

# Analyses du vent et étude du potentiel technico-économique éolien en mer

B. Pouponneau<sup>1</sup>, L.Thiebaud<sup>2</sup>, C. Conseil<sup>3</sup>, P.Vigne<sup>4</sup>,  
J.Christin<sup>5</sup>, C. Périard<sup>1</sup>, S. Martinoni-Lapierre<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Météo-France, Toulouse, France

<sup>2</sup>Cerema, Plouzané, France

<sup>3</sup>Météo-France, Rennes, France

<sup>4</sup>Cerema, Rouen, France

<sup>5</sup>Cerema, Aix-en-Provence, France.



# Sommaire

## Contexte

### I – Estimation de la ressource en vent (*Travaux Météo France*)

- 1) Fonctionnement modèle AROME
- 2) Constitution de l'atlas éolien offshore du vent à 100 mètres
- 3) Comparaison des données AROME et d'un mât de mesures en Mer du Nord

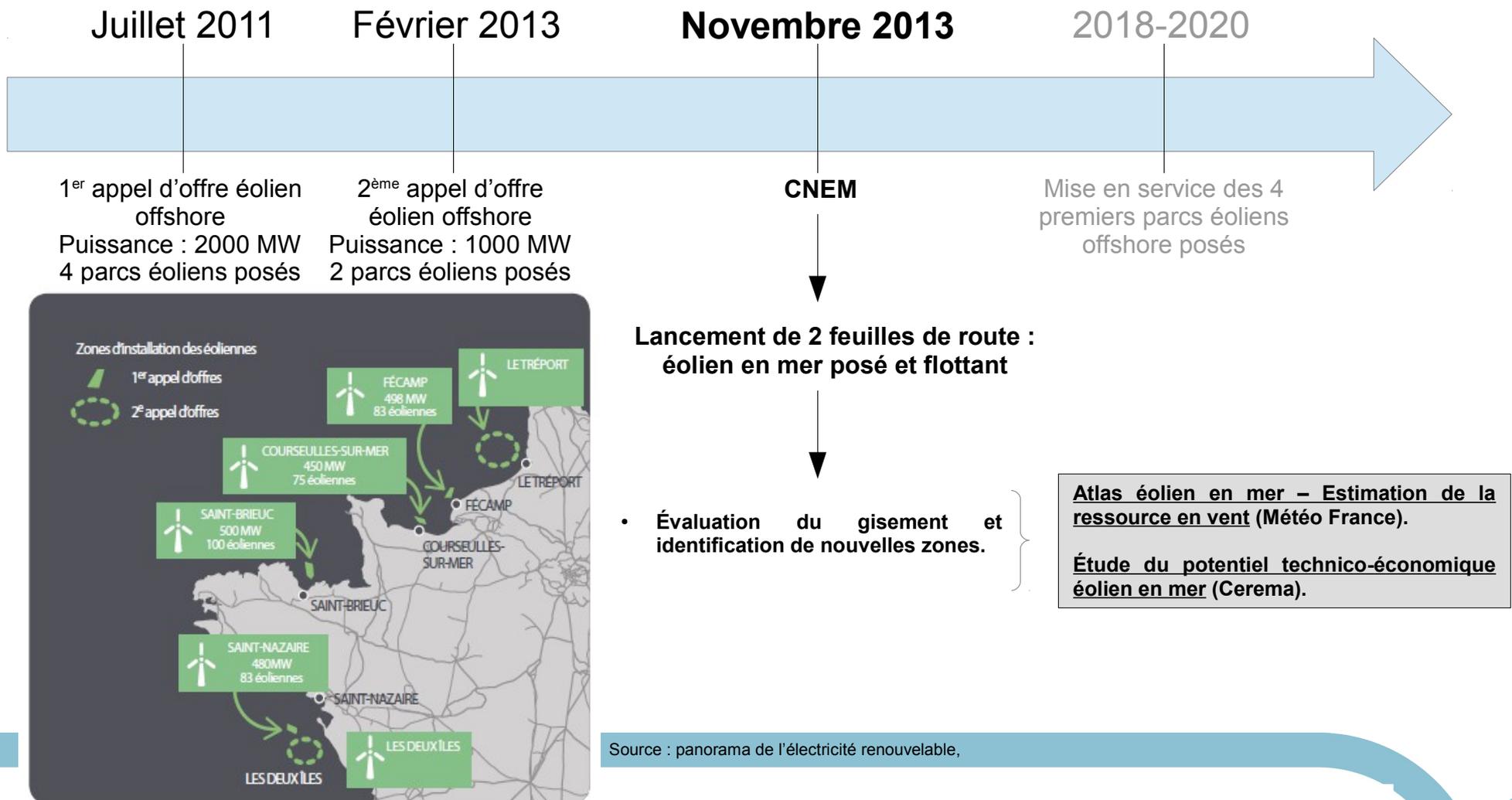
### II – Potentiel technico-économique éolien en mer (*Travaux Cerema*)

- 1) Objectif et méthodologie
- 2) Résultats cartographiques : capacités de production
- 2) Présentation de l'étude en concertation
- 3) Analyse détaillée du vent

## Conclusion

# Contexte

**Objectif :** Puissance installée de 6000 MW à partir d'éolien en mer et autres EMR à l'horizon 2020 (*Programmation pluriannuelle des investissements*).



# Estimation de la ressource en vent

**Besoin** : Besoin de disposer d'une description de la ressource en vent homogène sur toutes les côtes métropolitaines.

La connaissance du vent moyen 10 minutes à 100 mètres permet d'évaluer les capacités de production d'un site avec :

- une profondeur de données de 10 ans minimum ;
- un échantillonnage devant prendre en compte les phénomènes locaux.

## Deux possibilités :

1) Réaliser des campagnes de mesures → Limites de cette approche : très locale et limitée dans le temps.

2) Exploiter des modèles météorologiques qui réalisent des simulations de l'atmosphère en 3 dimensions, et assurent une cohérence physique tridimensionnelle du vent.

