

# GT SUR LES EFFETS CUMULES DES ENERGIES RENOUVELABLES EN MER

## *Synthèse préliminaire*

Ifremer



AGENCE FRANÇAISE  
POUR LA BIODIVERSITÉ  
ÉTABLISSEMENT PUBLIC DE L'ÉTAT



# SYNTHESE PRELIMINAIRE

## Rédacteurs :

Sylvain MICHEL, Agence Française pour la Biodiversité

Maëlle NEXER, France Energies Marines

Alan QUENTRIC, CEREMA Eau mer et fleuves

Léa THIEBAUD, CEREMA Eau mer et fleuves

## Historique du document

Version	Date	Auteur(s)	Commentaires
0	14/01/2019	Maëlle NEXER (FEM)	Compilation des synthèses Cerema, AFB et FEM
1	20/02/2019	Maëlle NEXER (FEM), Léa Thiébaud (CEREMA), Sylvain Michel (AFB)	Intégration des commentaires DEB, DGEC
2	19/03/2019	Maëlle NEXER (FEM), Léa Thiébaud (CEREMA), Sylvain Michel (AFB)	Intégration des commentaires DEB, DGEC

# Sommaire

LISTE DES FIGURES .....	5
LISTE DES TABLEAUX .....	7
<b>CHAPITRE 1 NOTE CHAPEAU .....</b>	<b>11</b>
<b>INTRODUCTION.....</b>	<b>13</b>
<b>1. FONDAMENTAUX .....</b>	<b>15</b>
1.1. DEFINITIONS REGLEMENTAIRES .....	15
1.2. VOCABULAIRE .....	15
1.3. PERIMETRES D'ETUDE.....	17
<b>2. DEVELOPPEMENT DES ENERGIES RENOUVELABLES EN MER .....</b>	<b>18</b>
2.1. OBJECTIFS DE DEVELOPPEMENT.....	18
2.2. TYPE DE PROJET .....	18
2.3. PROJETS EOLIENS EN MER ET HYDROLIENS EN FRANCE .....	18
2.4. ÉTAT D'AVANCEMENT ET LOCALISATION DES PROJETS.....	21
<b>3. TECHNIQUES D'ÉNERGIES MARINES RENOUVELABLES .....</b>	<b>24</b>
3.1. TECHNOLOGIES ET RACCORDEMENT .....	24
3.2. CARACTERISTIQUES DES PROJETS .....	37
<b>4. ÉTUDES D'IMPACT DES PROJETS .....</b>	<b>42</b>
4.1. INTEGRATION DES PROJETS DANS LE MILIEU MARIN .....	42
4.2. DESCRIPTION DES ETUDES D'IMPACTS DES PARCS EOLIENS EN MER.....	42
4.3. RECOMMANDATIONS DE L'AUTORITE ENVIRONNEMENTALE (CGEDD) .....	45
<b>CHAPITRE 2 ETAT DE L'ART SUR LES DONNEES EXISTANTES ET LES PROTOCOLES D'ACQUISITION POUR L'EVALUATION ENVIRONNEMENTALE .....</b>	<b>47</b>
<b>1. METHODOLOGIE GENERALE .....</b>	<b>49</b>
1.1. ETAT INITIAL.....	49
1.2. SUIVI D'IMPACT .....	54
<b>2. DECLINAISON AUX PROJETS D'EMR.....</b>	<b>56</b>
2.1. PARTICULARITES DE PROJETS EOLIENS FIXES .....	56
2.2. PARTICULARITES DES PROJETS HYDROLIENS.....	59
<b>3. DONNEES ET METHODES UTILISABLES POUR LES PROJETS D'EMR .....</b>	<b>62</b>
3.1. METHODES DE SUIVI DE L'HYDRODYNAMISME .....	62
3.2. METHODES DE SUIVI DE LA DYNAMIQUE SEDIMENTAIRE .....	65
3.3. METHODES DE SUIVI DE LA QUALITE DE L'EAU .....	67

3.4.	METHODES DE SUIVI DE LA QUALITE DES SEDIMENTS.....	70
3.5.	METHODES DE SUIVI DES HABITATS BENTHIQUES .....	71
3.6.	METHODES DE SUIVI DES HABITATS PELAGIQUES.....	73
3.7.	METHODES DE SUIVI DE L'ICHTYOFAUNE ET DES RESSOURCES HALIEUTIQUES .....	75
3.8.	METHODES DE SUIVI DES MAMMIFERES MARINS ET TORTUES .....	76
3.9.	METHODE DE SUIVIS DES OISEAUX MARINS ET MIGRATEURS .....	80
3.10.	METHODES DE SUIVI DES CHIROPTERES.....	89
3.11.	BRUITS SOUS-MARINS ET AERIENS .....	91
3.12.	ELECTROMAGNETISME.....	93
3.13.	ACTIVITES HUMAINES .....	93
4.	<b>SYNTHESE DES SUIVIS PROPOSES DANS LES PROJETS EOLIENS EN MER FRANÇAIS .....</b>	<b>95</b>

**CHAPITRE 3 ETAT DE L'ART SUR LES METHODES EXISTANTES POUR L'ANALYSE DES EFFETS ET IMPACTS CUMULES EN MER .....** **98**

<b>1.</b>	<b>TRAITEMENT DES EFFETS ET DES IMPACTS DANS LES ETUDES D'IMPACTS.....</b>	<b>100</b>
1.1.	EFFETS ET IMPACTS CUMULES AVEC D'AUTRES PROJETS.....	100
1.2.	ADDITION ET INTERACTIONS DES EFFETS/IMPACTS AU SEIN DU PROJET .....	105
<b>2.</b>	<b>METHODOLOGIES POUR L'EVALUATION DES EFFETS ET DES IMPACTS CUMULES EN MER .....</b>	<b>107</b>
2.1.	METHODES QUANTITATIVES ET SEMI-QUANTITATIVES .....	107
2.2.	METHODE QUALITATIVE ADOPTEE PAR OSPAR : L'APPROCHE « NŒUD PAPILLON » .....	114
2.3.	ETUDES DE CAS OSPAR .....	116
2.4.	FORCES ET FAIBLESSES DES METHODES POUR L'ANALYSE DES EFFETS CUMULES.....	118
<b>3.</b>	<b>BOITE A OUTILS .....</b>	<b>122</b>
3.1.	METHODE POUR LA HIERARCHISATION DES ENJEUX ECOLOGIQUES .....	122
3.2.	METHODE POUR SPATIALISER LES ACTIVITES, LEURS INTERACTIONS, ET LES ENJEUX DU MILIEU MARIN ET LITTORAL	122

**BIBLIOGRAPHIE ET ANNEXES .....** **128**

<b>BIBLIOGRAPHIE.....</b>	<b>129</b>
<b>ANNEXE 1 CONFIGURATION DES PARCS EOLIENS EN MER .....</b>	<b>133</b>
<b>ANNEXE 2 MODELISATION DES PRESSIONS, DU MILIEU ET DES IMPACTS.....</b>	<b>136</b>
<b>ANNEXE 3 CONSIDERATIONS METHODOLOGIQUES .....</b>	<b>142</b>

**ANNEXE 4 SYNTHSE DES DONNEES ET PROTOCOLES DES ETUDES D'IMPACTS ET DES AVIS DE L'AUTORITE ENVIRONNEMENTALE SUR LES PARCS EMR FRANÇAIS .....** **144**

<b>INTRODUCTION.....</b>	<b>146</b>
<b>HYDROLIEN.....</b>	<b>147</b>
<b>EOLIEN FLOTTANT .....</b>	<b>150</b>
<b>EOLIEN EN MER POSE .....</b>	<b>157</b>

## Liste des figures

---

Figure 1 : Différentes technologies en fonction de la profondeur (source : wind power engineering)	19
Figure 2 : démonstrateur éolien flottant installé au large du Croisic (source : eolmed)	20
Figure 3 : démonstrateurs hydroliens (Sabella à droite, OpenHydro à gauche) (source : Sabella, EDF)	21
Figure 4 : localisation des projets éoliens en mer et hydroliens en France métropolitaine	23
Figure 5 : éléments d'une éolienne en mer (cas de l'éolienne prévue pour le projet de Fécamp)	24
Figure 6 : schéma de principe d'une fondation gravitaire (à gauche) et de ses dimensions (à droite) (source : étude d'impact du parc éolien de Fécamp et avis de l'autorité environnemental)	25
Figure 7 : schéma de principe d'une fondation monopieu (gauche) et représentation visuelle indicative de l'éolienne (droite) (source : étude d'impact du parc éolien de Courseulles-sur-mer)	26
Figure 8 : schéma de principe d'une fondation jacket (source : étude d'impact du parc éolien des deux îles)	26
Figure 9 : anodes sacrificielles sur une fondation jacket (www.comsol.com in Yark et al.(2016))	27
Figure 10 : anodes sacrificielles sur une fondation jacket (www.comsol.com in Yark et al.(2016))	28
Figure 11 : types d'ancrage pour l'éolien flottant (source : France Énergies Marines, présentation en réunion de concertation pour l'identification de zones pour des projets éoliens flottants).	30
Figure 12 : poste électrique en mer de la ferme éolienne offshore de Westermost Rough	33
Figure 13 : câble sous-marin pour le raccordement du parc depuis le poste en mer à la zone d'atterrissage (source : RTE)	34
Figure 14 : protection des câbles sous-marins pour le raccordement des projets par ensouillage (en haut à gauche), par un matelas (en haut à droite), par enrochement (en bas à gauche), par une coquille (en bas à droite) (source : RTE, BRLi)	34
Figure 15 : câble sous-marin inter-éolienne (source : Draka, 2011)	35
Figure 16 : câble dynamique (Joshua Bauer, NREL)	35
Figure 17 : raccordement du parc éolien en mer de Fécamp (source : sites internet des projets)	36
Figure 18 : raccordement de la ferme pilote EFGL (source : site internet du projet, RTE)	37
Figure 19 : représentation schématique des éoliennes flottantes retenues pour les projets de l'AMI lancé en 2015	41
Figure 20 : Méthodologie d'évaluation des impacts environnementaux potentiels d'un projet d'aménagement (MEDDE, 2012)	44
Figure 21 : exemple de répartition d'une espèce issue de l'INPN, le Marsouin commun <i>Phocoena phocoena</i> , dans les eaux de France métropolitaine (source : INPN / MNHN)	51
Figure 22 : schématisation des aires d'études dans le cas d'un parc d'EMR constitué de 12 génératrices, une sous-station électrique et des câbles de transports d'électricité.	53
Figure 24 : Rose des houles au point ANEMOC 2162 (fréquence d'apparition en % des houles en fonction de la direction moyenne de provenance (°N) (Source : étude d'impact du parc éolien Dieppe le Tréport)	64
Figure 25 : vitesse moyenne des courants dans la Manche à mi-profondeur (source : SHOM).	65
Figure 26 : Bathymétrie de l'aire d'étude immédiate du Parc éolien de Dieppe le Tréport (source : étude d'impact du parc éolien de Dieppe le Tréport)	67
Figure 27 : Turbidités moyennes mensuelles, pour le mois de février 2014 établie à partir d'observations satellitaires (Source : Etude d'impact de Dieppe le Tréport)	69
Figure 28 : moyenne annuelle 2017 de la concentration en Chlorophylle-a observée par satellite (source : Ifremer).	74
Figure 29 : Phoques sur leur reposoir en baie de Somme, photographiés par avion (crédit : Laurent Mignaux / Terra)	77

Figure 30 : carte des déplacements des 12 phoques gris équipés de balises GPS/GSM en baie de Somme (de mai 2012 à février 2013). La flèche rouge représente le site de capture des individus. Chaque couleur de trait représente le déplacement global d'un individu.	78
Figure 31 : évolution interannuelle du nombre d'échouages de mammifères marins recensés entre 1971 et 2016, sur la façade Manche-mer du Nord ; en foncé : cétacés, en clair : pinnipèdes (source : UMS Pelagis / Réseau National Echouages).	80
Figure 32 : Protocoles utilisés par l'Observatoire Pelagis pour l'observation des cétacés, tortues et grands poissons pélagiques (line transect) et des oiseaux marins et activités anthropiques (strip-transect, bande 0-200 m). Crédit : M. Nivesse, AFB.	82
Figure 33 : Exemple de transects aériens définis lors d'une campagne d'état initial pour le projet éolien de la baie de Saint-Brieuc (source : Ailes Marines).	83
Figure 34 : Exemple de transects de suivis par bateau effectués au large de Zeebrugge en Belgique (Degraer & Brabant, 2009).	84
Figure 35 : Exemple d'image radar prise par balayage vertical (Source : Rapport LPO-Biotope, 2008)	85
Figure 36 : Données GPS de mouettes tridactyles nichant à Boulogne-sur-Mer pendant la période d'élevage des poussins en Juin-Juillet 2014 (données AAMP).	87
Figure 37 : Comparaison synthétique des différentes méthodes de suivi et de diagnostic initial de l'avifaune envisageables dans la zone d'étude d'un projet éolien.	88
Figure 38 : Microphone d'enregistrement à distance placé sur le dessous de la nacelle. Il est relié à un détecteur automatique installé à l'intérieur de la nacelle. Photo : L. Bach ©	90
Figure 39 : modélisation du bruit ambiant liée au trafic maritime au large des pointes du Finistère, exprimée en percentile 5 % du SEL au tiers d'octave à 2 kHz (source : Quiet Oceans).	92
Figure 40 : zones d'influence des émissions sonores sur les mammifères marins (source : Richardson et al., 2015).	93
Figure 41 : Schéma illustrant les principes de la méthode CUMULEO (source : rapport OSPAR 2015)	108
Figure 42 : Figure extraite et traduite du rapport OSPAR présentant de manière simplifiée les trois méthodes d'évaluation des effets cumulés. Les couleurs montrent les étapes similaires dans les processus.	109
Figure 43 : représentation cartographique du BSII issu de l'évaluation 2017 des effets cumulés en mer baltique (source : rapport d'évaluation HELCOM 2017)	111
Figure 44 : principe de cartographie d'une pression générée par plusieurs activités, puis de la cartographie des risques, selon qu'on dispose des connaissances sur la sensibilité (approche 1) ou qu'on n'en dispose pas (approche 2) (source : AFB).	113
Figure 45 : principe de cartographie des risques d'effets concomitants liés à plusieurs pressions. (source : AFB)	113
Figure 46 : principe de cartographie des risques d'exposition à plusieurs pressions sur un écosystème. (source : AFB)	114
Figure 47 : analyse nœud papillon (source : OSPAR)	115
Figure 48 : analyse nœud papillon appliquée à la dégradation des fonds marins et à la contamination dans les sédiments, pour plusieurs activités en mer (source : OSPAR)	115
Figure 49 : présentation simplifiée des sources, pressions (ponctuelles ou dispersives) et voies d'exposition dans une évaluation des effets cumulés sur le marsouin commun	117
Figure 50 : critères pour évaluer les enjeux sur la biodiversité marine	122
Figure 51 : exemple de matrice de compatibilité entre activités (source : Cerema)	125
Figure 52 : Processus de construction des cartes d'interactions (source : Cerema)	126
Figure 53 : localisation des éoliennes et de la sous-station du parc éolien des deux Îles	133
Figure 54 : localisation des éoliennes et de la sous-station du parc éolien de Saint-Nazaire	133
Figure 55 : localisation des éoliennes et de la sous-station du parc éolien de Saint-Brieuc	134
Figure 56 : localisation des éoliennes et de la sous-station du parc éolien du Calvados	134

Figure 57 : localisation des éoliennes et de la sous-station du parc éolien de Fécamp	135
Figure 58 : localisation des éoliennes et de la sous-station du parc éolien de Fécamp	136
Figure 59 : Fonctionnement du modèle Interim PCOD	137
Figure 60 : Fonctionnement de la plate-forme Quonops	138
Figure 61 : Méthode du projet RESPECT (source : Quantifying consequences of acoustic disturbance on marine mammal populations: a decision support tool for offshore windfarm development. Emeline Pettex et al., Séminaire éolien et biodiversité 2017)	139
Figure 62 : Effets cumulés sur l'environnement	143
Figure 63 : Thématiques abordées par l'autorité environnementale dans ses avis en fonction des parcs EMR	146

## Liste des tableaux

Tableau 1 : Projets éoliens en mer et hydroliens recensés en France métropolitaine	22
Tableau 2 : exemple de technologies hydroliennes dans le Monde (page suivante)	31
Tableau 3 : tableau des caractéristiques des projets de parcs commerciaux éoliens posés	38
Tableau 4 : tableau des caractéristiques des projets de fermes pilotes éoliennes flottantes	40
Tableau 5 : Matrice détermination du niveau d'impact	45
Tableau 6 : aires d'étude minimales à considérer pour chacune des composantes de l'écosystème potentiellement impactées par un projet éolien en mer fixé (source : MEEM, 2017).	52
Tableau 7 : Principales pressions générées par un projet éolien en mer fixé, selon la typologie des pressions de la DCSMM (2012), et composantes de l'écosystème potentiellement impactées. NB : dans la typologie DCSMM de 2018, les pressions « colmatage » « étouffement » ont été fusionnées en « pertes physiques d'habitat »	58
Tableau 8 : Comparaison des pressions potentiellement générées par un projet éolien en mer fixé, éolien flottant ou hydrolien, selon la typologie des pressions de la DCSMM (2012).	59
Tableau 9 : Correspondance des pressions DCSMM 2012 avec les pressions réglementaires DCSMM 2018	61
Tableau 10 : Synthèse des suivis proposés dans les projets éoliens en mer français (pages suivantes)	95
Tableau 11 : liste des couples cible / récepteur identifiés dans les différentes études d'impact consultées et la phase du projet pour laquelle ils sont susceptibles de se manifester	103
Tableau 12 : effets/impacts cumulés potentiels dans l'étude d'impact de Groix Belle Ile	104
Tableau 13 : Effets cumulés potentiels entre projet dans la région de la Hague	105
Tableau 14 : Evaluation de l'addition d'un effet sur plusieurs composantes d'un même milieu	106
Tableau 15 : Evaluation de l'interaction des effets sur plusieurs milieux	106
Tableau 17 : Détail des thématiques relevées par l'autorité environnementale dans ses avis	147
Tableau 18 : Données et Méthodes utilisés dans l'étude d'impact et recommandations de l'avis de l'autorité environnementale sur le projet Nephtyd de parc hydrolien pilote du Raz Blanchard et son raccordement électrique	148
Tableau 19 : Données et Méthodes utilisés dans l'étude d'impact et recommandations de l'avis de l'autorité environnementale sur le projet Normandie hydro de parc hydrolien pilote du Raz Blanchard et son raccordement électrique	149
Tableau 20 : Données et Méthodes utilisés dans l'étude d'impact et recommandations de l'avis de l'autorité environnementale sur le parc éolien flottant Provence Grand Large (Faraman)	151
Tableau 21 : Données et Méthodes utilisés dans l'étude d'impact et recommandations de l'avis de l'autorité environnementale sur les éoliennes flottantes de Groix et Belle-île	153
Tableau 22 : Données et Méthodes utilisés dans l'étude d'impact et recommandations de l'avis de l'autorité environnementale sur les éoliennes flottantes du Golfe du Lion (Golfe du Lion)	154

<i>Tableau 23 : Données et Méthodes utilisés dans l'étude d'impact et recommandations de l'avis de l'autorité environnementale sur les éoliennes flottantes d'Eolmed (Gruissan)</i>	<i>156</i>
<i>Tableau 24 : Données et Méthodes utilisés dans l'étude d'impact et recommandations de l'avis de l'autorité environnementale sur le parc éolien de Fécamp</i>	<i>158</i>
<i>Tableau 25 : Données et Méthodes utilisés dans l'étude d'impact et recommandations de l'avis de l'autorité environnementale sur le parc éolien de Courseulles sur Mer</i>	<i>159</i>
<i>Tableau 26 : Données et Méthodes utilisés dans l'étude d'impact et recommandations de l'avis de l'autorité environnementale sur le parc éolien de St Brieuc</i>	<i>160</i>
<i>Tableau 27 : Données et Méthodes utilisés dans l'étude d'impact et recommandations de l'avis de l'autorité environnementale sur le parc éolien de St Nazaire</i>	<i>161</i>
<i>Tableau 28 : Données et Méthodes utilisés dans l'étude d'impact et recommandations de l'avis de l'autorité environnementale sur le parc éolien de Le Tréport</i>	<i>162</i>
<i>Tableau 29 : Données et Méthodes utilisés dans l'étude d'impact et recommandations de l'avis de l'autorité environnementale sur le parc éolien des deux îles (Yeux et Noirmoutier)</i>	<i>163</i>

## Liste des sigles

<b>AAMP</b>	Agence des aires marines protégées
<b>ADCP</b>	Acoustic Doppler current profiler
<b>AFB</b>	Agence française pour la biodiversité
<b>ANEMOC</b>	Atlas Numérique d'Etats de Mer Océanique et Côtier
<b>ARS</b>	Agence régionale de santé
<b>BRGM</b>	Bureau de recherches géologiques et minières
<b>CANDHIS</b>	Centre d'Archivage National de Données de Houle In Situ
<b>CARTHAM</b>	Programme de cartographie des habitats marins
<b>CDPMEM</b>	Comité Départemental des Pêches Maritimes et des Élevages Marins
<b>CEFAS</b>	Centre for Environment, Fisheries and Aquaculture Science
<b>Cerema</b>	Centre d'études et d'expertise sur les risques l'environnement, la mobilité et l'aménagement
<b>CGDD</b>	Commissariat général au développement durable
<b>CGEDD</b>	Conseil général de l'environnement et du développement durable
<b>CHARM</b>	Channel integrated approach for marine resource management
<b>DCE</b>	Directive cadre eau
<b>DEB</b>	Direction eau et biodiversité
<b>DGEC</b>	Direction générale de l'énergie et du climat
<b>DIREN</b>	Direction régionale de l'Environnement
<b>EMR</b>	Energies Marines Renouvelables
<b>FAME</b>	Futur de l'Environnement Marin Atlantique
<b>GECC</b>	Groupe d'Etudes des Cétacés du Cotentin
<b>GHYDRO</b>	Guide d'évaluation des impacts environnementaux pour les technologies hydroliennes en mer
<b>IFEN</b>	Institut du littoral français
<b>IGC-C</b>	Intersessional Group on Cumulative Effects
<b>IGN</b>	Institut national de l'information géographique et forestière
<b>IOWAGA</b>	Integrated Ocean Waves for Geophysical and other Application
<b>MEEM</b>	Ministère de l'environnement, de l'énergie et de la mer
<b>NOAA</b>	National Oceanic and Atmospheric Administration
<b>OSPAR</b>	Convention for the Protection of the Marine Environment of the North-East Atlantic
<b>PACOMM</b>	Programme d'Acquisition de Connaissances sur les Oiseaux et les Mammifères Marins
<b>PAMM</b>	Plan d'action pour le milieu marin
<b>PPE</b>	Programmation Pluriannuelle de l'Energie
<b>REBENT</b>	Réseau benthique
<b>REMI</b>	Réseau microbiologique
<b>REPHY</b>	Surveillance des phycotoxines dans les coquillages du littoral
<b>RNE</b>	Réseau national d'échouage
<b>ROCCH</b>	Réseau d'Observation de la Contamination CHimique
<b>ROV</b>	Remotely operated vehicle (« véhicule sous-marin téléguidé muni de caméras »)

<b>RTME</b>	Réseau Tortues Marines d'Atlantique Est
<b>SAMM</b>	Suivi Aérien de la Mégafaune Marine
<b>SHOM</b>	Service hydrographique et océanographique de la Marine
<b>SWAN</b>	SimulatingWAVesNearshore
<b>VALPENA</b>	L'éVALuation des Pratiques de PEches au regard des Nouvelles Activités

# Chapitre 1 Note chapeau

*Rédacteurs :*

*Alan QUENTRIC, Cerema Eau mer et fleuves*

*Léa THIEBAUD, Cerema Eau mer et fleuves*

*Maëlle NEXER, France Energies Marines*

## Historique des versions du document

Version	Date	Commentaire
0	01/08/17	En cours de rédaction.
0	06/06/18	Version mise à jour et simplifiée.
0	27/06/18	Mise à jour avec la relecture de FEM.
0	14/09/18	Mise à jour et transmission de la V0 à DEB/DGEC/AFB/FEM
0	19/09/18	Prise en compte des remarques et corrections faites par DEB et DGEC
1	05/11/18	Prise en compte des remarques et corrections faites par Ifremer
2	20/02/19	Prise en compte des remarques et corrections faites par la DEB

# Introduction

---

Afin de mieux appréhender les effets et les impacts cumulés des projets d'énergies renouvelables en mer, le Ministère de Transition Écologique et Solidaire met en place un groupe de travail sur cette thématique qui aura pour objectifs :

- de faciliter le développement des nouveaux projets d'EMR sur le volet « analyse des impacts cumulés »<sup>1</sup>, pour les services de l'État comme pour les porteurs des projets ;
- d'identifier les connaissances scientifiques manquantes pour réaliser cette analyse et proposer une méthode opérationnelle pour combler les lacunes identifiées ;
- de sécuriser les autorisations administratives des futurs projets d'EMR vis-à-vis des engagements de la France pour la préservation des écosystèmes marins.

Ce groupe de travail est piloté par la DEB et la DGEC, qui associent également le CGDD et le CGEDD dans les réflexions. France Énergies Marines est chargé de coordonner les travaux du groupe et les experts scientifiques. Le Centre d'études et d'expertise sur les risques l'environnement, la mobilité et l'aménagement (Cerema) et l'Agence française pour la biodiversité (AFB) animent le groupe de travail. L'INERIS (l'institut national d'études des risques industriels et sanitaires) sollicité après la mise en place du groupe, apporte son expertise dans l'appréciation des effets cumulés. Dans ce cadre, un état de l'art est réalisé en amont du lancement du groupe de travail pour présenter :

- le contexte : termes de référence, législation, technologies des projets EMR, études d'impacts, ... ;
- les protocoles d'acquisition de données et de suivi des sites actuellement proposés par les porteurs de projets ;
- les méthodologies développées en France et à l'étranger pour l'analyse des effets et des impacts cumulés.

L'objectif de cette synthèse est d'identifier des pistes de nourrir les réflexions à mener par les experts afin de mettre en place les éléments qui permettront une meilleure prise en compte des effets et des impacts cumulés des énergies marines sur l'environnement marin (exemple : acquisition de données complémentaires, méthodes d'analyses à développer, mesures à mettre en place...).

Les documents consultés pour la production de cette synthèse sont :

- les études d'impacts des parcs éoliens offshore des deux premiers appels d'offres ;
- les études d'impacts des fermes pilotes hydroliennes dans le Raz Blanchard ;
- les travaux du projet Carpe Diem, en cours de réalisation, ainsi que les méthodes d'analyses des enjeux développés par l'AFB ;
- les avis de l'Autorité Environnementale du CGEDD sur les études d'impacts des projets EMR ;
- les travaux de l'IGC-C d'OSPAR sur les impacts cumulés ;

---

<sup>1</sup> On entend par « effets cumulés » le cumul des incidences des projets de parcs EMR sur un territoire donné (cf. article R 122-5 du code de l'environnement)

- des rapports, articles et présentations décrivant les méthodes d'impacts cumulés à l'étranger ;
- le « Guide d'évaluation des impacts environnementaux pour les technologies hydroliennes en mer : GHYDRO », France Énergies Marines, 2015 ;
- les guides publiés par le Ministère de la Transition écologique et solidaire :
- « Étude méthodologique des impacts environnementaux et socio-économiques des énergies marines renouvelables », DEGC, 2012 ;
- « Guide d'évaluation des impacts sur l'environnement des parcs éoliens en mer », DGEC, 2017 ;
- « Évaluation environnementale – Premiers éléments méthodologiques sur les effets cumulés en mer », CGDD, 2017.

# 1. Fondamentaux

---

## 1.1. Définitions réglementaires

L'évaluation des effets et des impacts cumulés en mer répond à une obligation juridique inscrite dans le droit européen et national relatifs à la protection de la nature et à l'évaluation environnementale.

La Commission Européenne définit les effets cumulés (*cumulative effects*) comme des « *changements subis par l'environnement en raison d'une action combinée avec d'autres actions humaines passées, présentes et futures* ».

La directive 2014/52/UE du parlement européen et du conseil du 16 avril 2014 modifiant la directive 2011/92/UE concernant l'évaluation des incidences de certains projets publics et privés sur l'environnement précise les éléments du rapport des incidences environnementales, notamment (annexe IV) :

« Une description des incidences notables que le projet est susceptible d'avoir sur l'environnement résultant, entre autres :

[...]

e) du cumul des incidences avec d'autres projets existants et/ou approuvés, en tenant compte des problèmes environnementaux existants éventuels relatifs aux zones revêtant une importance particulière pour l'environnement susceptibles d'être touchées ou à l'utilisation de ressources naturelles [...] ».

La réglementation française emploie différents termes, voisins, faisant référence aux effets ou aux impacts cumulés :

- « cumul d'incidences », Article R. 122-5 du code de l'environnement ;
- « effets cumulatifs », Article R. 122-5 du code de l'environnement ;
- « effets cumulés », Article L. 414-4 du code de l'environnement ;
- « pression collective », Article L. 219-7 du code de l'environnement.

Les éléments de définition précisés ci-dessous doivent permettre une meilleure appropriation de certains termes par les participants du groupe de travail.

## 1.2. Vocabulaire

Certaines des notions qui sont abordées dans cette synthèse et qui pourront être employées par les participants du groupe de travail sont définies ci-dessous.

### **Caractéristiques du milieu/d'une espèce**

**Composante de l'écosystème marin** : caractéristique physique, chimique (substance) ou biologique (espèce, groupe d'espèces, habitat) (CGDD, *Premiers éléments méthodologiques sur les effets cumulés en mer*, 2017).

**Aire de répartition** : c'est l'enveloppe géographique d'occurrence d'une espèce donnée, comprenant à la fois les secteurs occupés (la distribution) mais aussi des secteurs non occupés (source : <https://inpn.mnhn.fr/informations/glossaire/liste/a>).

**Résilience** : la résilience d'un élément à une perturbation peut être définie comme sa capacité à retrouver un état proche à celui prévalant avant la perturbation. La résilience intègre une notion de temporalité qui doit être adaptée à chaque élément considéré. On ne raisonnera notamment pas nécessairement sur les mêmes échelles de temps entre des éléments écosystémiques, géomorphologiques ou d'usages. (MTES, *Étude méthodologique des impacts environnementaux et socio-économiques des énergies marines renouvelable*, 2012).

**Sensibilité** : la sensibilité d'une espèce est déterminée par estimation de sa tolérance et de sa résilience à une perturbation externe. Elle est déterminée sur la base des caractéristiques biologiques et physiques de l'espèce et de l'amplitude, de la durée et de la fréquence de la perturbation. (MTES, *Étude méthodologique des impacts environnementaux et socio-économiques des énergies marines renouvelable*, 2012).

**Tolérance** : la tolérance d'un élément à un effet peut être définie comme sa susceptibilité d'être affectée par cet effet. Pour un élément d'un écosystème, par exemple un habitat ou une espèce, elle décrit le potentiel de destruction, dégradation, de réduction ou d'amélioration de la viabilité qu'a l'effet sur cet élément. (MTES, *Étude méthodologique des impacts environnementaux et socio-économiques des énergies marines renouvelable*, 2012).

*NB : Le MNHN utilise le terme synonyme de résistance dans la méthode développée pour l'évaluation de la sensibilité des habitats benthiques.*

### **Modification du milieu**

**Effet** : conséquence objective de l'interaction entre un projet d'aménagement avec son environnement. (MTES, « *Guide d'évaluation des impacts sur l'environnement des parcs éoliens en mer* », 2017)  
*Exemple : effet barrière d'un champ d'éoliennes, effet récif des fondations des éoliennes, effets liés au bruit...*

**Pression** : traduction des sources de pression dans le milieu se matérialisant éventuellement par le changement d'état, dans l'espace ou dans le temps, des caractéristiques physiques, chimiques et biologiques du milieu (*arrêté du 17 décembre 2012 relatif à la définition du bon état écologique*). L'aire ou zone d'influence de cette pression est l'étendue géographique à l'intérieur de laquelle cette pression est ressentie. Elle dépend du compartiment environnemental impacté.  
*Exemple : émission de bruit sous-marin, augmentation de la turbidité...*

**Impact** : transposition d'un effet sur les différents compartiments de l'environnement (écosystème, paysage et patrimoine, usages), tenant compte de la sensibilité du compartiment et le plus souvent exprimé selon une échelle qualitative (négligeable, faible, moyen, fort). (MTES, « *Guide d'évaluation des impacts sur l'environnement des parcs éoliens en mer* », 2017)  
*NB : Dans ce groupe de travail, on travaille uniquement sur les différents récepteurs du milieu vivant.*

**Cumul** : Les effets/pressions/impacts peuvent se cumuler de différentes manières :

- additionnelle (effets indépendants qui s'additionnent). Exemple : la perte de l'habitat d'une espèce marine et sa récolte/exploitation biologique engendrent un déclin additionnel de sa population ;

- antagoniste (l'effet cumulé de deux projets est moins fort que les effets pris individuellement). Exemple : lorsque l'enrichissement en nutriments diminue l'effet négatif d'une toxine ;

- synergique (l'effet cumulé de deux projets est plus fort que l'addition simple des deux effets pris séparément). Exemple : lorsque l'augmentation du rayonnement UV stimule les effets négatifs d'une toxine.

(CGDD, *Premiers éléments méthodologiques sur les effets cumulés en mer*, 2017).

### 1.3. Périmètres d'étude

L'analyse des impacts cumulés pour les besoins de l'étude d'impact d'un projet EMR et pour la planification des prochains projets peut être réalisée à différentes échelles :

- effets / impacts cumulés **d'une machine seule** (éolienne, hydrolienne...);
- effets / impacts cumulés **d'un parc** ;
- effets / impacts cumulés **à l'échelle d'une façade / transfrontalière.**

Les échelles étant emboîtées, le dernier niveau d'analyse impose nécessairement de s'intéresser aux précédents. Les niveaux précédents, c'est-à-dire les effets / impacts cumulés à l'échelle d'une machine seule et d'un parc, sont déjà actuellement traités dans les études d'impacts des projets. La notion d'effets / impacts cumulés à l'échelle d'une façade / transfrontalière s'intéressent aux projets et activités ayant des effets / impacts géographiquement et temporellement communs. Quelle que soit l'échelle, pour avoir une vision réaliste des effets cumulés il est nécessaire de prendre en compte les autres activités maritimes de la zone étudiée.

Afin de disposer d'une vision complète des effets/impacts cumulés des EMR, le groupe de travail doit intégrer dans ses réflexions les autres types d'activités maritimes interférant avec les projets.

## 2. Développement des énergies renouvelables en mer

---

La France a inscrit, dans la loi relative à la transition énergétique pour la croissance verte, l'objectif de porter la part des énergies marines renouvelables à 32 % de sa production en 2030. Le déploiement de technologies offshore fait partie de la stratégie nationale, avec en particulier la création de parcs d'éoliennes offshore (posées sur le fond ou flottantes).

### 2.1. Objectifs de développement

La Programmation Pluriannuelle de l'Énergie (PPE)<sup>1</sup> indique les objectifs à atteindre en termes de développement des énergies marines renouvelables d'ici les prochaines années. Le projet de PPE publié en janvier 2019 prévoit que la valorisation du potentiel de la France pour l'énergie éolienne en mer permette d'avoir une puissance installée :

- de 2,4 GW d'ici 2023 ;
- entre 4,7 MW et 5,2 GW d'ici 2028.

De plus les objectifs de volumes de procédure de mise en concurrence dont le lauréat aura été désigné sont :

- de 3 à 3,5 GW d'ici 2023 ;
- entre 5,5 MW et 5,75 GW en 2028.

### 2.2. Type de projet

Les technologies d'énergies marines renouvelables ne sont pas toutes au même stade d'avancement. Les projets peuvent donc être de différentes natures. On distingue :

- le démonstrateur, qui vise à produire une machine susceptible d'être testée en conditions maritimes réelles. Ce prototype est nécessaire pour valider ou modifier le design et/ou les procédés d'installation et d'intervention en mer ;
- la ferme pilote, qui permet le test de plusieurs machines simultanément afin de valider ou de rectifier leur installation et leur fonctionnement, en tant qu'unités de production électrique, dans des conditions semblables à celles des futures fermes commerciales ;
- la ferme commerciale, qui concerne l'exploitation commerciale des technologies à grande échelle, pour une durée de 20 ans environ.

### 2.3. Projets éoliens en mer et hydroliens en France

Depuis 2010 plusieurs appels à projets (appels à manifestation d'intérêt ou appels d'offres) ont été lancés en France afin de créer une filière industrielle dans le domaine des EMR et d'atteindre les objectifs de développement.

#### 2.3.1. Projets éoliens en mer

Il existe deux types d'éoliennes en mer :

- les éoliennes fixées sur le fond pour des profondeurs inférieures à 60 m ;
- les éoliennes flottantes pour des profondeurs allant de 30 à 350 m.

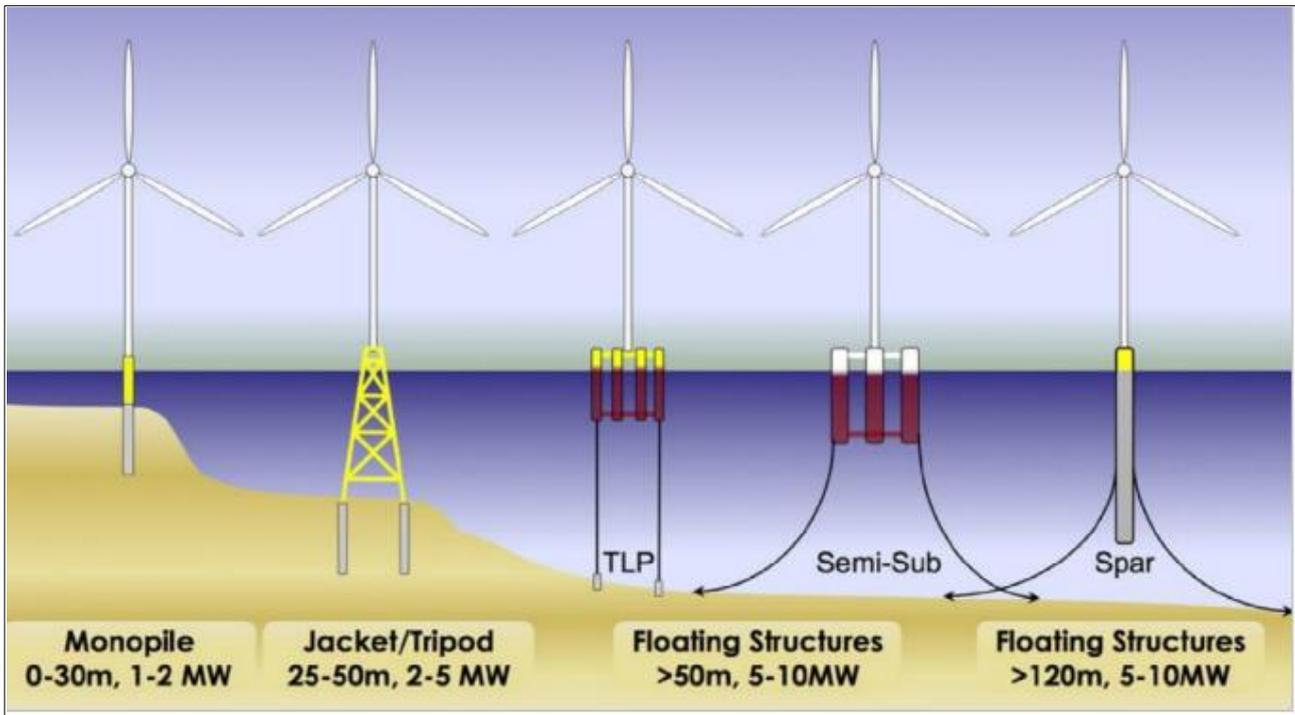


Figure 1 : Différentes technologies en fonction de la profondeur (source : wind power engineering)

- **Les éoliennes fixées en France**

En juillet 2011 et mars 2013, deux appels d'offres « éolien en mer posé » pour des parcs commerciaux ont été lancés par le gouvernement. Le premier appel d'offres, dont les lauréats ont été désignés en avril 2012, prévoit la construction de 4 parcs de puissance comprise entre 450 et 500 MW sur la façade Atlantique et Manche – Mer du Nord. Ces projets sont situés au large :

- de Fécamp (mise en service prévue en 2022) ;
- du Calvados (Courseulles-sur-Mer, mise en service prévue en 2023) ;
- de Saint-Brieuc (mise en service prévue en 2023) ;
- de Saint-Nazaire (mise en service prévue en 2021).

Le deuxième appel d'offres, dont les lauréats ont été désignés en juin 2014, prévoit la construction de deux parcs éoliens en mer posés supplémentaires situés au large :

- de Dieppe – Le Tréport (mise en service prévue en 2023) ;
- des îles d'Yeu et de Noirmoutier (mise en service prévue en 2024).

L'ensemble des six parcs fournira une puissance de l'ordre de 3 000 MW et contribuera ainsi à répondre aux objectifs de développement de la loi de transition énergétique. Un troisième appel d'offres est en cours de préparation au large de Dunkerque.

- **Les éoliennes flottantes en France**

Un prototype d'éolienne flottante a été testée à Brest en 2018. Il s'agit du projet Eolink. La structure a été mise à l'eau en avril 2018 à Saint-Anne-du-Portzic sur le site expérimental de l'Ifremer

et retirée en octobre 2018. Ce prototype a permis de réaliser des tests de puissance et de tenue en mer.

Un démonstrateur d'éolienne flottante est en phase de test au large du Croisic. Il a été installé en avril 2018 pour une durée de deux ans.



Figure 2 : démonstrateur éolien flottant installé au large du Croisic (source : eolmed)

En 2015, l'État a lancé un appel à manifestation d'intérêt pour des fermes pilotes éoliennes flottantes, afin de tester les technologies mais également les modes d'installation, d'exploitation et de maintenance d'éoliennes flottantes. Quatre projets sont développés sur les façades Méditerranée et Atlantique :

- au large de Leucate, « les éoliennes flottantes du golfe du Lion » ;
- au large de Gruissan et Port La Nouvelle ;
- au large du phare de Faraman (Camargue), « Provence-Grand Large » ;
- au large de Groix et Belle-Île-en-Mer.

### 2.3.2. Hydrolien

Des démonstrateurs hydroliens ont été installés dans le Fromveur par Sabella et au large de Paimpol-Bréhat par OpenHydro, filiale de Naval Group.

L'hydrolienne Sabella, démonstrateur préindustriel (10 mètres de diamètre – 0,5 MW) a été immergée dans le Fromveur en septembre 2015 et raccordée à l'île d'Ouessant. Il a été retiré de la zone puis remis à l'eau en octobre 2018 pour effectuer de nouveaux tests.

Le prototype (16 mètres de diamètre – 0,5 MW) installé au large de Paimpol-Bréhat a été assemblé à Brest par Naval Énergies puis testé en 2014 – 2015. Deux turbines ont été posées en mer en 2016. À ce jour, ces turbines ont été retirés du milieu marin.

D'autres démonstrateurs sont également prévus. Par exemple le projet PHARES prévoit la mise en place d'une ferme pilote hydrolienne au large d'Ouessant. Il vise à alimenter en électricité verte le réseau ouessant, grâce au déploiement de deux hydroliennes (D12 de Sabella) dans le passage du Fromveur, raccordées au réseau ouessant et couplées à une capacité de production solaire et éolienne à terre.

HydroQuest et CMN développent depuis 2016 un projet de démonstrateur innovant pour la filière hydrolienne marine. Retenu suite à l'appel à projets « Énergies renouvelables en mer et fermes pilotes hydroliennes fluviales », financé par l'Etat dans le cadre du Programme d'Investissements d'Avenir et opéré par l'ADEME, ce projet doit permettre de valider les performances de l'hydrolienne marine « HydroQuest Ocean » en conditions réelles de fonctionnement.



