade maritime Manche Est – Mer du Nord

## Exercice pratique



Production électrique en mer d'origine renouvelable - Analyse au large de Dunkerque  
Servitudes de la route des Bancs des Flandres et des chenaux d'accès aux ports  
Service du trafic maritime du port de Dunkerque



- la frontière maritime belge, à l'Est ;
- une distance de sécurité de 5 milles nautiques par rapport au dispositif de séparation du trafic (DST) maritime du détroit du Pas-de-Calais, au Nord ;
- la route d'accès au port de Dunkerque à l'Ouest (intégrant un espace libre pour les radars et les accès au port) ;
- une distance supérieure à 9 kilomètres de la côte au Sud.

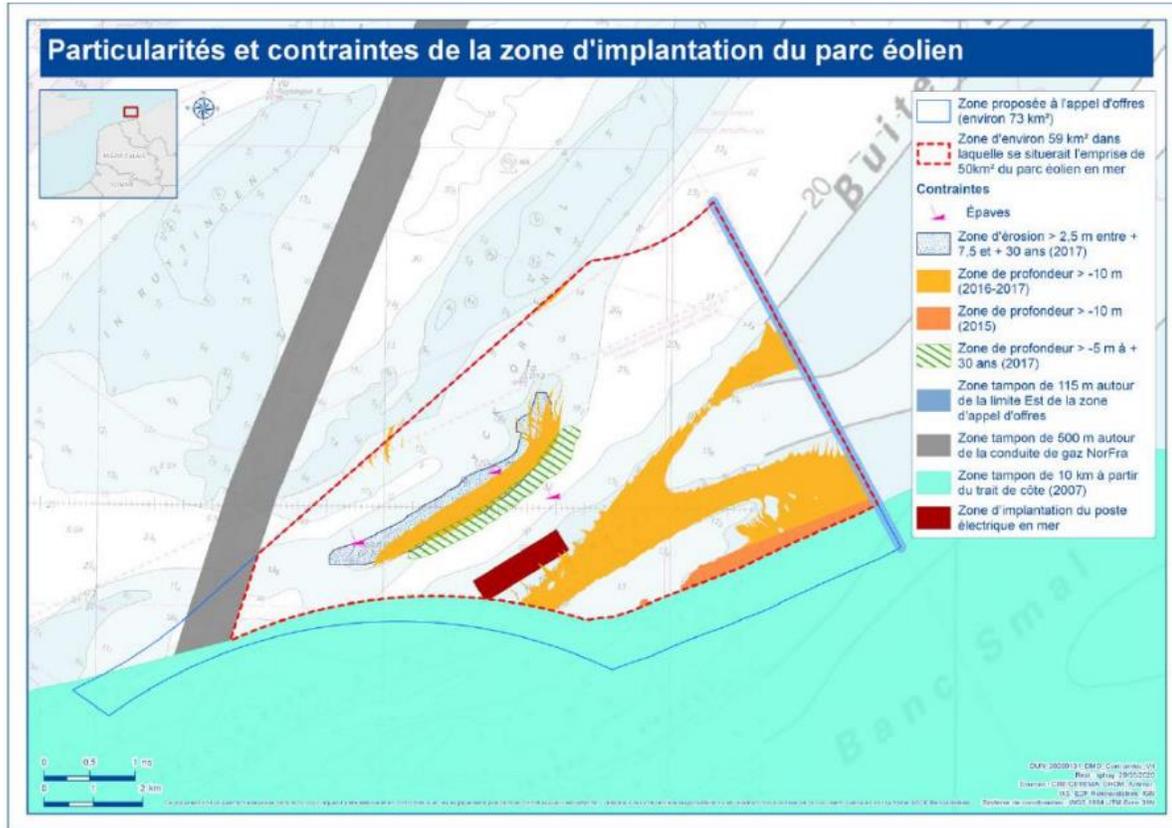
Copyrights : MEEM, Préfecture maritime, SHOM, BD Topo® Départements - ©IGN Paris - Reproduction interdite  
Projection : Lambert 93

Réalisation : Cerema  
Date : 09/2016





# Schéma d'implantation des éoliennes





# Schéma d'implantation des éoliennes