## Modèles météorologiques :

- Expérience de Météo France en modélisation de l'atmosphère et mesures météorologiques.
- Modèle opérationnel atmosphérique de méso-échelle AROME :
  - résolution 2,5km
  - qui a les capacités de représenter les phénomènes locaux.

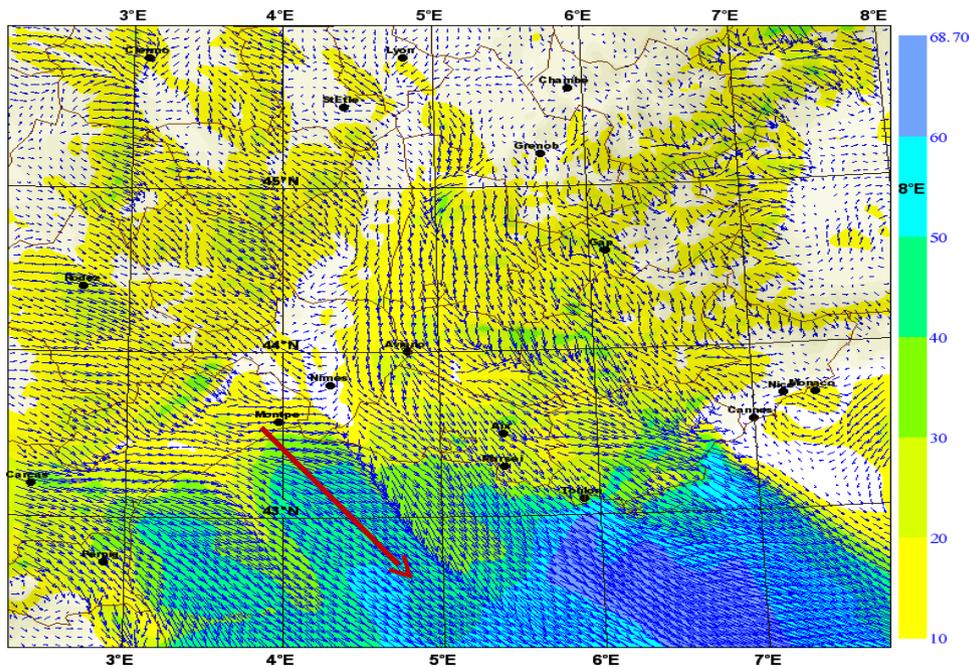
# Estimation de la ressource en vent

## Représentation des phénomènes locaux avec AROME

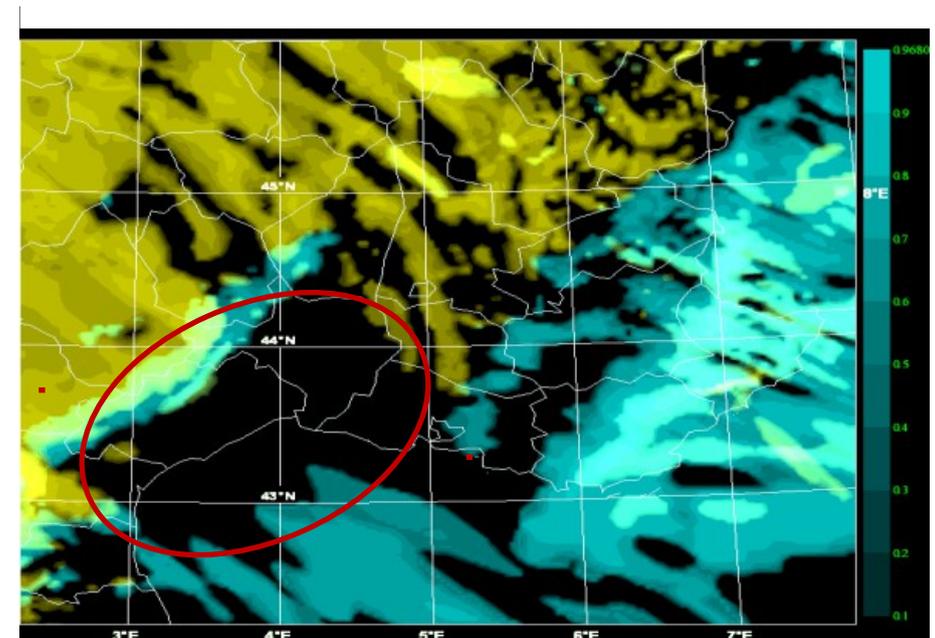
### Cas de la tramontane : 12 novembre 2006

- Vent de nord-ouest à nord par temps sec et ensoleillé.  
Il y a dessèchement de l'air en descendant les reliefs (zone où souffle la tramontane).

Vent (km/h)



Nuages vus par le modèle

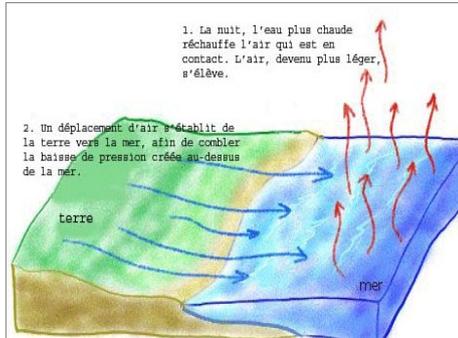


- Cohérence des données sur toute la verticalité du modèle.