Figure 3 : démonstrateurs hydroliens (Sabella à droite, OpenHydro à gauche) (source : Sabella, EDF)

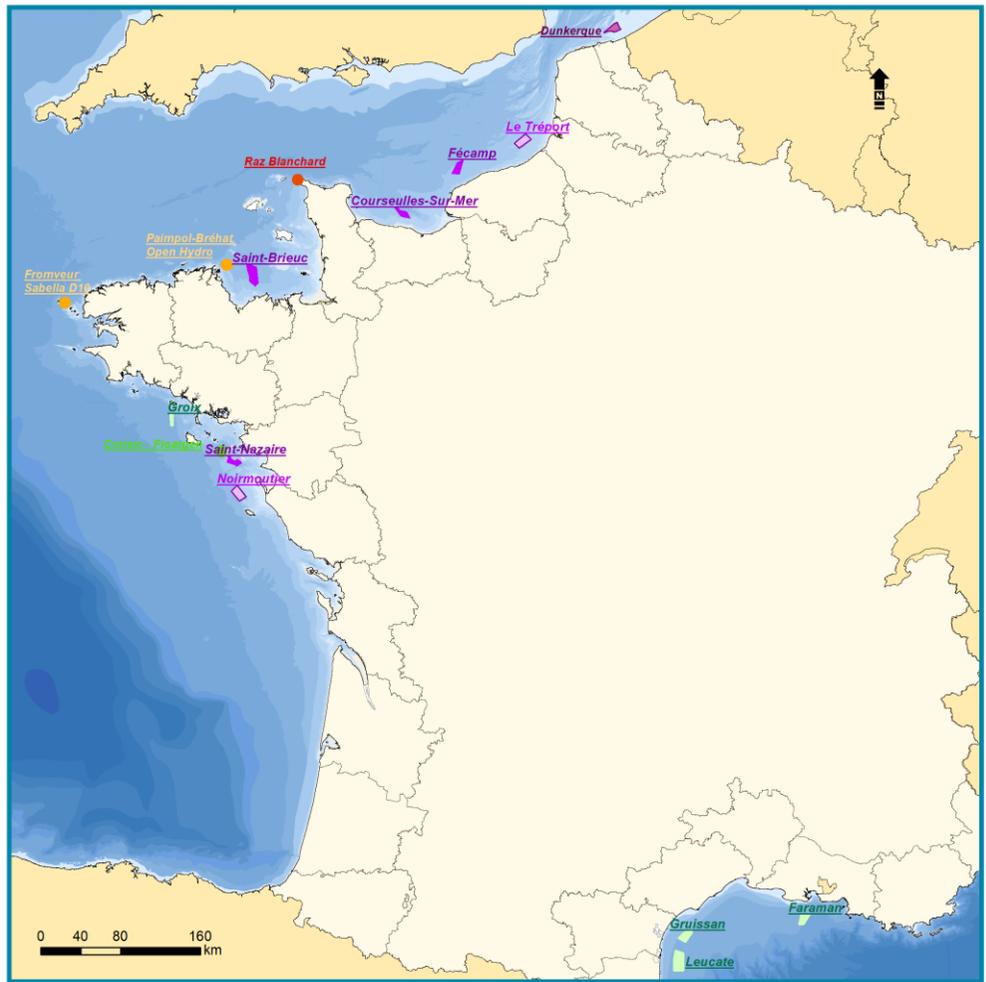
Un appel à manifestation d'intérêt pour des fermes pilotes hydroliennes a été lancé en 2013 dans le Raz Blanchard. Un projet de ferme pilote est en cours de développement sur ce site.

## 2.4. État d'avancement et localisation des projets

Les projets éoliens et hydroliens mentionnés précédemment sont récapitulés dans le Tableau 1. Leur localisation est indiquée sur la carte en Figure 4.

Technologie	Type de projet	Zone	État d'avancement
<b>Éolien posé</b>	Parc commercial	Saint-Nazaire	Phase d'enregistrement des recours terminée
		Saint-Brieuc	Phase d'enregistrement des recours terminée
		Fécamp	Phase d'enregistrement des recours terminée
		Courseulles-sur-Mer	Phase d'enregistrement des recours terminée terminée
		Le Tréport	Phase d'enregistrement des recours terminée
		Yeu Noirmoutier	Finalisation des autorisations
		Dunkerque	Préparation de l'appel d'offre
<b>Éolien flottant</b>	Démonstrateur	Le Croisic	En fonctionnement
	Ferme pilote	Groix – Belle Île	Avis de l'Ae donné
		Leucate	Avis de l'Ae donné
		Faraman	Avis de l'Ae donné
		Gruissan	Étude d'impact en cours
<b>Hydrolien</b>	Démonstrateur	Fromveur	En fonctionnement
		Paimpol – Bréhat	Finalisé et retiré du milieu De nouveaux projets sont en cours.
	Ferme pilote	Raz Blanchard	Avis de l'Ae donné

Tableau 1 : Projets éoliens en mer et hydroliens recensés en France métropolitaine



## Projets d'énergies renouvelables en mer

- Démonstrateur hydrolien
- Démonstrateur éolien flottant
- Ferme pilote hydrolienne
- AO parcs commerciaux éoliens posés 3 (2016)
- AMI fermes pilotes éoliennes flottantes (2015)
- AO parcs commerciaux éoliens posés 2 (2013)
- AO parcs commerciaux éoliens posés 1 (2010)

Analyse et réalisation: Cerema (2018)  
 Sources : Ifremer Pays limitrophes - EEA, GEOFLA®  
 - ©IGN Paris -  
 Reproduction interdite

Figure 4 : localisation des projets éoliens en mer et hydroliens en France métropolitaine



## 3. Techniques d'énergies marines renouvelables

Les différents systèmes de récupération d'énergie déployés en mer génèrent des impacts potentiels sur l'environnement spécifiques à chaque technologie. Cette partie décrit les éléments constitutifs des éoliennes en mer et des hydroliennes et les caractéristiques techniques des projets.

### 3.1. Technologies et raccordement

#### 3.1.1. Eoliennes en mer

Une éolienne est constituée d'un mât, de pâles et d'une nacelle. En mer, elle pourra soit être posée sur le fond marin, soit reposer sur une base flottante ancrée au fond.

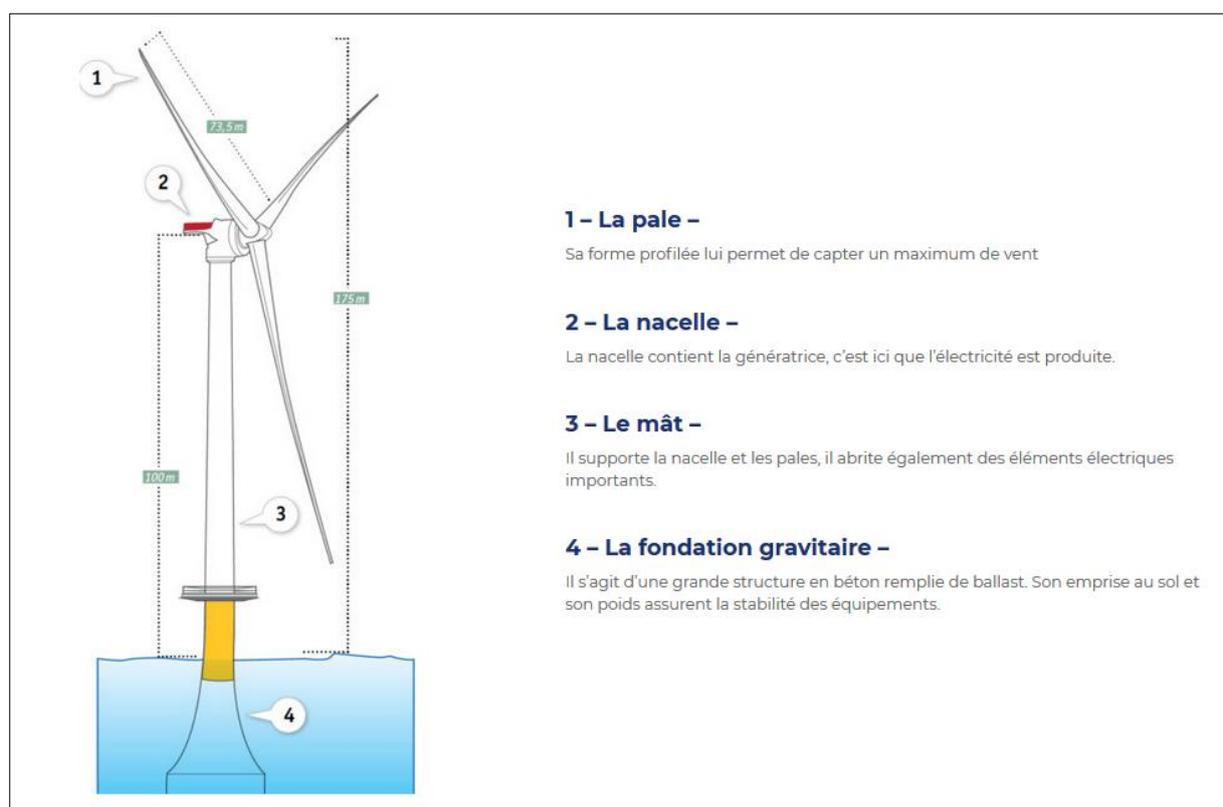


Figure 5 : éléments d'une éolienne en mer (cas de l'éolienne prévue pour le projet de Fécamp)

Le choix de la technologie retenue tient compte de critères physiques (profondeur des eaux marines, nature des fonds notamment) et économiques, dont les conséquences sur le milieu marin (en particulier les fonds marins et la biodiversité associée) sont variables et doivent être appréciées par l'étude d'impact environnemental du projet (Cf. Chapitre 2).

- **Fondation des éoliennes posées**

Plusieurs types de fondations sont actuellement proposés par les industriels. On peut citer :

- **le monopieu** : il peut être métallique battu ou foré cimenté en place. Le monopieu métallique, enfoncé à l'aide d'un marteau hydraulique, est plus adapté aux terrains sédimentaires (sables et argiles), tandis que le monopieu foré cimenté en place, installé avec une perceuse hydraulique, se prête davantage aux substrats rocheux ;
- **l'embase gravitaire** : constituée d'une large base en acier ou en béton de forte inertie, l'embase gravitaire est posée sur le fond marin et assure la stabilité de l'éolienne par gravité, en contrebalançant les charges latérales par son poids propre. Généralement circulaire, cette fondation superficielle peut être munie ou non de bèches pénétrant le sol marin ;
- **la structure métallique** : ce type de fondation, dérivé de l'industrie pétrolière, est formé d'une structure en treillis d'acier tubulaire, reposant généralement sur quatre pieds (jacket) ancrés au sol marin par des pieux battus travaillant en compression et en traction selon les sollicitations.

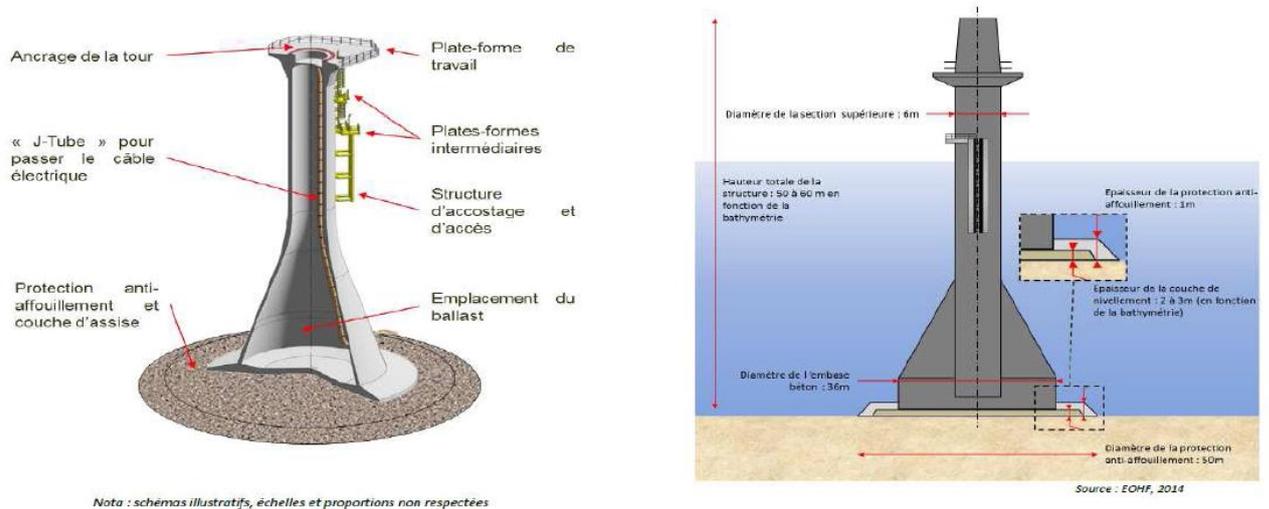


Figure 6 : schéma de principe d'une fondation gravitaire (à gauche) et de ses dimensions (à droite) (source : étude d'impact du parc éolien de Fécamp et avis de l'autorité environnemental)

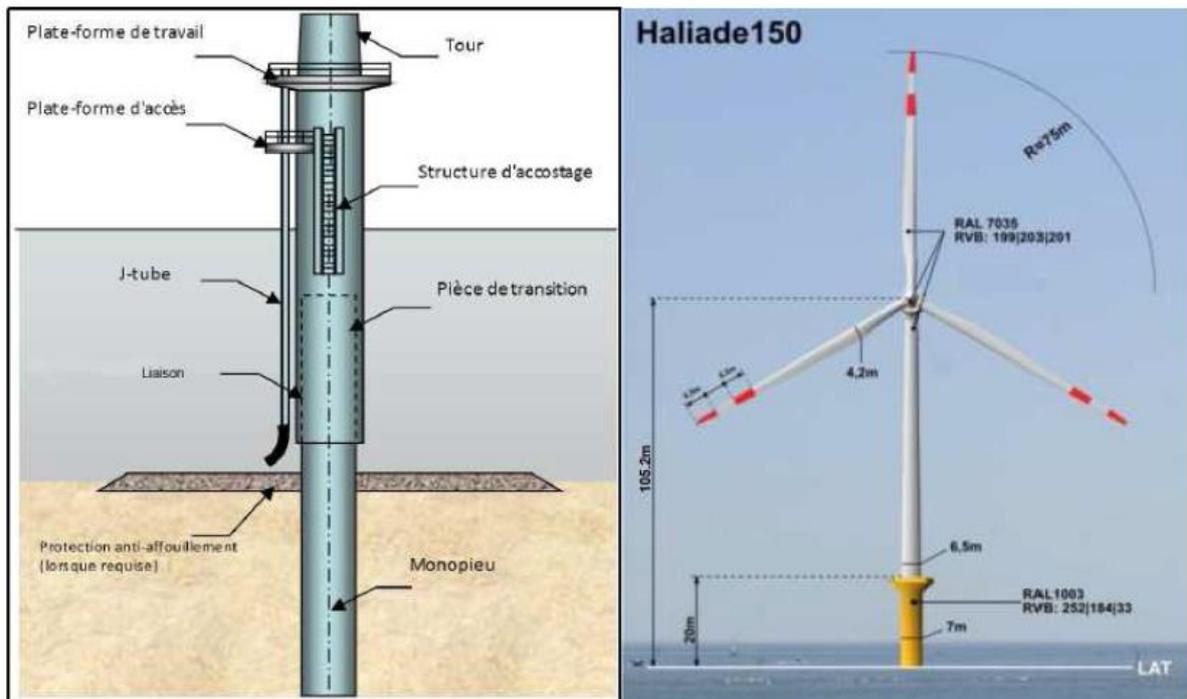


Figure 7 : schéma de principe d'une fondation monopieu (gauche) et représentation visuelle indicative de l'éolienne (droite) (source : étude d'impact du parc éolien de Courseulles-sur-mer)

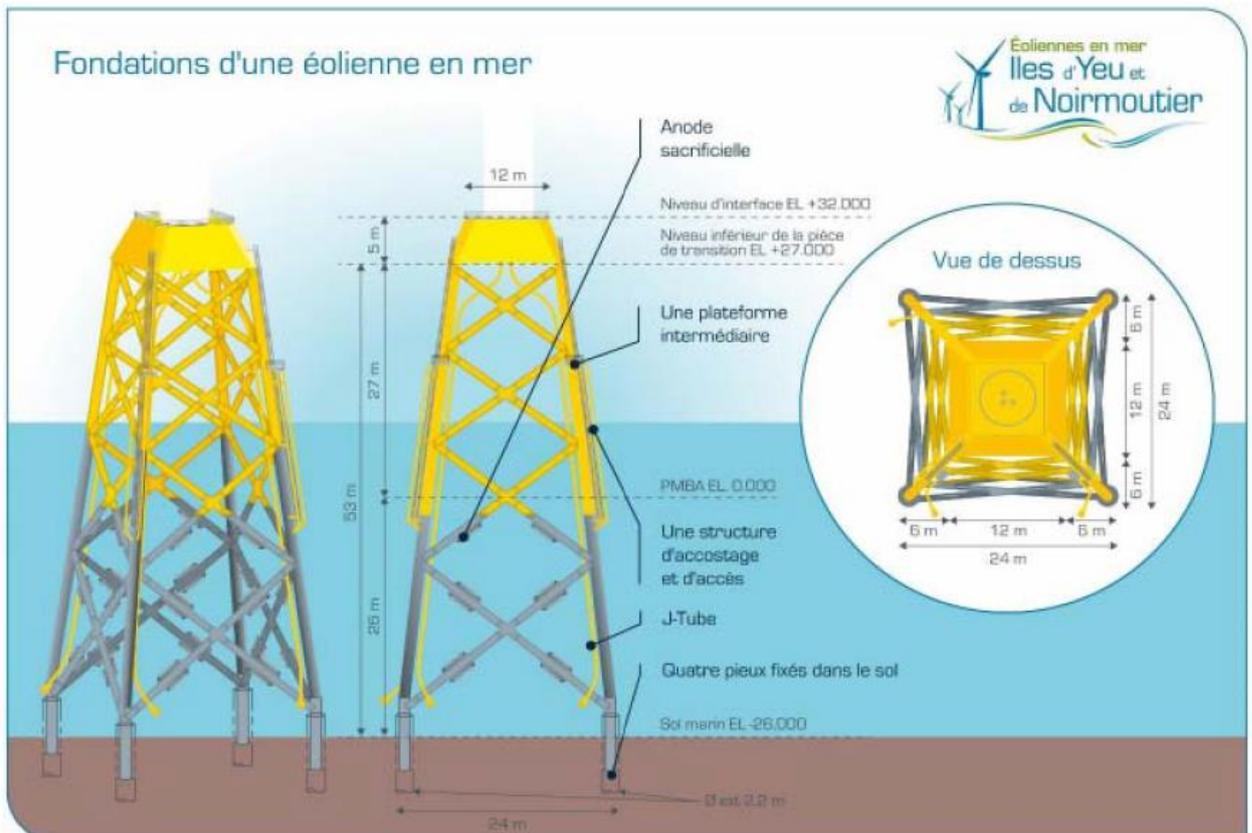


Figure 8 : schéma de principe d'une fondation jacket (source : étude d'impact du parc éolien des deux îles)

Les fondations des éoliennes posées comprenant des structures métalliques peuvent être protégées par :

- **de la peinture anticorrosive** pour la partie émergée ;
- **des anodes sacrificielles** : elles permettent, par leur oxydation plus rapide que celle du métal sur lequel elles sont posées, de protéger ce dernier de la corrosion. Elles sont composées d'aluminium, de zinc, d'indium, de silicium, de fer, de cuivre et de cadmium ;
- **des anodes par courant imposé** : cette protection consiste en l'installation d'anodes faites de titane qui reçoivent un très faible courant électrique permettant, par réaction active chimique, de protéger la structure de la corrosion. Le système est raccordé à l'éolienne et des câbles parcourent la fondation afin de transporter l'électricité jusqu'aux anodes. Le parc éolien en mer de Dieppe – Le Tréport sera ainsi le premier en France – avec celui des îles d'Yeu et de Noirmoutier – à être équipé de fondations « jacket » protégées par courant imposé.



Figure 9 : anodes sacrificielles sur une fondation jacket ([www.comsol.com](http://www.comsol.com) in Yark et al.(2016))

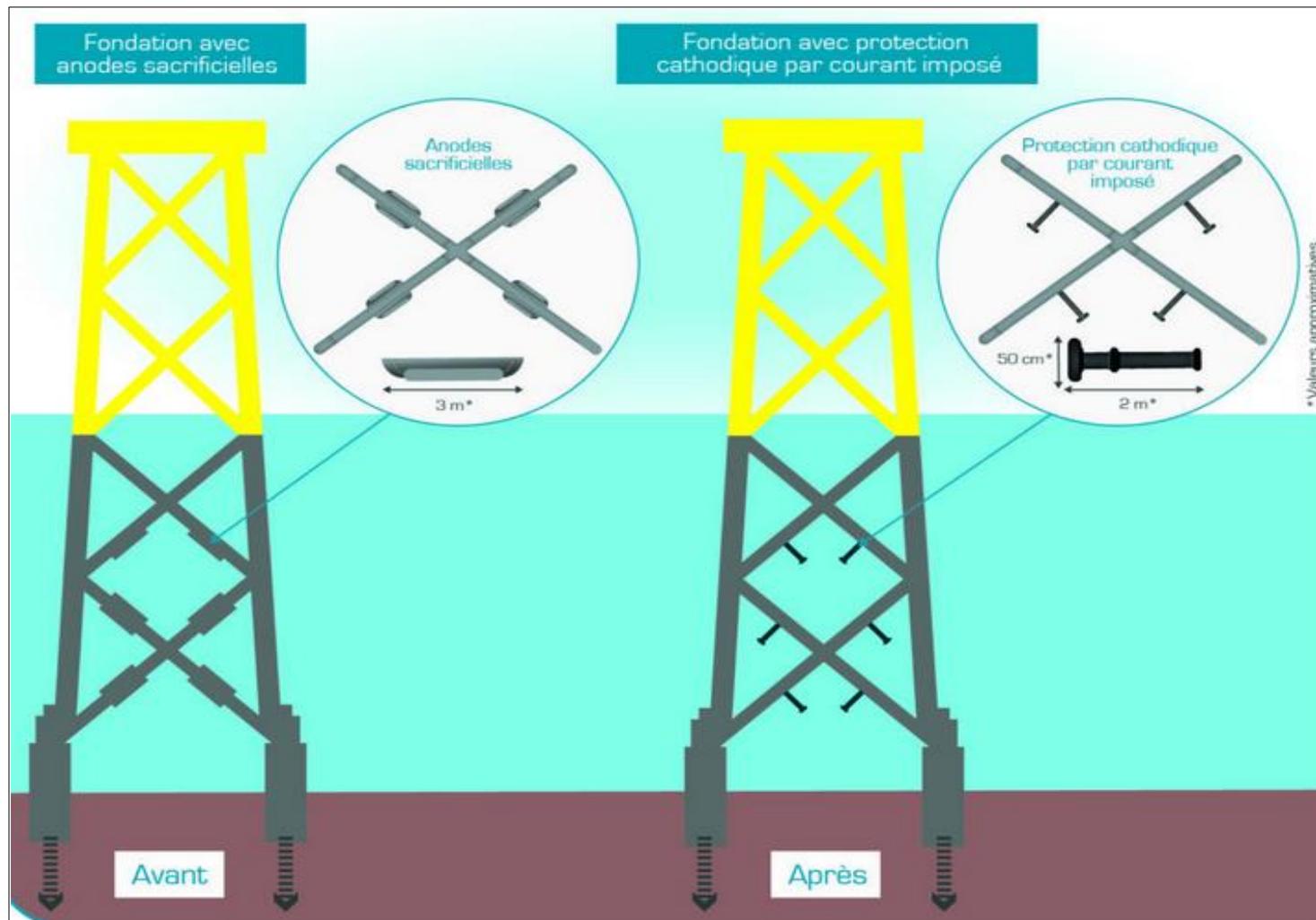


Figure 10 : anodes sacrificielles sur une fondation jacket (www.comsol.com in Yark et al.(2016))

- **Ancrages des éoliennes flottantes**

Les structures flottantes sont maintenues par des lignes d’ancrages reliées aux fonds marins. Plusieurs technologies existent actuellement :

- **la plate-forme semi-submersible avec ancrage** caténaire : le flotteur est stabilisé par sa forme qui comporte des volumes immergés. Les lignes d’ancrages doivent seulement résister aux efforts de dérive.
- **la barge** : la fondation flottante est ouverte en son centre afin de permettre une stabilisation du flotteur. Les lignes d’ancrage sont reliées au fond marin de manière à maintenir l’ensemble en position.
- **la plate-forme avec ancrage à lignes tendues (Tensioned Leg Platform ou TLP)** : la stabilité est obtenue grâce à un flotteur maintenu sous la surface de l’eau par des lignes qui le tirent vers le fond. Les lignes d’ancrage verticales doivent résister à des forces importantes dues à la pré-tension des lignes, en plus des efforts de dérive.
- **la bouée équipée d’un flotteur de type bouée – crayon** (Single point anchor reservoir ou Spar) : l’équilibre est assuré par le poids du flotteur immergé sur une grande hauteur. Ce concept ne peut s’envisager que si la profondeur d’eau est suffisante, supérieure à 100 mètres en général.

Différentes solutions techniques existent concernant l’ancrage au sol des éoliennes flottantes, dont les trois privilégiées dans les projets actuels sont :

- **l’ancre draguée** (ou à enfouissement, ou à traînée) : plus adaptée aux sols cohésifs (limons, argiles), sa capacité de retenue est obtenue par la résistance du sol face à l’avancée de la partie plane de l’ancre. Sa profondeur d’enfouissement varie d’environ 8 à 12 mètres, selon la nature du sol ;
- **la pile (ou pieu) à succion** : adaptée aux sols dont la pénétration est facile, elle se présente sous la forme d’un cylindre métallique ouvert au fond et fermé sur le dessus, installé dans le fond marin grâce à un système de pompe qui crée une sous-pression, faisant descendre le cylindre dans le sédiment ;
- **la pile (ou pieu) enfoncée** : adaptée à tout type de sol, elle peut y être introduite par vibration, par pression hydraulique ou par forage. Il existe également la possibilité de couler directement dans le sol le béton constituant la pile.

D’autres solutions sont évoquées dans la littérature technique et scientifique, parmi lesquelles :

- **la pile à pénétration dynamique** : de forme cylindrique se terminant par une pointe, elle pénètre dans le sol grâce à l’énergie cinétique obtenue par sa chute à travers la colonne d’eau, sous l’effet de son propre poids ;
- **l’ancre gravitaire** : adaptée aux sols durs, elle retient le flotteur grâce à sa lourde masse qui reste posée sur le fond. Elles conviennent mieux pour un mouillage à lignes tendues ;
- **l’ancre plate**, enfoncée dans le sol soit à l’aide d’un caisson à succion, soit de manière dynamique.

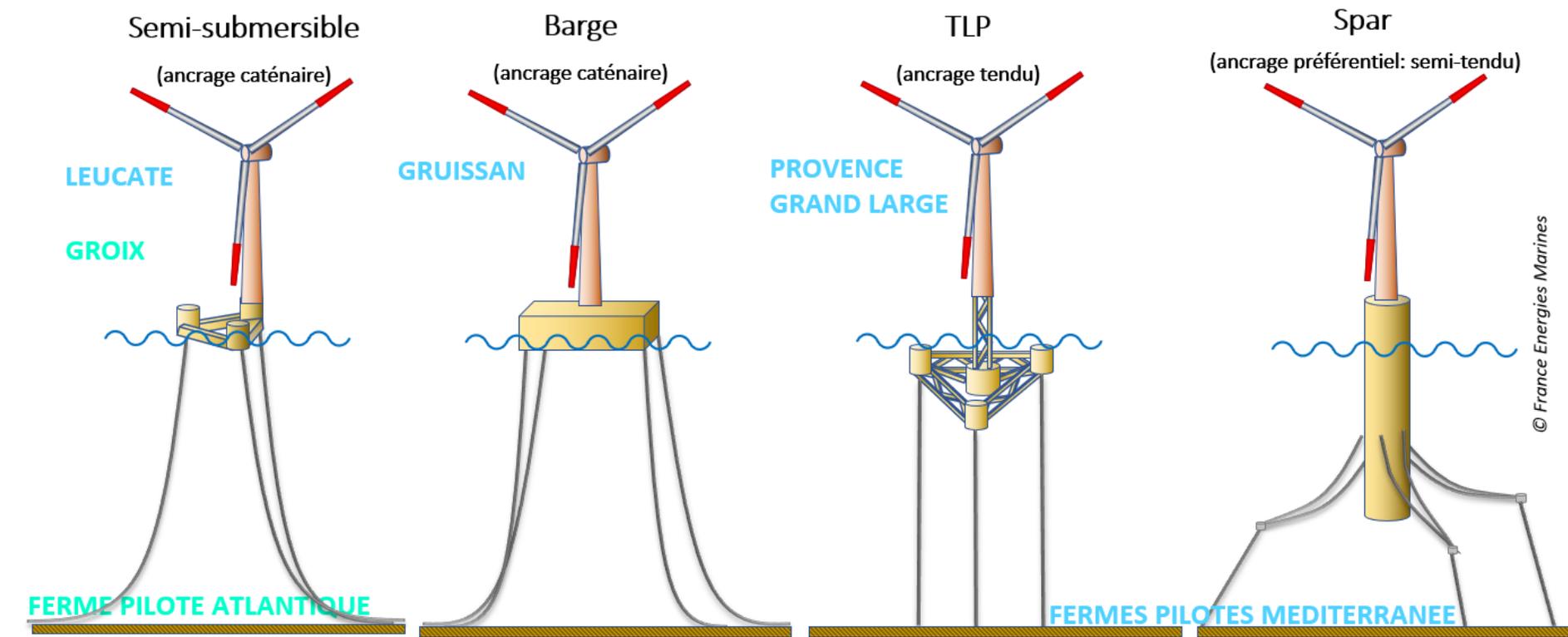


Figure 11 : types d'ancrage pour l'éolien flottant (source : France Énergies Marines, présentation en réunion de concertation pour l'identification de zones pour des projets éoliens flottants).

### 3.1.2. Hydrolennes

Une hydrolenne est constituée de plusieurs éléments :

- Une turbine

Elle recueille l'énergie cinétique du courant et la convertit en énergie mécanique. Malgré la grande diversité de technologies d'hydrolennes, on peut distinguer deux grands types de turbines :

- **systèmes à flux axial ou transverse** : le principe de ce dispositif peut être assimilé à celui d'une éolienne sous-marine puisque les pales d'un rotor convertissent le courant linéaire en rotation, puis en électricité par le biais d'un générateur. On distingue les turbines à flux horizontal et celles à flux transverse. Ces deux types de dispositifs peuvent être associés à un carénage particulier permettant l'accélération du fluide (« effet Venturi ») ; on parle alors de système à flux canalisé.
- **systèmes à hydrofoils** : ce type de dispositif est constitué de « pagaies » sous-marines (appelées aussi « ailes battantes ») actionnant un système hydraulique. Les pagaies oscillent sous l'effet des courants, comprimant ainsi un fluide hydraulique. La pression est alors convertie en électricité.

- Une structure porteuse

Elle permet de maintenir la turbine sous l'eau dont les fondations peuvent prendre plusieurs formes :

- **structure** reposant directement sur le fond (fondation gravitaire)
- **pylône** enfoncé dans le sol (fondation mono ou multi pieux, surmontée ou non de jackets)
- **système flottant** entre deux eaux ou en surface, fixé au fond par des ancrages conventionnels (si présence de sédiments meubles) ou gravitaires.

*Tableau 2 : exemple de technologies hydrolennes dans le Monde (page suivante)*

**Projets**

**Caractéristiques**

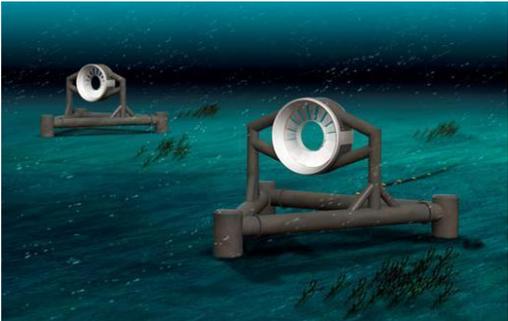
**Marine current turbine (Royaume-Uni)**



Double turbine bipale à axe horizontale  
Rotor de 16m à 20m de diamètre

Puissance : 1,2MW

**Open center turbine (R-U)**



Turbine à axe horizontale avec génératrice périphérique  
Rotor de 16m à 20m de diamètre

Puissance : 1 MW

**The Blue Concept (Norvège)**



Turbine tripale à axe horizontale

Rotor de 20m de diamètre  
Puissance: 1MW à termes

**Scotrenewables (R-U)**



Turbine hydrolienne flottante  
rotor de 16 m de diamètre  
2 MW

**Hydroquest (France)**



Turbine à axe vertical  
Démonstrateur de 1 MW

### 3.1.3. Raccordement

- Poste électrique en mer

Le poste électrique comprend les équipements de transformation permettant d'élever le niveau de tension et le comptage de l'énergie délivrée par les éoliennes.

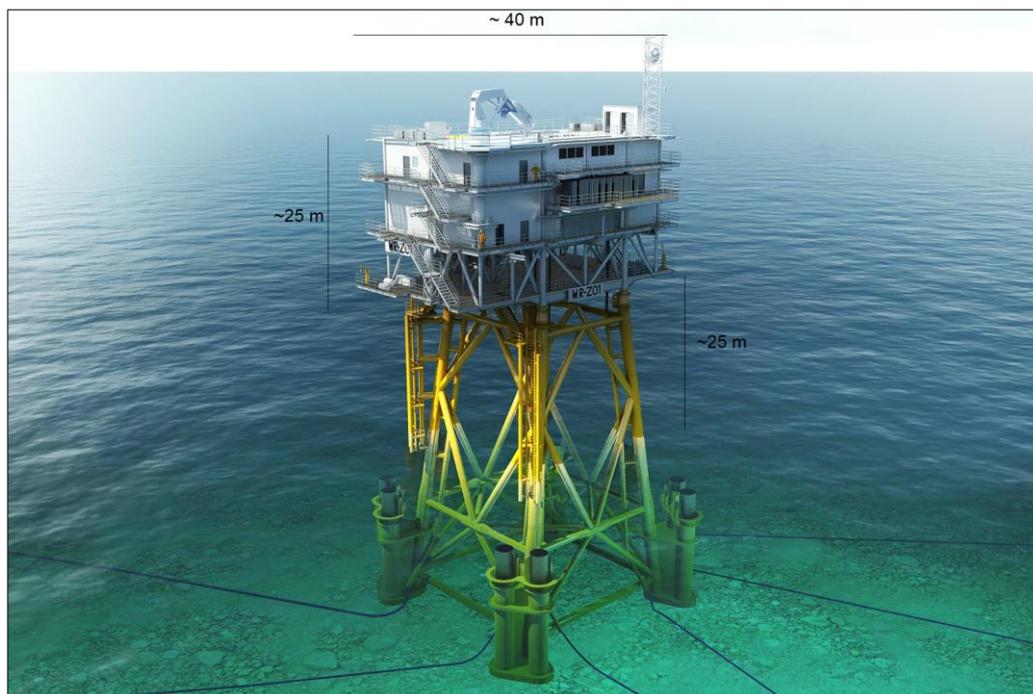


Figure 12 : poste électrique en mer de la ferme éolienne offshore de Westermost Rough

- Câbles sous-marins entre le parc éolien et le poste électrique à terre

Le câble sous-marin utilisé pour le raccordement d'un parc est un câble tripolaire de 225 kV, généralement en courant alternatif. Deux câbles sont nécessaires pour raccorder un parc de 500 MW. La distance entre les deux câbles tripolaires de la liaison sera d'environ trois fois la hauteur d'eau pour faciliter l'accès aux câbles en cas de maintenance.

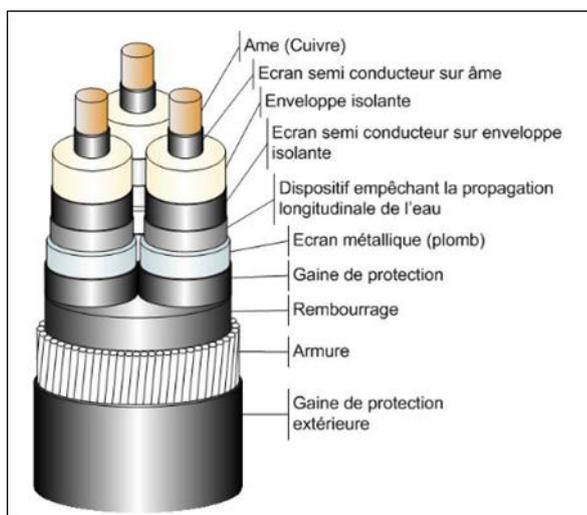


Figure 13 : câble sous-marin pour le raccordement du parc depuis le poste en mer à la zone d'atterrage (source : RTE)

Les câbles utilisés pour le raccordement en mer sont protégés par ensouillage ou protection extérieure en fonction des caractéristiques des fonds.

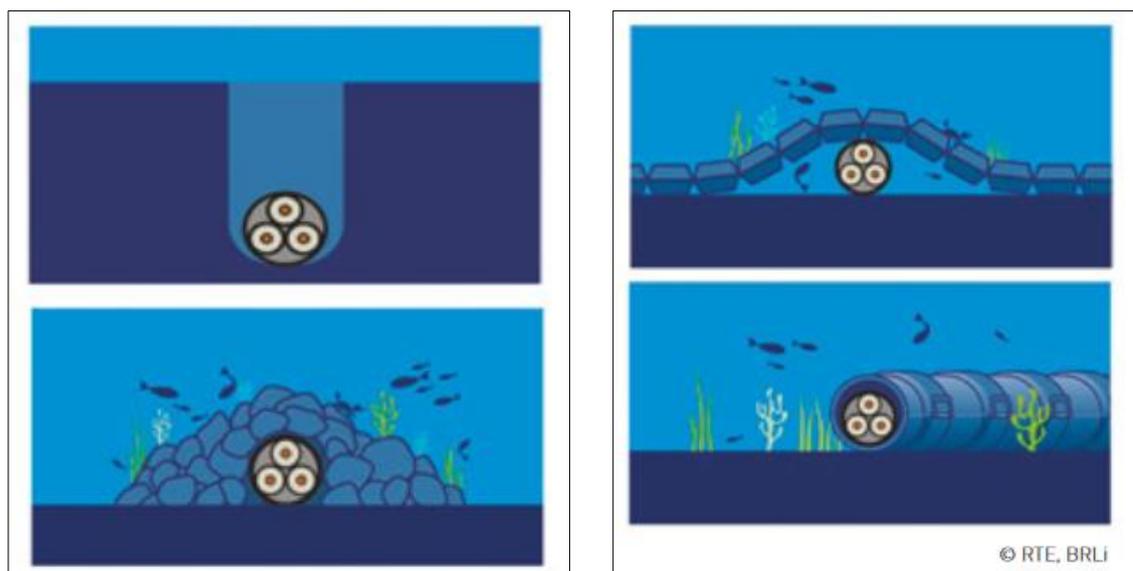


Figure 14 : protection des câbles sous-marins pour le raccordement des projets par ensouillage (en haut à gauche), par un matelas (en haut à droite), par enrochement (en bas à gauche), par une coquille (en bas à droite) (source : RTE, BRLi)

- Câbles sous-marins interéoliennes

Tout comme pour le câble de raccordement, chaque câble est constitué de trois conducteurs en cuivre, chacun gainé par un matériau hautement isolant, le polyéthylène réticulé, permettant une utilisation jusqu'à un niveau de tension de 36 kV. Une armure extérieure constituée notamment d'une tresse en acier galvanisé, servant à protéger le câble, regroupe les trois conducteurs et un faisceau de fibres optiques pour former un câble d'un seul tenant. Les fibres optiques permettent de créer un réseau de communication entre les éoliennes et le poste de livraison.

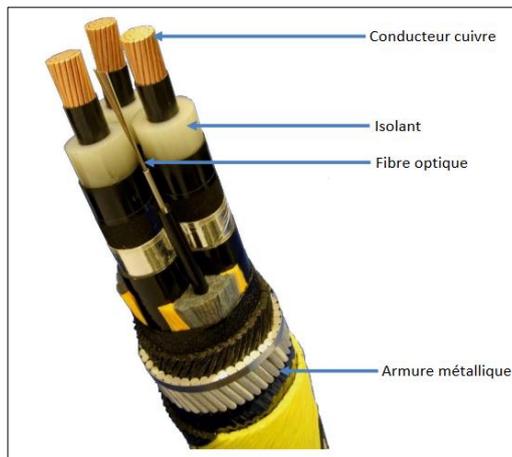


Figure 15 : câble sous-marin inter-éolienne (source : Draka, 2011)

Pour les parcs éoliens flottants, un câble dynamique est utilisé. Ces câbles qui flottent dans la colonne d'eau sont capables de répondre à des contraintes hydrodynamiques fortes.

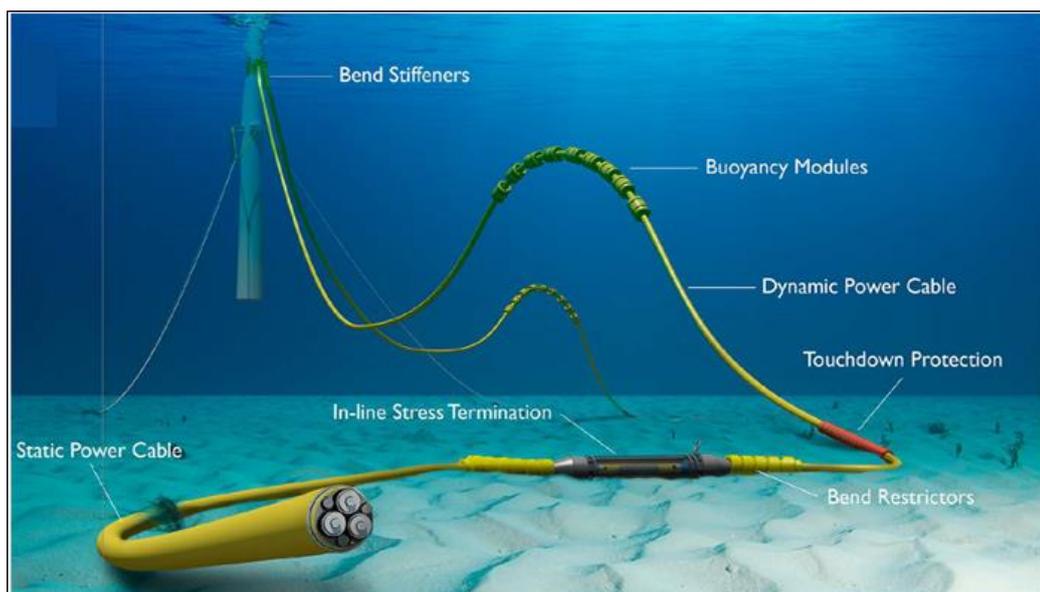


Figure 16 : câble dynamique (Joshua Bauer, NREL)

### 3.1.4. Configuration des parcs

- Parcs commerciaux éoliens en mer

Les projets de parcs commerciaux éoliens en France s'étendent sur une superficie allant de 50 km<sup>2</sup> à 80 km<sup>2</sup> et comprennent entre 60 et 80 machines, espacées les unes des autres d'environ un kilomètre.

Les éoliennes, à l'intérieur d'un parc commercial, sont raccordées à une sous-station électrique par des câbles. Le poste électrique en mer est relié au réseau électrique par une liaison sous-marine

puis souterraine. RTE (Réseau de transport d'électricité), gestionnaire du réseau public de transport d'électricité français, assure la maîtrise d'ouvrage et la maîtrise d'œuvre des études et des travaux de réalisation de ce raccordement.

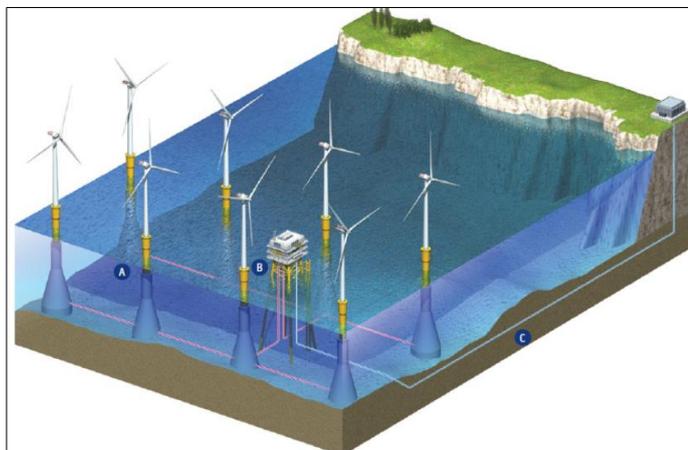


Figure 17 : raccordement du parc éolien en mer de Fécamp (source : sites internet des projets)

- Ferme pilote éolienne en mer

Les projets de fermes pilotes d'éoliennes s'étendent sur une superficie allant de 3 à 10 km<sup>2</sup> et comprennent entre 3 et 4 éoliennes.

Les éoliennes, au sein d'une ferme pilote, seront reliées entre elles par un câble électrique d'une tension correspondant à la tension de transport de l'électricité pour les réseaux gérés par RTE. L'éolienne la plus proche de la côte, dite éolienne de tête, sera reliée au réseau électrique à terre par un câble électrique appelé câble export. L'électricité produite est ainsi mise à disposition sur le réseau de transport, géré par RTE.

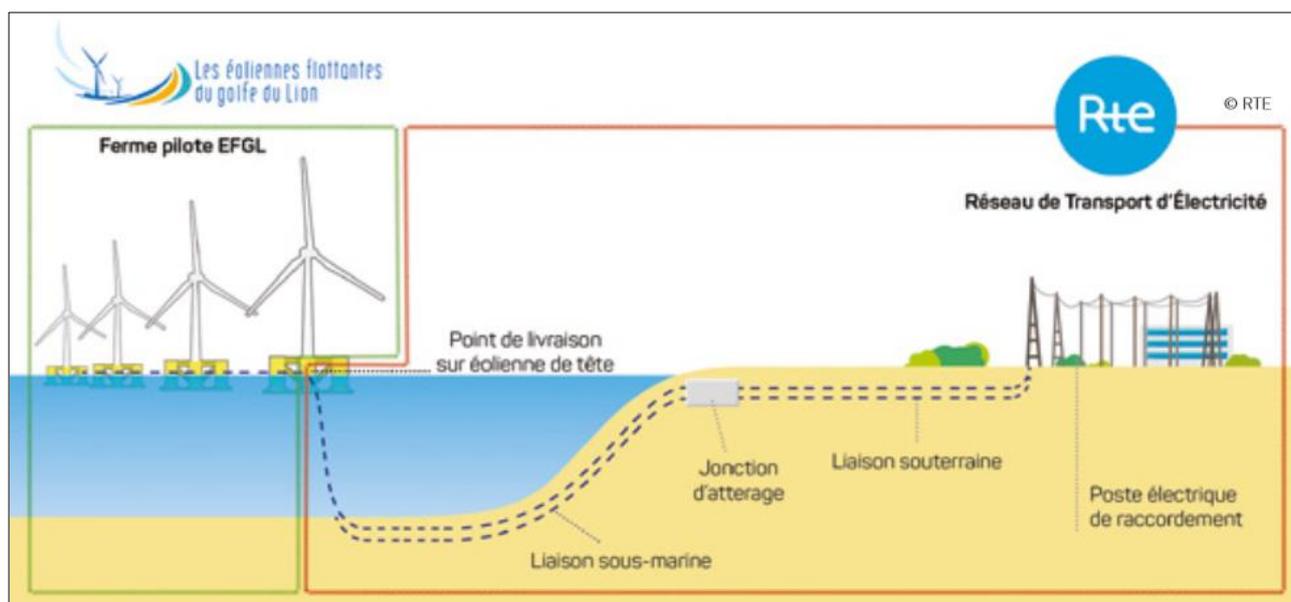


Figure 18 : raccordement de la ferme pilote EFGL (source : site internet du projet, RTE)

### 3.2. Caractéristiques des projets

Les tableaux ci-dessous résument les caractéristiques des différents projets éoliens en mer posés des deux premiers appels d'offres<sup>1</sup> :

Projet	Yeu- Noirmoutier	Saint-Nazaire	Saint-Brieuc	Courseulles	Fécamp
Éolienne	Siemens Gamesa	Haliade 150	Siemens Gamesa SG 8.0- 167 DD	Haliade 150	Haliade 150
Puissance par machine	8 MW	6 MW	8 MW	6 MW	6 MW
Hauteur moyeu	122 m	100 m	130 m	100 m	100 m
Diamètre rotor	167 m	150 m	167 m	150 m	150 m
Hauteur bout pales	200 m	180 m	200 m	180 m	180 m
V_démarrage	3m/s	3 m/s	3 m/s	3 m/s	3 m/s
V_nominale	11 m/s	11 m/s	11 m/s	11 m/s	11 m/s
V_arrêt	25 m/s	25 m/s	25 m/s	25 m/s	25 m/s
V_rotation	-	4 à 11,5 tour/min (soit 324 km/h bout pales)	-	4 à 11,5 tour/min (soit 324 km/h bout pales)	4 à 11,5 tour/min (soit 324 km/h bout pales)
Superficie du parc	83 km <sup>2</sup>	78 km <sup>2</sup>	75 km <sup>2</sup>	50 km <sup>2</sup>	67 km <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Le projet de Dieppe-Le Tréport n'est pas présenté ici, dans l'attente de l'enquête publique.

Projet	Yeu- Noirmoutier	Saint-Nazaire	Saint-Brieuc	Courseulles	Fécamp
Nombre éoliennes	62	80	62	75	83
Espacement entre éoliennes	1 km et 1,6 km	900 m	1 à 1,3 km	900 m	1 km
Type de fondation	Jacket	Monopieu de 7 m de diamètre	Jacket posé sur 4 pieux	Monopieu de 7 m de diamètre	Gravitaire : embase de 34 m de diamètre au niveau du sol
Technique de mise en place des fondations	Forage et pieux scellés dans le fond marin par du béton (150 tonnes de béton par fondation)	Par battage (éventuellement avec forage) à 25 m		Par battage (éventuellement avec forage) à 20 m à 30 m	Gravitaire : Pose sur fonds marins (ballastage qui nécessitera 190000m <sup>3</sup> béton + 460000 m <sup>3</sup> de granulats + 140 000m <sup>3</sup> de roche anti-affouillement + 220000m <sup>3</sup> de tout-venant anti-affouillement
Bathymétrie	17 m à 42 m CM	8 m à 24 m CM	29 à 42 mètres PBMA	22 à 35 m CM	26 à 36 m CM
Nature des fonds	Substrat rocheux	Substratum rocheux + Sables grossiers graveleux + Sables moyens à grossiers coquilliers + Sables fins à moyens + Sables fins plus ou moins vaseux + Faciès vaseux	Couverture sédimentaire récente allant du sable moyen à graveleux	Sables, sables grossiers et graviers Épaisseur des sédiments < 1 m sauf au niveau des paléo-vallées où le plateau du Calvados composé de calcaire durs et de marne affleure entre -21 m et -27 m	Craie d'âge tertiaire (identique à celle des falaises de la côte d'Albâtre)
Protection cathodique	Anodes à courant imposé				

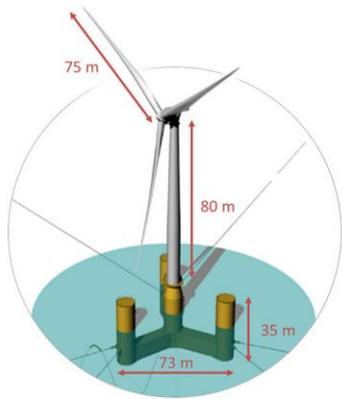
Tableau 3 : tableau des caractéristiques des projets de parcs commerciaux éoliens posés

Projet	Groix – Belle-Île Eolfi /CGN	Leucate – EFGL Engie/EDPR/CDC	Faraman – PGL EDF/EN	Gruissan – EolMed Quadran	Prototype au large du Croisic Floatgen
Éolienne	GE - Halliade 150-6MW	GE - Halliade 150-6MW	Siemens SWT-8.0-154	Senvion	Vestas V80
Puissance par machine	6 MW	6 MW	8 MW	6 MW	2 MW
Hauteur moyen	100 m	100 m	105 m		
Diamètre rotor	150 m	150 m	154 m		
Hauteur bout pales	174 m	174 m			
V_démarrage	3 m/s		3 m/s		
V_nominale			17 m/s		
V_arrêt	25 m/s		25 m/s		
Superficie du parc	14,3 km <sup>2</sup>	4 km <sup>2</sup>			
Nombre éoliennes	4	4	3	4	1
Espacement entre éoliennes	1,5 km	750 m			-
Type de flotteur	DCNS, fabriqués en collaboration avec VINCI  Semi-submersible – 77 m de diamètre – hauteur de 35 m avec 18 m de tirant d'eau	Eiffage/PPI,  Flotteurs métalliques constitués de 3 colonnes cylindriques reliées par des bracings (tubes). – longueur de 60m entre les colonnes – hauteur totale de 24m dont 14m de tirant d'eau en mer et 10m au port (grâce aux ballasts)	SBM / IFPEN Acier 90 m/90 m/25 m	Bouygues Travaux Publics et Ideol  Barge Semi-Submersible en béton 53 m/53 m/10 m	Flotteur de 36 m de côté et de 9,5 m de haut (7,5 m de tirant d'eau)
Masse du flotteur		1 600 à 2 000 tonnes	1700 tonnes	15 000 tonnes	
Lignes d'ancrage	6 à 8 lignes d'ancrage Ancrage de type caténaire constitué de : - lignes en chaîne acier ( <i>solution alternative : ancrage semi-tendu avec lignes en fibres synthétiques et chaîne</i> ) - et d'ancres à enfouissement ( <i>solution</i>	3 lignes d'ancrage d'environ 350 m de long composées d'une ancre ensouillée dans le sédiment (ou le fond) reliée au flotteur par une ligne composée de chaîne métallique et de câble synthétique.	Tendues	8 maximum Ancres ensouillées, type Drag Anchor	Semi-tendu - 6 lignes en fibre synthétique (nylon)

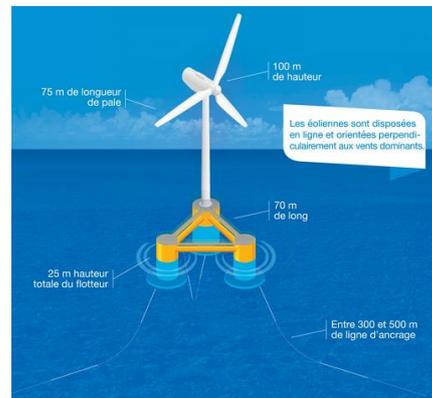
Projet	Groix – Belle-Île Eolfi /CGN	Leucate – EFGL Engie/EDPR/CDC	Faraman – PGL EDF/EN	Gruissan – EolMed Quadran	Prototype au large du Croisic Floatgen
	<i>alternative : ancre de type pile à suction)</i>				
Rayon d'ancrage	915 m	600 m			
Protection des bouées	Aucune peinture antifouling n'est prévue sur les flotteurs	Aucune peinture antifouling n'est prévue sur les flotteurs			
Distance à la côte	13 km	16 km		18 km	22 km
Bathymétrie	50 m – 70 m	68 m – 71 m		60 m	33 m
Nature des fonds	Plateau rocheux				

Tableau 4 : tableau des caractéristiques des projets de fermes pilotes éoliennes flottantes

### Projet au large de Groix



### Projet au large de Leucate



### Projet au large de Faraman - PGL



### Projet au large de Gruissan



Figure 19 : représentation schématique des éoliennes flottantes retenues pour les projets de l'AMI lancé en 2015

## 4. Etudes d'impact des projets

---

### 4.1. Intégration des projets dans le milieu marin

Le développement des énergies marines renouvelables doit respecter les engagements qu'a pris la France au sein de l'Union européenne, en matière notamment de respect de l'environnement marin. La directive cadre européenne 2008/56/UE, dite « stratégie pour le milieu marin (DCSMM) », prévoit en effet le maintien ou l'atteinte du bon état écologique des eaux marines de ses États-membres, au plus tard en 2020. À cet égard, conformément aux règles concernant l'évaluation des incidences de certains projets sur l'environnement (directive 2014/52/UE notamment), les projets EMR doivent faire l'objet d'une étude d'impact, préalable indispensable à la délivrance de toute autorisation administrative. Y sont notamment analysées les interactions du projet avec d'autres projets, autorisés ou en cours d'autorisation, en particulier les impacts cumulés.

### 4.2. Description des études d'impacts des parcs éoliens en mer

#### 4.2.1. Contenu des études d'impact

La production des études d'impact des projets EMR est de la responsabilité du porteur de projet. Concernant les projets issus des appels d'offres de 2011 et 2013, les études d'impact sont constituées des analyses suivantes :

- une étude concernant le parc éolien ;
- une étude concernant le raccordement électrique du parc (réalisée par RTE) ;
- une étude concernant le programme de travaux ;
- le cas échéant, une étude d'incidences Natura 2000.

Les projets de parcs éoliens en mer posé du deuxième appel d'offres (parc éolien posé des deux îles et de Dieppe – Le Tréport) consacrent une étude d'impact concernant les aménagements de bases d'exploitation et de maintenance en lien direct avec le projet.

Le contenu des études d'impact est défini par la réglementation (Cf. article R122-5 du code de l'environnement). Il est structuré, dans les études d'impact des projets des appels d'offre passés, de la manière suivante :

- Réalisation de l'état initial en mer et à terre ;
- Analyse des effets du programme pour définir les impacts sur les différents compartiments du milieu. Les impacts sont identifiés en phase travaux, en phase d'exploitation et de maintenance et enfin en phase chantier. → Analyse de l'addition et de l'interaction des effets entre eux.
- Présentation des variantes examinées et raison du choix du projet (2ième appel d'offres) ;
- Suivis environnementaux ;

- Mesures pour éviter, réduire et compenser les effets du projet ;
- Interactions avec les autres projets connus → Analyse des effets cumulés du projet avec d' autres projets connus.
- Principales solutions de substitution ;
- Compatibilité du projet avec l'affectation des sols et articulation avec les plans, schémas et programmes.
- 

Les effets et les impacts cumulés sont donc étudiés sous deux angles distincts dans ces documents :

- au sein même du projet : cet aspect est en principe traité dans l'analyse des effets du programme (ex. : cumul d'incidences de différentes natures sur une même composante de l'environnement) ;
- avec les autres projets : cette analyse fait l'objet d'un chapitre particulier de l'étude d'impact.

On peut cependant se demander s'il est pertinent de considérer les effets et les impacts cumulés à l'échelle des projets alors que le référentiel d'étude semble plus cohérent s'il correspond à une réalité biologique.

#### *4.2.2. Composantes du milieu et effets identifiés en phase de travaux, d'exploitation et de démantèlement*

- Composantes du milieu

La mise en place d'un projet peut impacter l'environnement, le paysage et les activités et usages. Les composantes de l'environnement potentiellement impactées, mises en évidence dans les études d'impacts, sont listées ci-dessous :

- **milieu physique** : morphostructure marine, hydrodynamique marine, dynamique hydrosédimentaire, qualité des sédiments et des eaux, acoustique sous-marine ;
- **milieu naturel** : espèces et habitats, habitats et biocénose benthiques, ressources halieutiques et autres peuplements marins, mammifères marins, tortues marines, autres grands pélagiques, avifaune, chiroptères, continuités écologiques et équilibres biologiques (interactions trophiques, zones de reproduction et de nourriceries...).

- Effets sur le milieu

Les effets les plus notables sont le remaniement des fonds et la remise en suspension de matériaux, le bruit et les vibrations, les modifications hydrosédimentaires liées à la présence des installations et la présence même des éoliennes/pales.

Les principaux effets en phase de construction, d'exploitation et de démantèlement et les composantes du milieu potentiellement impactées sont listés en annexe du rapport (annexes 1 et 4). Parmi ces effets, certains peuvent se cumuler à l'échelle du projet ou de la façade maritime. Il en est de même pour les impacts générés par ces effets.

#### *4.2.3. Méthode d'évaluation des impacts*

- Principe

L'évaluation des impacts est basée sur le croisement de la sensibilité du milieu avec l'effet des activités en phase de construction, d'exploitation et de démantèlement.

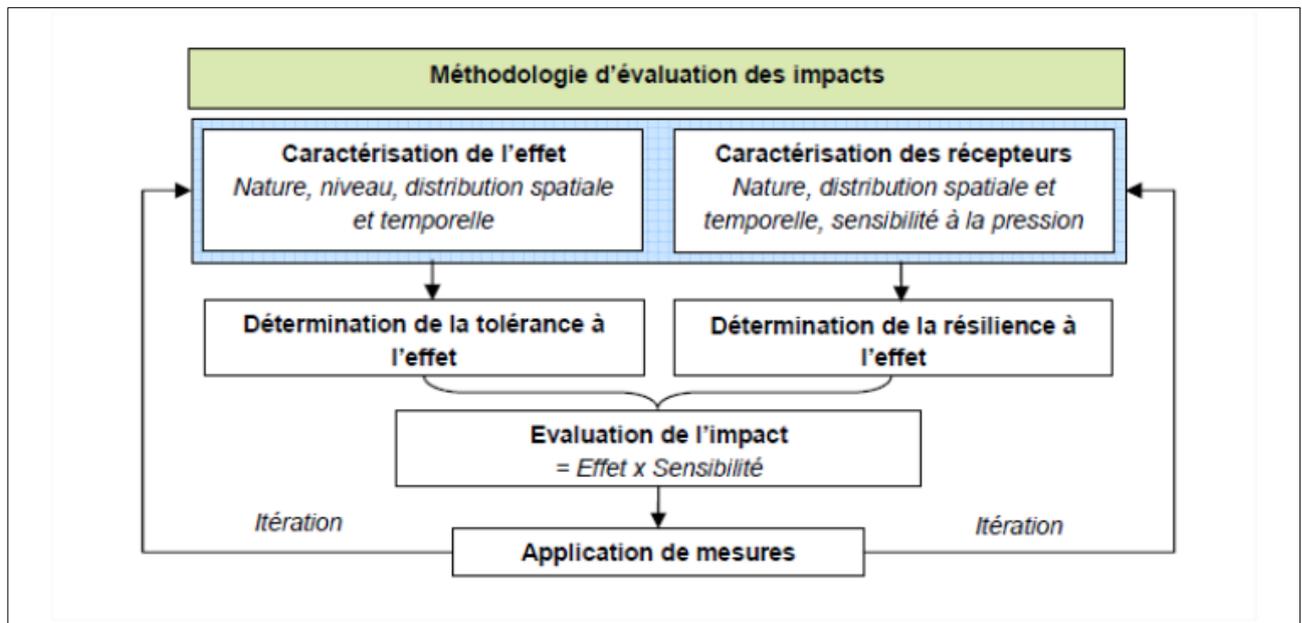


Figure 20 : Méthodologie d'évaluation des impacts environnementaux potentiels d'un projet d'aménagement (MEDDE, 2012)

Les résultats se présentent généralement sous la forme d'une matrice qui indique le niveau d'intensité des impacts. Les effets et les impacts peuvent être hiérarchisés par :

- leur intensité : nul ou négligeable – faible – moyen – fort ;
- leur type : direct – indirects ;
- leur nature : négatif – positif ;
- leur durée : temporaire – permanent.

- Limites méthodologiques

- **Limite 1 :**

Dans les études d'impacts, la matrice d'évaluation des impacts n'aboutit pas toujours aux mêmes conclusions. Une pression faible sur un milieu moyennement sensible aboutit, selon les études, soit à un niveau d'impact moyen, soit à un niveau d'impact faible. De la même manière, une pression forte sur un milieu moyennement sensible aboutit tantôt à un niveau d'impact fort, tantôt à un niveau d'impact moyen.

Sensibilité \ Effet / pression	Nul ou négligeable	Faible	Moyen	Fort
Nul négligeable	Nul ou négligeable	Nul ou négligeable	Nul ou négligeable	Nul ou négligeable
Faible	Nul ou négligeable	Faible	Moyen ou Faible	Moyen
Moyen	Nul ou négligeable	Faible	Moyen	Fort
Fort	Nul ou négligeable	Moyen	Moyen ou Fort	Fort

Tableau 5 : Matrice détermination du niveau d'impact

- **Limite 2 :**

L'échelle (Nul / Faible / Moyen / Fort) pour qualifier les effets et la sensibilité de chaque espèce / habitat n'est pas uniforme dans l'ensemble des études d'impacts. Elle s'appuie sur des dires d'experts mais n'est pas toujours justifiable quantitativement, limitant ainsi les comparaisons avec d'autres projets.

### 4.3. Recommandations de l'Autorité environnementale (CGEDD)

#### 4.3.1. Rôle de l'autorité environnementale

L'autorité environnementale compétente concernant les projets de parcs éoliens marins et de fermes pilotes hydroliennes est le Ministère de la Transition Écologique et Solidaire (art. R 122-6 du CE), formellement représenté par la formation d'autorité environnementale du CGEDD (Ae-CGEDD).

L'autorité environnementale donne un avis sur l'étude d'impact des projets et le met à disposition du maître d'ouvrage, de l'autorité décisionnaire et du public. Cet avis ne porte pas sur l'opportunité des projets mais sur la qualité de l'étude d'impact présentée par le maître d'ouvrage, et sur la prise en compte de l'environnement par le projet. Il n'est donc ni favorable, ni défavorable, il doit permettre d'améliorer la conception du projet et la participation du public à l'élaboration des décisions qui portent sur ce projet.

#### 4.3.2. Recommandations sur l'analyse des effets cumulés

En dehors des observations spécifiques à chaque projet, l'Ae-CGEDD formule des recommandations de portée plus générale, identifiées et retranscrites ci-dessous :

- « L'Ae recommande, malgré la difficulté de l'exercice, une approche plus large des effets cumulatifs, en cherchant notamment à identifier par type d'impact ceux pour lesquels

le cumul d'effets non significatifs pour chaque projet considéré individuellement est susceptible de devenir significatif. »

- « L'Ae recommande de revoir les conclusions relatives aux effets cumulés en s'appuyant sur une méthodologie rigoureuse et en se rapprochant des autres maîtres d'ouvrages afin de coordonner les suivis sur la faune marine pour en tirer les conséquences en termes d'impact et appliquer la séquence ERC en particulier pour les espèces patrimoniales. »
- « sans demander au maître d'ouvrage une analyse qui ne pourrait être menée de manière sérieuse qu'à l'échelle européenne, l'Ae s'est également interrogée sur l'impact possible cumulé d'une succession de parcs éoliens offshore le long des routes migratoires de certains oiseaux venant du nord de l'Europe et note l'absence d'étude environnementale préalable au choix des implantations retenues, réalisée à une échelle pertinente pour apprécier notamment les enjeux de préservation des couloirs de migration. »

## Chapitre 2 Etat de l'art sur les données existantes et les protocoles d'acquisition pour l'évaluation environnementale

*Rédacteur :*

*Sylvain Michel, Agence Française pour la Biodiversité*

## Historique des versions du document

Version	Date	Commentaire
1	31/08/18	En cours de rédaction.
2	20/09/18	Version 0 incomplète par SM (AFB) transmise au CoPil
3	21/11/18	Commentaires de MN (FEM)
4	23/11/18	Version 1 par SM (AFB) transmise au CoPil
5	28/11/18	Commentaires de AL (Cerema)
6	21/12/18	Version 2 par SM (AFB) transmise au CoPil
7	08/01/19	Commentaires de MN et ML (FEM)
8	11/01/19	Commentaires de LT (Cerema)
9	17/01/19	Version 3 par SM (AFB) transmise à FEM
10	13/02/19	Prise en compte des demandes de la DGEC du 06/02

# 1. Méthodologie générale

---

## 1.1. Etat initial

N.B. : Les données et méthodes utilisées pour établir l'état initial des projets éoliens et hydroliens français analysés dans ce rapport sont synthétisées dans l'annexe 5 : Synthèse des données et protocoles des études d'impacts et des avis de l'Autorité environnementale sur les parcs EMR français.

### 1.1.1. Données existantes

La première étape de toute étude d'état initial d'un site de projet d'EMR consiste à synthétiser les données et les documents pertinents. Les sources d'informations utilisées le plus souvent sont :

- **l'analyse de la bibliographie scientifique :**

les recherches sur les sites de publication scientifique (ex : PlosOne, ScienceDirect, etc.) avec en mots-clés les toponymes associés au site et des filtres portant sur les disciplines scientifiques et/ou compartiments de l'écosystème à étudier ;

- **les documents de gestion des espaces naturels**

En particulier les aires marines protégées (AMP) : ces documents comportent un tome ou un chapitre dédié à la description du patrimoine naturel. Par exemple, pour un Parc naturel marin, il s'agit d'un « Plan de gestion » et pour un site Natura 2000 d'un « Contrat d'objectifs ». Ces documents renseignent également sur les niveaux d'enjeux écologiques qui ont été associés aux différentes composantes de l'écosystème dans chacune des AMP (donc au niveau local) ;

- **les documents de planification de l'espace maritime ou littoral :**

Les enjeux environnementaux y sont définis à des échelles spatiales plus larges. Pour les milieux estuariens et littoraux, ces enjeux peuvent être extraits des SCoT (Schémas de cohérence territoriale), des SAGE (Schémas d'aménagement et de gestion des eaux), ou des SRADDET (Schémas régionaux d'aménagement, de développement durable et d'égalité des territoires) ; à l'échelle des façades maritimes, il s'agit des DSF (Documents Stratégiques de Façade), dont les PAMM (Plans d'action pour le milieu marin) constituent le volet environnemental ;

- **les bases de données régionales ou nationales sur les milieux marins :**

Ses habitats et ses espèces : elles sont accessibles via des portails internet en accès libre qui permettent d'effectuer des visualisations, voire des extractions (NB : des exemples de tels portails thématiques, i.e. dédiés à un groupe taxonomique ou à certaines composantes de l'environnement marin, sont indiqués ci-dessous dans le paragraphe 3 « Données et méthodes ».) Pour l'ensemble des espèces et habitats, le portail national de référence est le SINP (Système d'inventaire nature et paysages) du MNHN (Muséum national d'histoire naturelle), qui donne accès aux données de l'INPN (Inventaire national du patrimoine naturel). Cette base comporte notamment les données de présence/absence de taxons sur l'ensemble des eaux marines de Métropole et d'Outre-mer, sur un

maillage de 10 km de côté ; des données moins agrégées sont disponibles sur les portails régionaux du SINP.

- **les réseaux de surveillance :**

pour les besoins des politiques publiques de préservation des milieux naturels ou de la santé humaine, de nombreuses stations de mesures sont déployées dans l'ensemble des eaux françaises. Pour le suivi des eaux côtières, il s'agit des réseaux de la DCE (Directive-cadre sur l'eau) et pour le suivi de l'état écologique des milieux marins, des données du programme de surveillance de la DCSMM (Directive-cadre stratégie pour le milieu marin). Les données DCE sur les eaux littorales sont organisées par le système Quadrige et accessibles via le portail Surval de l'Ifremer ; les données DCSMM sur les écosystèmes marins sont en cours de structuration et seront prochainement accessibles via le SIMM (Système d'information sur les milieux marins) mis en œuvre par l'AFB.

- **les études d'impact antérieures**

Plus généralement, il est possible de tirer des données utiles de tout dossier d'autorisation administrative ayant nécessité l'étude ou l'acquisition de données sur certaines composantes de l'écosystème marin. Cependant, pour les autorisations les plus récentes, les porteurs de projet ont l'obligation de verser leurs données sur le patrimoine naturel dans les bases publiques de référence, lesquelles sont accessibles librement. Cette obligation a été introduite par la Loi Biodiversité d'août 2016 et s'applique à tous les projets dont la demande d'autorisation a été déposée à partir de mai 2017 (donc pas aux projets éoliens en mer des deux premiers appels d'offres). Un portail national a été mis en place en 2017 pour le recueil des études d'impact sur l'ensemble du territoire national.

- **les acteurs locaux**

Associations d'études et de protection du patrimoine naturel, organismes scientifiques, gestionnaires d'aires marines protégées, etc. disposent de nombreuses autres données sur les habitats et les espèces marines. Certaines de ces données ne sont disponibles que sur demande à leurs producteurs, mais elles sont souvent les plus détaillées. Il convient cependant d'être attentif à la validité scientifique des protocoles d'acquisition de ces données, à leur traçabilité (les métadonnées doivent être bien renseignées) et à la continuité des séries temporelles, en particulier quand elles s'étendent sur plusieurs années. Ces données sont généralement moins organisées que les sources précédentes et requièrent une concertation avec les producteurs afin d'établir les modalités de mise à disposition, éventuellement par le biais d'une contractualisation encadrant les conditions d'accès et d'utilisation des données naturalistes acquises localement.



Figure 21 : exemple de répartition d'une espèce issue de l'INPN, le Marsouin commun *Phocoena phocoena*, dans les eaux de France métropolitaine (source : INPN / MNHN)

### 1.1.2. Les données collectées

En fonction des données qui ont été identifiées lors de l'étude bibliographique et le recensement de données existantes, les porteurs de projets d'EMR peuvent avoir besoin d'acquérir des données complémentaires pour certaines composantes de l'écosystème marin. Ce choix s'appuie à la fois sur les lacunes de connaissance constatées, sur les enjeux écologiques identifiés à l'échelle du site et de la zone environnantes, et sur les impacts pressentis du projet. Cette analyse croisée détermine aussi la pression d'échantillonnage nécessaire, dans le temps et dans l'espace.

Selon la composante étudiée, les données constituant un état initial s'étendent sur différentes zones : aire d'étude immédiate, aire d'étude rapprochée, aire d'étude élargie.

Le guide sur les études d'impact environnemental des parcs éoliens en mer (MEEM, 2017) donne les définitions suivantes pour ces différentes zones :

- **L'aire d'étude immédiate** correspond à la zone d'emprise du projet retenu. A l'intérieur de cette aire les installations auront une influence souvent directe et permanente (emprise physique et impacts fonctionnels). De ce fait, une analyse fine des impacts du projet y sera réalisée. On y étudiera notamment la sédimentologie, le patrimoine archéologique, etc. ;
- **L'aire d'étude rapprochée** englobe la zone d'implantation potentielle du parc éolien (zone définie par l'État).
- **L'aire d'étude éloignée** correspond à la limite de tous les impacts potentiels du projet, y compris ceux relatifs à l'utilisation de l'habitat, aux impacts cumulés, ainsi que ceux pouvant affecter l'arrière-pays. Elle comprend une bande de territoire côtier correspondant au « rétro-littoral » qui englobe les communes côtières ;
- **La zone témoin**, située à l'extérieur de l'aire d'étude éloignée, ne subit pas l'influence du projet. Elle servira de point de référence (état « 0 ») pour le suivi des impacts environnementaux. La zone témoin doit présenter les mêmes caractéristiques que l'aire

d'étude au regard du compartiment étudié. Elle ne doit pas être impactée, de façon directe comme indirecte, par le projet.

Les contours de ces aires d'étude varient sensiblement en fonction de la composante à étudier. Ils seront donc définis au cas par cas, en fonction des informations contenues dans la bibliographie et des retours d'expérience.

Notons que l'aire d'étude immédiate n'est pas connue précisément avant la demande d'autorisation d'un projet. Ainsi, au moment du lancement d'un appel d'offres, ou dans le cadre d'une étude d'impact de plan ou programme, l'état initial doit être réalisé à l'échelle de l'aire d'étude rapprochée ou éloignée, selon les composantes.

Dans la plupart des projets d'EMR, chaque composante de l'écosystème est étudiée à l'échelle d'une même aire. Des choix différents pour les aires études de certaines composantes peuvent cependant se justifier de par les spécificités techniques du projet ou du patrimoine naturel local. Le guide MEEM, 2017, donne des indications pour les aires d'études de chaque compartiment (Tableau 6).

	Composante	Échelle d'observation
Milieu physique	Conditions océanographiques : courantologie, houle, vents, marée	Aire d'étude rapprochée + aire plus vaste par modélisation ou sources existantes
	Nature et structure des fonds marins	Aire d'étude éloignée + zone témoin
	Bruit ambiant	Aire d'étude éloignée
	Qualité physico-chimique du substrat	Aire d'étude éloignée
	Qualité physico-chimique des eaux	Aire d'étude éloignée
Milieu biologique	Habitats benthiques	Aire d'étude immédiate + zone témoin
	Poissons et mollusques	Aire d'étude rapprochée + zone témoin Aire d'étude éloignée pour les données de pêche professionnelle et la bibliographie
	Mammifères marins	Aire d'étude immédiate + zone témoin Aire d'étude éloignée pour la bibliographie
	Avifaune	Aire d'étude immédiate + zone témoin Aire d'étude éloignée pour la bibliographie
	Chiroptères	Aire d'étude immédiate + zone témoin + observation à terre dans une bande rétro-littorale Aire d'étude éloignée pour la bibliographie
	Plancton	Aire d'étude éloignée + zone témoin
Patrimoine	Patrimoine écologique : zones d'inventaire, aires marines protégées	Aire d'étude éloignée

Tableau 6 : aires d'étude minimales à considérer pour chacune des composantes de l'écosystème potentiellement impactées par un projet éolien en mer fixé (source : MEEM, 2017).

En pratique, les porteurs de projet considèrent souvent l'aire d'étude immédiate comme l'emprise des installations (fondations, câbles, etc.) entourée d'une zone tampon (500m dans le cas des parcs éoliens fixés). Cette aire inclut alors la zone d'influence des impacts physiques directs sur le substrat et les habitats benthiques. L'aire d'étude rapprochée est assimilée à la zone d'influence des

impacts de portée intermédiaire, c'est-à-dire ceux qui affectent la qualité des eaux, la dynamique océanique et les espèces peu mobiles (poissons, mollusques et crustacés vivant près du fond). L'aire d'étude éloignée est considérée pour les impacts à longue portée (bruit sous-marin notamment) et les espèces très mobiles (poissons pélagiques, mammifères marins, oiseaux, etc.). L'étendue de cette aire est adaptée à chaque groupe d'espèces.

En ce qui concerne le raccordement électrique vers le réseau terrestre, l'aire d'étude immédiate correspond au fuseau de moindre impact, entre la station de conversion électrique et le point d'atterrage. Ce fuseau est généralement large de quelques centaines de mètres et englobe le tracé sur lequel le (ou les) câble(s) seront effectivement installés. L'aire d'étude rapprochée correspond au corridor de raccordement, défini dès l'appel d'offre. L'aire d'étude éloignée est beaucoup plus vaste et peut se superposer à celle du parc de production pour certaines composantes écologiques.

Le schéma ci-dessous (Figure 22) fournit une représentation simplifiée des différentes aires d'étude pour une installation d'EMR typique et son raccordement électrique.

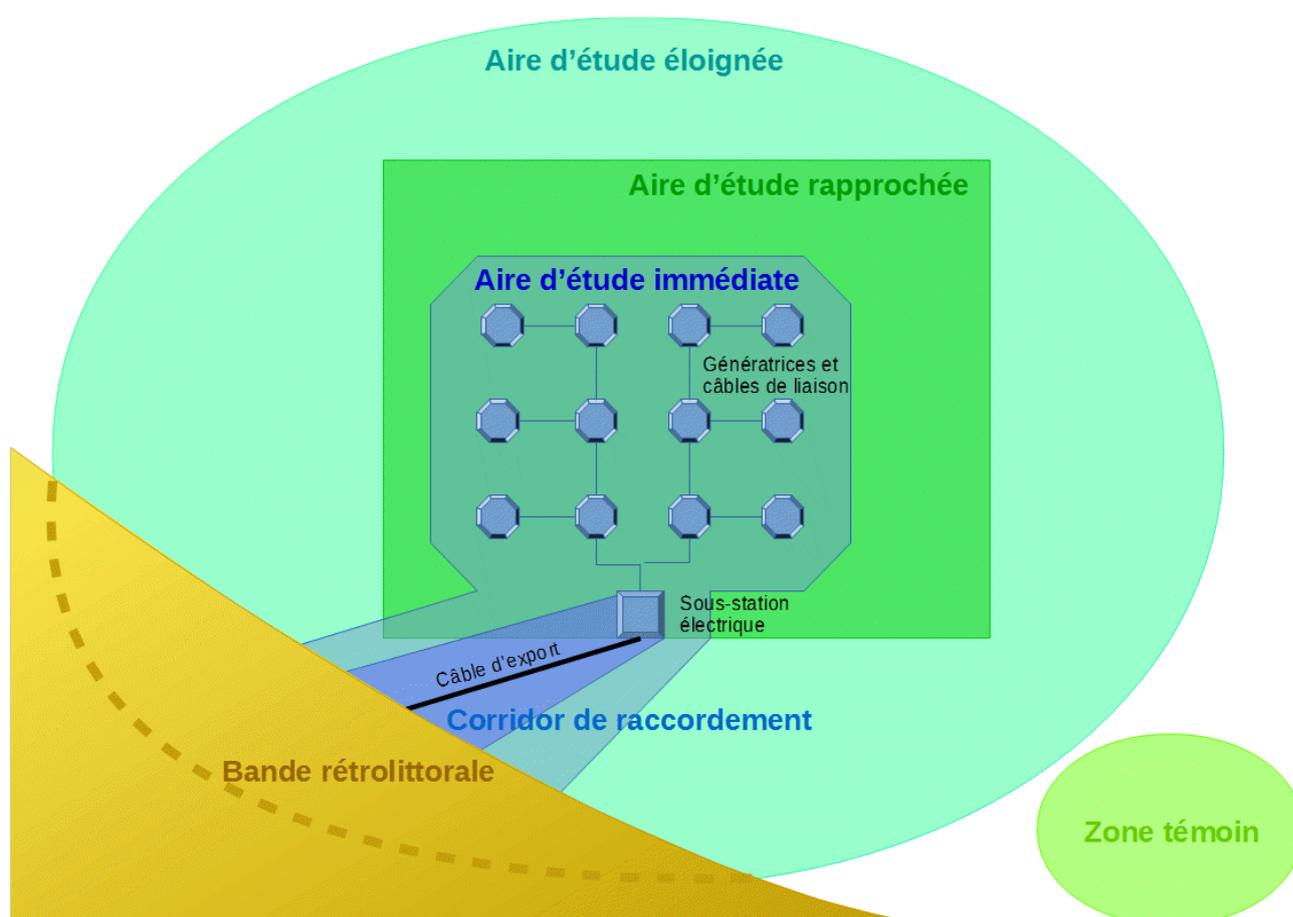


Figure 22 : schématisation des aires d'études dans le cas d'un parc d'EMR constitué de 12 génératrices, une sous-station électrique et des câbles de transports d'électricité.

## 1.2. Suivi d'impact

### 1.2.1. Suivi à l'échelle d'un projet

La plupart des suivis d'impact des projets d'EMR sont basés sur l'approche BACI (before-after control impact). Cette approche permet de discerner les évolutions de l'écosystème imputables au projet de celles qui sont dues à d'autres changements de l'environnement : variabilité naturelle liée à la dynamique intrinsèque des espèces, changements climatiques ou autres activités anthropiques. Elle est fondée sur la comparaison de l'état de la composante considérée dans l'espace et dans le temps :

- before : avant la réalisation du projet,
- after : après l'installation du projet ou après une certaine durée d'exploitation,
- control : dans la zone témoin (i.e. non affectée par l'impact considéré),
- impact : dans la zone impactée (aire d'étude éloignée, rapprochée ou immédiate, selon la composante).

Pour renseigner correctement les indicateurs de chaque composante avant la réalisation du projet, il est préférable d'évaluer un état de référence (ou « état zéro ») peu de temps avant le début effectif des travaux. Dans le cas des projets d'EMR français, l'état initial a été réalisé pour les besoins de l'étude d'impact plusieurs années avant le démarrage des travaux. Or durant ce laps de temps, les usages maritimes ont évolué ainsi que les pressions qu'ils exercent sur les écosystèmes. De plus, les changements globaux sont aussi responsables d'évolutions considérables, en particulier en termes d'abondance et de répartition de certaines espèces. Ainsi, les porteurs de projets prévoient généralement d'actualiser l'état initial au cours de l'année précédant les premiers travaux, afin de distinguer plus facilement les changements réellement associés aux impacts du projet d'EMR.

Une fois les travaux d'installation entamés, la quantification des impacts réels ne peut se faire rigoureusement que par différence entre la zone du projet et une zone témoin. La sélection des zones témoins s'avère une tâche complexe pour certaines composantes, car elles doivent répondre à plusieurs critères potentiellement antagonistes :

- localisées à l'écart de l'influence des impacts du projet,
- caractérisées par des paramètres environnementaux similaires (profondeur, distance à la côte, courant, substrat, ...), ayant la même sensibilité aux changements globaux,
- représentatives des mêmes espèces ou habitats que l'aire d'étude immédiate,
- situées dans la même écorégion (ou « province biogéographique ») pour les espèces considérées, afin que les individus échantillonnés suivent la même dynamique de population.

Pour certains groupes d'espèces, il est donc impossible de garantir qu'il existe une zone témoin à la fois suffisamment éloignée pour n'être exposée à aucun impact -même indirect- du projet et suffisamment proche pour abriter des individus appartenant aux mêmes populations.

Chaque suivi est conçu afin de renseigner un ou plusieurs indicateurs, qui doivent permettre de synthétiser l'évolution dans le temps des composantes de l'écosystème. Il peut s'agir d'indicateurs de pression ou d'indicateurs d'impact, étant entendu que la distinction entre les deux dépend du point de vue : un impact sur une composante peut représenter une pression pour une autre composante

qui dépend de la première. Par exemple, la turbidité générée par une ligne d’ancrage constitue un impact sur la qualité de l’eau, mais représente une pression pour les habitats benthiques et les communautés associés. Tout suivi est donc associé à un (ou des) type(s) d’impact ou de pression, les composantes ciblées étant clairement identifiés.

### 1.2.2. *Suivi des impacts cumulés*

L’approche BACI est difficilement applicable à l’échelle de plusieurs projets ou d’un plan/programme (échelle « régionale »), car la définition de zones témoins et d’un état de référence se heurtent à la multiplicité des usages du milieu marin et à leur longue antériorité par rapport au développement récent des EMR en France. Or plusieurs types d’impacts cumulés ne peuvent s’apprécier qu’à l’échelle régionale (i.e. échelle biogéographique, façade maritime, ...). C’est notamment le cas de la plupart des espèces de mégafaune marine, dont les populations se répartissent ou utilisent les aires vitales de plusieurs dizaines, voire centaines de kilomètres de large.

Dans les projets d’EMR actuels, les modalités de suivi des impacts cumulés ne sont pas encore clairement définies. Les études d’impact proposent des suivis des impacts de chaque projet, lesquels sont précisés dans les arrêtés d’autorisation. Mais les suivis dédiés aux impacts cumulés n’y sont généralement pas mentionnés explicitement. Pour considérer une échelle spatiale compatible avec l’étude des impacts cumulés, les porteurs de projets d’EMR devront s’appuyer sur les résultats des réseaux de surveillance régionaux et nationaux, en complément des suivis menés en propre. La surveillance de l’état écologique et sanitaire des eaux marines (particulièrement pour les besoins la DCE et la DCSMM, cf. paragraphe “Données existantes”) implique la mise en œuvre de nombreuses stations de mesure et programmes d’observation. Ces dispositifs fournissent des données à grande échelle et depuis plusieurs années, qui peuvent permettre de remplacer la zone témoin par le contexte régional.

Alternativement, le suivi de certains impacts cumulés à une échelle suffisamment étendue peut être obtenu par la mutualisation des suivis de plusieurs porteurs de projets d’EMR, ou d’un porteur de projet et d’autres usagers du milieu marin. A titre d’exemple, les deux parcs éoliens de Courseulles-sur-Mer et de Fécamp vont partager des campagnes aériennes de recensement de la mégafaune marine. Cette mise en commun permettra d’atteindre une emprise intégrant l’ensemble de la baie de Seine et des zones adjacentes, qui forment une unité écologique pour certaines espèces d’oiseaux et de mammifères marins.

L’agrégation de données de plusieurs programmes de suivi, qu’ils proviennent de différents porteurs de projet ou de réseaux de surveillance, n’est possible que s’il y a une certaine cohérence entre les protocoles d’acquisition et de traitement. C’est pourquoi les suivis de projets d’EMR s’appuient souvent sur les protocoles retenus pour les programmes nationaux. Par exemple, le suivi de la qualité des eaux ou des sédiments est généralement basé sur les méthodes de mesure et les indicateurs de la DCE ; d’autre part, les observations de mégafaune marine sont souvent basées sur des protocoles inspirés de ceux des programmes de recensement nationaux. Notons que les protocoles nationaux doivent être adaptés par rapport aux caractéristiques du site et des espèces en présence, mais leurs principes scientifiques doivent être respectés pour permettre de renseigner des indicateurs équivalents.