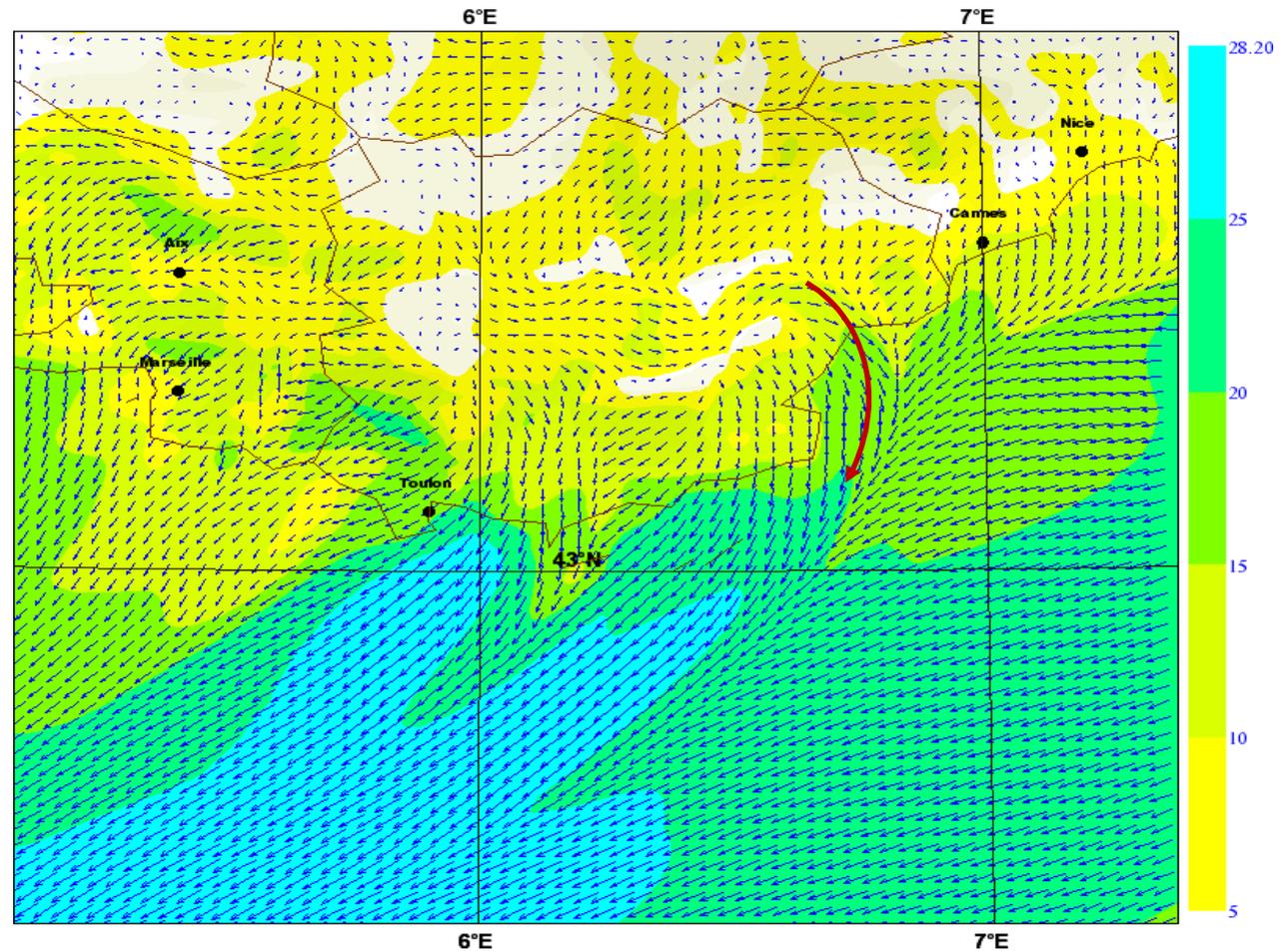
# Estimation de la ressource en vent

## Représentation des phénomènes locaux avec AROME

### Impact du relief sur les brises de terre



Aro 2006101300+0600 17m wind & speed (km/h)



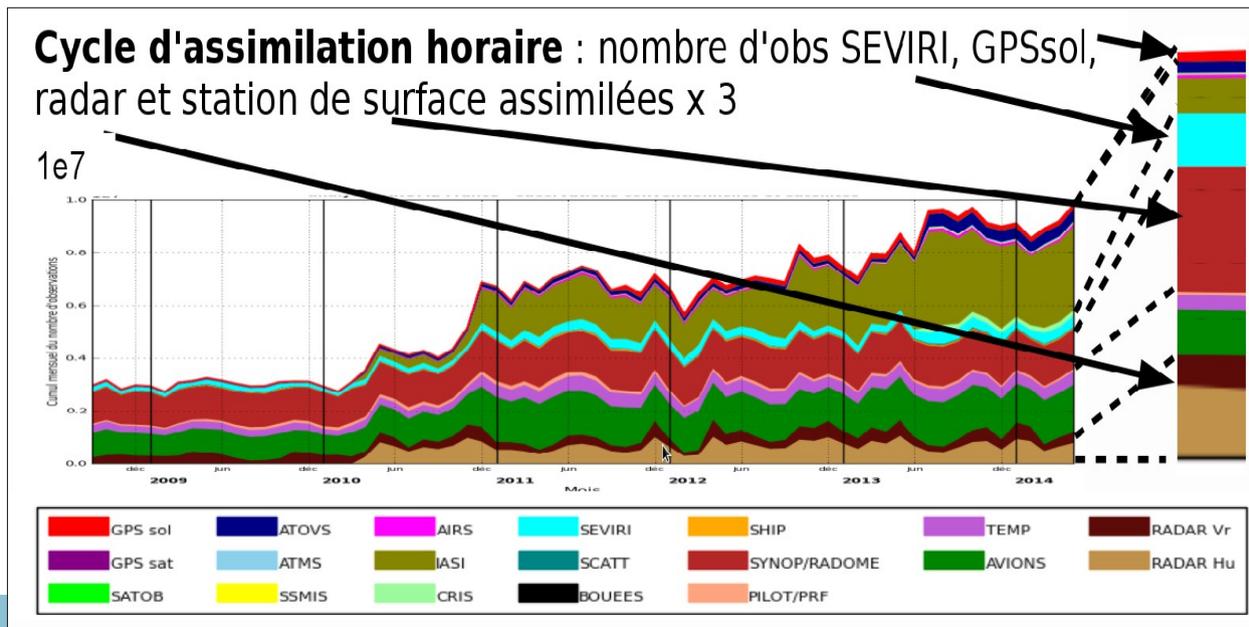
# Fonctionnement modèle AROME 2,5 km

## Un modèle numérique

- Modèle de **méso-échelle** optimisé pour la prévision temps réel.
- **Production quotidienne depuis fin 2008**: 4 prévisions archivées au pas de temps horaire sur 30h et assimilation de données temps réel.
- **Physique** adaptée aux échelles kilométriques : phénomènes de rayonnement, de microphysique nuageuse, de turbulence, de convection peu profonde, d'interactions avec la surface (sol, végétation, villes, mer, glace, neige...).