## 2. Déclinaison aux projets d'EMR

---

Différentes typologies des pressions et des impacts des projets d'EMR sont utilisées par les porteurs de projet dans leurs études d'impact. En majorité, ces typologies sont inspirées de celles qui sont proposées dans le guide MEEM, 2017. Pour une description plus homogène des projets d'EMR, qu'ils soient éoliens ou hydroliens, nous nous basons dans ce paragraphe sur la typologie des pressions établie pour l'évaluation initiale de la DCSMM en 2012 (révisée à la marge en 2018). Pour chaque sous-région marine, l'évaluation initiale de la DCSMM inclut des matrices :

- matrices activités/pressions : croisement entre les pressions et les activités humaines qui les génèrent,
- matrices pressions/récepteurs : croisement entre les pressions et les composantes de l'écosystème marin qui y sont sensibles.

Ces matrices décrivent l'état actuel du milieu marin dans les eaux françaises de métropole en 2012 (début du 1er cycle de la DCSMM), puis en 2018 (2ème cycle). Ainsi, les EMR y sont traitées de façon agrégée et superficielle. Nous présentons ci-dessous une adaptation de ces matrices distinguant les cas théoriques de l'éolien fixe, de l'éolien flottant et de l'hydrolien (posé ou flottant).

Par souci de lisibilité, les pressions associées aux phases de travaux et d'exploitation ont été cumulées sur une même colonne. Cependant, les suivis sont généralement ajustés entre la phase de travaux et la phase d'exploitation, afin de les focaliser sur les principales pressions générées et sur les composantes susceptibles d'être impactées de façon notable.

Par souci de cohérence avec les travaux du 2ème cycle de la DCSMM, nous présentons aussi une matrice activités/pressions utilisant la typologie définie par les experts français en 2018 (basée sur l'annexe III de la décision européenne 2017/745/DCSMM) : voir le Tableau 9.

### 2.1. Particularités de projets éoliens fixes

Lors de la phase de travaux d'un projet éolien en mer, les pressions générées dépendent fortement de la méthode d'installation utilisée, donc de la nature du sous-sol et du type de fondations qui doivent y être implantées.

Les travaux de préparation des fonds (nivellement) peuvent générer une augmentation de turbidité, une modification des sédiments, la remobilisation de substances polluantes contenues dans les sédiments, l'étouffement et le colmatage des habitats benthiques.

La présence des navires de chantier, provenant généralement de loin car très spécialisés, est associée à un risque d'introduction d'espèces non-indigènes. Ces navires représentent aussi une source de dérangement pour les espèces de mégafaune sensibles à cette pression (mammifères, tortues, oiseaux, chiroptères durant la nuit).

Si l'installation des fondations nécessitent des pieux, les opérations de battage, forage ou vibro-fonçage produisent des bruits impulsifs ou continus susceptibles de perturber, voire blesser, les mammifères marins, les tortues, les poissons, les espèces benthiques et même les oiseaux plongeurs.

Durant la phase d'exploitation, la modification de l'hydrodynamisme causée par les fondations peut induire des panaches turbides en aval du courant, ainsi qu'une modification permanente de la nature des sédiments (plus grossiers là où le courant est accéléré, plus fins là où le courant ralentit et

les particules se redéposent). Le risque de remobilisation de contaminants est moindre que durant les travaux. Cependant, les anodes de protection contre la corrosion et les éventuels enduits contre la biocolonisation (« anti-fouling ») peuvent générer une contamination diffuse de l'eau et des sédiments fins par des substances synthétiques<sup>1</sup> ou non (métaux et autres composés biocides).

Les navires de maintenance peuvent occasionner du dérangement pour la faune et introduire des espèces non-indigènes, mais comme ils sont plus petits et moins nombreux que les navires de chantier, ces pressions sont généralement plus faibles.

La présence permanente des fondations peut favoriser la propagation d'espèces non-indigènes déjà introduites dans le milieu. L'effet récif des fondations peut aussi augmenter la production locale de biomasse et/ou la diversité végétale et animale, par colonisation de infrastructures immergées. Le parc peut aussi produire un « effet réserve » favorable à l'ichtyofaune, en lui fournissant un abri vis-à-vis des activités de pêche. Les conséquences à long terme sur les autres maillons de la chaîne alimentaire sont délicates à prédire, ce qui impose un suivi prolongé.

Les intensités de bruit et de vibrations émis par les éoliennes en fonctionnement dans le milieu marin sont en général estimées comme négligeables du point de vue de l'effet sur la faune marine. Les champs électromagnétiques rayonnés par les câbles électriques, posés ou ensouillés sur le fond, sont susceptibles de perturber la faune benthodémersale, bien que ces effets soient encore sujets à débat.

La présence et la rotation des éoliennes génèrent un dérangement visuel et des obstacles physiques pour la faune volante. Ces pressions peuvent se traduire par différents types d'impact : contournement à grande distance (effet barrière), évitement à proximité, perte de zone fonctionnelle ou apport de réservoirs artificiels, risques de collisions.

Le tableau suivant (Tableau 7) résume les pressions et les composantes de l'écosystème qui doivent être suivies au cours du déroulement d'un projet éolien en mer selon la typologie des pressions du 1er cycle de la DCSMM, définie en 2012). Rappelons qu'il est souhaitable que les suivis permettent de renseigner d'une part des indicateurs de pressions exercées sur l'écosystème et d'autre part des indicateurs d'impact sur chacune des composantes de l'écosystème (milieu, habitats et espèces).

---

<sup>1</sup> La typologie des pressions de la DCSMM distingue les substances synthétiques (issues de l'industrie chimique) et non-synthétiques (nutriments, matière organique, métaux, etc.).

Pressions DCSMM (évaluation initiale 2012)		Pertes physiques		Domages physiques	Autres perturbations physiques			Introduction de substances dangereuses		Perturbations biologiques		Autres perturbations physiques	
Type d'EMR	Eolien fixe	étouffement	colmatage	modification sédiment/turbidité	perturbation sonore sous-marine	déchets marins	dérangement faune / collision	composés synthétiques	substances non-synthétiques	espèces non-indigènes	extraction d'espèces	champs électromagnétiques	
Espèces	Mammifères				X		X	-	-		o	-	
	Oiseaux (marins et terrestres)				+		X	-	-		o		
	Poissons (et céphalopodes)				X		+	-	-	+	o	+	
	Tortues				X		X	-	-		o	+	
	Amphihalins				+		X	-	-		o	+	
	Chiroptères						X						
Habitats	Hbenthique	+	X	X	+			+	+	+	o		
	Hpélagique	+		X				+	+	+			
Milieu	Sédiments		X	X									
	Eau	+						+	+				
	Hydrodynamisme		X										
<b>Légende</b>		X	impact fort										
		+	impact significatif										
		o	impact positif potentiel pour le compartiment										
		O	impact positif avéré pour le compartiment										
		-	interaction existante, mais impact non déterminé										
			pas d'impact (pas d'interaction)										

Tableau 7 : Principales pressions générées par un projet éolien en mer fixé, selon la typologie des pressions de la DCSMM (2012), et composantes de l'écosystème potentiellement impactées. NB : dans la typologie DCSMM de 2018, les pressions « colmatage » « étouffement » ont été fusionnées en « pertes physiques d'habitat »

Les types de pressions générées par un projet éolien flottant sont globalement similaires à celles d'un projet éolien fixe, mais leurs intensités respectives peuvent différer radicalement (Tableau 8).

En phase de travaux, les principales différences résident dans les opérations de préparation des fonds, qui sont beaucoup plus réduites dans le cas de l'éolien flottant : la pression d'étouffement est donc a priori négligeable et la pression de colmatage est limitée au proche voisinage des ancrages. Les risques de remobilisation de substances polluantes sont donc eux-aussi limités. D'autre part, le bruit sous-marin de l'installation est nettement inférieur, puisque les ancrages ne nécessitent pas en général d'enfoncer des pieux dans le sous-sol.

En phase d'exploitation, une pression d'abrasion des fonds peut être générée par les lignes d'ancrage (si elles ne sont pas tendues – cf. paragraphe "Eoliennes en mer") et par les câbles électriques dynamiques. Ces câbles peuvent aussi induire un réchauffement et un champ électromagnétique dans la colonne d'eau qu'ils traversent et les sédiments sur lesquels ils reposent. Ces pressions sont davantage susceptibles d'affecter les espèces marines que dans le cas de l'éolien fixe (à puissance électrique égale), puisque les câbles ne sont pas protégés sous des enrochements ou coquilles, ni ensouillés dans le sédiment.

Les câbles en pleine eau et les lignes d'ancrage représentent aussi un risque de blessure par collision ou par enchevêtrement pour les grandes espèces de mégafaune pélagique : cétacés, tortues, voire élasmodontes (raies et requins) ou poissons-lunes. En l'état actuel des connaissances, il est difficile de prévoir si ces risques sont amplifiés ou réduits par l'effet du champ électromagnétique des câbles, ainsi que par les bruits et vibrations des lignes d'ancrage. Pour établir si ces effets sont significatifs ou négligeables, les porteurs de projets éoliens flottants prévoient des suivis portant à la fois sur ces pressions physiques et sur l'impact biologique sur la mégafaune.

Les risques de propagation d'espèces non-indigènes existent aussi avec l'éolien flottant. En phase d'exploitation ils concernent surtout les espèces pélagiques ou les espèces capables de se fixer sur un substrat artificiel proche de la surface (effet « concentrateur de poissons »). L'effet réserve

s'exprime également, même s'il ne concerne pas forcément les mêmes engins de pêche et les mêmes espèces ciblées.

Les pressions et impacts pour la faune volante sont a priori identiques à ceux de l'éolien fixe, hormis l'effet d'attraction pour certaines espèces d'oiseaux utilisant les flotteurs comme reposoirs, la surface disponible par éolienne étant plus vaste.

Les spécificités techniques des acquisitions et suivis pour les projets éoliens flottants sont liées à la grande profondeur des sites (plus de 100 mètres en règle générale, contre moins de 50 mètres pour l'éolien fixe – cf. paragraphe "Eoliennes en mer"). Les sites sont aussi parfois plus éloignés de la côte, ce qui rallonge les temps d'accès pour les navires déployant les instruments et complique la transmission de données en temps réel.

Catégories DCSMM (typologie 2012)	Pressions	Type d'EMR		
		éolien fixe	éolien flottant	hydrolien
Pertes physiques	étouffement	+		+
	colmatage	X	+	X
Dommages physiques	modification sédiment/turbidité	X	+	X
	abrasion		X	+
	extraction sélective de matériaux			
Autres perturbations physiques	perturbation sonore sous-marine	X	+	X
	déchets marins			
	dérangement faune / collision	X	X	+
Interférence avec hydrologie	modification régime thermique		+	+
	modification régime salinité			
Introduction de substances dangereuses	composés synthétiques	+	+	+
	substances non-synthétiques	+	+	+
Enrichissement	nutriments			
	matières organiques			
Perturbations biologiques	pathogènes			
	espèces non-indigènes	+	+	+
	extraction d'espèces	o	o	o
Autres perturbations physiques	champs électro-magnétiques	+	+	+
Légende	X	impact fort		
	+	impact significatif		
	o	impact positif potentiel pour le compartiment		
	O	impact positif avéré pour le compartiment		
	-	interaction existante, mais impact non déterminé		
		pas d'impact (pas d'interaction)		

Tableau 8 : Comparaison des pressions potentiellement générées par un projet éolien en mer fixé, éolien flottant ou hydrolien, selon la typologie des pressions de la DCSMM (2012).

## 2.2. Particularités des projets hydroliens

Les types de pressions générées par un projet hydrolien (Tableau 8) se rapprochent soit de l'éolien fixe soit de l'éolien flottant, selon que les turbines sont installées sur le fond ou sous des

plateformes émergées. La diversité des concepts d'hydroliennes (Chapitre 1 3.1.2) fait qu'il est encore difficile de généraliser les principaux types d'impacts.

En phase de travaux, tous les types de pressions et d'impacts sont similaires à ceux de l'éolien. La différence essentielle en termes d'intensité provient de la nature du substrat, qui est généralement rocheux ou constitué de sédiments grossiers (sable coquillier, gravier ou galets), du fait de la force des courants dans les sites à potentiel hydrolien. Les pressions d'étouffement et de colmatage liées à la modification de la turbidité sont donc a priori faibles.

En phase d'exploitation, parce qu'elles captent une partie de l'énergie cinétique des courants, les hydroliennes sont davantage susceptibles de modifier l'hydrodynamisme que des fondations ou flotteurs d'éoliennes. Par conséquent, elles peuvent aussi affecter les transports de sédiments, particulièrement si les turbines sont proches du fond.

Le bruit et les vibrations engendrés par les hydroliennes en rotation sont plus directement propagés dans le milieu marin que dans le cas des éoliennes. Il est aussi probable que ces pressions augmentent au fil du temps, avec l'usure mécanique des turbines.

Les pressions de dérangement et d'évitement pour la faune volante sont quasi-nulles et le risque de collision n'existe que pour les oiseaux plongeurs, selon la profondeur à laquelle ils cherchent leurs proies. Par contre, ce risque est plus élevé pour la mégafaune pélagique, en particulier les espèces de grande taille (cétacés, phoques, voire tortues et requins selon les sites), même si la probabilité de blessure par de telles collisions est encore un sujet de recherche dans la communauté scientifique.

En termes opérationnels, la principale difficulté des acquisitions de données et des suivis in situ pour les projets hydroliens est liée aux conditions hydrodynamiques. La puissance des courants implique des conditions d'accès difficiles pour les navires, des fenêtres temporelles d'intervention sous-marine très courtes et des instruments particulièrement bien protégés des éléments.

	DCSMM 2012		DCSMM ANNEXE III 2018 ( <i>Legifrance</i> )
<b>Pertes et dommages physiques</b>	<b>Pertes physiques</b>	Etouffement	Perte physique (due à une modification permanente du substrat ou de la morphologie des fonds marins ou à l'extraction de substrat)
		Colmatage	
	<b>Dommages physiques</b>	Modification sédiment/turbidité	Perturbations physiques (temporaires ou réversibles) des fonds marins
		Abrasion	
		extraction selective de matériaux	
	<b>Interférence avec hydrologie</b>	modification régime thermique	Modification des conditions hydrologiques (et hydrographiques)
		modification régime salinité	Apports d'eau - sources ponctuelles (saumure, par exemple)
	<b>Autres perturbations physiques</b>	perturbation sonore sous-marine	Apports de sons anthropiques (impulsionnels, continus)
		champs électro-magnétiques	Apports d'autres formes d'énergie (y compris champs électromagnétiques, lumière et chaleur)
		dérangement faune / collision	
déchets marins		Apports de déchets (déchets solides, y compris les déchets microscopiques)	
<b>Pressions chimiques</b>	<b>Introduction de substances dangereuses</b>	composés synthétiques	Apports de substances dangereuses (substances synthétiques, substances non synthétiques, radionucléides) - sources diffuses, sources ponctuelles, dépôts atmosphériques, phénomènes aigus
		substances non-synthétiques	
	<b>Enrichissement</b>	nutriments	Apports de nutriments - sources diffuses, sources ponctuelles, dépôts atmosphériques
		matières organiques	Apports de matières organiques - sources diffuses et sources ponctuelles
<b>Pressions biologiques</b>	<b>Perturbations biologiques</b>		Introduction d'espèces génétiquement modifiées et translocation d'espèces indigènes
		pathogènes	Introduction d'agents pathogènes microbiens
		extraction d'espèces	Prélèvement d'espèces sauvages ou mortalité/blessures infligées à de telles espèces, y compris les espèces ciblées et les espèces non ciblées (par la pêche commerciale et récréative et d'autres activités)
		espèces non-indigènes	Introduction ou propagation d'espèces non indigènes
			Perturbation des espèces (aires de reproduction, de repos et d'alimentation, par exemple) due à la présence humaine
			Disparition ou altération des communautés biologiques naturelles due à l'élevage d'espèces animales ou à la culture d'espèces végétale

Tableau 9 : Correspondance des pressions DCSMM 2012 avec les pressions réglementaires DCSMM 2018

## 3. Données et méthodes utilisables pour les projets d'EMR

---

*NB : Dans tout ce chapitre, nous listerons les sources de données utilisées dans les études d'impact des projets d'EMR analysés, ainsi que d'autres sources de données de référence accessibles publiquement. Les données des acteurs locaux, notamment les associations naturalistes, ne sont pas toujours partagées ou même bancarisées. D'autre part, les données issues des études d'impact déposées avant 2017 (avant l'obligation de diffusion introduite par la Loi Biodiversité d'août 2016) ne sont généralement pas accessibles, à moins de les obtenir sur demande auprès du porteur de projet.*

### 3.1. Méthodes de suivi de l'hydrodynamisme

#### 3.1.1. Sources de données utilisées

- EMODNET

Source : <http://www.emodnet.eu/>

EMODnet est un programme européen qui vise à assembler les données géographiques marines présentes dans les États Membres et les organisations régionales européennes pour les harmoniser à l'aide de standards communs et les rendre facilement et gratuitement accessibles à tous les publics intéressés.

Mis en place par la DG/MARE en 2008, échelonné en trois phases jusqu'à 2020, le programme implique environ 160 organisations (publiques comme privées). Il utilise les standards d'interopérabilité, au premier rang desquels ceux des métadonnées, définis par INSPIRE, ISO et les services Web, à travers un portail central donnant accès à des données marines réparties en sept lots qui couvrent l'ensemble des grands domaines thématiques. Il développe aussi des services de requête simultanée dans l'ensemble des portails.

Au-delà de ces sept lots, soucieux de mieux orienter les politiques futures d'acquisition de données, EMODnet veut donner une image de la répartition des données, de leur qualité ainsi que de leur facilité d'accès. À cette fin, il a lancé pour 3 ans des « Checkpoints » dans chacun des 6 grands bassins marins européens, qui harmonisent leurs méthodes pour fournir les indicateurs les plus pertinents.

Le site EMODnet « Europe Marine Observation Data Network » propose des données descriptives : de la bathymétrie, de la géologie, des habitats benthiques, des propriétés physiques, propriétés chimiques, de la biologie et des activités en mer.

- Géolittoral

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

Géolittoral est le géoportail mer et littoral du ministère de la Transition écologique et solidaire. Il héberge différents projets du ministère : énergies marines renouvelables, ortholittoral, catalogues sédimentologiques, groupe de travail Géo-information mer et littoral, etc.

- [Candhis](#)

Lien : <http://candhis.cetmef.developpement-durable.gouv.fr>

Candhis (Centre d'Archivage National de Données de Houle In-Situ) désigne à la fois le réseau national côtier de mesure in situ de houle et le site Internet et la base de données archivant les mesures. Il est géré et développé par le Cerema Eau mer et fleuves. Les informations disponibles sur le site sont : les données en temps réel au jour le jour et heure par heure, des graphiques mensuels des hauteurs des vagues, des données statistiques (histogrammes et corrélogrammes).

- [Data Shom](#)

Lien : <https://data.shom.fr>

Le portail data.shom.fr permet à tous les usagers (services de l'État, collectivités territoriales, entreprises, citoyens...) d'accéder aux données de référence du SHOM, décrivant l'environnement physique maritime, côtier et océanique.

### 3.1.2. Marée

Les projets d'EMR sont peu susceptibles de modifier significativement la marée dans la zone de projet (en dehors des éventuels bassins marémoteurs). Cependant, sur les façades Atlantique et Manche-mer du Nord, la connaissance de la marée est indispensable car elle conditionne, outre les variations de hauteur d'eau, les variations d'intensité et de direction des courants marins. Les hauteurs de marée peuvent être calculées empiriquement à partir de séries de mesures par marégraphes suffisamment longues. En France, le SHOM (Service Hydrographique et Océanographique de la Marine) fournit des prédictions de marée pour tous les principaux ports.

Ces prédictions peuvent être affinées localement par l'installation d'un marégraphe ou capteur de pression immergé pendant au moins un cycle de vives eaux et mortes eaux (14 jours).

Un modèle numérique 2D de la dynamique océanique, forcé à ses frontières par des données ou un modèle à plus grande échelle, peut aussi permettre de cartographier finement les conditions de marée dans la zone d'étude.

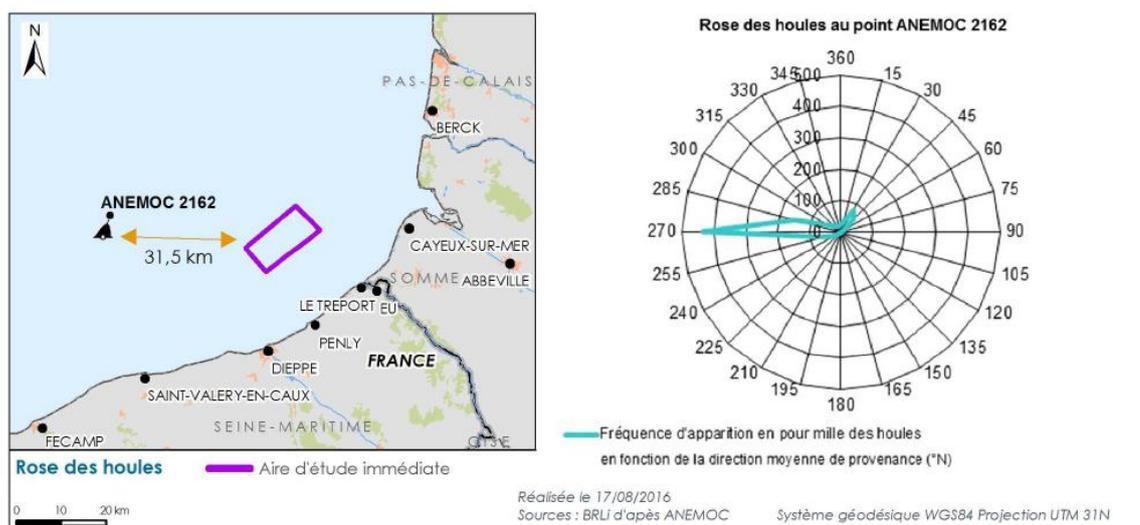
Enfin, les satellites altimétriques peuvent aussi fournir des données d'élévation de la surface de la mer, avec une précision de l'ordre du centimètre, mais avec une fréquence relativement faible (intervalle de revisite de quelques jours pour les satellites à défilement).

### 3.1.3. Houle et vagues

La houle provenant du large et les vagues formées localement déterminent l'agitation des masses d'eau et, en grande partie, le courant en surface. Leur connaissance est donc cruciale pour déterminer la dispersion d'éventuels polluants et le transport de déchets ou de substances. La présence de structures implantées en mer est susceptible de modifier l'amplitude et la propagation de ces ondes de surface sur de grandes distances (plusieurs kilomètres).

Les statistiques de houle et de vagues sont fournies en France par le Cerema (ex-CETMEF), à partir du réseau de houlographes CANDHIS qui enregistrent ces paramètres depuis de nombreuses années. L'état initial sur un site de projet d'EMR peut être précisé grâce à un modèle de propagation de la houle, éventuellement couplé à un modèle météorologique pour simuler les vagues dues au vent local. Un tel modèle permet en outre d'anticiper les changements de propagation qui seront causés par les installations, voire de tester plusieurs géométries d'implantation.

Il est souvent utile d'acquérir des mesures in situ afin de vérifier les prévisions d'un tel modèle ou de le calibrer. De telles mesures peuvent être obtenues ponctuellement par une bouée équipée d'un houlographe ou par un capteur de pression installé sur le fond (éventuellement intégré dans un ADCP (acoustic Doppler current profiler), mesurant ainsi simultanément le profil vertical de courant et la turbulence). Des radars fixes sur une plateforme en mer permettent de spatialiser les mesures de houle et de vagues, et ainsi d'étudier leur propagation.



Source : BRLI, 2016 d'après ANEMOC 2015

Figure 23 : Rose des houles au point ANEMOC 2162 (fréquence d'apparition en % des houles en fonction de la direction moyenne de provenance (°N) (Source : étude d'impact du parc éolien Dieppe le Tréport)

### 3.1.4. Courants

Les courants peuvent être modifiés localement dans le sillage des installations, mais ils jouent surtout un rôle majeur dans la dispersion des particules, substances et déchets, larves, plancton, etc. à partir du site d'implantation. Il est donc important de les connaître précisément avant la construction, puis d'évaluer les changements locaux induits par la présence des installations (ex : fondations des éoliennes faisant obstacle à l'écoulement) ou par leur fonctionnement (cas des hydroliennes qui captent une partie de l'énergie cinétique des courants).

Des atlas des courants de marée sont publiés par le SHOM, ce qui fournit une première approche de la variabilité de ces courants et du courant résiduel (permanent). En complément, il est souvent utile d'acquérir des données plus fines sur le site du projet :

- **par des mesures in situ** : les courantomètres mécaniques sont aujourd'hui remplacés par des courantomètres acoustiques à effet Doppler, qui mesurent en continu le courant ponctuel ou sur un profil vertical (de la surface au fond, avec une résolution verticale de l'ordre du mètre). Ces appareils sont désignés par leurs acronymes anglais : ADV pour acoustic Doppler velocimeter et ADCP pour acoustic Doppler current profiler :
- **par un modèle numérique hydrodynamique** : un modèle permet de simuler les courants dans la zone d'étude pour différentes conditions de marée et de vent. L'effet des structures immergées peut être prédit, si la résolution spatiale est assez fine. Suivant que les masses d'eau sont homogènes verticalement ou stratifiées, un modèle 2D sera suffisant ou un modèle 3D sera préférable.
- **par la télédétection** : des radars spécialisés implantés sur la côte ou sur une plateforme fixe en mer permettent de suivre en continu les courants de surface sur une zone restreinte. A partir de satellites altimétriques, on peut obtenir des cartographies à plus grande échelle des courants dans la couche supérieure de la mer.

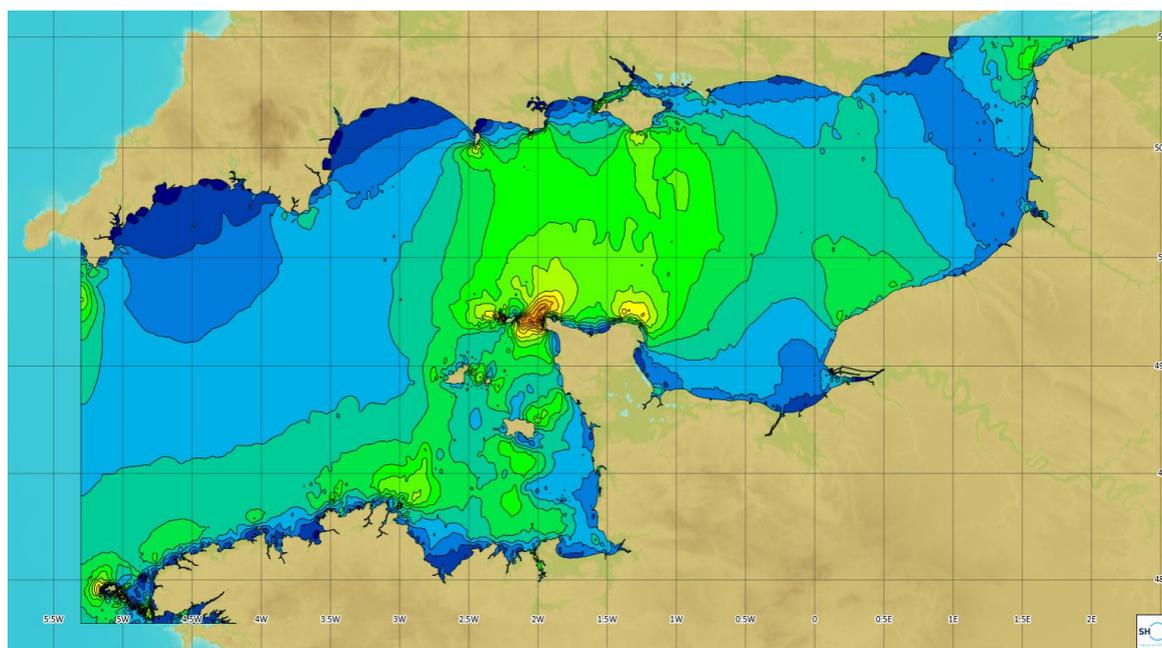


Figure 24 : vitesse moyenne des courants dans la Manche à mi-profondeur (source : SHOM).

## 3.2. Méthodes de suivi de la dynamique sédimentaire

### 3.2.1. Sources de données utilisées

[www.ifremer.fr/sextant/fr/](http://www.ifremer.fr/sextant/fr/)

<http://www.gebco.net/>

<http://www.emodnet-bathymetry.eu/>

<http://www.emodnet-geology.eu/>

*NB : Cette liste sera à compléter avec les experts durant la phase 2 de l'étude.*

### *3.2.2. Caractéristiques des sédiments*

Suivant la profondeur des zones à prospecter, différentes techniques de prélèvements des sédiments superficiels sont mises en œuvre. Sur l'estran, les prélèvements peuvent être collectés manuellement, de préférence à marée basse. Jusqu'à 50 mètres de profondeur, les prélèvements et observations peuvent être réalisés par des plongeurs. Au-delà, les prélèvements doivent être réalisés par bennes, mais cette technique peut être utilisée dans l'ensemble de la zone subtidale.

Pour caractériser les sédiments sur une plus grande épaisseur (plus d'une dizaine de centimètres), il faut recourir à des carottages (superficiels ou profonds, jusqu'à plusieurs dizaines de mètres). Ils peuvent être effectués à pied sur l'estran découvert, par des plongeurs à faible profondeur ou par un carottier mécanique à des profondeurs supérieures, ou pour une épaisseur de prélèvement plus grande.

Sur les substrats rocheux, la nature précise du fond peut être caractérisée par des plongeurs ou grâce à une caméra sous-marine (tractée ou descendue à des points fixes).

Les prélèvements sont ensuite analysés en termes de granulométrie (répartition par classes de taille) et de composition chimique (particules calcaires, siliceuses, organiques, etc.). Dans le cas d'un carottage, l'épaisseur des dépôts de sédiments peut aussi être estimée.

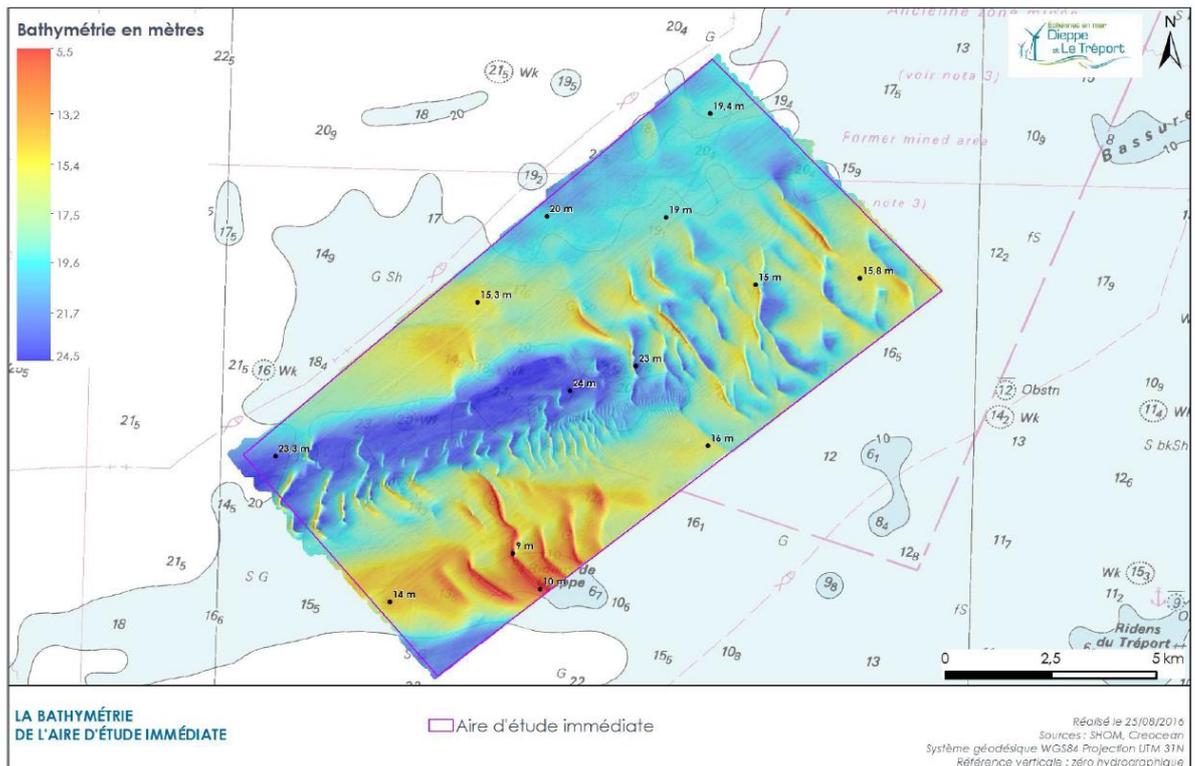
### *3.2.3. Morphologie et nature des fonds*

La morphologie et la bathymétrie des fonds peuvent être précisées par rapport aux données existantes par acquisition avec un sondeur mono-faisceau ou multi-faisceau. Il en résulte des cartes morpho-bathymétriques (Figure 25) qui peuvent notamment être exploitées pour orienter le choix des points de prélèvements sur les substrats meubles.

En complément, des acquisitions par sonar à balayage latéral permettent de produire une mosaïque d'images acoustiques des fonds. Chaque faciès acoustique sur ces images peut ensuite être associé à une nature sédimentaire (sables, vases, roches, etc.) à partir des prélèvements in situ.

Pour caractériser la structure du sous-sol marin, une campagne de sismique réflexion est nécessaire (par pénétrateur de sédiment, sparker, boomer, etc.). Ces données permettent d'évaluer l'épaisseur et la nature des différentes strates du sous-sol, sur quelques mètres ou dizaines de mètres d'épaisseur. Elles peuvent être calibrées grâce à des prélèvements par carottage. Il est alors possible d'estimer la résistance à la pénétration et la stabilité des différentes strates, sur l'ensemble de la zone prospectée.

Pour le suivi des impacts sur la nature des fonds, la morphologie et la bathymétrie, les cartes sont actualisées par des campagnes successives (par exemple, 1 an, 3 ans et 5 ans après l'installation), puis les différentiels par rapport à l'état initial sont représentés.



Source : EMDT 2016

Figure 25 : Bathymétrie de l'aire d'étude immédiate du Parc éolien de Dieppe le Tréport (source : étude d'impact du parc éolien de Dieppe le Tréport)

### 3.2.4. Evolution du trait de côte

La position du trait de côte dans l'aire d'étude peut être déterminée à partir d'orthophotographies littorales, acquises généralement à partir d'un avion ou d'un drone. Les acquisitions aériennes par Lidar (altimètre laser) permettent de réaliser des cartes altibathymétriques, qui restituent la morphologie de la frange littorale (dunes, falaises, etc.), de l'estran et des petits fonds côtiers (jusqu'à 20 mètres de profondeur en général, selon la transparence de l'eau).

A plus large échelle, ces données peuvent être complétées par de l'imagerie satellitaire (ex : photographie dans le domaine visible des satellites SPOT). Plus localement, un observatoire du trait-de-côte peut être mis en place sur la base d'un réseau de caméras ou appareils photos automatiques, qui permettent de suivre l'évolution de l'estran à haute fréquence.

Comme pour la morphologie des fonds marins, le suivi des impacts sur la morphologie du littoral peut comporter l'évaluation des différentiels entre deux cartographies successives.

## 3.3. Méthodes de suivi de la qualité de l'eau

### 3.3.1. Sources de données utilisées

<http://envlit.ifremer.fr/resultats/surval>

<http://www.emodnet-physics.eu/>  
<http://www.emodnet-chemistry.eu/>  
[www.sandre.eaufrance.fr/](http://www.sandre.eaufrance.fr/) (?)

NB : Cette liste sera à compléter avec les experts durant la phase 2 de l'étude.

### *3.3.2. Température de l'eau et salinité*

Ces paramètres ne sont pas modifiés significativement par les projets d'EMR (à l'exception d'un réchauffement localisé à proximité immédiate des câbles de transport de l'électricité). Cependant, il convient de disposer d'une bonne connaissance des propriétés des masses d'eau car elles déterminent leur densité, et par conséquent leur stabilité verticale et leur capacité à se mélanger.

Comme pour l'hydrodynamisme, la température et la salinité à différentes profondeurs peuvent être estimées à partir de climatologies, voire prédites par des modèles numériques dont plusieurs diffusent librement leurs résultats. Certains satellites équipés de radiomètres fournissent des données de température de surface avec une résolution spatiale assez fine, ainsi que la salinité de surface avec une résolution moindre.

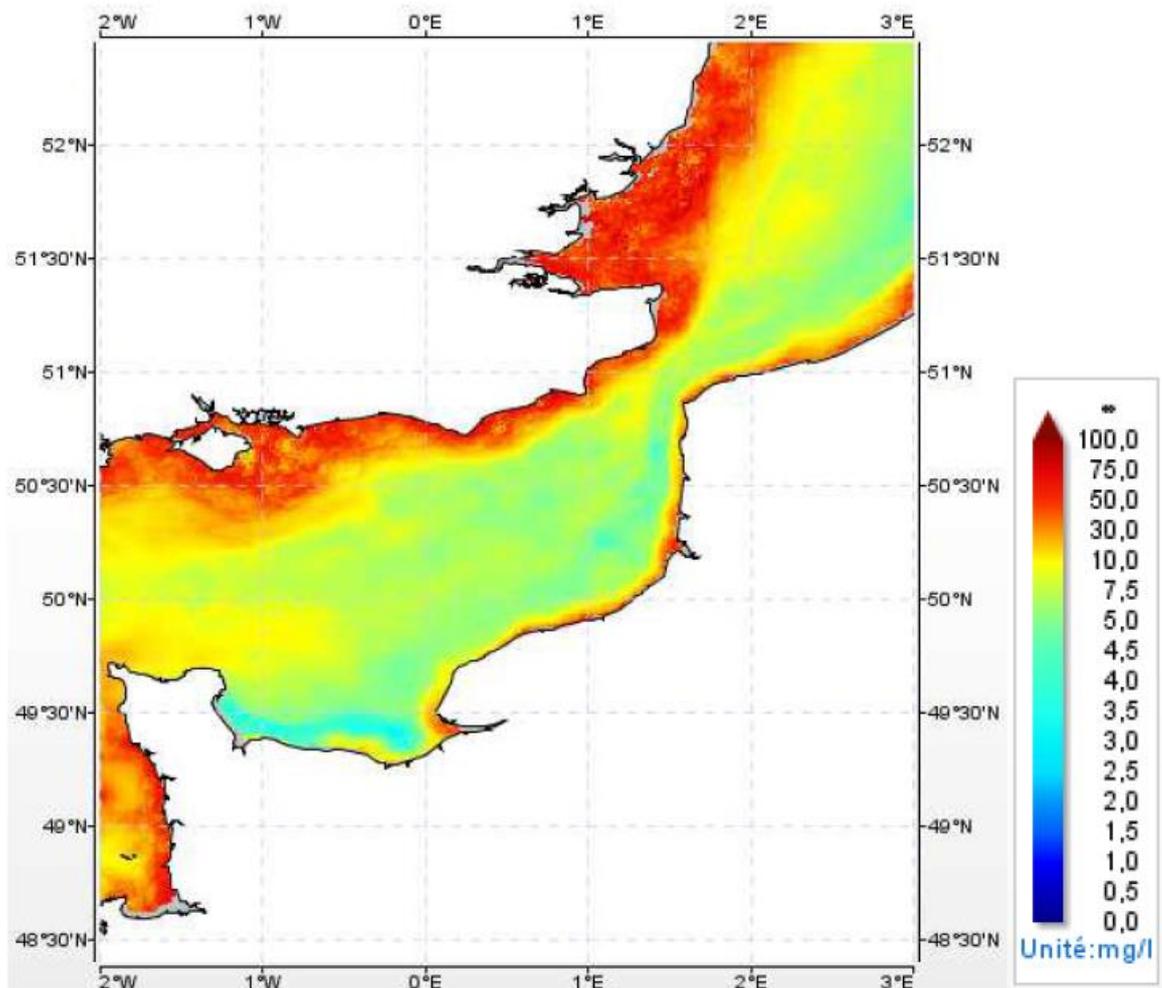
Ces données peuvent être affinées par des mesures in situ, en installant de sondes multi-paramètres qui enregistrent ces paramètres en continu à haute fréquence. Une durée d'acquisition d'au moins une année complète est conseillée pour capturer les principales variabilités (saisonnière, diurne, liée à des événements météorologiques, etc.).

### *3.3.3. Turbidité*

Les travaux d'installation et la présence des infrastructures sont davantage susceptibles de modifier la turbidité dans la zone du projet. Il convient donc de disposer d'abord d'un état initial robuste, puis de pouvoir mesurer les changements de turbidité induits par les différentes étapes du projet, en termes d'extension spatiale, d'intensité et de durée.

Comme pour la température et la salinité, l'état initial peut être élaboré sur la base de climatologies existantes, généralement diffusées librement. La turbidité de la couche de surface peut être mesurée par des satellites à imagerie multispectrale (plusieurs canaux de longueurs d'onde dans le domaine visible) et hyperspectrale (de nombreux canaux dans les domaines visible, proche infra-rouge et proche ultra-violet). Les images satellitaires peuvent capturer des panaches turbides dans la couche de surface, de quelques centaines de mètres de longueur, mais leur exploitation est soumise à une couverture nuageuse qui doit rester faible (ce qui est rarement le cas en hiver et dans certains secteurs maritimes).

Pour évaluer la turbidité des couches profondes, préciser l'état initial et pour mener le suivi d'impact, l'acquisition de mesures in situ de turbidité est généralement nécessaire. Les capteurs à diffusiomètre sont les plus répandus et permettent des mesures fiables et en continu. En complément, des pièges à particules peuvent être utiles pour analyser la composition des particules responsables de la turbidité et estimer des taux de sédimentation.



Source : Previmer, 2016

Figure 26 : Turbidités moyennes mensuelles, pour le mois de février 2014 établie à partir d'observations satellitaires (Source : Etude d'impact de Dieppe le Tréport)

### 3.3.4. Contaminants chimiques

Les concentrations en contaminants ne peuvent être connues que par le biais de prélèvements analysés en laboratoire, à la différence d'autres paramètres (température, salinité, turbidité, oxygène, chlorophylle, etc.) qui peuvent être mesurés en continu par un instrument autonome (ex : sonde multi-paramètres). La localisation et la périodicité de ces prélèvements doivent donc être sélectionnée avec rigueur. Il est possible pour cela de s'appuyer sur les prévisions d'impact d'un modèle numérique en ciblant prioritairement les sites et les périodes où la qualité de l'eau est la plus susceptible d'être dégradée sous l'effet du projet.

Les prélèvements peuvent être réalisés à différentes profondeurs (par exemple, juste sous la surface, à mi-profondeur et près du fond), selon la stratification supposée de la masse d'eau. Ils peuvent être collectés depuis un navire, par une bouteille Niskin réglée à la profondeur voulue, ou directement à la main par des plongeurs.

En complément, il est possible d'utiliser des organismes bioindicateurs, qui ont la propriété d'accumuler certains contaminants (métalliques notamment) dans leurs tissus sans que cela n'altère leur état de santé. Les espèces utilisées sont généralement des mollusques bivalves (moules, coques, praires, pétoncles, huîtres, etc.).

Les paramètres à mesurer en laboratoire incluent : les matières en suspension (fractions organique et minérale des MES), le carbone organique total (COT), les nutriments (nitrates et phosphates), les traces de métaux (plomb, cuivre, zinc, aluminium, ...), les composés aromatiques organochlorés (dont les polychlorobiphényles : PCB), les composés organostannés (dont le tributylétain - TBT, issus des enduits antifouling), les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP).

### 3.3.5. Qualité sanitaire

La caractérisation de la qualité sanitaire de l'eau comporte à la fois la recherche de bactéries (*Escherichia coli*, entérocoques fécaux) et de microalgues (phytoplancton) potentiellement dangereuses pour l'Homme. A partir de prélèvements d'eau judicieusement localisés, le nombre d'individus dans un volume donné peut être compté en laboratoire dans des conditions de contrôles.

Comme pour certains contaminants, des espèces bioindicatrices peuvent être utilisées, car elles concentrent également les micro-organismes en filtrant de grande quantité d'eau de mer en permanence.

Les indicateurs d'eutrophisation peuvent aussi être évalués (concentrations en nutriments, oxygène dissous), car ils déterminent en partie le risque d'efflorescence de phytoplancton toxique.

## 3.4. Méthodes de suivi de la qualité des sédiments

### 3.4.1. Sources de données utilisées

Réseaux REMI, REPHY, REPOM de l'Ifremer

Rapports du Cerema « Enquête dragages » sur les sédiments de dragages portuaires

*NB : Cette liste sera à compléter avec les experts durant la phase 2 de l'étude.*

### 3.4.2. Contaminants chimiques

Les contaminants présents dans les sédiments meubles ne peuvent être mesurés que par des prélèvements. Comme pour les masses d'eau, la localisation de ces prélèvements doit être choisie avec soin, en fonction des prévisions d'impact des différentes phases du projet d'EMR (préparation du site, installation des dispositifs, exploitation). Plus les sédiments sont riches en particules fines, plus ils ont tendance à fixer les contaminants (par phénomène d'adsorption). Les zones vaseuses ou limoneuses doivent donc être échantillonnées en priorité.

Les concentrations dans les sédiments sont moins fluctuantes que dans les masses d'eau, si bien que l'échantillonnage temporel peut être moins fréquent. Par contre, les effets de contamination des sédiments sont plus localisés que dans l'eau, donc l'échantillonnage spatial doit être plus dense, par exemple en effectuant plusieurs répliquats sur chaque site de prélèvement.

Les polluants à rechercher lors des analyses de ces prélèvements sont essentiellement les mêmes que dans la colonne d'eau : le taux de matière sèche, le carbone organique total (COT), les nutriments (azote et phosphore), les composés métalliques (plomb, cuivre, zinc, aluminium, ...), les composés aromatiques organochlorés, les composés organostanneux, les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), etc.

### 3.4.3. Qualité sanitaire

Selon les enjeux et les risques d'impact évalués dans l'aire d'étude, il peut aussi être utile de suivre la qualité sanitaire des sédiments. Les paramètres microbiologiques (concentrations en bactéries fécales) peuvent être évalués à partir de prélèvements dans les sédiments superficiels. Il peut aussi être pertinent d'analyser la composition des films bactériens qui se forment à la surface du substrat dans certaines conditions.

Dans les zones où des épisodes de prolifération de phytoplancton toxique ont déjà été constatés, les prélèvements sédimentaires peuvent également être examinés pour rechercher la présence de kystes de ces microalgues. En effet, ces kystes sont susceptibles de provoquer une prolifération s'ils sont remobilisés et dispersés dans la colonne d'eau.

## 3.5. Méthodes de suivi des habitats benthiques

### 3.5.1. Sources de données utilisées

<http://www.rebent.org/>

<http://www.ifremer.fr/sextant/fr/web/guest/accueil>

<http://www.aires-marines.fr/Connaitre/Habitats-et-especes-benthiques/Inventaire-des-habitats-marins-patrimoniaux>

<http://cartographie.aires-marines.fr/?q=node/43>

<http://www.aires-marines.fr/Connaitre/Ecosystemes/Exploration-des-canyons-de-Mediterranee>

<http://cartographie.aires-marines.fr/?q=node/47>

<http://www.emodnet-seabedhabitats.eu/>

*NB : Cette liste sera à compléter avec les experts durant la phase 2 de l'étude.*

### 3.5.2. Communautés des substrats meubles

Les prélèvements peuvent être effectués avec les mêmes techniques que pour la caractérisation des sédiments. Les prélèvements par benne présentent l'avantage de permettre des analyses quantitatives, tandis que les prélèvements par drague sont plus qualitatifs.

L'échantillonnage spatial doit permettre une représentation significative de chaque type d'habitat connu et des principaux ensembles biosédimentaires identifiés. Ceux-ci peuvent être délimités à partir des relevés au sonar permettant de cartographier les faciès sédimentaires dans l'aire d'étude. Pour chaque site de prélèvements, il est conseillé d'effectuer une série de réplicats, car la variabilité spatiale des habitats est plus élevée que celle des substrats. Il est recommandé de répéter ces prélèvements au moins deux fois par an, durant les périodes les plus stables en termes de peuplement (été et fin d'hiver).

Les paramètres biologiques à estimer pour chacun des prélèvements incluent : la diversité spécifique, la biomasse totale, l'abondance des espèces caractéristiques, la structure du peuplement (réseau trophique), la présence d'espèces non-indigènes, la répartition par classes de taille ou d'âge pour les espèces indicatrices de l'état de conservation, les indices de l'état de santé du peuplement benthique. Les paramètres physiques mentionnés précédemment (voir 3.4 Qualité des sédiments) doivent être systématiquement associés à la caractérisation des habitats biologiques.

Les données ainsi acquises permettent de préciser, puis d'actualiser régulièrement au fil du suivi, les cartes d'habitats biosédimentaires. Celles-ci peuvent être déclinées selon différentes typologies fréquemment utilisées par la communauté scientifique ou les institutions en charge de la préservation du milieu marin (EUNIS niveau 3 ou 4, cahier d'habitats Natura 2000, référentiel HABREF du MNHN, ...).

### *3.5.3. Communautés des substrats rocheux*

Les prélèvements n'étant en général pas envisageables, l'essentiel des informations proviennent d'observations visuelle par des plongeurs, qui appliquent des protocoles de recensement d'espèces dans des quadrats ou le long de transects standardisés. Selon les conditions de profondeur et de courant, les plongeurs peuvent être remplacés par un système de photo ou vidéo sous-marine, au point fixe ou sur un dispositif tracté.

Au besoin, des prélèvements peuvent aussi être réalisés à l'intérieur des quadrats, afin d'obtenir des données plus exhaustives sur la composition spécifique et/ou l'abondance des espèces. De tels prélèvements permettent aussi de déterminer plus précisément les espèces pour les organismes difficilement identifiables à l'œil nu.

L'échantillonnage spatial est là-aussi être conçu de façon à couvrir les principaux types d'habitats pré-identifiés, avec un nombre de réplicats permettant une significativité statistique satisfaisante. La périodicité est au minimum de deux fois par an, mais elle peut être augmentée à quatre fois par an si la flore benthique présente un cycle saisonnier très marqué.

Les paramètres biologiques à estimer pour chaque recensement incluent : la diversité spécifique, l'abondance des espèces caractéristiques, la structure du peuplement (réseau trophique), la présence d'espèces non-indigènes, la répartition par classes de taille ou d'âge des espèces indicatrices, les indices de l'état de santé du peuplement benthique ou de pressions anthropiques (abrasion, déchets, pollution, etc.).

Comme pour les substrats meubles, ces données permettent alors d'alimenter la cartographie des habitats présents, de leur état de santé, et de leurs évolutions saisonnières à interannuelle au fil des années de suivi.

### *3.5.4. Colonisation des substrats artificiels*

Les méthodes utilisées pour la caractérisation initiale et le suivi des habitats de substrats durs peuvent être adaptées aux habitats artificiels (fondations ou flotteurs, enrochements contre l'affouillement, câbles posés sur le fond ou leurs dispositifs de protection, ancrages des éoliennes ou hydroliennes flottantes, carénage des hydroliennes, station électrique sous-marine, etc.). Ces suivis

peuvent être effectués par des plongeurs ou par un véhicule sous-marin téléguidé (ROV : Remotely Operated Vehicle) si les conditions de sécurité le nécessitent.

La périodicité doit être élevée durant les premiers mois, voire les premières années, afin de bien capturer l'arrivée des espèces pionnières, puis la succession de peuplements jusqu'à un état stabilisé. Comme pour les habitats naturels, des prélèvements superficiels peuvent être utiles pour identifier les espèces « cryptiques » et étudier les communautés de manière plus quantitative. Une attention particulière est portée à la détection précoce des espèces non-indigènes, afin de pouvoir prendre des mesures correctives si les ouvrages commencent à être colonisés par une espèce exotique envahissante.

## 3.6. Méthodes de suivi des habitats pélagiques

### 3.6.1. Sources de données utilisées

<https://marc.ifremer.fr/resultats/>

[http://envlit.ifremer.fr/surveillance/phytoplancton\\_phycotoxines](http://envlit.ifremer.fr/surveillance/phytoplancton_phycotoxines)

<http://www.emodnet-biology.eu/>

*NB : Cette liste sera à compléter avec les experts durant la phase 2 de l'étude.*

### 3.6.2. Production primaire

Les habitats pélagiques sont souvent abordés à la marge dans les états initiaux des études d'impact, et parfois réduits à la qualité physico-chimique de l'eau. De même, le guide national sur l'éolien en mer (MEEM, 2017) ne propose pas de protocole d'échantillonnage pour les habitats pélagiques, mais uniquement pour les paramètres biologiques permettant de caractériser la qualité de l'eau : concentrations en nutriments, oxygène dissous, matières organiques. Pourtant, il est important de caractériser non seulement le milieu pélagique, mais aussi son peuplement biologique. Il faut donc s'intéresser au phytoplancton (i.e. micro-organismes végétaux), qui constitue le premier maillon du réseau trophique de ce compartiment.

L'abondance du phytoplancton est mesurée par le biais de la production primaire, qui représente la biomasse végétale produite dans un volume d'eau donné. Celle-ci peut être estimée au moins par 3 méthodes :

- prélèvement d'eau in situ, filtration et mesure de la quantité de matière organique sèche présente dans un litre d'eau de mer ;
- mesure in situ de la concentration en chlorophylle-a par une sonde équipée d'un capteur de fluorométrie (en continu le long de transects en subsurface, ou sur une série de profils verticaux) ;
- estimation de la concentration en chlorophylle-a par télédétection à partir d'images multispectrale acquises depuis un avion ou un satellite (Figure 27).

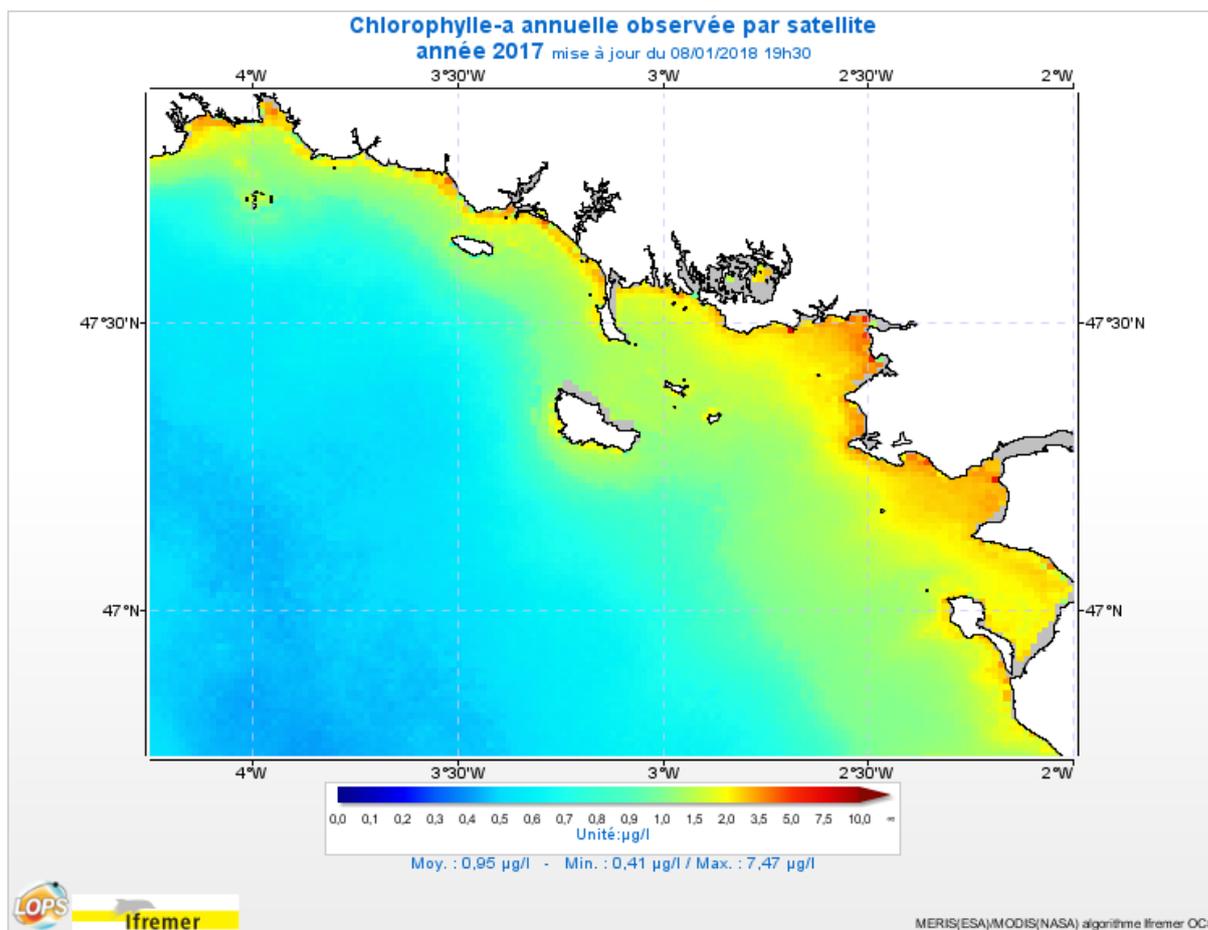


Figure 27 : moyenne annuelle 2017 de la concentration en Chlorophylle-a observée par satellite (source : Ifremer).

### 3.6.3. Communautés planctoniques

Les caractéristiques du peuplement des habitats pélagiques ne peuvent être étudiées qu'à partir de prélèvements d'eau in situ. Ces prélèvements doivent ensuite être analysés en laboratoire pour déterminer les espèces qui composent les cortèges phytoplanctoniques et zooplanctoniques (espèces animales microscopiques, œufs et stades larvaires d'espèces macroscopiques).

Des cultures in vitro et des observations par microscopes sont souvent nécessaires. Alternativement ou en complément, il est possible d'étudier la composition spécifique du plancton à l'aide d'un système d'imagerie permettant la mesure et la classification d'organismes de type méso- et macro-plancton (de 150 µm à 5 cm) (ex : ZooScan de Hydroptic Inc.). Il est aussi possible de recourir à des analyses génétiques des peuplements, pour les espèces dont la signature génétique a déjà été référencée dans les bases de données (technique de « meta-barcoding »).

Une attention particulière est apportée à la détection de microalgues toxiques pour l'Homme et/ou pour les animaux marins, qui sont porteuses de toxines diarrhéiques (DSP), paralysantes (PSP), et amnésiantes (ASP). Ces espèces sont suivies par le réseau de surveillance REPHY mis en œuvre par l'Ifremer.

### 3.6.4. Espèces non-indigènes

Déterminer la composition spécifique du plancton permet aussi de détecter des signes précoces d'introduction d'espèces non-indigènes. En effet, la présence d'œufs ou de larves de nouvelles espèces en suspension dans l'eau constitue le premier indice de leur arrivée dans le milieu, avant une possible colonisation du substrat (naturel ou artificiel) ou une prolifération dans la masse d'eau. Rappelons toutefois que toutes les espèces non-indigènes ne sont pas potentiellement envahissantes : de nombreuses espèces peuvent s'installer dans une niche écologique sans perturber significativement le fonctionnement de l'écosystème.

Le Centre de ressources Espèces Exotiques Envahissantes<sup>1</sup> (coordonné par l'UICN-France et l'AFB) fournit notamment des fiches d'identification des espèces marines invasives. L'Union Européenne actualise régulièrement une liste réglementaire des espèces invasives les plus préoccupantes.

### 3.7. Méthodes de suivi de l'ichtyofaune et des ressources halieutiques

#### 3.7.1. Sources de données utilisées

<http://sih.ifremer.fr/>

NB : Cette liste sera à compléter avec les experts durant la phase 2 de l'étude.

#### 3.7.2. Poissons et céphalopodes

Pour chaque groupe d'espèces, les engins de capture et l'effort d'échantillonnage doivent être adaptés à leur morphologie et à leur comportement. C'est pourquoi les engins utilisés pour les pêches scientifiques sur un site donné sont généralement les mêmes que ceux de pêcheurs professionnels. Les analyses sont focalisées sur les juvéniles d'une part et sur les adultes d'autre part, afin de déterminer (ou préciser) la localisation des zones de nurseries et de frayères, respectivement.

Les paramètres environnementaux (vent, marée, courant, température, salinité, etc.) sont systématiquement relevés tout au long des opérations de pêche.

- Espèces pélagiques

L'échantillonnage de l'ichtyofaune pélagique requiert l'utilisation d'engins traînants dans la colonne d'eau (ex : chalut de subsurface, palangres), le long de transects rectilignes standardisés (espacés régulièrement, de longueurs identiques et parcourus à vitesse constante). Les paramètres à renseigner à partir des individus ainsi capturés incluent l'espèce, le poids, la taille, plus éventuellement le sexe et l'âge pour les espèces exploitées commercialement. On peut ensuite en déduire différents indicateurs portant sur la diversité, l'abondance et la structure du peuplement.

- Espèces démersales

---

<sup>1</sup><http://www.gt-ibma.eu/suivi-et-gestion-des-especes-introduites-en-mer-des-challenges-et-des-solutions/>

L'échantillonnage des espèces démersales peut s'appuyer sur des engins traînants (chalut à grande ouverture verticale) ou dormants (ex : filet calé sur le fond), selon les caractéristiques morpho-sédimentaires de la zone prospectée et selon les espèces ciblées.

- **Espèces protégées ou réglementées**

Une attention particulière est apportée aux espèces protégées ou dont la pêche est fortement réglementée, principalement les élamobranches (raies et requins) et les poissons amphihalins (anguille, saumon, esturgeon, lamproies).

La destruction de ces espèces peut être strictement interdite, selon la réglementation en vigueur localement ou durant la période de campagne. En tout état de cause, il convient de mesurer les paramètres biologiques des individus capturés, puis de les remettre à l'eau vivants, le plus rapidement possible et avec le moins de dommage.

## 3.8. Méthodes de suivi des mammifères marins et tortues

### 3.8.1. Sources de données utilisées

<http://www.aires-marines.fr/Connaitre/Habitats-et-especes-pelagiques/Oiseaux-et-mammiferes-marins-en-metropole>

<http://cartographie.aires-marines.fr/?q=node/45>

<http://www.observatoire-pelagis.cnrs.fr/les-donnees/les-donnees-de-l-observatoire/les-donnees-d-echouages>

<http://www.observatoire-pelagis.cnrs.fr/catalogueSI/>

<http://seamap.env.duke.edu/>

*NB : Cette liste sera à compléter avec les experts durant la phase 2 de l'étude.*

### 3.8.2. Recensements en mer par campagne en bateau ou survols aériens

Voir le chapitre dédié aux suivis de l'avifaune.

Ce type de méthodes est peu approprié pour les phoques, car ils sont difficiles à détecter visuellement en mer. Des suivis aériens réguliers permettent de suivre l'évolution des populations de cétacés en fonction de l'avancée des travaux (présence ou absence) ; mais également de repérer la présence d'espèces protégées rares dans le secteur tel que des rorquals ou des groupes importants de cétacés aux abords du chantier. Pour les populations résidentes, il est pertinent de mener une campagne de photo-identification des cétacés et des phoques, afin d'acquérir des connaissances sur leurs comportements individuels et interactions sociales.

### 3.8.3. Acoustique passive

Afin de compléter les suivis visuels des cétacés, un suivi par acoustique passive est généralement nécessaire au préalable des travaux afin de déterminer un état de référence pour la zone concernée, mais également pendant et après les travaux sur la zone. La mise en place de dispositifs tels que des détecteurs de clics d'écholocation (de type Cpods) et des hydrophones à large bande (de type RTSys) est à envisager. Ce second type d'appareil permet aussi d'établir une surveillance et de qualifier le bruit ambiant aux abords du chantier pendant les travaux (Chapitre 2 3.11).

### 3.8.4. Recensements de phoques sur leurs reposoirs

Les effectifs relatifs recensés pendant la phase de construction puis la phase opérationnelle seront comparés aux effectifs relatifs antérieurs au projet. Il est néanmoins primordial de ne pas limiter ces comptages aux seuls sites situés à proximité immédiate du projet : Teilmann et al. (2006), Edren et al. (2010) ou Russell et al. (2016) notamment, ont en effet souligné combien il était important de connaître la dynamique des populations à l'échelle régionale, de façon à ne pas interpréter de façon erronée les tendances observées dans la zone du projet. Seul le recensement des phoques à sec permet de suivre correctement l'évolution temporelle des effectifs relatifs. Par exemple, une description détaillée du protocole employé par les associations locales du détroit du Pas-de-Calais est présentée par Vincent et al. (2016). De manière générale, il est préférable de conserver le protocole utilisé pour les suivis antérieurs, afin de pouvoir comparer les résultats des recensements mis en œuvre dans le cadre du suivi à ceux précédemment réalisés (souvent depuis de nombreuses années). Des observations du comportement des phoques sur leurs reposoirs peuvent être mises en place de façon à mesurer l'impact du dérangement par les travaux et le trafic maritime sur les rythmes d'activités des phoques, outre leur abondance relative.



Figure 28 : Phoques sur leur reposoir en baie de Somme, photographiés par avion (crédit : Laurent Mignaux / Terra)

### 3.8.5. Télémétrie

Le suivi des mammifères en mer par télémétrie peut également se révéler indispensable, de façon à identifier les habitats préférés des individus fréquentant la zone, et à pouvoir détecter d'éventuels changements suite à la construction du parc (diminution ou intensification de la fréquentation de la zone, notamment pour la chasse). Les données comportementales enregistrées puis transmises permettent, outre la détermination du comportement de chasse, de quantifier les rythmes d'activité des animaux avant, pendant ou après les travaux de construction. Des dérangements accrus peuvent en effet altérer ces rythmes d'activité, avec des conséquences sur l'état de santé des animaux, leur succès reproducteur, voire leurs chances de survie à long terme. Si les suivis télémétriques existants ont eu lieu à trop grande distance du site d'étude, ou à une époque trop ancienne, il est nécessaire d'effectuer trois séries de suivis télémétriques, avant, pendant et après les travaux de construction. Pour les phoques, ces suivis peuvent être réalisés à partir des reposoirs fréquentés par les phoques dans la zone d'étude. Pour obtenir des données statistiquement significatives, un minimum de 10 individus de chaque espèce doivent être équipés sur chaque site.

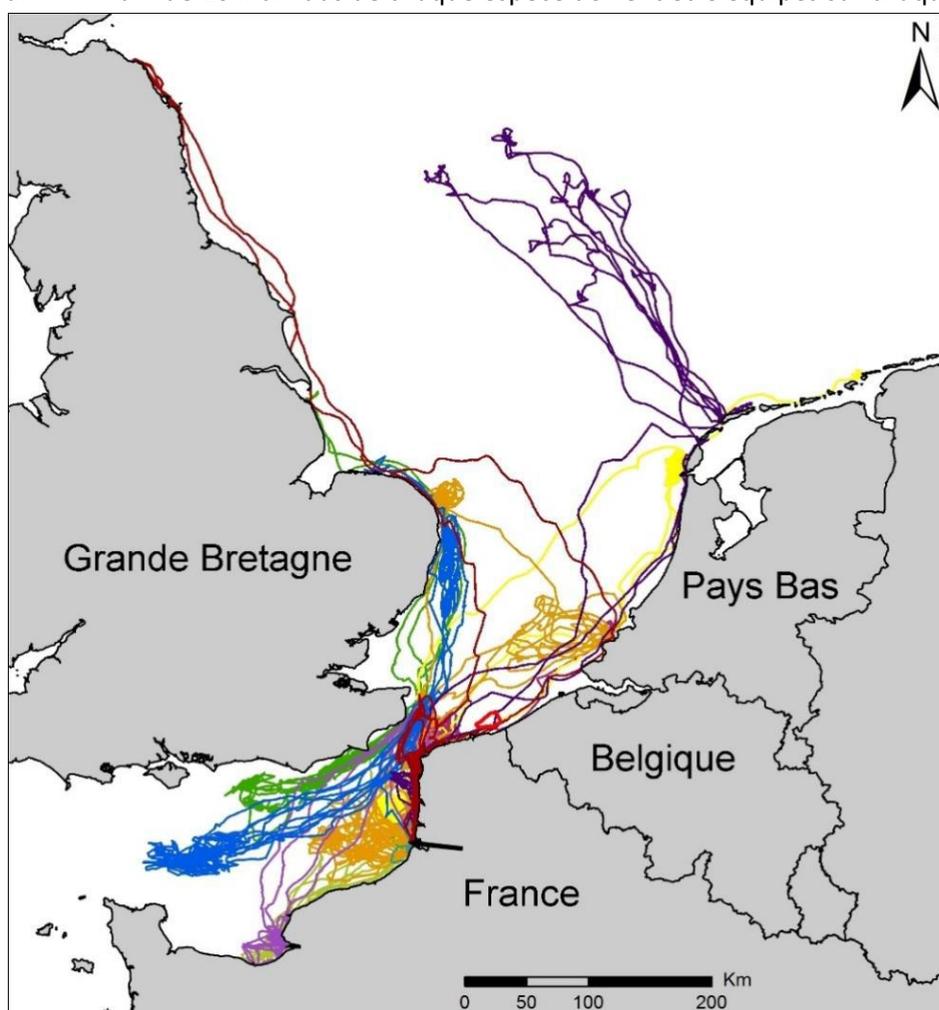


Figure 29 : carte des déplacements des 12 phoques gris équipés de balises GPS/GSM en baie de Somme (de mai 2012 à février 2013). La flèche rouge représente le site de capture des individus. Chaque couleur de trait représente le déplacement global d'un individu.

### 3.8.6. Régime alimentaire et stress

En complément de l'identification des zones de chasse (et habitat préférentiels) des phoques et cétacés, il peut être utile de documenter leur régime alimentaire, avant et pendant les travaux puis en phase d'exploitation. Pour les phoques ceci peut être réalisé par analyse des fèces, récoltés à marée basse sur les reposoirs. Pour toutes les espèces, il est possible de procéder par analyse des contenus stomacaux des individus échoués morts le long du littoral (Ridoux et al., 2007 ; Spitz et al., 2015). Compte-tenu des lacunes actuelles sur la connaissance du régime alimentaire des deux espèces de phoques de la façade Manche-Atlantique, il est recommandé de combiner les deux approches. Un nombre important d'échantillons est par ailleurs nécessaire pour détecter d'éventuels changements, qualitatifs et quantitatifs, liés au projet d'EMR (par modification de la distribution et/ou de l'abondance de certaines ressources halieutiques, notamment en cas d'« effet récif »).

Le niveau de stress des phoques peut être étudié, de façon non invasive, par analyse des hormones de stress retrouvées dans les fèces (Keay et al., 2006 ; Gobush et al., 2014). Une telle série d'analyse permet de comparer les niveaux de stress avant, pendant puis après les travaux. Le dérangement potentiellement impliqué par les travaux de construction du projet s'ajoute à d'autres sources potentielles de dérangement, liées aux autres activités humaines mais également aux interactions entre phoques : il est donc particulièrement pertinent de comparer les niveaux de stress des individus tout au long du projet, de façon à détecter d'éventuelles modifications de ce niveau de stress, par exemple au moment des travaux de construction.

Il n'existe pas actuellement de méthode éprouvée pour évaluer le niveau de stress des espèces de cétacés.

### 3.8.7. Analyse des échouages

Enfin, il pourrait être judicieux de mettre en place un suivi approfondi des causes de mortalité, à partir de l'examen des animaux échoués. Ce travail, à établir avec l'Observatoire Pelagis (UMS CNRS/université de La Rochelle), permettrait de mieux comprendre l'impact éventuel des activités humaines, incluant mais ne se limitant pas à la construction et l'opération des projets d'EMR, ainsi que des autres interactions biotiques (prédation, compétition) sur les populations en présence. Une telle étude peut être réalisée en finançant l'analyse systématique des tissus prélevés par les correspondants du Réseau National Echouages sur les mammifères marins retrouvés morts dans la zone d'étude. A l'heure actuelle, seule une faible proportion de ces prélèvements sont analysés, par manque de moyens financiers et humains.

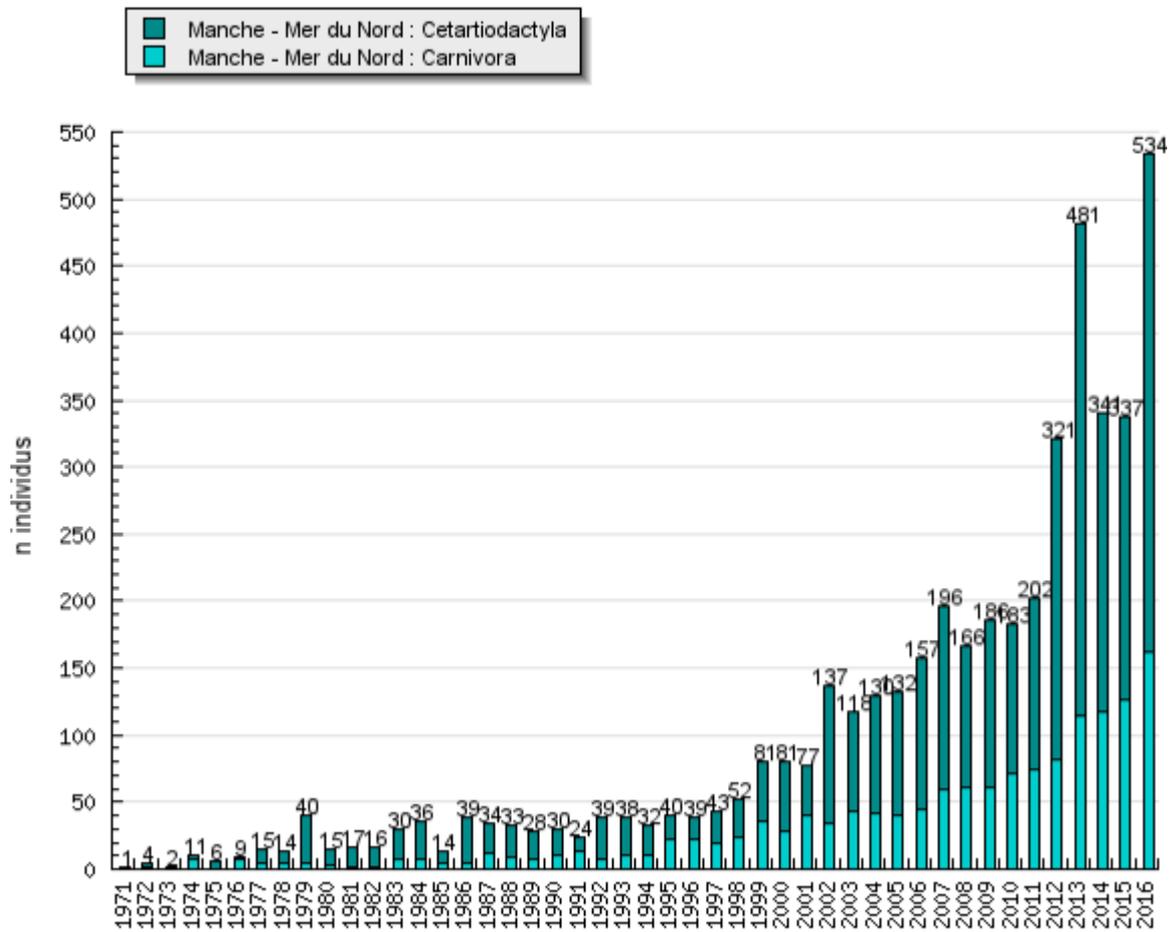


Figure 30 : évolution interannuelle du nombre d'échouages de mammifères marins recensés entre 1971 et 2016, sur la façade Manche-mer du Nord ; en foncé : cétacés, en clair : pinnipèdes (source : UMS Pelagis / Réseau National Echouages).

### 3.9. Méthode de suivis des oiseaux marins et migrateurs

#### 3.9.1. Sources de données utilisées

- <https://inpn.mnhn.fr>
- <http://www.migration.net>
- <http://www.trektellen.org>
- <http://www.oncfs.gouv.fr>
- <https://www.lpo.fr>
- <http://www.sirf.eu>
- <http://seamap.env.duke.edu/>
- <http://www.aires-marines.fr/Connaitre/Habitats-et-especes-pelagiques/Oiseaux-et-mammiferes-marins-en-metropole>
- <http://cartographie.aires-marines.fr/?q=node/45>
- <http://oiseaux-manche.org>

*NB : Cette liste sera à compléter avec les experts durant la phase 2 de l'étude.*

### 3.9.2. Observations côtières

Les comptages visuels d'oiseaux migrateurs permettent d'avoir une bonne connaissance de la diversité des espèces empruntant un couloir aérien et de l'intensité de leurs flux migratoires. Ils apportent également des informations propres à appréhender finement la phénologie de plusieurs espèces.

Lorsque les années de suivis sont suffisamment nombreuses, il devient possible de mettre en évidence des fluctuations d'effectifs pour certaines espèces. L'interprétation de ces résultats doit alors se faire avec une très grande prudence, car elle peut potentiellement porter sur :

- des modifications de taille de population,
- des déplacements d'aire de répartition,
- ou encore des changements de trajet migratoire.

Les observations côtières en périodes de migration sont complémentaires du radar (cf. paragraphe « Suivi par radar »), car elles apportent des informations indispensables sur la diversité des espèces d'oiseaux passant en mer à portée de vue. Les efforts d'observation depuis un site avancé en mer (cap, digue, jetée, etc.) doivent être maintenus à haute fréquence (idéalement, tous les jours), pour combler des lacunes de connaissances sur les passages d'oiseaux migrateurs, y compris les espèces les plus fugaces.

### 3.9.3. Observations visuelles par avion

Les recensements visuels d'oiseaux marins par suivi aérien consistent à observer les espèces marines depuis un avion qui vole à vitesse et altitude constantes le long de transects linéaires préalablement définis. Des observateurs relèvent alors (à l'œil nu ou à l'aide de jumelles binoculaires) un ensemble de paramètres biologiques (espèces, nombre d'individus, ...) et de conditions environnementales, capitales pour évaluer le degré de détectabilité des espèces (conditions météorologiques, état de la mer, couverture nuageuse, nébulosité, éblouissement...).

Deux types de protocoles (Figure 15) peuvent être appliqués, de manière alternative ou combinée :

- strip transect : les observateurs recensent tous les individus détectables dans une bande d'une largeur fixe sous l'avion ; on considère alors que la probabilité de détection d'une espèce donnée est constante dans toute cette bande ;
- line transect – distance sampling : les observateurs recensent tous les individus qu'ils détectent et relèvent leur distance par rapport à l'avion ; une correction est ensuite appliquée pour tenir compte du fait que la probabilité de détection d'une espèce donnée décroît avec cette distance.

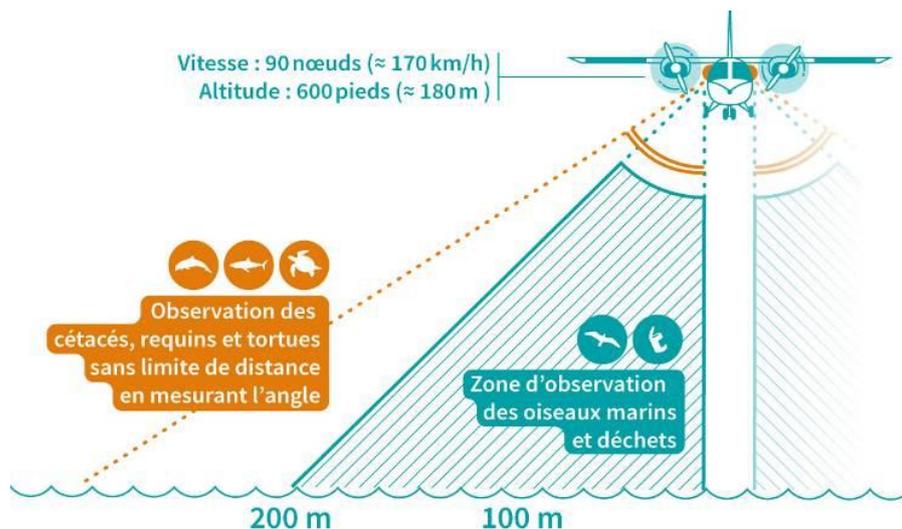


Figure 31 : Protocoles utilisés par l'Observatoire Pelagis pour l'observation des cétacés, tortues et grands poissons pélagiques (line transect) et des oiseaux marins et activités anthropiques (strip-transect, bande 0-200 m). Crédit : M. Nivesse, AFB.

Les données récoltées pendant les phases d'échantillonnage servent à représenter, quantifier et prédire la distribution et l'abondance des espèces observées dans la zone d'étude à un moment donné, tout en prenant en compte l'effort d'observation déployé et les biais liés aux probabilités de détection des espèces. Elle sert aussi à quantifier la diversité spécifique de la zone étudiée. L'inconvénient principal de cette méthode est qu'elle ne peut être appliquée que le jour et par temps clair et calme. De plus, elle ne permet pas de distinguer les espèces résidentes des espèces qui sont en migration et ne permet donc pas d'identifier avec précision les dangers auxquels pourraient faire face les espèces.

Pour avoir un aperçu exhaustif des espèces présentes au cours de l'année, il est nécessaire de prévoir plusieurs campagnes d'échantillonnage au cours de chaque saison, avec un protocole de suivi standardisé pour pouvoir comparer les données récoltées.

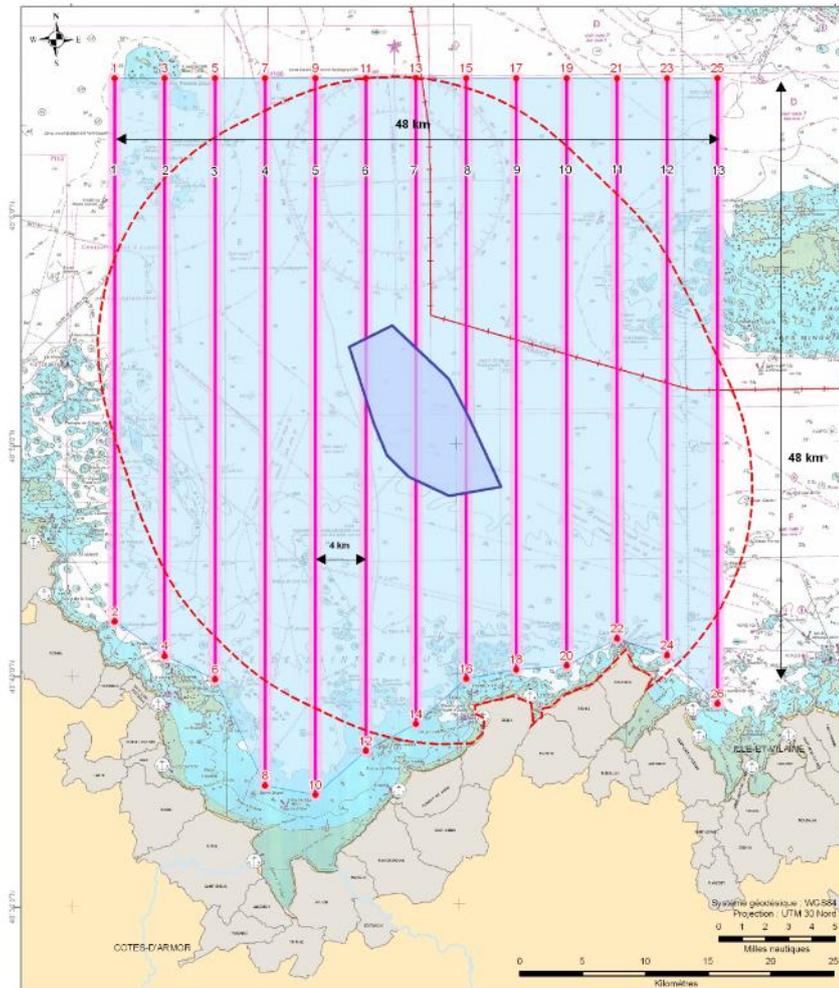


Figure 32 : Exemple de transects aériens définis lors d’une campagne d’état initial pour le projet éolien de la baie de Saint-Brieuc (source : Ailes Marines).

Les suivis aériens apportent des données quantitatives et standardisées sur l’abondance, la distribution spatiale et la diversité des espèces présentes dans une large zone d’étude. Plusieurs campagnes d’échantillonnage sont nécessaires pour obtenir des données représentatives du cycle de vie des oiseaux marins, d’où l’intérêt de les mener plusieurs fois pendant la période de migration pré-nuptiale (fin d’hiver/début printemps), la période de reproduction (printemps/été), la période de migration postnuptiale (fin d’été/automne) et la période d’hivernage (hiver). De plus, les survols peuvent aussi servir au recensement des mammifères marins et de certains poissons de grande taille.

### 3.9.4. Observations par suivi aérien digital

Depuis quelques années, le suivi aérien digital s’est développé, notamment en Europe du Nord où il a été intensivement utilisé dans le contexte d’implantations de parcs éoliens en mer. Si le plan d’échantillonnage repose aussi sur un avion qui suit des transects linéaires définis dans la zone d’étude, les observations sont quant à elles enregistrées sous forme de photos ou vidéos par des caméras/appareil photo à ultra-haute résolution. Du fait des enregistrements continus et de la qualité des images, la fiabilité du comptage des effectifs est renforcée, et les biais liés aux observateurs et aux conditions météorologiques sont minimisés. Les biais liés à l’éblouissement sont notamment

considérablement réduits grâce à l'inclinaison adaptable de la caméra. Les possibilités d'analyses ont été décuplées, mais le temps de traitement est considérable. Il sera réduit grâce au développement en cours de logiciels dédiés au dépouillement semi-automatique, voire entièrement automatisé, des données.

Cette méthode peut permettre d'estimer les paramètres de vol des oiseaux (altitude, direction, vitesse), moyennant certaines hypothèses sur la taille réelle des individus observés.

Le choix entre méthode visuelle ou numérique dépend, entre autres, des ressources disponibles et des contraintes de hauteur de vol.

### 3.9.5. Suivi par bateau

Les observations directes par bateau se basent sur les mêmes principes d'échantillonnage que les suivis aériens, mais elles se font depuis un bateau qui navigue à vitesse constante le long de transects linéaires (Figure 33). L'effort d'observation est cependant concentré dans une plus petite zone et la détectabilité des espèces est différente (individus posés à la surface de l'eau moins détectables). Cette méthode est notamment peut permettre d'estimer les hauteurs de vol et d'identifier plus finement les comportements des oiseaux marins.

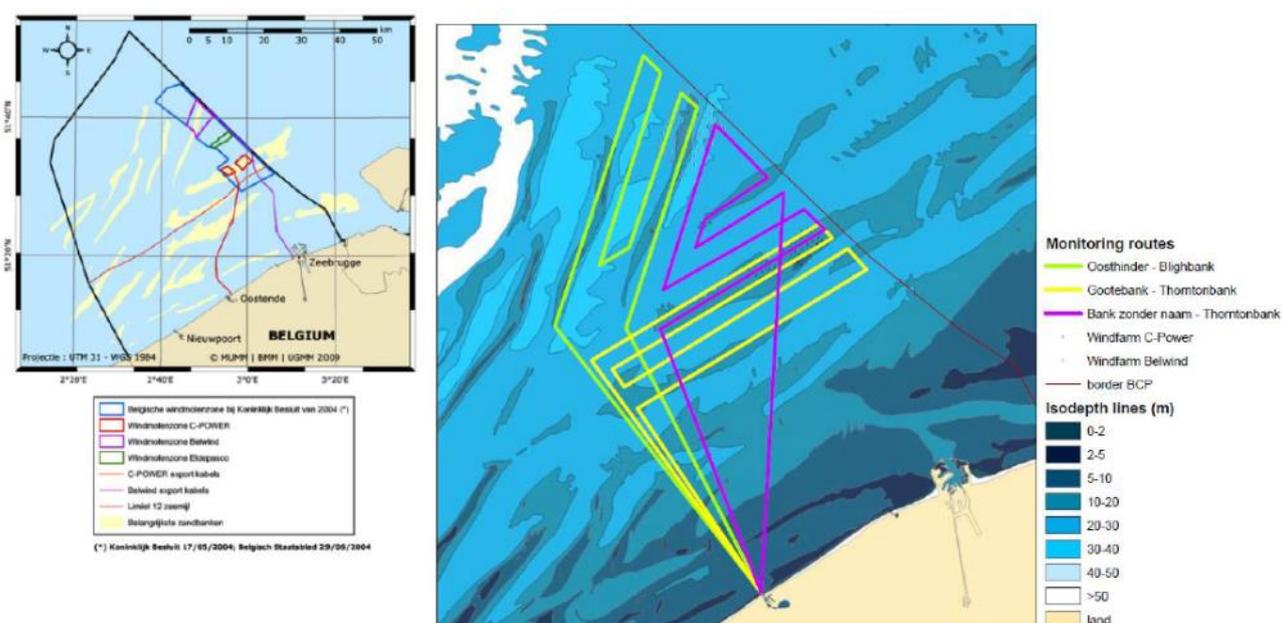


Figure 33 : Exemple de transects de suivis par bateau effectués au large de Zeebrugge en Belgique (Degraer & Brabant, 2009).