## Un système d'assimilation de données

- **Assimilation d'observations haute résolution en temps réel** avec:
  - observation de surface (bouées, bateaux, stations, terrestres),
  - données avions lignes,
  - radiances satellitaires,
  - données issues de GPS,
  - diffusiomètres, radars.
- **L'assimilation est une étape clef qui permet une reconstitutions 3D du vent tenant compte des observations, et rafraîchie 4 fois par jour.**



# Constitution de l'atlas éolien offshore du vent à 100 mètres

## Données de l'atlas éolien en mer :

- vent à 100 mètres ;
- sur 10 ans (2004 – 2013) ;
- résolution horizontale de 2,5km ;
- informations sur la composante FF (force du vent) ;
- informations sur la composante DD (direction du vent).

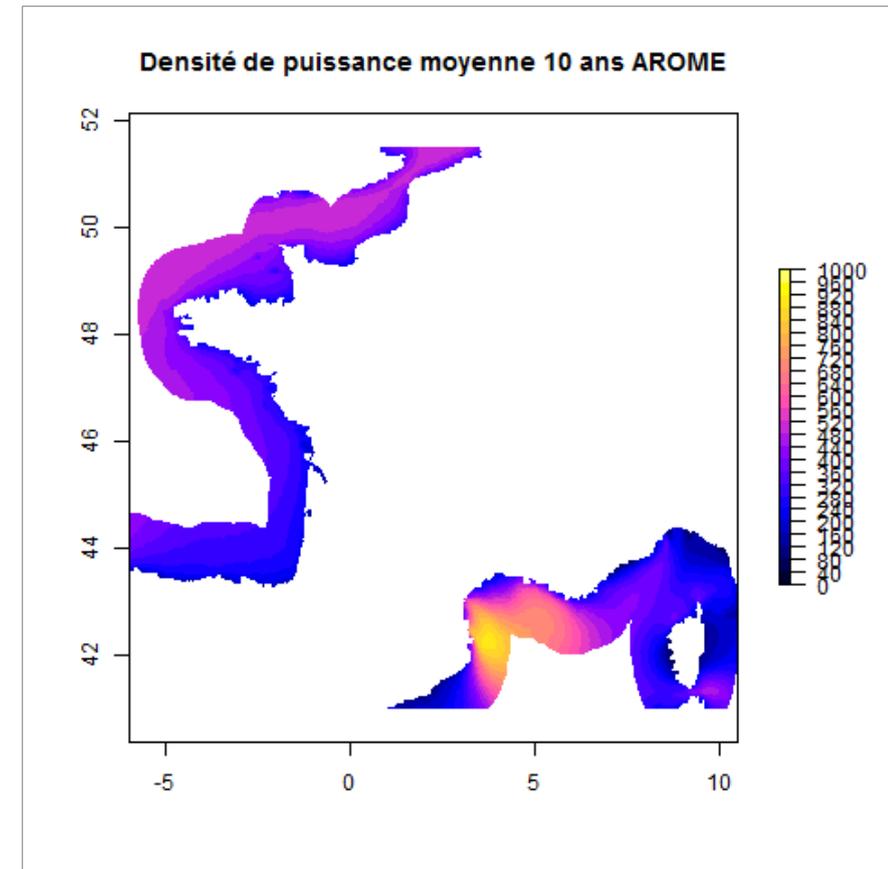
Deux séries de données :

- 2009 – 2013 : données issues de AROME opérationnel : représente localement le vent moyen 10 minutes.  
=> Constitution de la série temporelle 2009-2013 (→ mât virtuel)
- 2004 – 2008 : données reconstituées selon une descente d'échelle statistique s'appuyant sur les données AROME opérationnel (Méthode des analogues par types de temps).  
! Série temporelle reconstituée exploitable qu'en termes statistiques  
=> Constitution de la série temporelle 2004-2008

# Constitution de l'atlas éolien offshore du vent à 100 mètres

## Liste des données produites sur la bande côtière, géo-référencées en WGS84

- ✓ Moyenne 10 ans (m/s) et moyennes mensuelles sur 10 ans (m/s).
- ✓ Distribution statistique du vent 100 mètres.
- ✓ Variation diurne horaire de la force du vent sur la période 10 ans (m/s).
- ✓ Densité de puissance ( $W/m^2$ ).
- ✓ Coefficients de Weibull A (m/s) et k sur l'ensemble des secteurs.
- ✓ Roses de vent fréquentielles fournies par classes de 1m/s par secteur de  $30^\circ$ .



# AROME à l'épreuve des mesures en Mer du Nord

Capacité du modèle à estimer la ressource en vent :

- site de la plate-forme *Kentish Flats Offshore Wind Farm* (51,041°N – 1,066°E)
- point AROME le plus proche (51.425°N – 1.075°E).

A 100m, sur la période 01/01/2004 au 19/11/2004	Série horaire du mât de mesures (1)	Série horaire du modèle AROME
Vent moyen (m/s)	8,13	8,10
Puissance théorique moyenne (Watt/m <sup>2</sup> )	622	545 (-12.3%)

(1) Données gracieusement fournies par Crown Estate propriétaire des données (<http://www.marinedataexchange.co.uk/>).



# Potentiel technico-économique éolien en mer

## Objectif

- Représenter le potentiel technico-économique l'éolien en mer à partir des paramètres et des critères technico-économiques fournis par les organisation de professionnels de la filière (SER/FEE).

## Étude des paramètres technico-économiques

- Paramètres étudiés pour définir le potentiel éolien en mer :
  - Ressource en vent disponible sur le site (*production*) ;
  - Conditions météo-océaniques et hydrodynamiques du site (*coûts*) ;
  - Profondeur du site (*coûts*) ;
  - Nature des fonds (paramètre non pris en compte dans l'étude qui nécessite des campagnes de mesures) (*coûts*).
- Pour chaque paramètre, différents secteurs sont cartographiés à l'aide du logiciel ArcGIS :
  - les zones plus ou moins favorables, du point de vue technico-économique, pour l'implantation et l'exploitation de parcs éolien en mer ;
  - les zones techniquement et économiquement exclues.

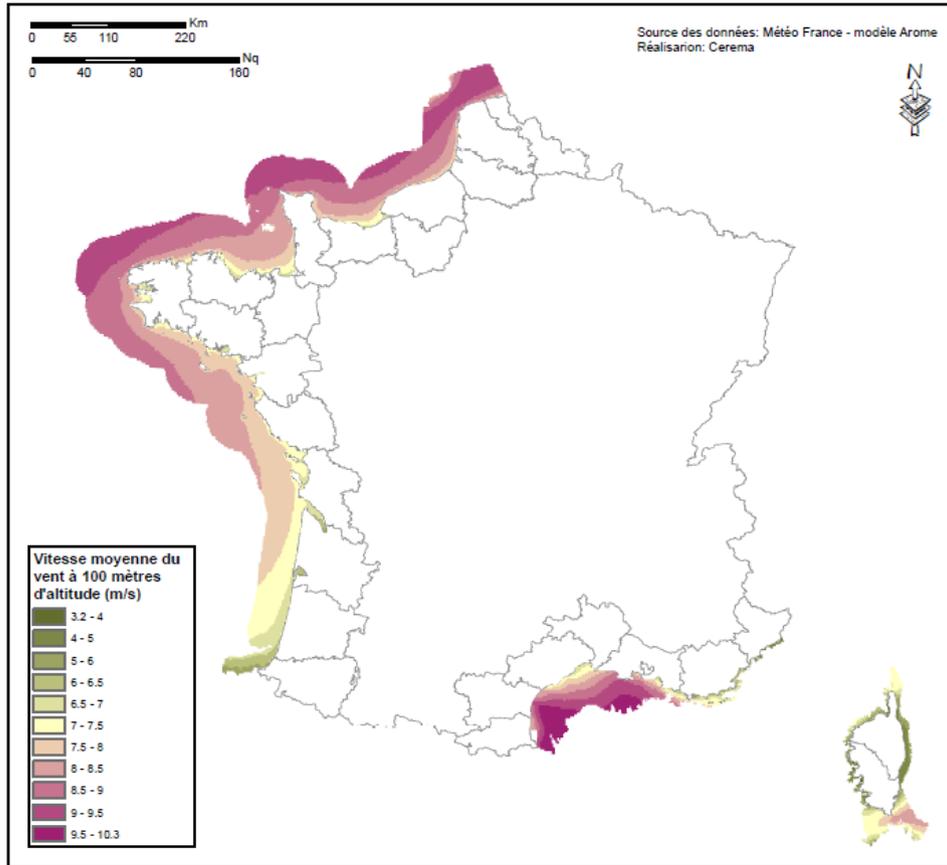
=> Apporter des nuances d'ordre technico-économique, portant d'une part sur les capacités de production d'un site et d'autre part sur les coûts des projets.

**Méthode** : Détermination de valeurs seuils représentatives des conditions optimales ou d'exclusions pour l'éolien en mer et construction de courbes de notation allant de 0 (zones techniquement exclues) à 10 (zones très favorables).

# Résultats cartographiques : capacité de production

## Paramètre : Vitesse moyenne du vent à 100 mètres

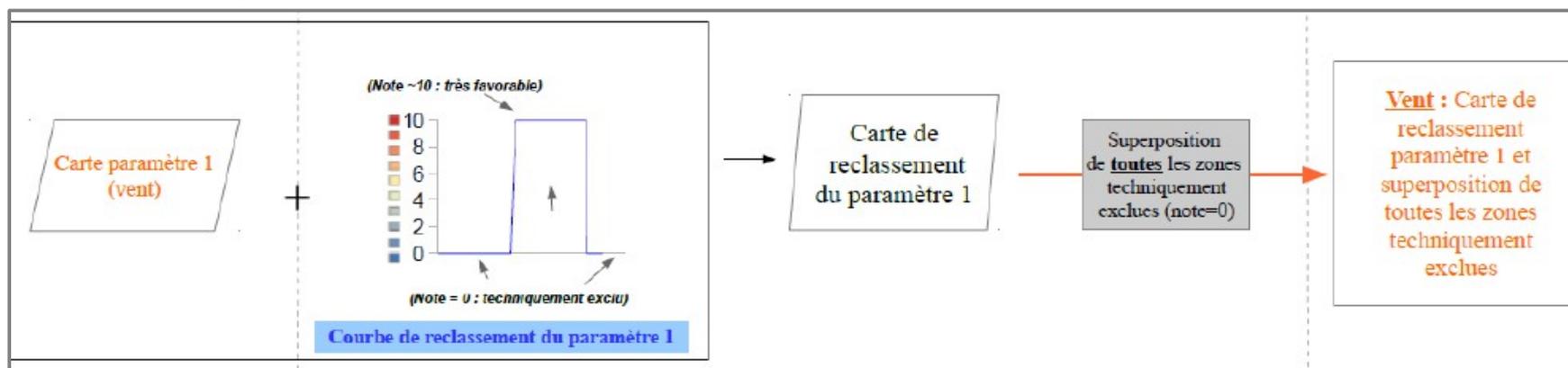
- Conversion du semi de points des vitesses moyennes du vent en image avec une résolution de 0,025°.