Les suivis par bateau complètent les observations aériennes en fournissant des données plus précises, mais dans une zone plus restreinte autour du site du projet éolien. Ces suivis permettent d'identifier complètement les espèces, de caractériser plus finement les activités des oiseaux dans la zone prospectée voire de mesurer leurs hauteurs de vols.

### 3.9.6. Suivi par radar

Les radars (Radio Detection and Ranging en anglais) sont largement utilisés pour détecter et localiser les mouvements d'oiseaux, d'insectes et de chauve-souris. Leur principal avantage par rapport à des méthodes d'observation directe est qu'ils peuvent être utilisés en continu, de jour comme de nuit. Ils sont cependant soumis aux conditions météorologiques, notamment aux précipitations ou aux vagues qui peuvent provoquer de faux échos. Le système est basé sur l'émission d'ondes électromagnétiques à des intervalles réguliers. Lorsque ces ondes rencontrent un objet, elles créent un écho qui est renvoyé vers la source d'émission. Comme les ondes radar se déplacent aussi vite que la lumière, la distance à l'objet peut être déterminée en calculant le temps écoulé entre l'émission de l'onde et la réception de l'écho. Les suivis par radars sont particulièrement pertinents pour étudier les phases de migration des oiseaux (automne et printemps). Les radars peuvent acquérir des données différentes en fonction de la direction des échos émis. Un balayage horizontal apportera des informations sur la distribution spatiale des objets détectés, un balayage vertical, l'altitude des objets et un balayage oblique, la direction des mouvements. En combinant les différents balayages, les radars permettent de quantifier les flux migratoires ou les activités de recherche alimentaire, en déterminant la densité, la direction, la vitesse et l'altitude des oiseaux.

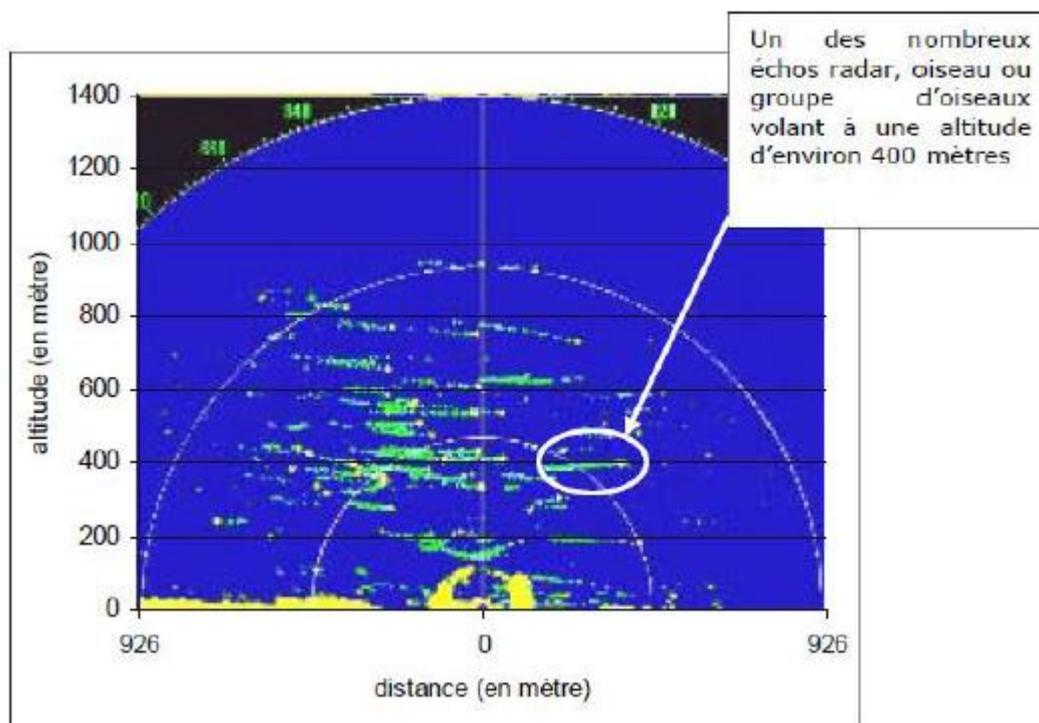


Figure 34 : Exemple d'image radar prise par balayage vertical (Source : Rapport LPO-Biotopie, 2008)

Même si certaines espèces/familles d'oiseaux ont des caractéristiques de vol typiques, il est difficile de déterminer précisément les espèces détectées et surtout leurs effectifs, car l'unité d'observation est basée sur les échos renvoyés. Ceux-ci peuvent aussi bien correspondre à un individu qu'à un groupe d'individus.

De même, il est parfois difficile de déterminer le type d'objet détecté et des confusions sont possibles avec des chauves-souris, des insectes, ou des échos dus aux phénomènes météo-océaniques

(vagues, écume, pluie ; cf. rapport LPO-Biotope, 2008). Pour éviter ces biais, des filtres sont appliqués avant l'analyse des données pour éliminer les sources d'incertitude.

Les systèmes radars présentent l'intérêt, en plus de fonctionner indifféremment de jour comme de nuit, d'avoir une portée supérieure aux observations visuelles et digitales : ils peuvent surveiller une zone de quelques kilomètres de rayon, qui décroît avec le réglage de leur résolution spatiale (donc la sensibilité à des échos de petite taille). Il faut donc disposer de plusieurs radars pour surveiller l'intégralité d'un parc EMR de taille industrielle (50 à 100 km<sup>2</sup>). Les radars peuvent être installés sur la côte ou en mer (sur un mât de mesure, une fondation ou une station électrique). Il est aussi envisageable de les installer sur un support flottant (navire, bouée, etc.), mais cela requiert un traitement supplémentaire des données pour corriger les mouvements du support.

Un radar ornithologique peut apporter des données sur les flux migratoires et leur évolution temporelle de jour comme de nuit, ainsi que les altitudes de vol (en cas de radar 2D vertical ou 3D), avec certaines indications sur les groupes d'espèces rencontrées. Du fait des limites de portée (quelques kilomètres), un tel radar doit être implanté en mer (sur une plateforme flottante ou fixe, telle que le mât de mesure du site de Fécamp) afin de renseigner les passages dans la zone d'implantation d'un parc éolien ou à la même distance de la côte.

### 3.9.7. Suivi par télémétrie

Le suivi télémétrique permet de suivre des individus en milieu naturel de manière continue, pendant une période de temps plus ou moins longue, qui dépend de l'autonomie en énergie et en mémoire des instruments. Les données récoltées forment des séries temporelles de localisations qui apportent des informations cruciales sur les mouvements, les zones fréquentées, mais aussi le comportement des individus. Cette méthode est particulièrement intéressante pour suivre les oiseaux marins pendant leur période de reproduction car elle permet de quantifier directement l'importance de certaines zones marines mais aussi terrestres, en fonction de leur degré d'utilisation et du type d'activités qui s'y déroulent (zones de repos, zones d'alimentation, zones de transit, etc.). Toutefois, pour que les données soient représentatives de la colonie, il est nécessaire d'équiper un minimum d'individus (dans l'idéal, une quinzaine ou plus ; Soanes et al., 2013).

Les suivis télémétriques apportent des données sur l'utilisation de la zone d'étude par les oiseaux marins nichant à proximité. Il faut cependant noter que les données récoltées dans une colonie d'oiseaux marins ne sont pas forcément transposables pour des oiseaux de la même espèce nichant dans une autre colonie, même si les colonies sont distantes de quelques kilomètres. C'est pourquoi il est recommandé d'équiper des individus dans plusieurs colonies et de suivre plusieurs espèces simultanément pour pouvoir comparer leur utilisation de l'habitat et déterminer si elles sont exposées aux mêmes menaces. Les colonies d'oiseaux qu'il est le plus judicieux d'équiper peuvent être déterminées en tenant compte des rayons d'action des différentes espèces d'oiseaux marins nichant dans la zone et de leur sensibilité aux modifications du milieu marin. Il faut noter que le poids des appareils télémétriques actuellement commercialisés (~5-6g au minimum) ne permet pas d'équiper les plus petites espèces d'oiseaux marins (ex : sternes naines), dont on connaît donc mal l'écologie en mer.

- **Les balises ARGOS**

Les balises Argos (ou Platform Terminal Transmitters – PTT) sont des appareils miniaturisés qui, une fois attachés sur les animaux, permettent de suivre pendant plusieurs mois leur position avec une précision de 1 km. Les balises émettent, à intervalle régulier, un signal vers les satellites du réseau ARGOS. Celui-ci est alors transféré vers un centre ARGOS au sol qui centralise et normalise les localisations individuelles.

Ces appareils, moins précis que les GPS, permettent une réception de données presque en temps réel sur une grande partie du cycle annuel des oiseaux, sans avoir à les recapturer pour accéder aux données. La plupart de ces appareils sont équipés de petits panneaux solaires qui permettent de recharger la batterie.

- Les enregistreurs GPS

Les appareils GPS miniaturisés enregistrent la position des animaux sur lesquels ils sont attachés à intervalle régulier (généralement, toutes les 5 ou 10 minutes) avec une précision spatiale de  $\pm 5m$ . Les données obtenues ont donc une très bonne résolution spatiale et temporelle et permettent d'extraire des informations extrêmement précises sur les mouvements et les comportements des individus équipés. Cependant, leur autonomie est moins longue que celle des balises ARGOS.

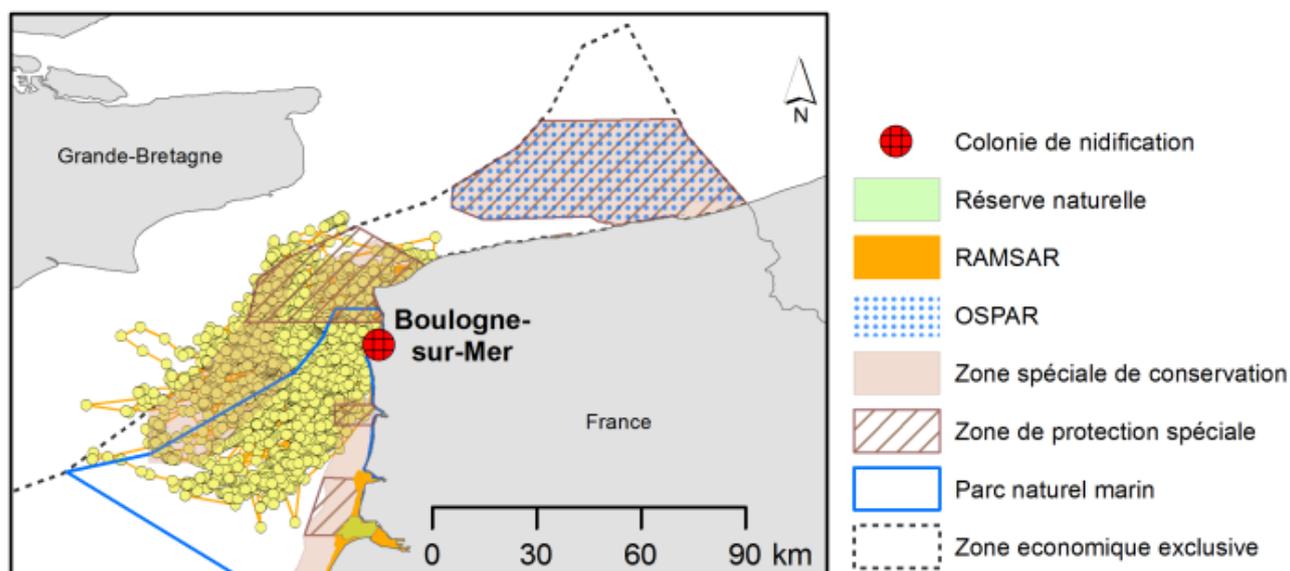


Figure 35 : Données GPS de mouettes tridactyles nichant à Boulogne-sur-Mer pendant la période d'élevage des poussins en Juin-Juillet 2014 (données AAMP).

Lorsque les appareils GPS ne sont pas connectés à des stations de téléchargement, les individus équipés doivent être recapturés pour récupérer les appareils GPS et accéder aux données enregistrées. A cause de cette contrainte, ce type d'instruments doit préférentiellement être déployé sur des espèces dont on est sûr qu'elles vont revenir régulièrement sur le site où elles ont été équipées. De plus, les appareils GPS ont des capacités de batterie limitées, qui contraignent la période de suivi à seulement quelques jours ou quelques semaines, selon la fréquence d'enregistrement des

localisations. Le développement récent d'appareils GPS miniaturisés, couplés à des systèmes de transmission tels que le réseau GSM, le Bluetooth ou les signaux radio, a permis de s'affranchir de la nécessité de recapture des oiseaux. Les données sont automatiquement téléchargées par une station de réception installée dans la colonie et elles sont ensuite directement accessibles sur un ordinateur ou un téléphone portable. De même, l'intégration de petits panneaux solaires sur les appareils GPS permet de recharger régulièrement les batteries et de maintenir une acquisition de données sur plusieurs semaines.

### 3.9.8. Complémentarité des méthodes pour l'état initial et le suivi d'un projet éolien

Cinq types de suivis complémentaires les uns des autres sont préconisés peuvent être utilisés pour le suivi d'oiseaux marins dans la zone d'un projet éolien en mer.

Les intérêts et limitations de chaque méthode de suivi sont résumés dans le tableau suivant :

	Méthode de suivi	Suivi aérien	Suivi par bateau	Observations depuis la côte	Radar	Téléométrie
Type de données collectées	Abondance	Oui	Oui	Oui	Limitée	Non
	Distribution spatiale	Oui	Oui	Limitée à la bande côtière	Limitée à quelques km	Oui
	Diversité spécifique	Oui	Oui	Oui	Très limitée	Non
	Altitude de vol	Non	Oui	Oui	Oui	Possible
	Comportement	Non	Limité	Oui	Statique / en mouvement	Oui
Contraintes	Dépendant de la météo	Oui	Oui	Oui	Moyen	Non
	Données récoltées la nuit ?	Non	Non	Non	Oui	Oui
	Biais de détection ou de détermination spécifique	Modéré	Modéré	Modéré	Oui	Non
	Dérangement	Oui (selon altitude)	Oui	Non	Non	Oui
Echantillonnage	Période recommandée pour le suivi	Plusieurs séries d'échantillonnage à chaque saison	Plusieurs séries d'échantillonnage à chaque saison	Périodes de migration (printemps et automne)	Toute l'année	Période de reproduction

Figure 36 : Comparaison synthétique des différentes méthodes de suivi et de diagnostic initial de l'avifaune envisageables dans la zone d'étude d'un projet éolien.

## 3.10. Méthodes de suivi des chiroptères

### 3.10.1. Sources de données utilisées

*NB : Cette liste sera à compléter avec les experts durant la phase 2 de l'étude.*

### 3.10.2. Etat initial

Les lignes directrices éditées par Eurobats (Rodrigues et al., 2015) suggèrent de combiner des études en mer et sur terre. Parmi les suivis possibles sur les côtes, un suivi de l'activité des chiroptères est envisageable en installant des détecteurs sur des structures telles que des phares. En mer, les détecteurs d'ultra-sons peuvent être installés sur des navires effectuant des enregistrements en des points fixes ou le long de transects, ou bien sur des bouées pour acquérir des données à plus long terme. Contrairement au radar, le détecteur d'ultra-son n'est pas affecté par les mouvements d'un support flottant.

Les enregistreurs d'ultrasons doivent être des dispositifs autonomes (type SM2 Bat ou autre modèle équivalent) lorsqu'ils sont utilisés sur des bateaux lors de transects ou sur des points d'ancrage statique, par exemple lors de suivis d'oiseaux migrateurs (réalisés jours et nuits dans le cas de l'Allemagne). Les détecteurs ne doivent pas être placés trop près du radar du bateau pour éviter toutes interférences au niveau des ondes et optimiser la qualité des enregistrements. Il est également possible d'installer ce type d'enregistreurs sur des ferries lors de leurs liaisons nocturnes (voir aussi BSG Ecology, 2014a).

Des suivis spécifiques sont parfois réalisés (transects en bateaux ou points d'ancrage statique, tels qu'une plateforme instrumentée ou une balise de signalisation maritime) pour faire des détections automatiques et manuelles, et observer le comportement des chiroptères par exemple (voir aussi Ahlén et al., 2009). La détection automatique permet des enregistrements sur une longue période, et la détection manuelle, d'observer le comportement des animaux.

S'il existe des balises de signalisation maritime dans la zone du projet, il peut être intéressant d'installer un détecteur d'ultrasons autonome sur ces structures.

Les points de départs terrestres des chiroptères sont recherchés, y compris en dehors de la France. Si de telles zones sont identifiées, on peut y installer des détecteurs, automatiques ou manuels. La détection manuelle est particulièrement intéressante pendant le pic de la migration pour déterminer si les chiroptères qui ont été enregistrés au détecteur suivent le tracé des côtes ou passent en mer, ainsi qu'une estimation des effectifs sur les côtes et/ou en mer.

Les suivis couvrent toute la période de migration printanière (avril-mai) et automnale (août-septembre-octobre), mais également ponctuellement en juin/juillet, pour déterminer si les chiroptères prospectent en mer durant l'été (recherche de nourriture). Un passage par semaine semble suffisant afin de lisser les biais météorologiques.

Rodrigues et al. (2015) suggèrent également l'utilisation de caméras thermiques. De même, Bruderer et Popa-Lisseanu (2005) utilisent le « Superfledermaus », un ancien radar militaire pour différencier les oiseaux migrateurs nocturnes et les chiroptères, et les espèces de chiroptères entre elles, sur la base des fréquences et de la structure des battements d'ailes. Toutefois, cette méthode

demande des analyses complémentaires pour pouvoir être utilisée de manière systématique : par exemple, la différenciation de la Noctule commune et de la Sérotine commune n'est pas possible sans l'ajout de données écologiques, et le radar ne peut pas détecter les animaux volant trop bas, confondus avec les échos du sol.

### 3.10.3. *Suivi d'impact*

Étant donné que la recherche de cadavres est très difficile en parc offshore, une des seules possibilités est l'utilisation de détecteurs d'ultrasons, sur la base de ce qui est fait en parc terrestre (Rodrigues et al., 2015).

Un suivi acoustique automatique, utilisant des détecteurs sur des points fixes (balise de signalisation maritime, mât de mesures, puis les éoliennes elles-mêmes), peut être mené pendant et après la construction pour estimer si le parc éolien impacte significativement les chiroptères. Les suivis durent au moins 3 années consécutives et couvrent le cycle annuel des chiroptères, particulièrement les périodes de migration du printemps et de l'automne.

Les routes de migration supposées peuvent aussi faire l'objet de suivis par navire, sur la base des routes de migrations connues des oiseaux dans le secteur, puisque les espèces empruntent souvent des couloirs de migration similaires.

IPposer des microphones à hauteur de la nacelle permet d'enregistrer l'activité des chiroptères dans la zone d'impact potentiel le plus important, celle qui est balayée par les pales.



*Figure 37 : Microphone d'enregistrement à distance placé sur le dessous de la nacelle. Il est relié à un détecteur automatique installé à l'intérieur de la nacelle. Photo : L. Bach ©*

En complément, il peut être pertinent de poser un microphone au bas de l'éolienne. En effet, il est possible que la plupart des chiroptères arrivent très bas au niveau de l'éolienne et soient d'abord enregistrés à ce niveau, ce qui donne un meilleur aperçu du nombre de chiroptères qui volent à proximité de l'éolienne. Également, puisque les pales sont souvent plus longues que le champ de détection des pipistrelles de Nathusius (50 mètres avec un bon microphone, d'après Barataud, 2012), la probabilité de les détecter au niveau de la nacelle est inférieure à la probabilité de détection en bas de l'éolienne, même lorsqu'elles chassent dans le champ des pales. Les études en parc éolien terrestre montrent en effet qu'il y a plus de contacts en bas de l'éolienne qu'au niveau de la nacelle.

La détection directe des évènements de collisions ou de barotraumatisme constitue encore un défi technologique, même si l'amélioration du traitement des images radar et l'exploitation d'enregistrements en vidéo infra-rouge pourrait théoriquement permettre d'y parvenir.

L'analyse des résultats est délicate, car jusqu'alors il n'existe aucune donnée permettant d'estimer à partir de combien de contacts de chiroptères enregistrés on peut s'attendre à une collision en milieu offshore. En parc éolien terrestre, on peut s'attendre à un cadavre tous les 22 contacts de Pipistrelles de Nathusius, au niveau de la nacelle (Bach & Bach, 2015).

Par contre, il est possible de s'appuyer sur certains résultats en parc éolien terrestre, la probabilité que les chiroptères explorent l'éolienne étant probablement plus importante qu'en parc terrestre, ceci pour deux raisons. D'abord, la disponibilité en insectes est importante sur les installations offshore (Ahlén et al. 2009), ce qui attire les chiroptères. Ensuite, étant donné que les éoliennes font partie des rares structures en milieu marin, on peut s'attendre à une plus grande probabilité d'exploration des éoliennes, par exemple pour chercher un gîte.

### 3.11. Bruits sous-marins et aériens

#### 3.11.1. Sources de données utilisées

*NB : Cette liste sera à compléter avec les experts durant la phase 2 de l'étude.*

#### 3.11.2. Etat initial

Le chorus acoustique sous-marin est composé par l'ensemble des bruits d'origines géophysiques (vent, déferlement des vagues, précipitations, etc.), biologiques (sons émis, par les cétacés, poissons, crustacés et autres macrofaune benthique) et anthropiques (navires, travaux, explosions, engins de pêche, etc.). Les modèles numériques de génération et de propagation du bruit sous-marin peuvent intégrer une partie des sources géophysiques et anthropiques. Mais pour fournir des simulations réalistes, ils ont généralement besoin d'être calibrés à partir de mesures in situ des sons sous-marins.

Ces mesures peuvent être obtenus à l'aide d'hydrophones à large bande de fréquences, qui doivent enregistrer durant un temps suffisant pour obtenir des statistiques robustes sur le « climat » acoustique du point de mesure. Les préconisations scientifiques actuelles recommandent un minimum de deux sessions de mesures de 15 jours, à deux périodes bien distinctes de l'année.

L'analyse de ces mesures peut aider à identifier les principales sources de bruits anthropiques, afin d'orienter la collecte des données sur les activités humaines à inclure dans le modèle de propagation acoustique (trafic maritime, pêche, chantiers, extractions, etc.). Les résultats se présentent sous la forme de cartes des niveaux sonores, éventuellement à différentes profondeurs, ainsi que d'histogrammes de la distribution des niveaux sonores atteints au cours d'une période donnée. Le bruit sous-marin étant une grandeur très variable par nature, il est souvent présenté de manière statistique, par exemple des cartes de percentiles (niveau atteint ou dépassé durant une proportion fixée du temps). Il convient d'être particulièrement vigilant sur les paramètres présentés et leurs unités, les plus courants étant :

- en valeur instantanée : pression acoustique (SPL : sound pressure level en dB ref 1uPa)
- ;

- en valeur intégrée dans le temps : énergie acoustique reçue (SEL : sound exposure level, en dB ref 1uPa<sup>2</sup>.s).

Ces deux grandeurs ont des implications très différentes en termes d'impact sur les organismes marins.

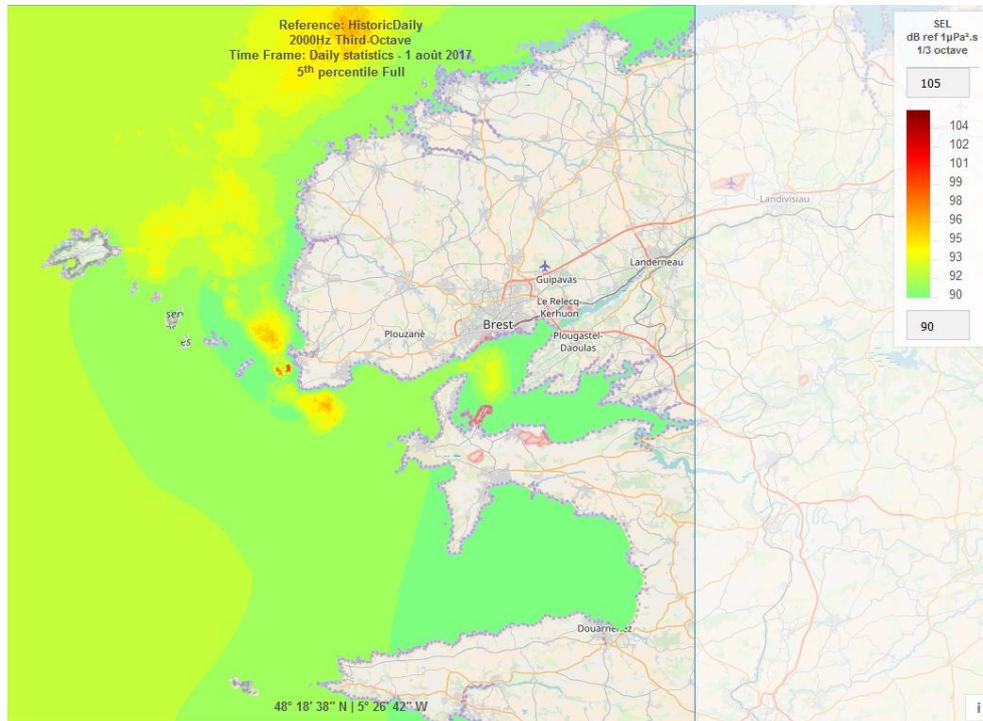


Figure 38 : modélisation du bruit ambiant liée au trafic maritime au large des pointes du Finistère, exprimée en percentile 5 % du SEL au tiers d'octave à 2 kHz (source : Quiet Oceans).

### 3.11.3. Suivi d'impact

En phase de construction, si les travaux incluent des activités particulièrement bruyantes (exemples : battages de pieux, dérochage, creusement de tranchée dans le fonds rocheux), il est nécessaire de mesurer in situ le bruit sous-marin afin de vérifier que des niveaux dangereux pour les espèces présentes ne sont pas atteints. Les points de mesures sont alors situés à différentes distances et dans différentes directions par rapport à la source principale de bruit, afin de vérifier les prévisions du modèle concernant l'atténuation du bruit au fil de sa propagation dans le milieu (colonne d'eau et sous-sol).

Ce suivi peut être couplé avec le suivi de l'activité acoustique des animaux (principalement les cétacés). Il convient alors de placer des points de mesure dans les zones fonctionnelles connues de ces espèces. Le suivi par acoustique passive des cétacés est aussi couramment utilisé pour vérifier l'absence d'individus dans la zone d'impact physiologique (perte d'audition temporaire ou permanente, cf. Figure 18) avant de démarrer une opération fortement bruyante.

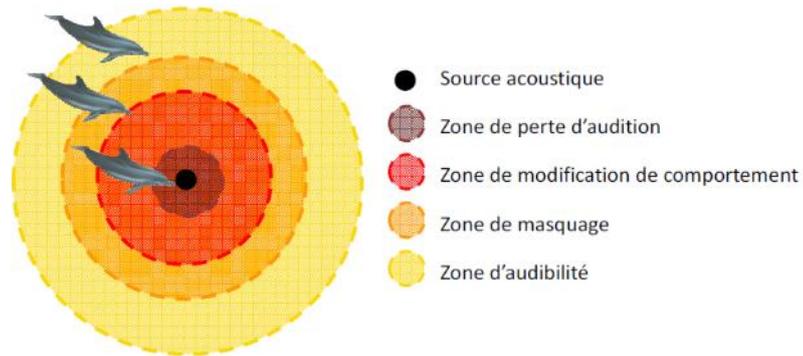


Figure 39 : zones d'influence des émissions sonores sur les mammifères marins (source : Richardson et al., 2015).

En phase d'exploitation, le suivi du bruit ambiant et de l'activité acoustique des animaux peut être reproduit, mais avec un échantillonnage spatio-temporel moins dense. La localisation des points d'écoute peut être optimisée grâce aux résultats du modèle de propagation acoustique et en tenant compte des préférences d'habitat des espèces (zones fonctionnelles, lorsqu'elles sont connues). Cet échantillonnage sera ensuite adapté en fonction des impacts du projet constatés sur la faune marine. Par exemple, le suivi peut avoir lieu tous les ans durant les 5 premières années d'exploitation, puis tous les 3 ans s'il n'y a pas eu d'impact significatif constaté sur les espèces suivies par acoustique passive.

### 3.12. Electromagnétisme

Le champ électromagnétique peut être mesuré in situ à l'aide d'un magnétomètre, lequel peut également servir à détecter des objets métalliques enfouis dans le sédiment marin, comme des munitions non-explosées (UXO : unexploded objects). En cas d'impact potentiel pour les espèces marines, ce relevé peut être répété après l'installation des infrastructures sur le fond (câbles et fondations), avant et pendant l'exploitation.

Un modèle de propagation du champ électro-magnétique peut ensuite intégrer ces données pour fournir une cartographie complète du CEM dans la zone d'intérêt. Le différentiel entre les cartes d'état initial, après l'installation et pendant l'exploitation mettra alors en évidence les zones dans lesquelles le CEM a été significativement modifié par le projet.

Des mesures spécifiques de potentiel électrique peuvent être réalisées pour déterminer si les seuils de sensibilité connus pour certaines espèces électrosensibles (poissons amphihalins et élasmobranches, notamment) sont dépassés et dans quel volume.

### 3.13. Activités humaines

Il serait extrêmement complexe de réunir des données sur toutes les activités humaines existantes dans la zone d'étude d'un projet d'EMR, en particulier pour les activités non encadrées (plaisance, plongée, sports nautiques, etc.). En première approche, on peut donc se focaliser sur deux types d'activités qui sont décrites par des données immédiatement accessibles :

- le trafic maritime peut être caractérisé à partir des données AIS : tous les navires de plus de 16m de longueur sont équipés de transpondeurs pour la sécurité ; cela inclut les navires de transport de fret et de passagers, de travaux maritimes, de pêche industrielle et la grande plaisance ; le Cerema collecte et traite l'ensemble des données dans les eaux françaises à travers le système ENVISIA ;

- les activités de pêche : plusieurs sources de données sont exploitables, avec l'accord de la DPMA (Direction des Pêches Maritimes et de l'Aquaculture) : Système d'Information Halieutique, données VALPENA et volumes des débarquements en criée.

## 4. Synthèse des suivis proposés dans les projets éoliens en mer français

---

*Tableau 10 : Synthèse des suivis proposés dans les projets éoliens en mer français (pages suivantes)*

COMPARTIMENTS	Pressions/ Effets ciblées	NOM DE LA MESURE	St Bri.	St Naz.	Groix	Les 2 îles	Cour.	Féc.	Trép.
Physique	modification des fonds (bathymétrie)	Suivi de l'évolution géophysique des fonds	X		X		X	X	X
		suivi de l'ensouillage des câbles et de leur protection	X		X				
	Modification de l'ambiance sonore sous-marine	Suivis acoustiques des niveaux de bruits sous-marins	X	X	X	X		X	X
		Suivi de la modification du champ électromagnétique et de la température émise par les câbles				X			X
Qualité de l'eau	Turbidité	Suivi de la qualité de l'eau (et de la remise en suspension)	X	X	X		X	X	
	Pollution (rejets d'alu)	Suivi de la qualité des eaux suite à la mise en place d'anodes sacrificielles (sur les bivalves)	X	X			X	X	
		Suivi du rejet d'eau chaude sous la station	X						
Qualité des sédiments	Pollution (rejets d'alu)	Suivi de la qualité des sédiments suite à la mise en place des anodes	X				X	X	
Habitats et espèces benthiques	Modification des communautés	Suivi des communautés benthiques (biosédimentaires)	X	X	X	X	X	X	X
	Modification de l'habitat et suivi du repeuplement	Suivi des habitats benthiques rocheux après la pose des structures (notamment sur les laminaires)			X				
	Pollution (rejets d'alu)	Suivi de l'accumulation des éléments présents dans les anodes sacrificielles dans les espèces vivantes (CSJ notamment)							
	Développement d'espèce invasives	Suivi des crépidules	X						
	Effet récif	Evaluation de l'effet récif (ou biofouling)							
Ichtyofaune		Campagnes de pêche scientifiques aux grands crustacés		X					
		Programme scientifique sur le homard européen		X					
	Modification de la fréquentation/ effet DCP	Suivi de l'ichtyofaune et de l'effet DCP			X				
	Modification de la fréquentation	Suivi des ressources halieutiques et autres poissons	X	X		X	X	X	X
		Suivi de la CSJ	X						
		Veille bibliographique et mise en œuvre de campagnes d'inventaires de la ressource halieutique et des autres peuplements							X
Mammifères marins		Suivi des espèces marines au stade larvaires		X					
	Modification de la fréquentation	Suivi acoustique passive MM	X	X	X	X	X	X	X
	Modification de la fréquentation	Suivi par photo identification	X						

COMPARTIMENTS	Pressions/ Effets ciblées	NOM DE LA MESURE	St Bri.	St Naz.	Groix	Les 2 îles	Cour.	Féc.	Trép.
	Modification des zones fonctionnelles	Suivi télémétrique de phoques veaux marins et gris					X		X
		Protocole de surveillance lors de la phase travaux		X			X	X	
		Suivi visuel opportuniste sur navire de maintenance MM		X					
Mammifères et oiseaux	Modification de la fréquentation	Suivi visuel en mer des MM et OM (bateau et/ou avion)	X			X	X	X	X
Avifaune et chiroptères	Modification de la fréquentation	Suivi de l'avifaune par radar	X			X	X	X	
	Modification de la fréquentation	Suivi de l'avifaune par bateau		X					
	Modification des zones fonctionnelles	Suivi télémétrique Fou de bassan	X						
	Modification des zones fonctionnelles	Suivi GPS individuel des habitats marins des oiseaux susceptibles d'utiliser la zone du parc éolien							X
	Modification des zones fonctionnelles	Suivi télémétrique Puffin des Baléares				X			
	Modification des zones fonctionnelles	Suivi télémétrique des alcidés nicheurs du Cap Fréhel	X						
	Modification des zones fonctionnelles	Suivi télémétrique des mouettes tridactyles					X	X	
	Pas de lien direct avec les effets du parcs	Suivi des colonies d'oiseaux nicheurs à proximité de la zone d'implantation (analyse dynamique des populations d'oiseaux marins nicheurs)	X			X		X	X
	Pas de lien direct avec les effets du parcs	Suivi démographique des grands laridés			X				
	Pas de lien direct avec les effets du parcs	Baguage goélands nicheurs				X			X
	Pas de lien avec les effets du parc	Suivi de la dispersion des poussins d'alcidés par transect bateau	X						
	Collision/ évitement	Programme R&D ORJIP suivi comportement d'évitement par le développement de nouvelles techno (financement)					X		
	Modification des zones fonctionnelles	Suivi comportemental et télémétrique des grands laridés			X	X			
	Modification de la fréquentation des chiroptères	Suivi de l'activité des chiroptères (par écoute : SM2BAT...)	X	X	X	X	X	X	X
Pêche		Suivi de l'impact socioéconomique du projet sur la pêche professionnelle maritime				X			X
		Suivi géophysique de l'enrochement des câbles				X			
Toutes composantes		Mise en place d'un comité de suivi	X						

# Chapitre 3 Etat de l'art sur les méthodes existantes pour l'analyse des effets et impacts cumulés en mer

*Rédacteur :*

*Alan QUENTRIC, Cerema Eau mer et fleuves*

*Léa THIEBAUD, Cerema Eau mer et fleuves*

## Historique des versions du document

Version	Date	Commentaire
0	01/08/17	En cours de rédaction.
0	06/06/18	Version mise à jour et simplifiée.
0	27/06/18	Mise à jour avec la relecture de FEM.
0	14/09/18	Mise à jour et envoi à DEB/DGEC/AFB/FEM

# 1. Traitement des effets et des impacts dans les études d'impacts

---

## 1.1. Effets et impacts cumulés avec d'autres projets

### 1.1.1. *Prise en compte des effets cumulés dans les études d'impact des projets de parcs éoliens en mer posés français*

**Projets étudiés : parcs éoliens offshore de Courseulles/Mer, Saint-Nazaire, Saint-Brieuc, Dieppe-Le Tréport, Yeu-Noirmoutier, Fécamp.**

Comme évoqué précédemment, chaque projet comporte une étude d'impact liée au parc éolien lui-même, mais également au raccordement électrique à terre et aux aménagements portuaires liés aux besoins de maintenance du parc. Pour chaque étude d'impact étudiée, les grands principes de l'analyse demeurent sensiblement les mêmes, selon une progression en différentes étapes successives qui sont rapidement décrites ci-dessous.

#### **1) Identification des projets susceptibles d'avoir des effets cumulés avec le projet étudié**

L'analyse se fonde avant tout sur l'article R122-5 du code de l'environnement, qui précise le contenu de l'étude d'impact, notamment :

« [...] »

5° *Une description des incidences notables que le projet est susceptible d'avoir sur l'environnement résultant, entre autres :*

[...]

*e) Du cumul des incidences avec d'autres projets existants ou approuvés, en tenant compte le cas échéant des problèmes environnementaux relatifs à l'utilisation des ressources naturelles et des zones revêtant une importance particulière pour l'environnement susceptibles d'être touchées. Ces projets sont ceux qui, lors du dépôt de l'étude d'impact :*

- *ont fait l'objet d'une étude d'incidence environnementale au titre de l'article R. 181-14 et d'une enquête publique ;*
- *ont fait l'objet d'une évaluation environnementale au titre du présent code et pour lesquels un avis de l'autorité environnementale a été rendu public.*

*Sont exclus les projets ayant fait l'objet d'un arrêté mentionnant un délai et devenu caduc, ceux dont la décision d'autorisation est devenue caduque, dont l'enquête publique n'est plus valable ainsi que ceux qui ont été officiellement abandonnés par le maître d'ouvrage ; [...] »*

Dans la grande majorité des études d'impact, l'analyse s'appuie sur une liste de projets transmis par les services déconcentrés de l'État (DREAL, DDTM). Cette liste est au besoin complétée par le responsable de l'étude, notamment lorsqu'il a connaissance de projets maritimes frontaliers : c'est le cas pour l'étude du projet de parc éolien de Dieppe-Le Tréport, avec la prise en compte de parcs éoliens

offshore le long des côtes anglaises. Cette liste peut par la suite être circonscrite géographiquement (par exemple, aire d'étude éloignée du projet pour la partie éolienne à Saint-Brieuc, correspondant à la limite des impacts potentiels générés par le parc ; détermination d'un rayon d'impact maximal pour l'aménagement de Port-Joinville (Yeu)).

## **2) Identification des projets retenus pour l'analyse des effets cumulés (nature et concomitance)**

De cette première liste de projets, ne sont retenus que les projets jugés susceptibles d'avoir des effets cumulés avec le projet étudié, c'est-à-dire :

- ayant des effets de même nature
- ayant des effets dont les aires d'influence se rejoignent, ou dont les cibles potentiellement impactées sont mobiles
- ayant des effets sur les mêmes composantes environnementales
- lorsque ces effets sont concomitants.

Cette analyse plus fine conduit à étudier, selon l'étude d'impact consultée, entre un et une trentaine de projets différents. Les projets retenus sont de nature variable :

- autres projets de parcs éoliens en mer ou terrestres
- autres projets EMR hors éoliens
- travaux d'aménagement portuaire, en particulier les dragages et clapages en mer
- extraction de granulats marins
- aménagements littoraux divers.

## **3) Identification du couple type d'effet cumulé potentiel/cible impactée**

Même si la présentation des résultats varie d'une étude à l'autre, la méthode utilisée reste sensiblement la même et consiste à associer à une « cible » environnementale un ou plusieurs effets/impacts potentiels. L'évaluateur fonde son travail sur la bibliographie scientifique existante et sur l'expertise scientifique (à dire d'expert, études réalisées in situ, recours à la modélisation). Parmi les « cibles » ou « compartiments » environnementaux systématiquement étudiés dans le cadre du cumul potentiel d'effets/impacts, on retrouve :

- l'avifaune marine
- les chiroptères
- les mammifères marins/tortues marines/autres grands pélagiques
- les milieux benthiques et leurs peuplements associés
- la ressource halieutique
- la qualité de l'eau.

A titre d'exemple, les effets/impacts associés aux mammifères marins concernent le bruit sous-marin, la présence de champs électro-magnétiques ou le risque de collision avec les navires opérant sur le parc éolien. Concernant la qualité de l'eau, sont essentiellement évoqués l'augmentation de la turbidité ou la contamination par les anodes sacrificielles (relargage de métaux lourds), ainsi que les risques de pollution accidentelle liés à l'augmentation du trafic maritime.

D'autres effets/impacts peuvent également être identifiés, tels que le paysage, l'activité de pêche ou le trafic maritime.

#### 4) Phase durant laquelle l'effet cumulé potentiel est identifié : construction, exploitation, démantèlement

Il est important de déterminer à quel moment du projet l'effet cumulé peut potentiellement se manifester : cette analyse permet notamment de déterminer le caractère ponctuel, temporaire ou permanent de cet effet, ce qui aura des conséquences sur son intensité et son impact potentiel sur l'environnement. Cela peut aussi permettre d'étudier des mesures simples d'évitement / réduction, telles qu'un ajustement de calendrier lorsque les effets cumulés identifiés concernent la phase chantier. L'ensemble des études d'impact consultées s'attache ainsi à préciser à quel moment du projet l'effet cumulé identifié peut potentiellement impacter l'environnement du projet.

Ainsi et à titre d'exemple, l'impact cumulé potentiel sur les mammifères marins lié à la modification de l'ambiance sonore est essentiellement identifié au cours de la phase de travaux (battage des pieux notamment). À l'inverse, l'impact cumulé de surmortalité sur l'avifaune, lié au risque de collision, concerne plutôt la phase d'exploitation du parc éolien offshore.

Effet cumulé identifié	Cible/récepteur	Phase	Projet
Bruit	Mammifères marins et autres grands pélagiques, poissons, avifaune	Travaux	Courseulles/Mer Saint-Brieuc Dieppe-Le Tréport Yeu-Noirmoutier, Fécamp
Champ électromagnétique	Mammifères marins	Exploitation	Courseulles/Mer Dieppe-Le Tréport Yeu-Noirmoutier Fécamp
Photo-attraction	Chiroptères, avifaune	Travaux / exploitation	Saint-Brieuc Courseulles/Mer Fécamp
Collision (pales)	Avifaune, chiroptères	Exploitation	Courseulles/Mer Saint-Brieuc Dieppe-Le Tréport Saint-Nazaire Yeu-Noirmoutier Fécamp
Collision (navires)	Mammifères marins	Travaux / exploitation	Dieppe-Le Tréport Courseulles/Mer
Effet barrière-évitement	Avifaune (migrateurs essentiellement)	Exploitation	Courseulles/Mer Saint-Brieuc Saint-Nazaire Dieppe-Le Tréport Yeu-Noirmoutier Fécamp

Effet cumulé identifié	Cible/récepteur	Phase	Projet
Perte d'habitat d'alimentation	Avifaune, poissons et mammifères marins	Travaux/exploitation	Courseulles/Mer Saint-Brieuc Dieppe-Le Tréport Fécamp
Effet indirect <i>via</i> la chaîne trophique	Avifaune		Courseulles/Mer
Pollution des eaux marines (augmentation de la turbidité, Contamination par les anodes sacrificielles, pollution accidentelle par navires)	Poissons pélagiques, avifaune marine	Travaux / exploitation	Dieppe-Le Tréport Yeu-Noirmoutier
Destruction des habitats marins	benthos	Travaux/exploitation	Dieppe-Le Tréport Yeu-Noirmoutier Fécamp
Variation de température du milieu	Plancton, poissons, crustacés, céphalopodes, habitats/faune et flore benthiques	Exploitation	Dieppe-Le Tréport
Pollution visuelle	Paysage	Exploitation	Saint-Nazaire Dieppe-Le Tréport Yeu-Noirmoutier
Perte de surface de pêche	Activité pêche	Travaux / exploitation	Dieppe-Le Tréport Saint-Brieuc Yeu-Noirmoutier

Tableau 11 : liste des couples cible / récepteur identifiés dans les différentes études d'impact consultées et la phase du projet pour laquelle ils sont susceptibles de se manifester

### 5) Caractérisation du niveau de cumul attendu : nul, négligeable, moyen, fort... Et éventuellement de sa durée (temporaire, permanent)

C'est certainement l'étape la plus délicate de l'analyse. L'absence de recul et de connaissances suffisants conduisent bien souvent à des appréciations peu étayées, à dire d'expert, concluant sur des niveaux de cumul négligeables ou faibles. La présentation de l'analyse varie d'une étude à l'autre, il peut s'agir de paragraphes rédigés, souvent par compartiment potentiellement impacté, ou de présentations sous forme de tableau, voire une association des deux.

### 6) Mesures éventuellement prévues pour atténuer ces effets cumulés potentiels

L'analyse des études d'impact ne fait pas apparaître de mesures spécifiques vis-à-vis d'effets cumulés potentiels. Néanmoins, des mesures prises en faveur d'une meilleure prise en compte de l'environnement dans le cadre de la séquence ERC, sont évoquées comme susceptibles de contribuer à limiter le risque de cumul d'effets. On peut ainsi citer des mesures de réduction des impacts acoustiques en faveur des mammifères marins (prévues notamment pour Courseulles-sur-Mer, Dieppe – Le Tréport, Yeu – Noirmoutier), ou la mise en place de mesures compensatoires en faveur de

l'augmentation du succès reproducteur des colonies de goélands nicheurs locaux (mesure évoquée pour le parc d'Yeu – Noirmoutier).

### 1.1.2.Éolien flottant : le projet de ferme pilote de Groix / Belle-Ile

Au regard du nombre d'éoliennes prévues dans ce projet pilote (quatre), l'analyse des incidences est plus limitée par rapport aux projets vus dans le chapitre précédent.

De la même manière que précédemment, à partir d'une première liste des projets en cours mais dont l'activité n'a pas encore commencé (sept), ceux dont les effets sont du même type que ceux du projet, qui peuvent se cumuler dans le temps et dans l'espace sont analysés : cette analyse conduit à ne retenir, pour la partie marine du projet, que le projet de parc éolien offshore posé de Saint-Nazaire. Les phases de construction et d'exploitation sont distinguées. L'étude d'impact met ainsi en évidence les effets/impacts cumulés potentiels suivants :

Effet identifié	Effet cumulé	Cible/récepteur	Phase	Caractérisation de l'impact cumulé
Perturbation acoustique		Mammifères marins	Travaux	négligeable
Collision		Avifaune, principalement grands laridés	Exploitation	négligeable

Tableau 12 : effets/impacts cumulés potentiels dans l'étude d'impact de Groix Belle Ile

### 1.1.3.Projets hydroliens du Fromveur et du Raz Blanchard

- Implantation d'un démonstrateur hydrolien dans le chenal du Fromveur

L'étude d'impact, produite en mars 2011, n'évoque pas la problématique des effets cumulés.

- Projets Nephtyd et Normandie Hydro dans le Raz Blanchard

#### Nephtyd

L'étude d'impact identifie six projets susceptibles de générer des effets cumulés avec le projet étudié. S'appuyant sur les études d'impact de chaque projet, l'étude s'attache à identifier les effets cumulés du projet vis-à-vis de chacun de ces six projets, un à un.

Projet étudié	Effet cumulé potentiel	Phase	Caractérisation de l'impact cumulé
Parcs éoliens en mer de Fécamp, Courseulles-sur-Mer et Saint-Brieuc	Pas d'effet cumulé attendu		

Projet de remplacement du câble électrique (« Normandie 1 ») sous-marin entre la France et Jersey	Pas d'effet cumulé attendu		
Projet de modification de l'installation nucléaire de base (INB) n°116 de l'établissement AREVA NC de la Hague	Trafic routier et nuisances sonores	Travaux	négligeables
Projet Flamanville 3	Pas d'effet cumulé attendu		

Tableau 13 : Effets cumulés potentiels entre projet dans la région de la Hague

### Normandie Hydro

L'analyse se fonde sur les projets portés à la connaissance du maître d'ouvrage par les services de l'État. La méthodologie est précisée dans le chapitre dédié à l'analyse des effets cumulés :

- état d'avancement du projet et avis de l'autorité environnementale ;
- concomitance éventuelle des travaux et/ou de l'exploitation ;
- description du type d'effets et d'impacts qui ressortent de l'étude d'impact environnemental des différents projets ;
- rayon d'influence de l'effet, selon le compartiment touché.

Ce premier travail conduit à retenir deux projets pour l'analyse :

- le projet de modification de l'installation nucléaire de base (INB) n°116 de l'établissement AREVA NC de la Hague ;
- le projet d'EPR de Flamanville.

L'analyse conclut par l'absence d'effet cumulé entre le projet Normandie Hydro et ces deux projets.

## 1.2. Addition et interactions des effets/impacts au sein du projet

Le cumul des effets et des impacts générés par un seul projet est également étudié dans l'étude d'impact. Il est analysé sous différents angles :

- addition des effets sur une même composante du milieu ;
- addition d'un effet sur plusieurs composantes d'un même milieu ;
- interaction des effets entre eux .

Cette analyse est basée sur le tableau présentant la synthèse des effets sur les composantes du milieu dans lequel est reporté les niveaux d'impacts pour chaque composante. On s'intéresse d'une part à l'identification des composantes environnementales soumises à un cumul d'effets au sein de chacun des milieux puis à l'interaction des principaux effets entre ces milieux.

- Addition des effets / impacts

Les composantes de l'environnement (cibles potentielles) sont répertoriées pour chaque milieu : le milieu physique, le milieu naturel...

Composantes \ Effets du projet	Effets du projet			
	Effet 1	Effet 2	Effet 3	...
Composante 1	Négligeable	Négligeable	Négligeable	...
Composante 2	Fort	...	...	...
Composante 3	Moyen	...	...	...
...	...	...	...	...

↓

Addition d'un effet sur plusieurs composantes

Addition des effets sur une même composante

Tableau 14 : Evaluation de l'addition d'un effet sur plusieurs composantes d'un même milieu

- Interaction des effets / impacts

Les composantes étudiées sont : le milieu physique, le milieu naturel, l'humain, la sécurité...

Principaux effets du milieu B	Principaux effets du milieu A			
	Effet A1	Effet A2	Effet A3	....
Effet B1	Oui	....	....	....
Effet B2	Non	....	....	....
Effet B3	-		....	....
....	....	....	....	....

**Oui** : interaction observée entre les effets considérés - **Non** : pas d'interaction observée entre les effets considérés - : effet identique sur les deux milieux (interaction non étudiée)

Tableau 15 : Evaluation de l'interaction des effets sur plusieurs milieux

## 2. Méthodologies pour l'évaluation des effets et des impacts cumulés en mer

---

On distingue dans cette partie les méthodes quantitatives, dont l'objectif est de pouvoir caractériser et localiser le niveau d'impact, des approches plus qualitatives, qui cherchent à établir le lien entre les activités, leurs effets et les éventuels impacts qu'elles sont susceptibles d'engendrer sur le milieu marin. En tout état de cause, l'approche qualitative est un préalable à la quantification des effets et des impacts. Cette revue n'est pas exhaustive mais rend compte des méthodes les plus documentées.

### 2.1. Méthodes quantitatives et semi-quantitatives

#### 2.1.1. Méthodes développées en Europe

- Comparaison de trois méthodes dans le cadre des travaux menés au sein de la convention Oslo-Paris (OSPAR)

Plusieurs travaux menés en Europe ont permis de développer des méthodes et des outils pour une évaluation des effets et des impacts cumulés sur le milieu marin. Parmi ces méthodes, le groupe de travail ICG-C (Intersessional Correspondence Group on Cumulative Effects) de la convention OSPAR (Convention for the Protection of the Marine Environment of the North-East Atlantic) en a évalué trois :

- la méthode développée dans le cadre du projet HARMONY (Danemark, Allemagne, Norvège et Suède), basée sur les travaux menés par Halpern (2008) ;
- la méthode CUMULEO : CUMULative Effects of Offshore activities (Pays-Bas) ;
- la méthode ODEMM : Options for Delivering Ecosystem-Based Marine Management (Grande-Bretagne) ;

Ces méthodes ont toutes pour objectif d'estimer la distribution spatiale et l'ampleur des pressions anthropiques et des impacts sur l'écosystème marin dans le cadre de la DCSMM. Les liens entre les activités, les pressions qu'elles génèrent et les cibles potentiellement impactées sont un préalable à la caractérisation des impacts et peuvent être schématisés de la manière suivante :

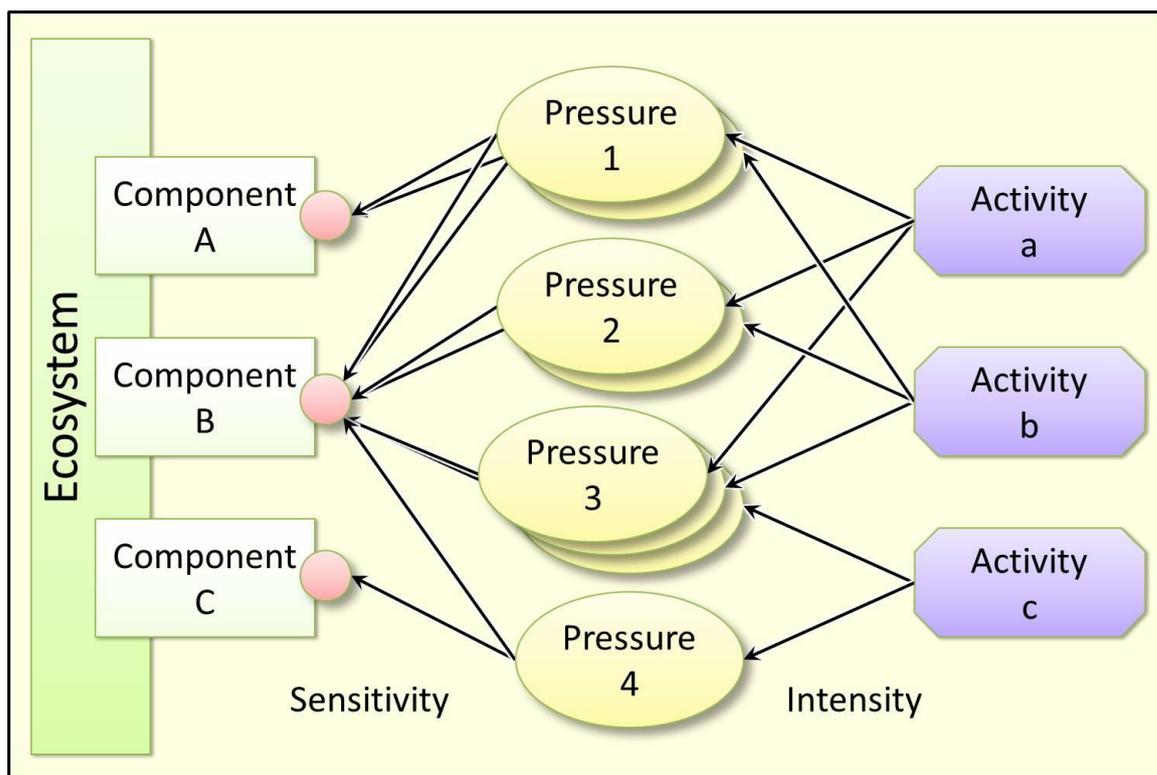


Figure 40 : Schéma illustrant les principes de la méthode CUMULEO (source : rapport OSPAR 2015)

## Principe

Les méthodes et outils développés pour évaluer les impacts cumulés des projets en mer consistent à superposer des données géomatiques descriptives des écosystèmes et des pressions. À l'intérieur de chaque maille définie, d'une superficie de l'ordre d'un ou deux kilomètres carrés, un calcul est effectué permettant de croiser les couches de données et les informations nécessaires à l'analyse. Ce calcul intègre les résultats d'une matrice définissant le niveau d'impact issu de l'interaction entre la sensibilité des écosystèmes étudiés et le niveau de pression. Ces méthodes :

- nécessitent des données SIG sur les pressions et les composantes de l'écosystème ;
- utilisent une échelle d'estimation des impacts d'une pression sur une composante de l'écosystème ;
- appliquent des méthodes voisines pour additionner les impacts dans une unité géographique définie au départ (on parlera aussi de maille).

La prise en compte des trois aspects « activité – pression – écosystème » permet de répondre aux questions suivantes :

- Quelles sont les zones où de nombreuses activités humaines coïncident, à de hautes intensités ?
- Quelles sont les zones où de nombreuses pressions coïncident, à de hautes intensités ?
- Quelles sont les zones où on peut s'attendre à des impacts cumulés notables ?

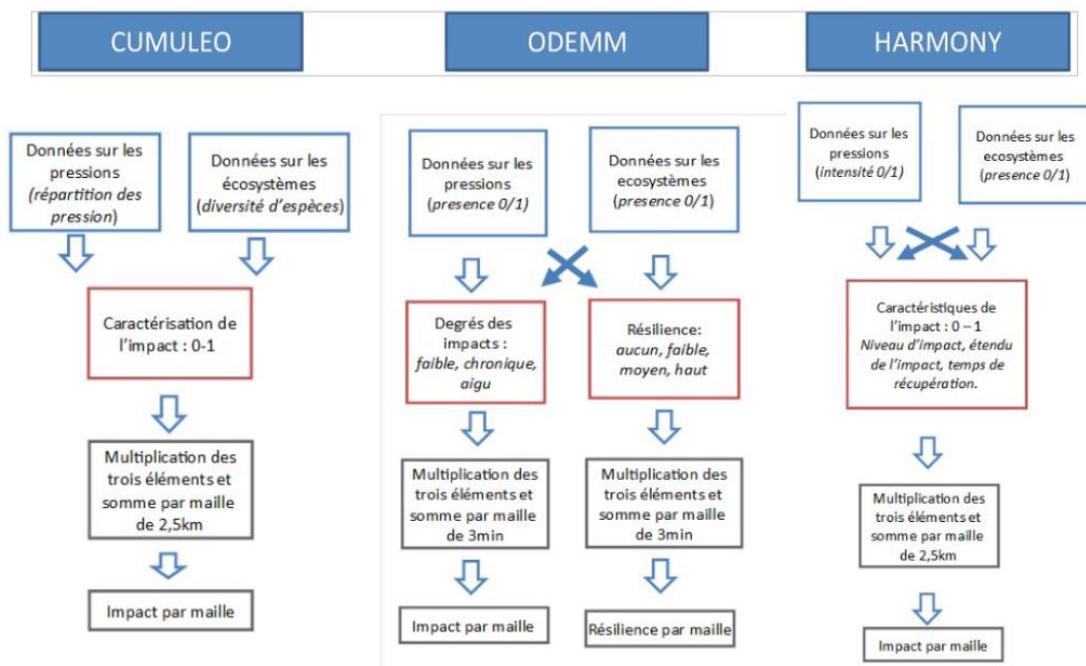


Figure 41 : Figure extraite et traduite du rapport OSPAR présentant de manière simplifiée les trois méthodes d'évaluation des effets cumulés. Les couleurs montrent les étapes similaires dans les processus.

## Différences entre méthodes

Bien que ces méthodes soient assez proches dans leur conception, des différences ont pu être mise en évidence sur la manière de :

- sélectionner les pressions ;
- déterminer l'intensité des pressions ;
- d'estimer les impacts ;
- additionner les impacts.

## Limites

Cependant, ces méthodes ne permettent pas de prendre en compte les multiples liens qui peuvent exister entre activités et pressions (une pression peut être issue de plusieurs activités, une activité peut causer plusieurs pressions) et entre pressions et composantes de l'écosystème (une pression peut affecter plusieurs composantes de l'écosystème, une composante de l'écosystème peut être impactée par plusieurs pressions).

L'analyse de ces trois méthodes a mis en évidence quelques limites communes. La plus significative concerne l'absence de procédure pour la sélection des données de pression et des données sur les composantes de l'écosystème. Les méthodes étant basées sur ces données d'entrée, elles ont une influence considérable sur le résultat de l'évaluation finale. Parmi les écueils évoqués figurent l'hétérogénéité des données disponibles ou une trop grande importance potentiellement accordée à une problématique d'actualité.

Néanmoins, les auteurs du rapport d'évaluation de ces trois méthodes les considèrent de qualité équivalente, chacune ayant des atouts et des faiblesses identifiés à travers les critères d'évaluation retenus. Depuis la réalisation de cette étude, le groupe de travail ICG-C a renoncé à proposer une méthode unique pour l'évaluation des effets cumulés et s'oriente vers une évaluation basée sur les indicateurs OSPAR existants (2.2).

- Évaluation menée dans le cadre de la Convention d'Helsinki (HELCOM)

Source : <http://stateofthebalticsea.helcom.fi/cumulative-impacts/>

Dans le cadre de la convention pour la protection de l'environnement en Mer Baltique, une première évaluation initiale de l'environnement a été réalisée en 2010, sur la base des travaux menés par Halpern (2008). Une nouvelle évaluation a été réalisée en 2017 sur les mêmes fondements, profitant des avancées obtenues dans le cadre de programmes connexes, notamment Harmony.

L'évaluation des effets cumulés repose sur un indice d'impacts (Baltic sea impact index ou BSII), issu de données géoréférencées de différentes natures :

- pressions humaines
- composantes de l'écosystème
- indices de sensibilité, traduisant l'impact potentiel de chaque pression sur chaque composante de l'écosystème.

Le BSII est ainsi obtenu par la somme des impacts potentiels par unité d'évaluation, en l'occurrence la maille du SIG préalablement définie (1 km<sup>2</sup>).

Le protocole global d'évaluation est résumé en douze grandes étapes :

- 1) définition de la zone d'étude
- 2) inventaire des activités humaines et des pressions
- 3) inventaire et description des composantes écosystémiques
- 4) définition de l'échelle temporelle (ici, données collectées entre 2011 et 2016)
- 5) collecte des jeux de données, sur la base des étapes 2 et 3
- 6) élaboration des couches SIG correspondantes
- 7) agrégation des couches de données sur les pressions
- 8) définition de la résolution spatiale
- 9) estimation de la sensibilité des habitats et des espèces (fondée sur la littérature scientifique existante et à dire d'expert)
- 10) Calcul de l'indice d'impacts
- 11) Présentation des résultats : sous forme de cartes, mais également de graphiques
- 12) Validation des résultats, en vérifiant notamment leur cohérence avec d'autres travaux d'évaluation en mer baltique.

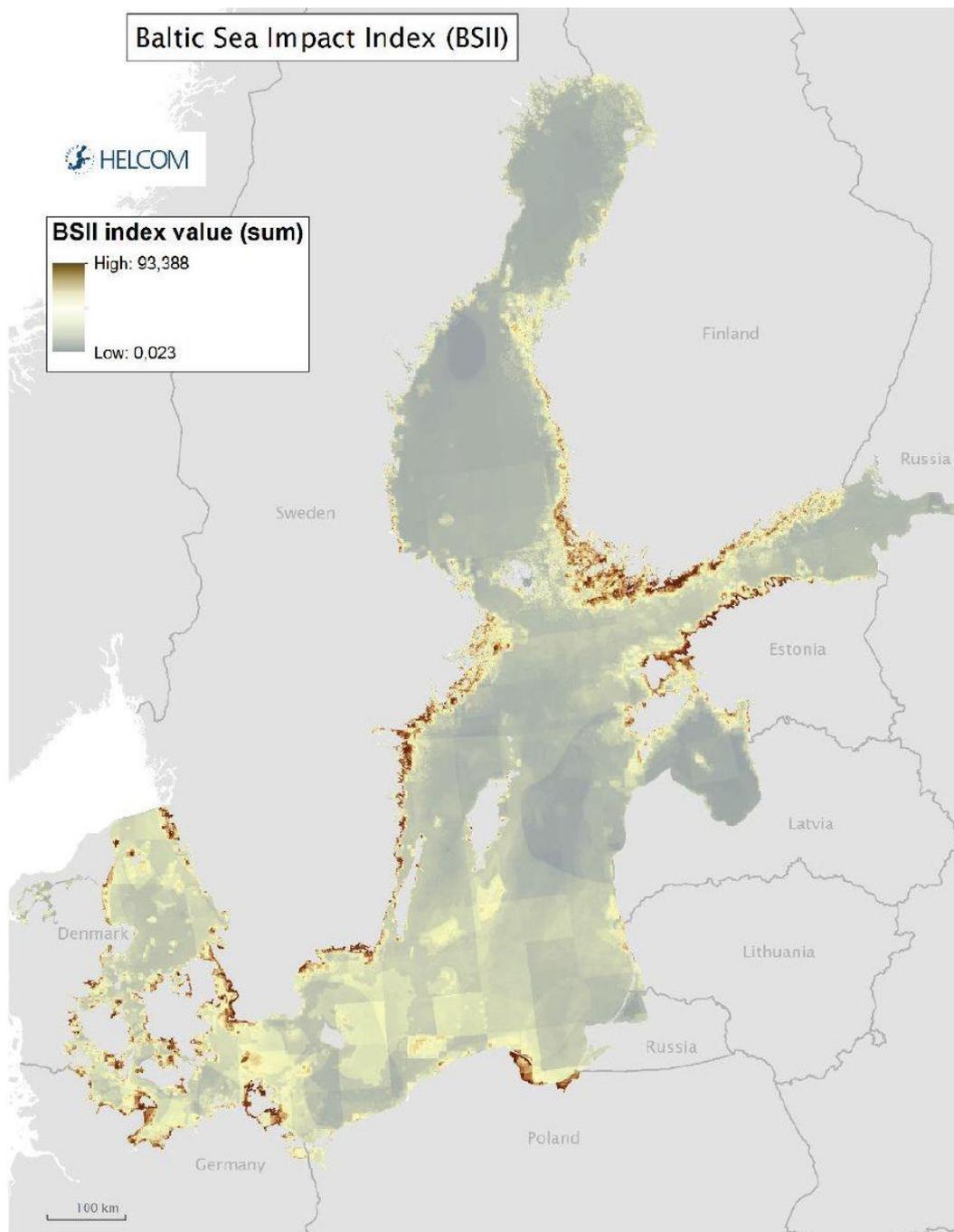


Figure 42 : représentation cartographique du BSII issu de l'évaluation 2017 des effets cumulés en mer baltique (source : rapport d'évaluation HELCOM 2017)

Le rapport d'évaluation met en évidence quelques limites de cette méthode, parmi lesquelles l'hétérogénéité des données utilisées (qualité et quantité), ainsi que l'absence de prise en compte des interactions des effets entre eux. En effet, le BSII repose sur la somme des impacts, qui bien souvent agissent de manière synergique. Les auteurs rappellent ainsi que les résultats obtenus constituent une estimation des impacts cumulés, qui pourra être affinée au fur et à mesure des progrès de la connaissance.

- L'outil suédois SYMPHONY

Source : <https://www.havochvatten.se/en/swam/eu-international/marine-spatial-planning/symphony---a-tool-for-ecosystem-based-marine-spatial-planning.html>

Cet outil a été développé par la Swedish Agency for Marine and Water Management, sur la base là encore des travaux menés par Halpern et son équipe en 2008. Elle est opérationnelle depuis 2017. L'objectif consiste à identifier les points d'enjeu dans la planification maritime et montrer où les écosystèmes sont les plus sensibles. L'analyse des impacts cumulés est en effet considérée comme déterminante dans l'évaluation de l'état des écosystèmes marins.

La méthode peut être résumée en 5 étapes :

1) réalisation de cartes de distribution des composantes de l'écosystème, basées sur des compilations de données déjà existantes ;

2) réalisation de cartes de pressions sur le milieu marin, montrant l'étendue spatiale des pressions anthropiques ;

3) constitution d'une matrice décrivant la sensibilité des composantes de l'écosystème à chaque pression. Cette matrice de sensibilité est basée sur des dires d'expert, collectés par questionnaires envoyés auprès des spécialistes des disciplines concernées ;

4) calcul du niveau d'impact, pour chaque unité géographique définie (en l'occurrence des mailles de 250 mètres de côté), en additionnant ou moyennant l'effet de toutes les pressions sur toutes les composantes de l'écosystème, en tenant compte de la sensibilité de chaque composante à chaque pression ;

5) application à l'exercice de planification et itérations : le résultat est interprété et recalculé pour les différentes options de planification afin de comparer les alternatives et identifier les meilleures options.

Le développement de SYMPHONY par les autorités suédoises a permis d'identifier 25 composantes écosystémiques et 30 pressions distinctes.

### *2.1.2. Projet Carpe Diem développé par l'Agence française pour la biodiversité*

*Source : présentation de Carpe Diem transmis par l'AFB*

L'AFB a initié en 2016 le projet Carpe Diem, visant à développer un outil cartographique permettant la représentation spatiale des compartiments de l'écosystème, des activités et des pressions pour identifier des zones « à risques » où coexistent des pressions et des habitats benthiques sensibles à ces pressions.

Les traitements de données sont basés sur :

- une matrice « activités – pressions »

- une matrice « pression – impacts », élaborée par le Muséum National d’Histoire Naturelle (MNHN), qui décrit la sensibilité théorique de chaque habitat benthique aux pressions considérées.

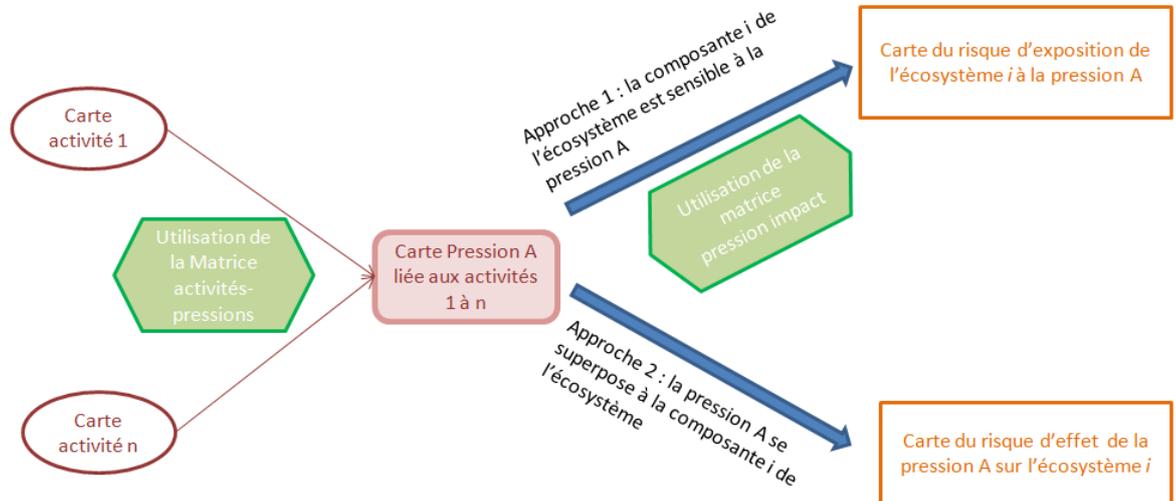


Figure 43 : principe de cartographie d’une pression générée par plusieurs activités, puis de la cartographie des risques, selon qu’on dispose des connaissances sur la sensibilité (approche 1) ou qu’on n’en dispose pas (approche 2) (source : AFB).

L’AFB propose deux approches représentant :

- **Approche 1** : les risques d’impacts cumulés (nommés effets concomitants par l’AFB) pour les habitats benthiques (utilisation d’une matrice « pression – impacts » qui définit le niveau d’impact en croisant le niveau de pression et la sensibilité des habitats) ;

#### Approche 1 pour plusieurs pressions

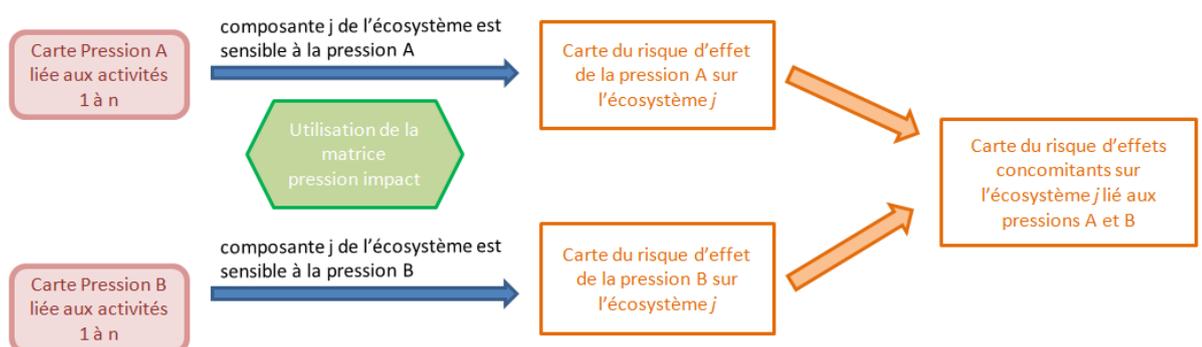


Figure 44 : principe de cartographie des risques d’effets concomitants liés à plusieurs pressions. (source : AFB)

- **Approche 2** : les risques d’exposition à des pressions cumulées (nommées pressions concomitantes par l’AFB) pour les habitats benthiques ;

## Approche 2 pour plusieurs pressions

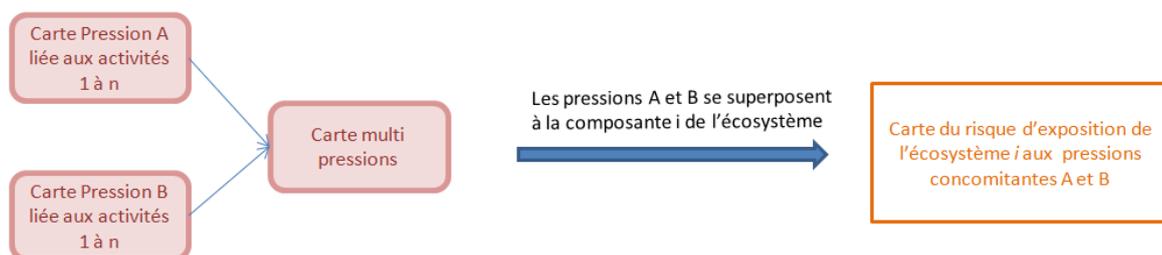


Figure 45 : principe de cartographie des risques d'exposition à plusieurs pressions sur un écosystème. (source : AFB)

En disposant des données SIG nécessaires et des matrices « pression – impacts » pour d'autres espèces / habitats, la méthode du projet Carpe Diem pourrait être extrapolée pour réaliser une analyse globale des pressions et des impacts cumulés.

## 2.2. Méthode qualitative adoptée par OSPAR : l'approche « nœud papillon »

Source : site OSPAR

Dans le cadre de son bilan de santé périodique, OSPAR souhaite fonder son analyse des effets cumulés en Atlantique Nord-Est sur les travaux thématiques en cours et les indicateurs déjà développés. Si la revue des méthodologies évoquées plus haut a permis d'identifier des outils adaptables aux indicateurs OSPAR, une approche flexible et simple permettant de conjuguer ces outils est privilégiée : il s'agit d'une analyse dite « nœud papillon ». Cette approche vise à identifier et évaluer l'importance des effets liés aux activités humaines, en proposant une compréhension claire des causes et conséquences des pressions pouvant avoir un impact sur le milieu marin.

Une analyse nœud papillon est « une représentation schématique simple pour décrire et analyser les voies d'un risque, des dangers aux résultats, et examiner les contrôles » (ISO 31 000). Cette approche est illustrée ci-dessous, la pression étant représentée par le nœud, les facteurs de causalité énumérés à gauche et les conséquences énumérées à droite. Des contrôles peuvent être insérés pour agir sur tout lien possible entre les causes, la pression et ses conséquences potentielles.

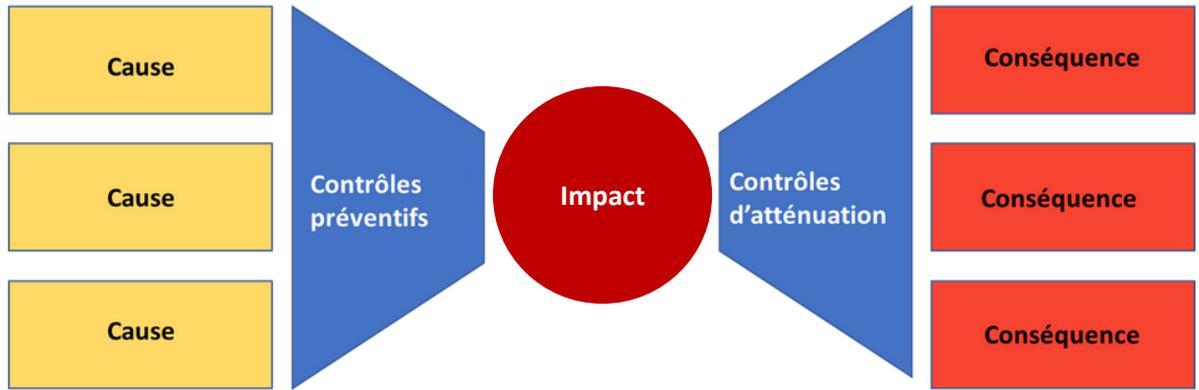


Figure 46 : analyse nœud papillon (source : OSPAR)

Un exemple identifiant des points potentiels de cumul entre des nœuds papillon pour deux indicateurs liés aux sédiments marins (étain organique dans les sédiments et dégradation du fond marin) est représenté en Figure 47.

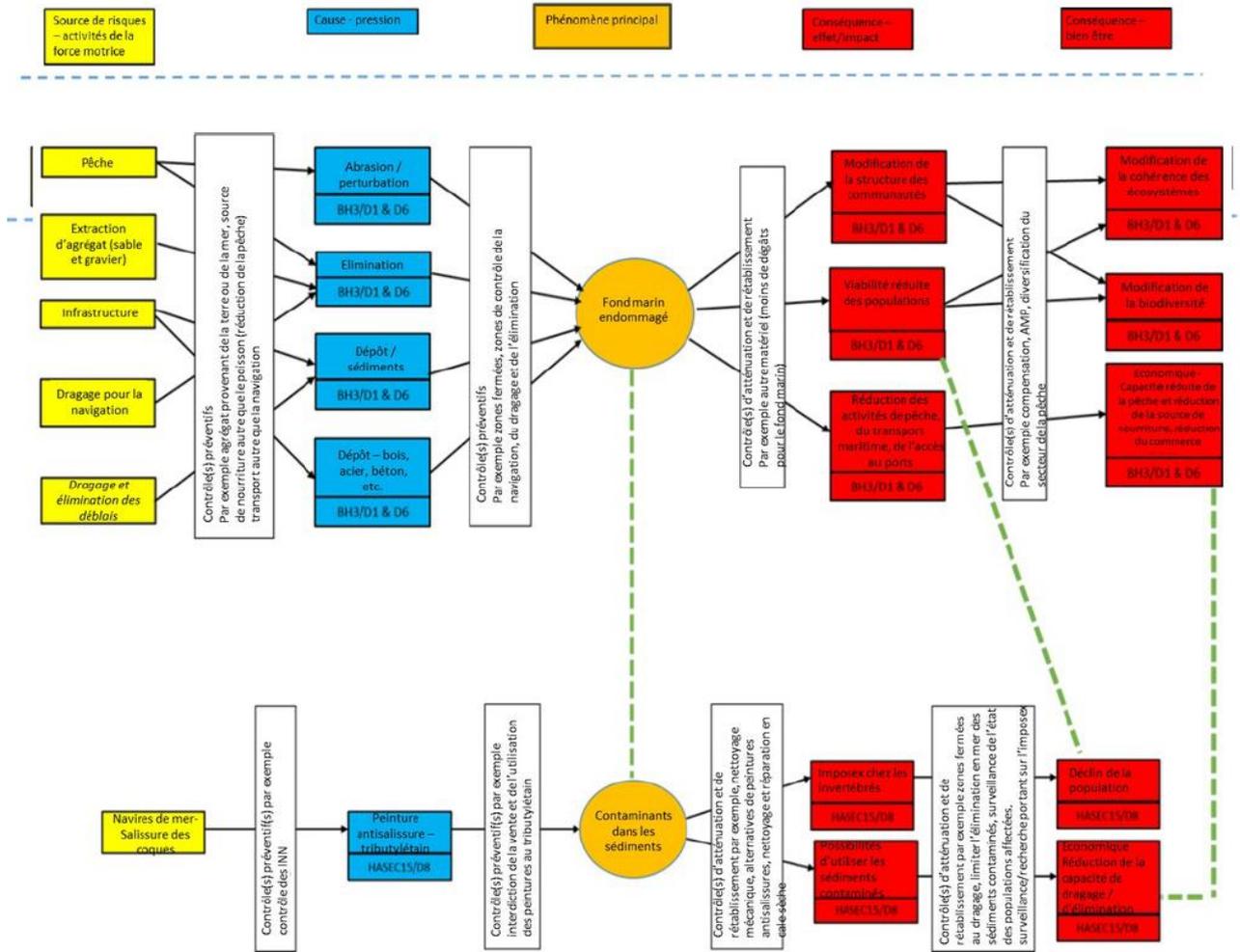


Figure 47 : analyse nœud papillon appliquée à la dégradation des fonds marins et à la contamination dans les sédiments, pour plusieurs activités en mer (source : OSPAR)

Une fois ce travail effectué, la présentation des résultats peut prendre la forme d'une carte, d'un graphique ou tout autre outil adapté.

## 2.3. Etudes de cas OSPAR

*Source : Site OSPAR*

Les Pays-Bas ont entrepris deux études de cas connexes de l'évaluation des effets cumulés se penchant sur les effets des activités humaines sur le marsouin commun.

### *2.3.1. Évaluation des effets cumulés sur les populations de marsouin commun*

La première étude présente un cadre de travail général sur la méthode d'évaluation des effets cumulés de toutes les pressions (les plus pertinentes) exercées sur les populations de marsouin commun. Des interactions éventuelles entre les diverses combinaisons de pressions / effets risquent d'amplifier ou de réduire les effets potentiels. Les flèches allant des pressions vers les effets indiquent qu'une pression peut avoir des effets multiples mais également qu'un certain type d'effet pourrait résulter de pressions multiples.

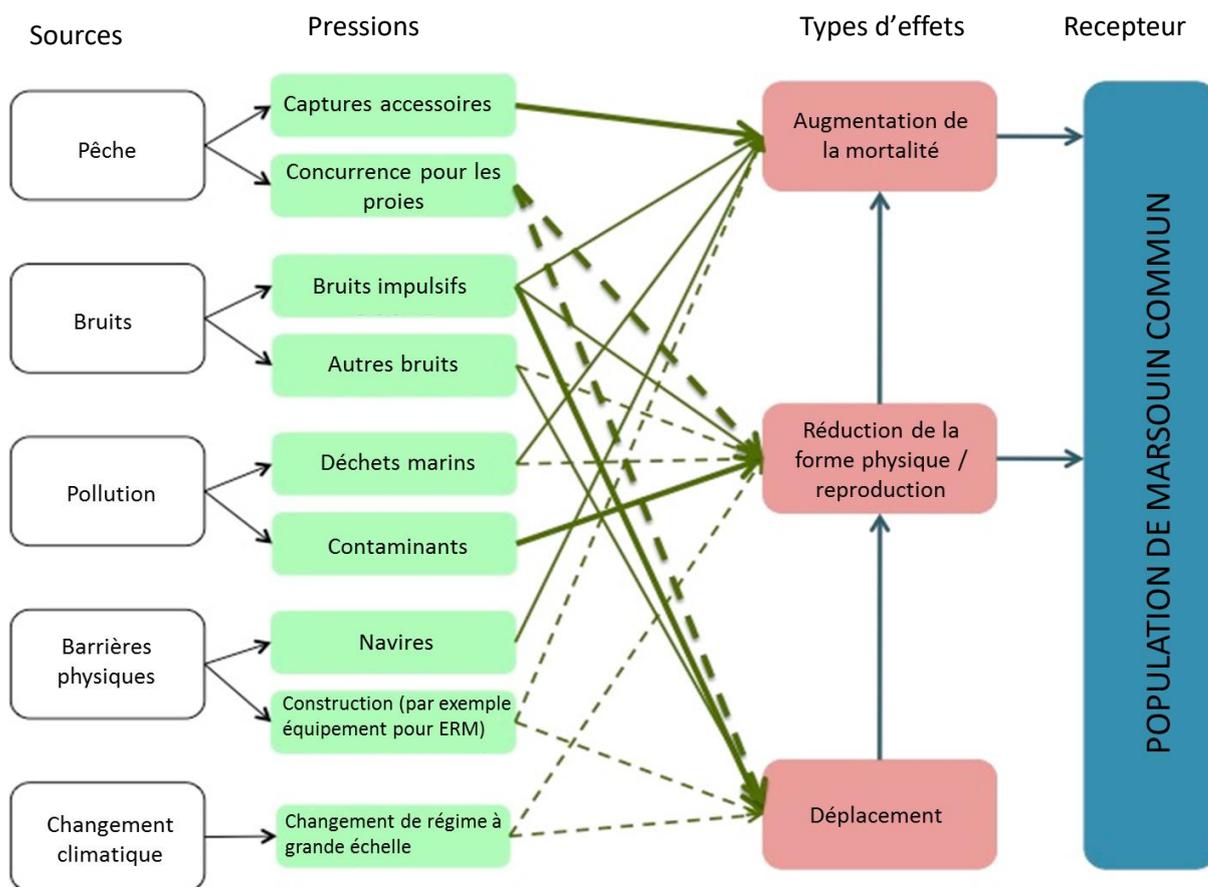


Figure 48 : présentation simplifiée des sources, pressions (ponctuelles ou dispersives) et voies d'exposition dans une évaluation des effets cumulés sur le marsouin commun

### 2.3.2.Évaluation des effets cumulés des bruits impulsifs sur les mammifères marins

Source : site OSPAR

Dans la deuxième étude de cas, l'étude des effets cumulés des bruits impulsifs sur les populations de marsouin commun en mer du Nord est réalisée en plusieurs étapes :

- 1) Quantifier la propagation des bruits sous-marins
- 2) Déterminer la zone affectée par les bruits sous-marins : paramètres des effets et valeurs seuils
- 3) Quantifier le nombre d'animaux affectés
- 4) Calculer le nombre de « journées de perturbation des animaux »
- 5) Évaluer l'impact possible sur la population
- 6) Évaluer les effets cumulés des projets / sources de bruits impulsifs sous-marins multiples.

## 2.4. Forces et faiblesses des méthodes pour l'analyse des effets cumulés

Source : *Étude de cas OSPAR sur les effets cumulés : évaluation des méthodes et analyse de leurs résultats – Janvier 2015*

Les forces ou faiblesses d'une méthode d'évaluation d'effets cumulés résident dans :

**1) La crédibilité scientifique des hypothèses ou affirmations utilisées.**

**2) Le choix de la résolution spatiale selon le but de l'évaluation d'effets cumulés.**

**3) L'adaptabilité des différents formats de données d'entrée**

Exemple : identification des types de pressions correspondant à différentes activités, possibilité d'utilisation de données réelles ou d'extrapolation à partir de certaines données.

**4) La transparence**

Exemple : possibilité, pour les lecteurs de l'évaluation des effets cumulés, de comprendre la cause d'un impact notable dans une zone ; possibilité pour un lecteur scientifique de comprendre comment l'impact d'une pression a été estimée ; accessibilité de l'information sur les différentes étapes de la méthode ; argumentation sur les estimations présumées et leurs limites

**5) La clarté**

Exemple : résultats suffisamment clairs pour être communiqués et compréhensibles par tout public.