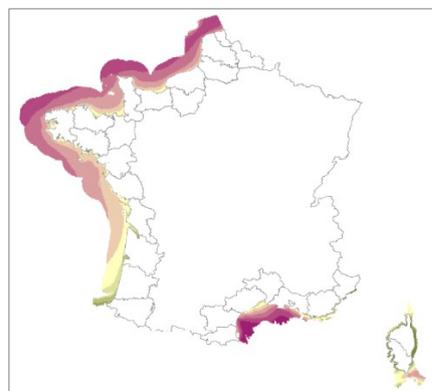
=> L'étude des données de vent permet de caractériser les capacités de production d'un site (paramètre déterminant, représentatif de la performance économique d'un site pour ces projets).

# Résultats cartographiques : capacité de production

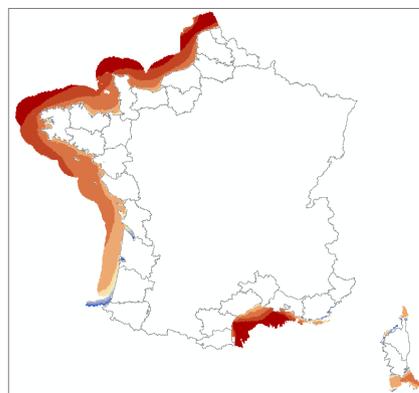
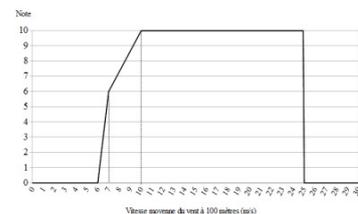
## Méthodologie



## Application : étude de la ressource en vent pour l'éolien en mer



Vitesse du vent



Reclassement de la vitesse du vent

Éolien posé

+



Zones exclues éolien posé (vent, bathymétrie, courants,...)

Éolien flottant

+

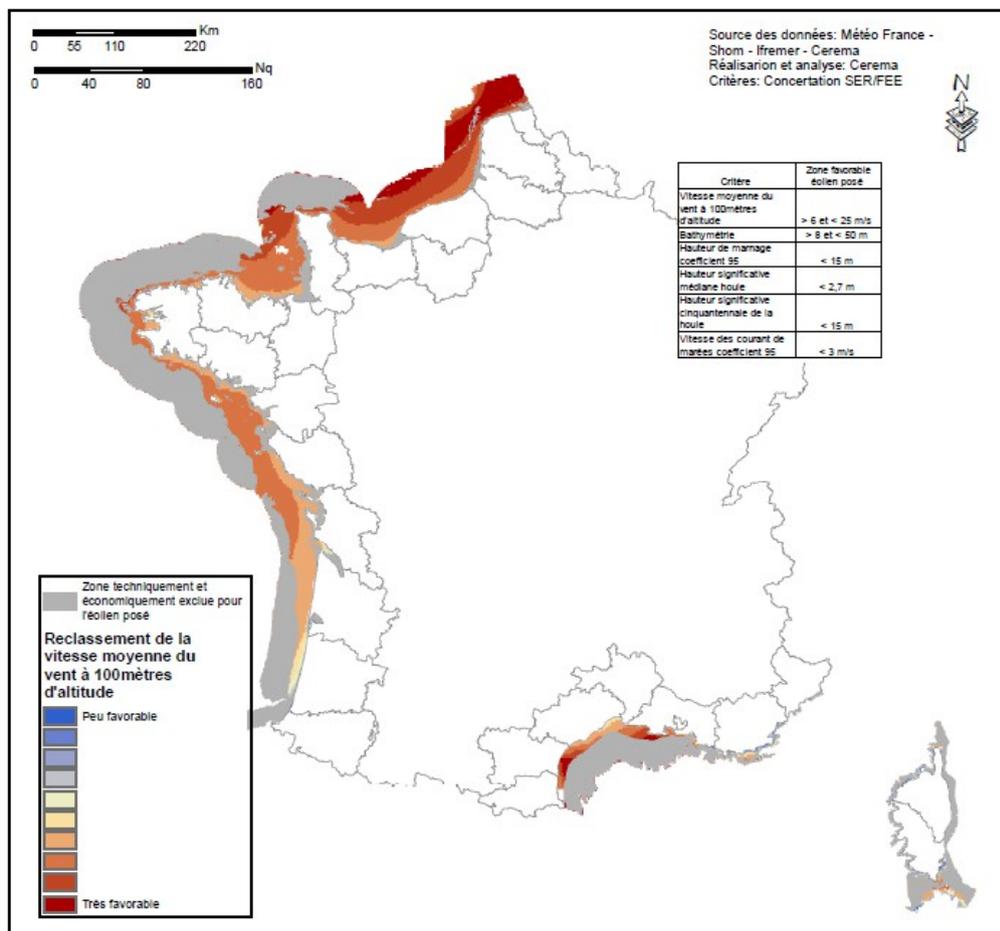


Zones exclues éolien flottant (vent, bathymétrie, courants,...)

# Résultats cartographiques : capacité de production

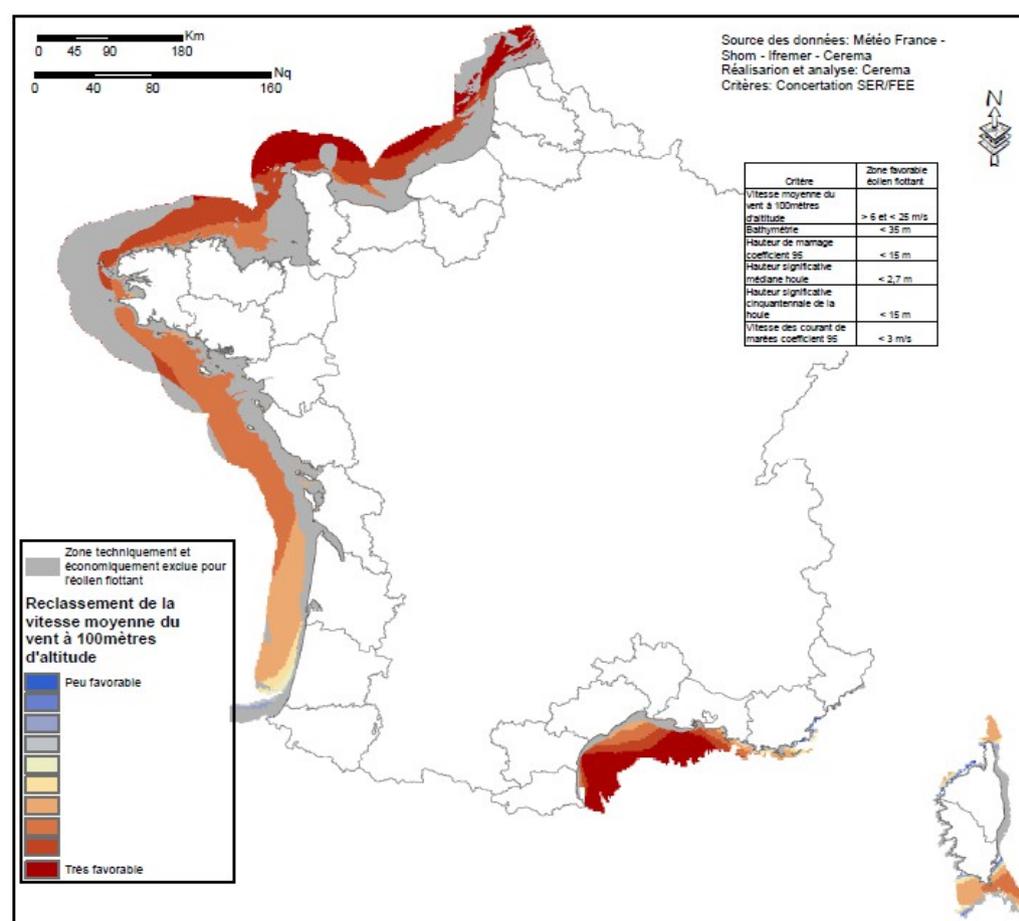
## Potentiel éolien posé :

Reclassement de la « vitesse du vent » et superposition des zones techniquement exclues éolien en mer posé



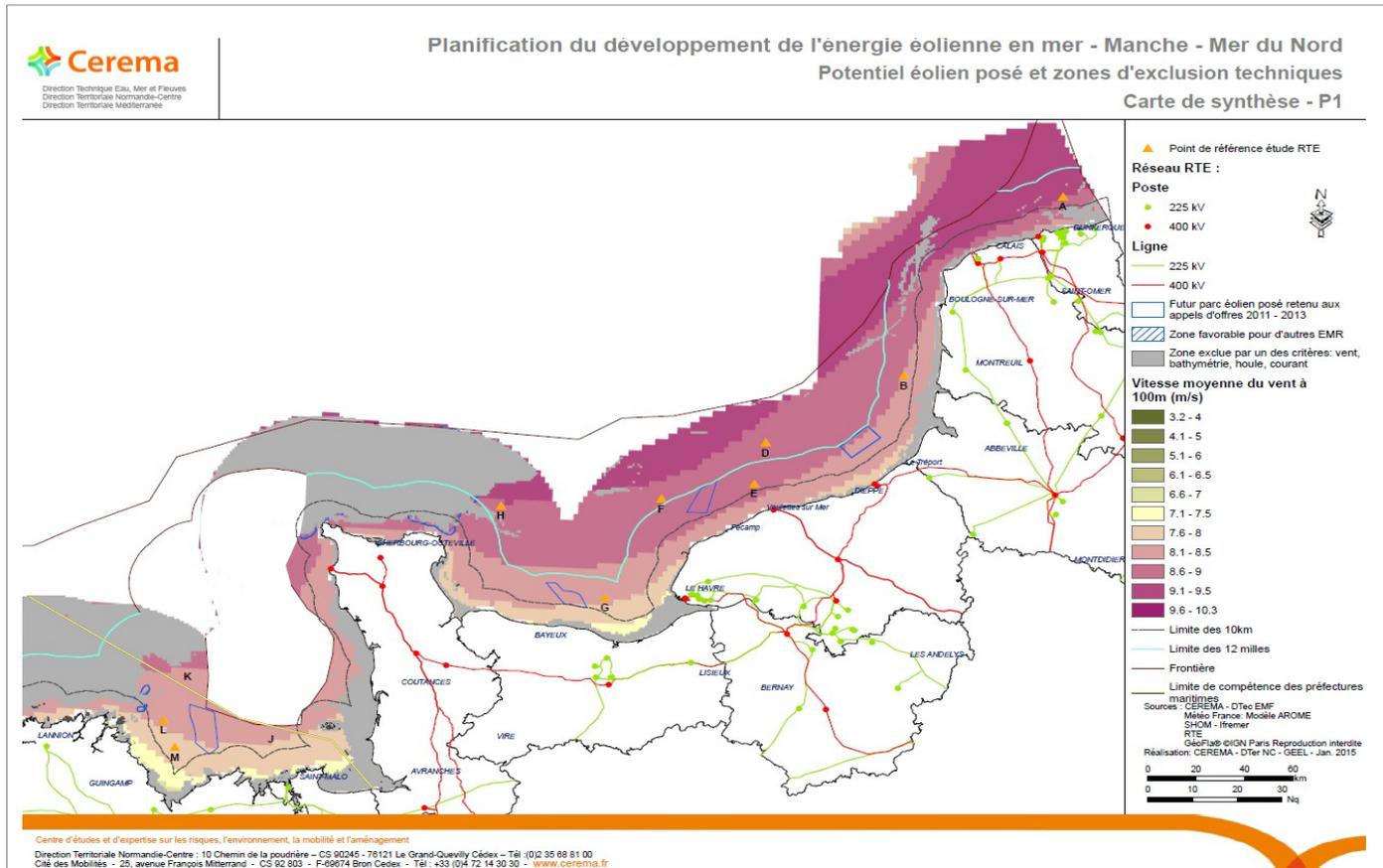
## Potentiel éolien flottant :

Reclassement de la « vitesse du vent » et superposition des zones techniquement exclues éolien en mer flottant



# Présentation de l'étude en concertation

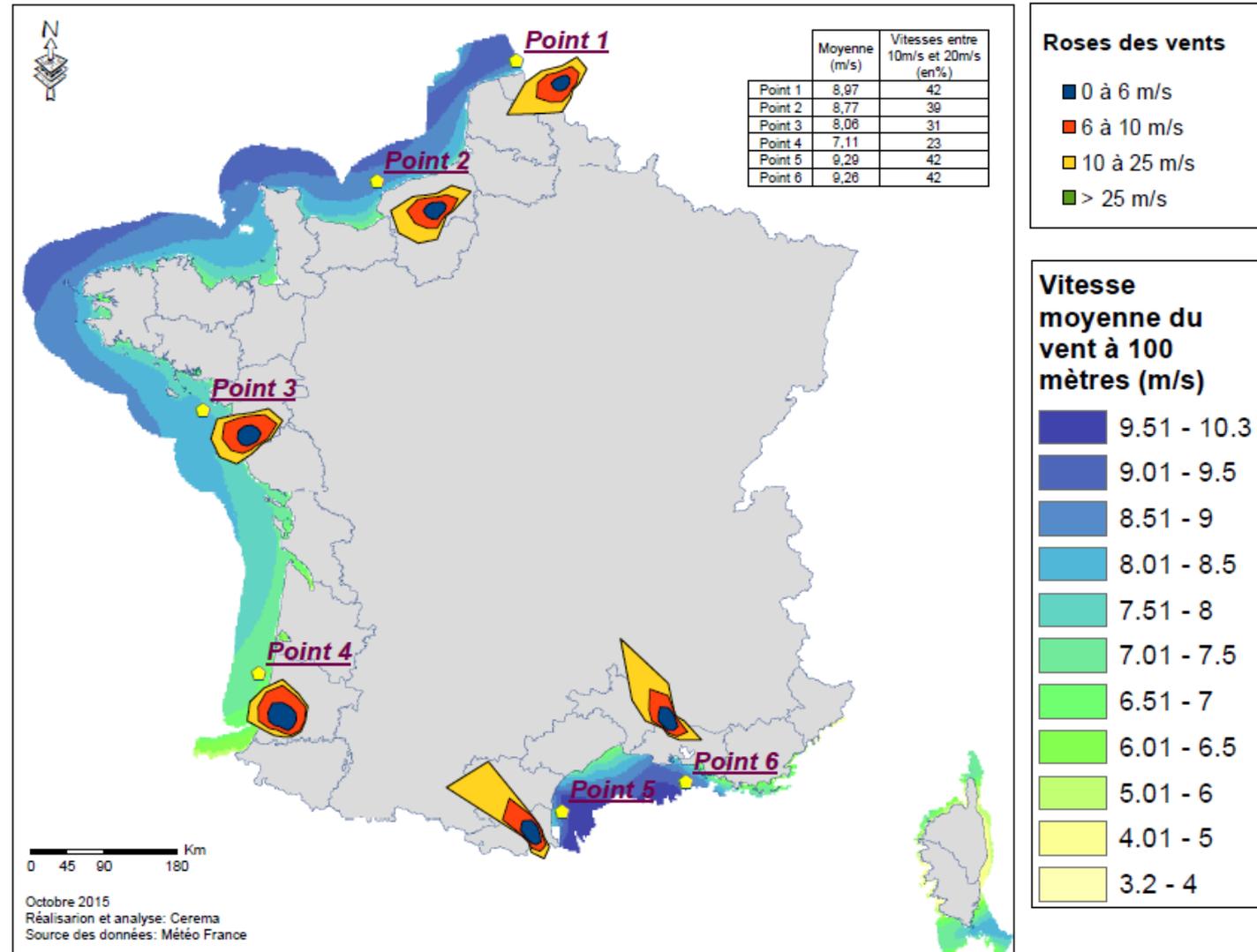
- Étude présentée lors des exercices de planification éolien en mer, réalisés en 2015, menés par les préfets et associant l'ensemble des parties prenantes pour déterminer, après prise en compte des autres activités et usages de la mer et du littoral, les zones de moindres contraintes pour ces technologies.



**Image de la vitesse moyenne du vent à 100 mètres.  
Superposition des zones d'exclusions technico-économiques éolien posé (en gris).**

# Analyse détaillée du vent

- Vitesse du vent, au pas de temps horaire, analysée en fréquence par Météo France en fonction de :
  - sa force (40 classes entre 0 m/s et 40 m/s) ;
  - sa direction (12 classes entre 0° et 360°).
- Permet d'établir les roses des vents qui donnent des informations à la fois sur :
  - les fréquences de directions (forme de la rose des vents) ;
  - les fréquences de vitesses (couleurs de la rose des vents).



# Conclusion

- Données du modèle AROME permettent d'avoir une **connaissance élevée du gisement de vent** et d'**étudier en détails le potentiel technico-économique éolien en mer** pour l'identification de nouvelles zones pour le développement de cette technologie.
- Ajouts de **données d'activités et usages** pour les exercices de concertation.

- Données accessible sur le site ***Géolittoral***, rubrique ***Énergies marines renouvelables*** (données techniques, données réglementaires, données défense, données trafic maritime, ...).

<http://www.geolittoral.developpement-durable.gouv.fr/>



- Résultats de la concertation :
  - quatre zones désignées pour l'**AMI fermes pilotes éoliennes flottantes**, identifiées par les préfets suite à l'exercice de concertation ;
  - définition de zones de moindres contraintes pour des **parcs éoliens posés** par les préfets suite à l'exercice de concertation en vu d'un troisième appel d'offres.

Contact : [lea.thiebaud@cerema.fr](mailto:lea.thiebaud@cerema.fr)