**6) La prise en compte de l'aspect temporel**

Exemple : modalités de prise en compte des pressions variant dans leur occurrence et dans leur durée par rapport à la sensibilité variable des espèces selon leurs modes de vie quotidiens ou annuels.

**7) La flexibilité selon les objectifs de l'évaluation**

Exemple : possibilité d'adapter la méthode pour l'insertion d'actualisation de données pour les cartes d'habitats, l'ajout de nouvelles pressions ou de nouvelles composantes de l'écosystème, les modifications d'estimations ; possibilité d'utiliser la méthode pour des scénarios variés.

**8) L'efficacité de la méthode**

Exemple : mise en œuvre de la méthode suffisamment aisée, à un coût raisonnable : elle peut être automatisée et applicable par différents opérateurs.

## 2.5. CEAF : Common Environmental Assessment Framework

### 2.5.1. Genèse du groupe de coopération européen CEAF

Initiative de Copenhague en 2016 : une déclaration politique de coopération sur l'énergie a été signée entre les pays de la Mer du Nord sur la base du volontariat le 6 juin 2016, à la suite de l'accord de Paris sur le Climat de 2015.

Il s'agit donc d'une coopération entre sept pays : Allemagne, Belgique, Danemark, France, Norvège, Pays-Bas et Royaume-Uni (Irlande en observateur actif) au sein d'un forum intergouvernemental (IGF) qui s'intéresse aux conséquences environnementales du développement de l'énergie éolienne marine. Après plusieurs réunions, il a été décidé d'adopter un cadre commun, appelé CEAF (Common Environmental Assessment Framework).

### 2.5.2. Objectifs

Dans le cadre d'un effort conjoint de partage de données et de connaissances, les objectifs sont de définir une méthode commune permettant d'évaluer les impacts environnementaux cumulés des parcs éoliens en mer dans la zone définie par la mer du Nord (approche transfrontalière) et ainsi contribuer au développement et la mise en place effective de projets d'énergie marine renouvelable (EMR).

Le CEAF a étudié plusieurs méthodes disponibles pour étudier différentes pressions, générées par les EMR. Le projet SEANSE (Strategic Environmental Assessment North Sea Energy) met en œuvre ces méthodes dans des études de cas pratiques afin de tester et d'améliorer le cadre d'évaluation établi. Ces études de cas s'appuient sur des données et des modèles préexistants et disponibles afin de pouvoir partager des résultats à tous les participants fin 2019. Les résultats obtenus serviront de base pour établir des recommandations et pistes d'amélioration visant à préserver l'écosystème de la zone.

- Le CEAF se veut comme un outil pour la prise de décision.
- Durée du projet : deux ans (février 2018 – février 2020)

### 2.5.3. Travaux et résultats attendus

L'ambition du CEAF est de développer une approche systémique de la chaîne cause-effet-impact, en suivant le cadre DPSIR (Drivers, Pressures, State, Impact, Response).

Le groupe de travail du CEAF s'est d'abord intéressé à vingt espèces, sur lesquelles les parcs éoliens ont un impact jugé important. En affinant la méthodologie, six espèces<sup>1</sup> ont été conservées au cours de l'étude :

- marsouin commun (*Phocoena phocoena*), mammifère marin
- mouette tridactyle (*Rissa tridactyla*), oiseau marin
- goéland brun (*Larus fuscus*), oiseau marin
- plongeon catmarin (*Gavia stellata*), oiseau marin
- guillemot de Troïl (*Uria aalge*), oiseau marin

---

<sup>1</sup> - Pour plus d'information, consulter le document « *A prioritised selection of representative species potentially vulnerable to effects of installing and/or operating offshore windfarms in the North Sea/Irish Sea region : a proposal* », CEAF.

- pipistrelle de Nathusius (*Pipistrellus nathusii*), chauve-souris

Ces espèces ont été sélectionnées car :

- elles présentent une relation cause-effet potentielle au regard de toutes les phases de développement d'un parc éolien en mer ;
- elles sont reconnues comme étant sources d'intérêt par au moins deux pays participants ;
- elles ont déjà été étudiées ou au contraire représentent un moyen de combler un manque de données.

Conformément à la directive 2017/845 DE de l'Union Européenne<sup>1</sup> relative aux pressions anthropiques en milieu marin, les trois pressions étudiées sont :

le bruit sous-marin (apports de sons anthropiques)

le risque de collision (mortalité/blessures infligées à des espèces sauvages) |

la perte d'habitat (perturbation des espèces due à la présence humaine).

Afin de quantifier l'impact, chaque espèce est associée à la pression qu'elle subit de manière importante. Par exemple, le bruit sous-marin a un fort impact sur le marsouin commun.

Le groupe de travail du CEAF étudie alors plusieurs méthodes qui peuvent être utilisées pour étudier l'impact de la pression qui touche l'espèce considérée. Pour chaque pression, plusieurs étapes requièrent l'application de plusieurs méthodes pour évaluer l'impact. Ces méthodes sont actuellement utilisées dans le projet SEANSE. Les premiers résultats sont attendus fin 2019.

Tous ses modèles et méthodes font l'objet de fiches.

#### *2.5.4. Lien avec les travaux du groupe de travail ECUME*

Les modèles et méthodes de cumul des impacts listés dans le rapport rédigé par le Royal Haskoning DHV seront individuellement étudiés par les experts du groupe de travail ECUME. Les conclusions seront alors consignées dans les fiches cible/effet préparées par l'INERIS.

Les résultats des travaux CEAF/SEANSE permettront d'émettre des recommandations concrètes mais aussi de permettre éventuellement une application à la France, en considérant les données françaises disponibles.

#### *2.5.5. Documents associés à ce GT*

- Rapport du bureau d'études Royal Haskoning DHV, intitulé : « Inventory and assessment of models and methods used for describing quantifying and assessing cumulative effects of offshore wind farms », 3 mai 2018 et annexe 2 qui recense les méthodes disponibles et utilisées dans le cadre du CEAF

---

<sup>1</sup> - Plus d'information ici :

<https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000035602501>

- Présentation de Leo de Vrees, coordinateur du projet, sur SEANSE, comme une aide pour les projets d'énergie renouvelable en mer. Ministère de l'infrastructure et du management de l'eau aux Pays-Bas. Disponible ici : [https://www.msp-platform.eu/sites/default/files/leo-de-vrees\\_-netherlands-seanse.pdf](https://www.msp-platform.eu/sites/default/files/leo-de-vrees_-netherlands-seanse.pdf)

1 - Pour plus d'information, consulter le document « A prioritised selection of representative species potentially vulnerable to effects of installing and/or operating offshore windfarms in the North Sea/Irish Sea region : a proposal », CEAF.

2 - Plus d'information ici : <https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000035602501>

## 3. Boite à outils

### 3.1. Méthode pour la hiérarchisation des enjeux écologiques

Source : présentation AFB au séminaire éolien et biodiversité, septembre 2017 (Michel et al.)

L'AFB a décliné une méthode de hiérarchisation des enjeux écologiques. Cette méthode consiste à déterminer un niveau d'enjeu (parfois appelé « indice de patrimonialité ») pour chaque espèce ou habitat marin étudié, à partir de trois familles de critères écologiques :

- la sensibilité intrinsèque de l'enjeu aux pressions ;
- la représentativité de l'élément considéré par rapport à une échelle plus large (en termes d'effectif, de surface, de biomasse...);
- la fonctionnalité de l'enjeu considéré.

Critères privilégiés	Critères optionnels	Expression
Sensibilité	Vulnérabilité	Semi-quantitatif
Représentativité		% effectif, surface
Fonctionnalité	Spécificité	Dire d'experts

Figure 49 : critères pour évaluer les enjeux sur la biodiversité marine

En combinant ces indices avec les données de distribution géographique issues des campagnes d'observations menées par l'agence, il est possible d'en tirer une spatialisation des enjeux pour les habitats marins et la faune marine, par espèce ou groupe d'espèces (oiseaux, mammifères marins et autres espèces de mégafaune).

Cette méthode fournit un cadre homogène et rigoureux pour planifier, puis évaluer l'impact des projets éoliens en mer et des autres activités maritimes. Cependant, pour pouvoir passer de la qualification des enjeux écologiques à la quantification des impacts, un travail considérable reste à mener à la fois en termes de développement méthodologique et d'acquisition de connaissances sur la distribution, la sensibilité et la résilience des différentes composantes des écosystèmes des mers françaises.

### 3.2. Méthode pour spatialiser les activités, leurs interactions, et les enjeux du milieu marin et littoral

Source : note méthodologique du Cerema pour la production des Documents Stratégiques de Façades

Une analyse des interactions entre les activités maritimes et littorales a été menée par le Cerema entre 2016 et 2017 dans le cadre de l'élaboration des documents stratégiques de façade maritime conduits par les services de l'État, en déclinaison de la Stratégie nationale pour la mer et le littoral.

L'objectif de ce travail est de mettre en évidence des espaces où les activités maritimes ou littorales sont susceptibles d'entrer en interaction. Dans ces espaces, les interactions peuvent se traduire par des conflits d'usage ou des règles de cohabitation.

L'analyse proposée considère qu'une interaction est susceptible d'apparaître lorsque deux activités sont présentes sur un même espace, même de manière ponctuelle.

Les activités prises en compte pour l'analyse sont :

- le transport maritime et les ports ;
- les travaux maritimes ;
- la pêche professionnelle ;
- l'aquaculture ;
- les énergies marines renouvelables ;
- l'extraction de granulats marins ;
- les activités récréatives et de tourisme.

Les activités peuvent être décrites à partir de données de nature différente :

- **des données décrivant des pratiques observées :**

par exemple la fréquentation des espaces maritimes par les bateaux de pêche ou par les navires marchands.

- **des données résultant de processus de planification sectoriels :**

par exemple les zones propices pour l'aquaculture marine définies dans les schémas régionaux d'aquaculture marine, ou encore les espaces projets ou à l'étude pour l'implantation de parcs éoliens.

- **des données réglementaires :**

par exemple les périmètres des concessions pour l'extraction de granulats marins.

La représentation spatiale des activités est proposée selon deux modalités :

- **les activités dites "fixes"** se déroulent dans un périmètre d'autorisation défini : sites d'immersion des sédiments de dragage, sites d'extraction de granulats marins, sites aquacoles, sites autorisés pour l'implantation des énergies marines renouvelables.
- **les activités dites "mobiles"** sont les activités nautiques de transport maritime et de pêche qui évoluent librement sur une grande partie de l'espace maritime sous réserve de dispositifs d'encadrement (chenaux d'accès aux ports, dispositifs de séparation du trafic, réglementation de pêche).

Les données se présentent selon des formats variés :

- **des données ponctuelles** : par exemple les positionnements de navires équipés du dispositif de suivi VMS;
- **des données surfaciques** : par exemple les zonages réglementaires d'activités humaines (clapage, extraction de granulats...);
- **des données linéaires** : par exemple le tracé des câbles sous-marins.

- **des données préanalysées** : par exemple les données AIS transformées en indicateur de densité calculé dans un carroyage.

La temporalité des activités est une caractéristique importante pour l'analyse des interactions. L'analyse fait appel à plusieurs temporalités :

- **la temporalité des activités fixes** :

Certaines activités ont un usage de l'espace limité dans le temps (extraction de granulats marins, clapage de sédiments de dragage). Cette dimension est prise en compte dans l'analyse pour caractériser le niveau de compatibilité entre activités. En effet, une planification temporelle peut permettre aux activités de coexister. D'autres activités fixes se déroulent par phase (travaux d'installation, fonctionnement, voire démantèlement pour l'aquaculture ou les projets d'énergies marines renouvelables). Cette 2e dimension n'est pas prise en compte. L'analyse considère que chaque activité représentée est en phase de fonctionnement.

- **la temporalité des activités mobiles** :

la caractérisation des activités mobiles de transport maritime et de pêche s'appuie sur la présence des navires sur les mailles de l'analyse pendant 1 ou 2 années (cf. topic 4). La présence de ces activités au cours d'une même année peut varier sur les espaces maritimes (période touristique estivale, présence ou absence des espèces pêchées, autorisation de pêcher selon les périodes...). Cette 2e dimension temporelle n'est pas prise en compte dans l'analyse.

- **la temporalité des activités projetées** :

la majorité des activités considérées dans cette analyse existent déjà sur les espaces maritimes à l'exception des projets d'implantation de parcs d'énergie marine renouvelable et des sites propices pour l'aquaculture (en Méditerranée). Les zonages projets sont représentés même si l'activité n'existe pas encore. Les zones de coprésence représentées dans l'analyse entre activités existantes et activités projetées sont donc des zones potentielles.

Le Cerema a réalisé différentes étapes pour transformer les données brutes en données exploitables pour une analyse des interactions entre activités, puis en résultat diffusable pour alimenter les démarches de planification maritime.

**Étape 1** : Ventilation des données brutes dans un carroyage

**Étape 2** : Analyse de la répartition des activités mobiles sur les façades maritimes

**Étape 3** : Construction des cartes d'interactions

**Étape 4** : Réalisation de supports communicants

L'analyse des interactions entre activités repose sur la génération de couches carroyées par couple d'activités auxquelles sont attribuées des niveaux de compatibilité définis à partir d'une matrice de croisement des activités prises 2 à 2.

Activités en interaction	Transport maritime	Activités portuaires	Extraction granulats marins	Clapage	Conduites et câbles sous-marins	Pêche professionnelle	Aquaculture	Activités récréatives et tourisme en mer
Ports	+							
Extraction de granulats marins	T	+						
Clapage	T	+						
Conduites et câbles sous-marins								
Pêche professionnelle	T	+	T	T				
Aquaculture		-						
Activités récréatives et tourisme en mer	T	+	T	T		+		
Énergies marines renouvelables		+				+	+	+

*Symétrie*

Typologie du niveau d'interaction	
	Non compatible
	Compatible sous condition
	Compatible

Condition de compatibilité	
T	Planification temporelle
Caractérisation des interactions	
+	Synergie possible
-	Effet négatif potentiel

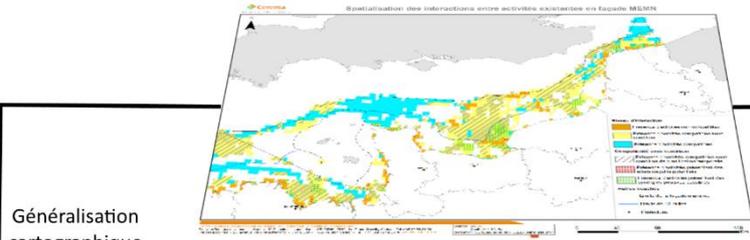
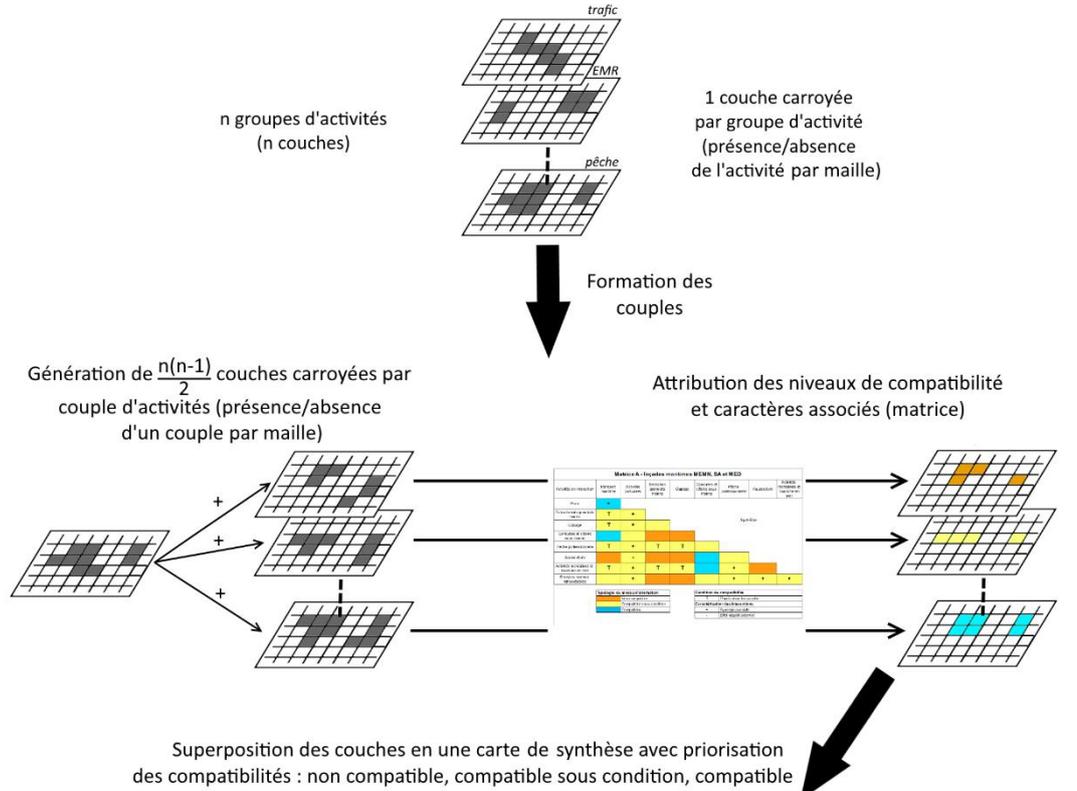
Figure 50 : exemple de matrice de compatibilité entre activités (source : Cerema)

Ventilation des données  
brutes dans le carroyage  
**Etape 1**



Analyse de la répartition  
des données mobiles  
**Etape 2**

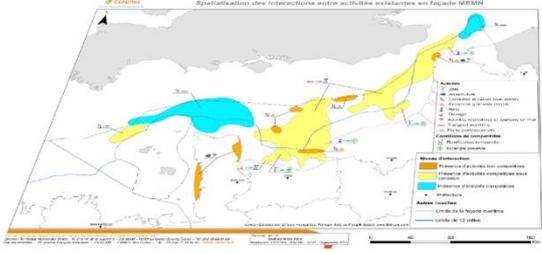
**Etape 3 : Construction de la carte d'interactions entre activités**



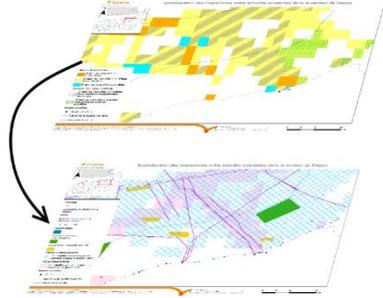
Généralisation cartographique

**Etape 4 : Appropriation par les acteurs**

Carte communicante



Cartes zoomées



Retour possible aux données brutes

Figure 51 : Processus de construction des cartes d'interactions (source : Cerema)



## Bibliographie et annexes

## Bibliographie

---

Ae-CGEDD (2015). Avis délibéré de l’Autorité environnementale sur le projet de parc éolien en mer de Courseulles-sur-Mer et son raccordement électrique (14). Formation d’Autorité environnementale du Conseil général de l’environnement et du développement durable, avis délibéré n° Ae 2015-003 adopté lors de la séance du 25 mars 2015.

Ae-CGEDD (2015). Avis délibéré de l’Autorité environnementale sur le projet de parc éolien en mer au large de Saint-Nazaire (44). Formation d’Autorité environnementale du Conseil général de l’environnement et du développement durable, avis délibéré n° Ae 2015-11 adopté lors de la séance du 6 mai 2015.

Ae-CGEDD (2015). Avis délibéré de l’Autorité environnementale sur le projet de parc éolien en mer de Fécamp, incluant le raccordement électrique, la base de maintenance et le site de fabrication des fondations gravitaires (76). Formation d’Autorité environnementale du Conseil général de l’environnement et du développement durable, avis délibéré n° Ae 2015-14 adopté lors de la séance du 24 juin 2015.

Ae-CGEDD (2016). Avis délibéré de l’Autorité environnementale sur le projet Nephthys de parc hydrolien pilote du Raz Blanchard et son raccordement électrique (50). Avis délibéré n°2016-004 adopté lors de la séance du 6 avril 2016.

Ae-CGEDD (2016). Avis délibéré de l’Autorité environnementale sur le projet Normandie-Hydro de parc hydrolien pilote du Raz Blanchard et son raccordement électrique (50). Formation d’Autorité environnementale du Conseil général de l’environnement et du développement durable, avis délibéré n°2016-004bis adopté lors de la séance du 6 avril 2016.

Ae-CGEDD (2016). Avis délibéré de l’Autorité environnementale sur le projet de parc éolien en mer au large de Saint-Brieuc et son raccordement (22). Formation d’Autorité environnementale du Conseil général de l’environnement et du développement durable, avis délibéré n° 2016-14 adopté lors de la séance du 4 mai 2016.

Ae-CGEDD (2018). Avis délibéré de l’Autorité environnementale sur le parc éolien en mer au large des îles d’Yeu et de Noirmoutier (85). Formation d’Autorité environnementale du Conseil général de l’environnement et du développement durable, avis délibéré n°2017-89 adopté lors de la séance du 21 février 2018.

Ae-CGEDD (2018). Avis délibéré de l’Autorité environnementale sur les éoliennes flottantes de Groix et Belle-Île (56). Formation d’Autorité environnementale du Conseil général de l’environnement et du développement durable, avis délibéré n°2018-17 adopté lors de la séance du 30 mai 2018.

Ae-CGEDD (2018). Avis délibéré de l’Autorité environnementale sur le parc éolien en mer de Dieppe-Le Tréport (76). Formation d’Autorité environnementale du Conseil général de l’environnement et du développement durable, avis délibéré n°2018-50 adopté lors de la séance du 29 août 2018.

Ae-CGEDD (2018). Avis délibéré de l’Autorité environnementale sur la ferme pilote des éoliennes flottantes du golfe du Lion (11), Formation d’Autorité environnementale du Conseil général de

l'environnement et du développement durable, Avis délibéré n° 2018-94 adopté lors de la séance du 19 décembre 2018

ANDERSEN, J.H. & STOCK, A. (eds.), MANNERLA, M., HEINÄNEN, S. & M. VINTHER, M. (2013). Human uses, pressures and impacts in the eastern North Sea. Aarhus University, DCE –Danish Centre for Environment and Energy. 136 pp. Technical Report from DCE –Danish Centre for Environment and Energy No. 18. <http://www.dmu.dk/Pub/TR18.pdf>

ANDERSEN, J.H., KALLENBACH, E. (2016) A literature study of human activities and pressures as well as ecosystem component layers available for Marine Spatial Planning and mapping of cumulative impacts in Swedish marine waters. Niva Denmark Water Research, Report No..6997-2016-DK2, 22 feb. 2016.

ARTELIA (2015). Projet nephyd : parc pilote hydrolien au raz blanchard, étude d'impact sur l'environnement, 465p.

AUBENY, C. (2017): Geomechanics of marine anchors. Florida: CRC press, 374p.

DAMBLANS, G. (2018). *Eolien flottant: état de l'art et atouts du bassin Méditerranéen*. CMF méditerranée, commission spécialisée EOF, 9 janvier 2018 à Marseille (préfecture de Région PACA).

BRL Ingénierie (2017). Parc éolien en mer de Dieppe-Le Tréport, sa base d'exploitation et de maintenance et son raccordement au réseau public de transport d'électricité, document 3 : Etude d'impact du parc sur l'environnement valant document d'incidences au titre de la Police de l'eau et des milieux aquatiques, 1396p.

BRL INGENIERIE (2017). Étude d'impact : Parc éolien en mer des Îles d'Yeu et de Noirmoutier, ses bases d'exploitation et de maintenance et son raccordement au réseau public de transport d'électricité, document 3 : Impacts et mesures du parc éolien en mer, 910p.

CREOCEAN – NASS&WIND OFFSHORE (2014). Parc éolien en mer de Saint-Nazaire, Etude d'impact environnemental Fascicule B1. 662p.

EDF EN (2015). Projet Normandie Hydro parc hydrolien pilote et son raccordement électrique, étude d'impact environnemental fascicule B.

EGIS EAU (2017). Projet de parc éolien en mer de Dieppe-Le-Tréport, document 5 : Etude d'impact de la base d'exploitation et de maintenance du port de Dieppe, 500p.

HALPERN, B., MCLEOD, K., ROSENBERG, A. *et al.* (2008). Managing for cumulative impacts in ecosystem-based management through ocean zoning. *Ocean & Coastal Management* Volume 51, Issue 3, Pages 203-211.

HELCOM (2017): The assessment of cumulative impacts using the Baltic Sea Pressure Index and the Baltic Sea Impact Index - supplementary report to the first version of the HELCOM 'State of the Baltic Sea' report 2017. Disponible sur:

<http://stateofthebalticsea.helcom.fi/about-helcom-and-the-assessment/downloads-and-data/>

HELCOM (2018): Thematic assessment of cumulative impacts on the Baltic Sea 2011-2016. Disponible sur:

<http://www.helcom.fi/baltic-sea-trends/holistic-assessments/state-of-the-baltic-sea-2018/reports-and-materials/>

IN VIVO ENVIRONNEMENT (2011). Étude d'impact pour l'implantation du démonstrateur hydrolien Sabella D10, pièce B, vol. 1 (540p.) et 2 (361p.) ; pièce C (189p.).

IN VIVO ENVIRONNEMENT (2014). Parc éolien en mer au large de Courseulles-sur-Mer et raccordement au réseau électrique, fascicule B1 : étude spécifique du projet de parc éolien.

IN VIVO ENVIRONNEMENT (2015). Étude d'impact pour l'implantation du parc éolien en mer de St-Brieuc.

KNIGHTS, A., PIET, G., JONGBLOED, R. *et al.* (2015). An exposure-effect approach for evaluating ecosystem-wide risks for human activities. ICES Journal of Marine Science / Journal du Conseil . Mar/Apr2015, Vol. 72 Issue 3, p1105-1115. 11p.

KORPINEN, S. (2015). OSPAR Case Study on Cumulative Effects: evaluation of the methods and analysis of their outcomes, OSPAR Convention for the Protection of the Marine Environment of the North-East Atlantic, Meeting of the Intersessional Correspondence Group on Cumulative Effects, 26-27 February 2015, Ijmuiden (NL).

LA RIVIÈRE M., AISH A., GAUTHIER O., GRALL J., GUÉRIN L., JANSON A.-L., LABRUNE C., THIBAUT T. ET THIÉBAUT E. (2015). Méthodologie pour l'évaluation de la sensibilité des habitats benthiques aux pressions anthropiques. Rapport SPN 2015-69. MNHN. Paris, 52 pp.

OSPAR (2016) : Intersessional Correspondence Group – Cumulative Effects: Progress Report. Meeting of the Environmental Impacts of Human Activities Committee (EIHA), 11-15 April 2016, Berlin (Germany).

OSPAR. Perspectives de l'évaluation des écosystèmes – développement d'une approche appliquée à l'évaluation des effets cumulatifs pour le QSR [en ligne] (page consultée le 17 juillet 2018). Disponible sur :

<https://oap.OSPAR.org/fr/evaluations-OSPAR/evaluation-intermediare-2017/perspectives-de-levaluation-des-ecosystemes/>

PETTEX, E., FOLEGOT ,T., CLORENNEC, D., MARTINEZ L. (2017). Quantifier les conséquences du dérangement acoustique sur les populations de mammifères marins: un outil d'aide à la décision pour le développement des parcs éoliens en mer. Actes du séminaire éolien et biodiversité, 21-22 novembre 2017 à Artigue-près-Bordeaux.

RTE (2014). Raccordement électrique du parc éolien en mer de Saint-Nazaire, fascicule B2, 604p.

RTE (2014). Raccordement du parc éolien en mer du Calvados, fascicule B2, 614p.

RTE (2015). Raccordement électrique du parc éolien en mer de St-Brieuc, fascicule B2 étude d'impact valant dossier d'incidences « Loi sur l'eau », 959p.

RTE (2017). Raccordement du parc éolien en mer de Dieppe – Le Tréport, étude d'impact. 872p.

RTE (2017). Raccordement électrique du parc éolien en mer des îles d'Yeu et de Noirmoutier, document 4 : étude d'impact du raccordement électrique valant document d'incidences au titre de la « Loi sur l'eau », 542p.

SWEDISH AGENCY FOR MARINE ET WATER MANAGEMENT. Symphony – a tool for ecosystem-based marine spatial planning [en ligne] (page consultée le 17 juillet 2018). Disponible sur : <https://www.havochvatten.se/en/swam/eu--international/marine-spatial-planning/symphony---a-tool-for-ecosystem-based-marine-spatial-planning.html>

TBM ENVIRONNEMENT et ARTELIA (2017). Étude d'impact : Parc éolien en mer des îles d'Yeu et de Noirmoutier, ses bases d'exploitation et de maintenance et son raccordement au réseau public de transport d'électricité, documents 5 impacts et mesures de la base d'exploitation et de maintenance de Port-Joinville, 267p., et 6 impacts et mesures de la base d'exploitation et de maintenance de L'Herbaudière, 254p.

VAN DER WAL, J.T., TAMIS, J.E. (2014). Comparing methods to approach cumulative effects in the North-East Atlantic: CUMULEO case study. Institute for Marine Resources & Ecosystem Studies, Report number C178/13, avril 2014.



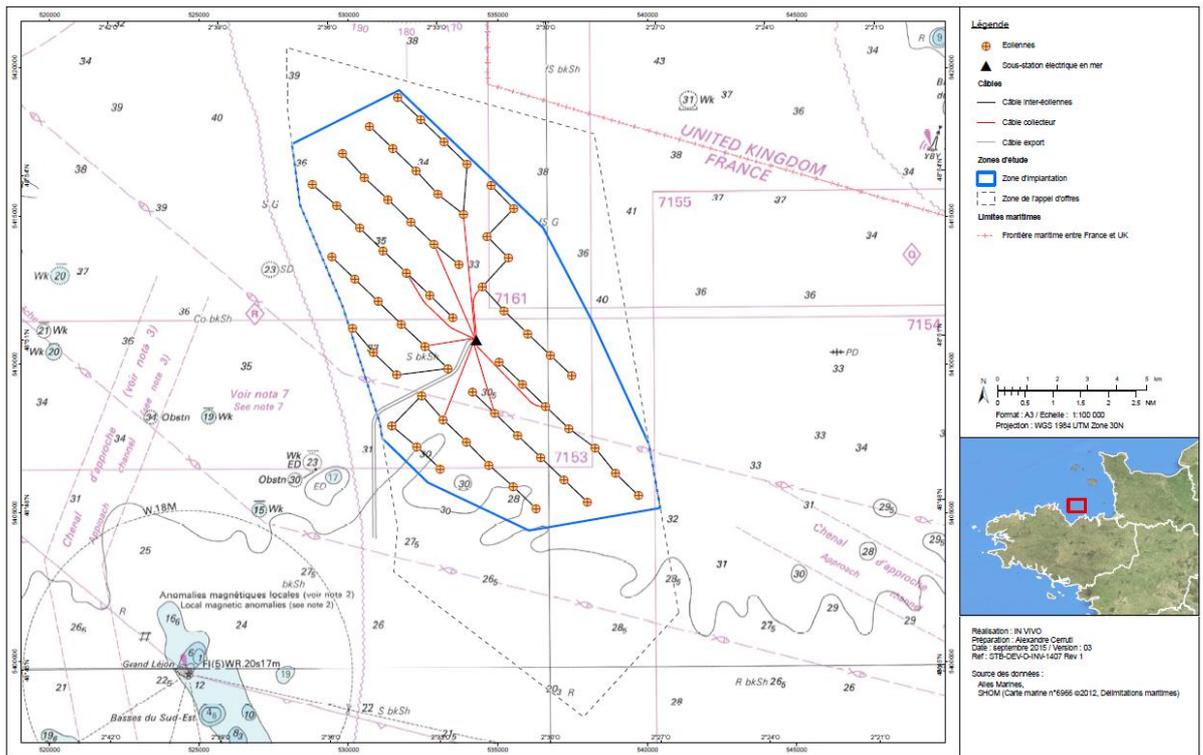


Figure 54 : localisation des éoliennes et de la sous-station du parc éolien de Saint-Brieuc

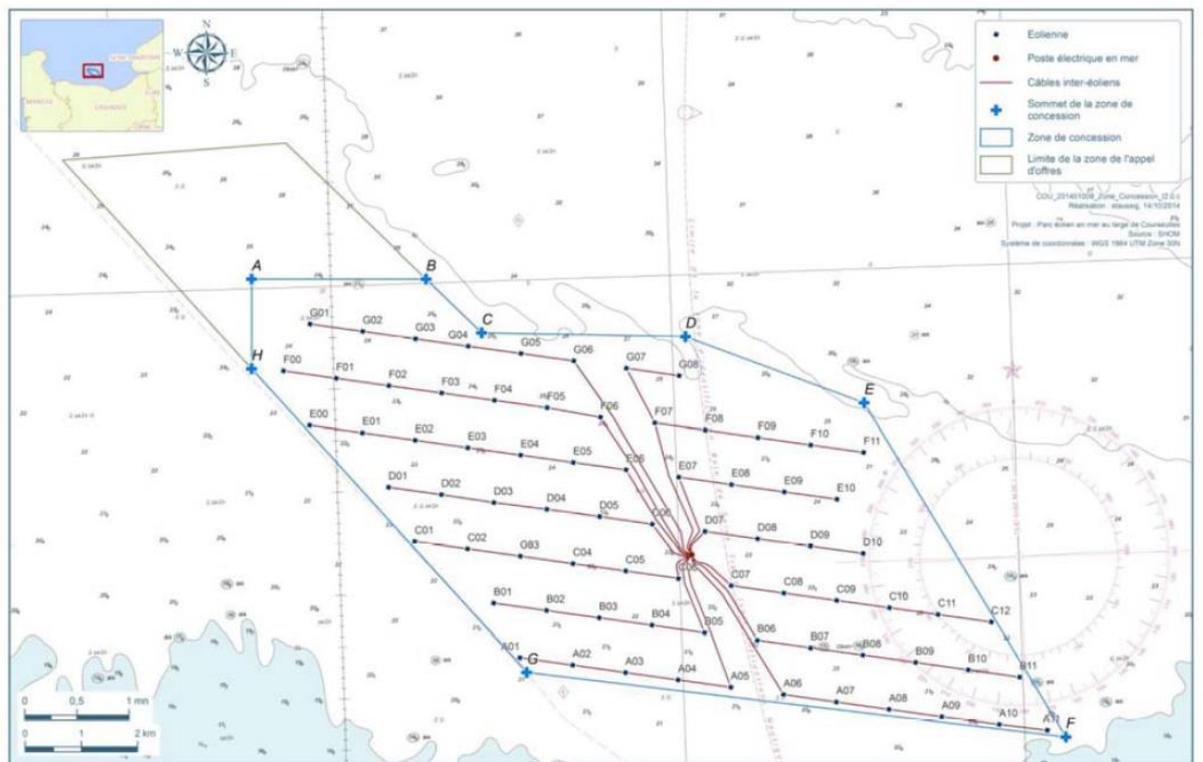


Figure 55 : localisation des éoliennes et de la sous-station du parc éolien du Calvados

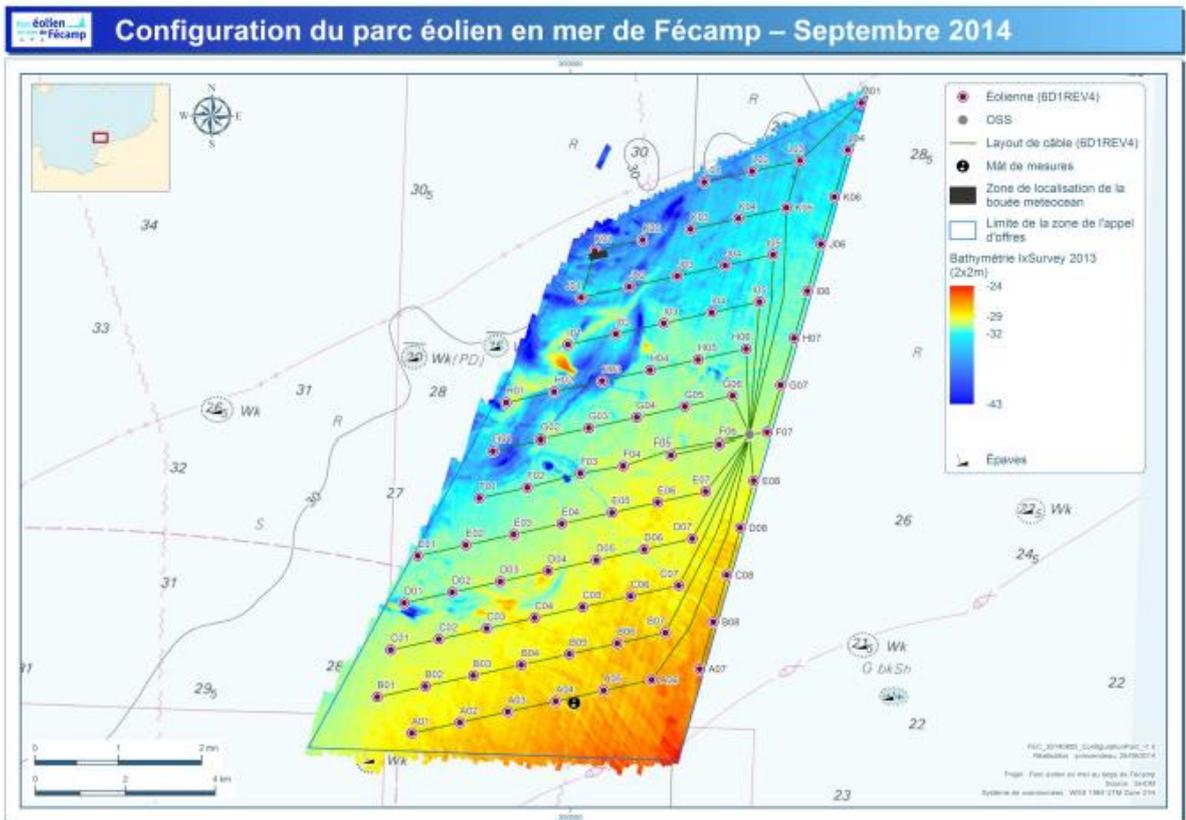


Figure 56 : localisation des éoliennes et de la sous-station du parc éolien de Fécamp

## Annexe 2 Modélisation des pressions, du milieu et des impacts

---

### Modèles identifiés dans les études d'impacts

Les études d'impacts utilisent des modèles afin de décrire le milieu, les pressions et les impacts du milieu.

#### - **Modèle d'habitats**

Les campagnes d'observations en mer peuvent être utilisées pour ensuite modéliser les habitats préférentiels de différentes espèces. Le modèle permet de prédire une distribution quotidienne sur les périodes couvertes par les campagnes puis la moyenne de ces prédictions quotidiennes est faite pour obtenir une prédiction moyenne sur chaque saison.

#### - **Modèle de collision entre les éoliennes et l'avifaune**

*Figure 57 : localisation des éoliennes et de la sous-station du parc éolien de Fécamp*

### Modèle de Band et Masden

Afin de modéliser les risques de collision ornithologique liés aux éoliennes, de nombreux facteurs sont à prendre en compte : la variabilité de présence des espèces sur le site, la probabilité de collision accidentelle, les conditions environnementales ou encore le comportement et l'activité des oiseaux (hauteur de vol, agilité en vol, capacités d'évitement). Le Strategic Ornithological Support Services (SOSS) est un groupe de travail britannique, rassemblant de nombreux acteurs, experts et régulateurs, sous l'égide de The Crown Estate. Le SOSS commissionne la réalisation d'études dédiées sur les relations entre les éoliennes en mer et les oiseaux et fournit des conseils et recommandations dans ce domaine. Il a développé un modèle de collision pour les parcs éoliens (Band et al., 2007 ; Band, 2012). Ce modèle a été adapté pour une utilisation sous le logiciel de statistique R (Masden, 2015 ; Masden & Cook, 2016). Le modèle prend en compte plusieurs facteurs comme :

- la probabilité qu'un oiseau traverse le volume des pales des éoliennes (horizontalement et verticalement) en fonction de ses caractéristiques et son activité de vol ;
- la probabilité qu'un oiseau entre en collision avec le rotor d'une éolienne, sans comportement d'évitement ;
- la capacité d'un oiseau à éviter les éoliennes, de près comme de loin ;
- le nombre d'oiseaux impliqués dans ce type d'interaction.

#### - **Effet du bruit sur les mammifères marins**

### Modèle Interim PCoD (Population Consequences of Disturbance)

En 2014, Harwood et al. ont développé un modèle appelé Interim Population Consequences of Disturbance (IPCoD), permettant de quantifier l'impact démographique d'un chantier éolien à long

terme. Les résultats de ce travail de recherche qui s'inscrit dans la durée ne peuvent être exploités à ce stade (non consolidés).

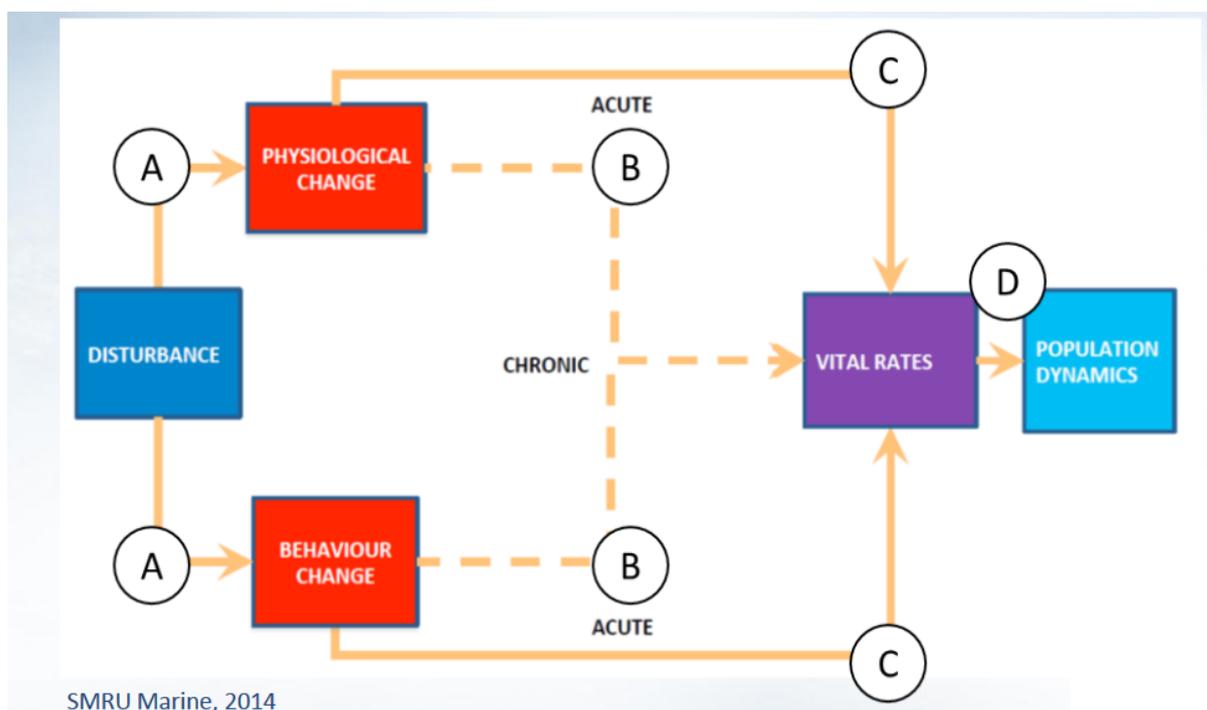


Figure 58 : Fonctionnement du modèle Interim PCOD

### Modèle DEPONS (Disturbance Effects on the Harbour Porpoise Population in the North Sea)

Ce modèle actuellement en développement, s'intéresse spécifiquement aux populations de Marsouin commun en mer du Nord lors de travaux en mer par battage. Une publication commune permet de faire une comparaison et une expertise des modèles IPCOP et DEPONS (Nabe-Nielsen 2016).

#### - *Impact du bruit sous-marin sur les mammifères marins*

##### Quonops

Quonops Online Services (QOS) est un service de cartographie du bruit sous-marin. C'est une plateforme unique de simulation des bruits sous-marins. Relié à des bases de données, il permet de connaître les conditions de propagation des ondes acoustiques, la production du bruit naturel (météo) et du bruit anthropique (navigation maritime).

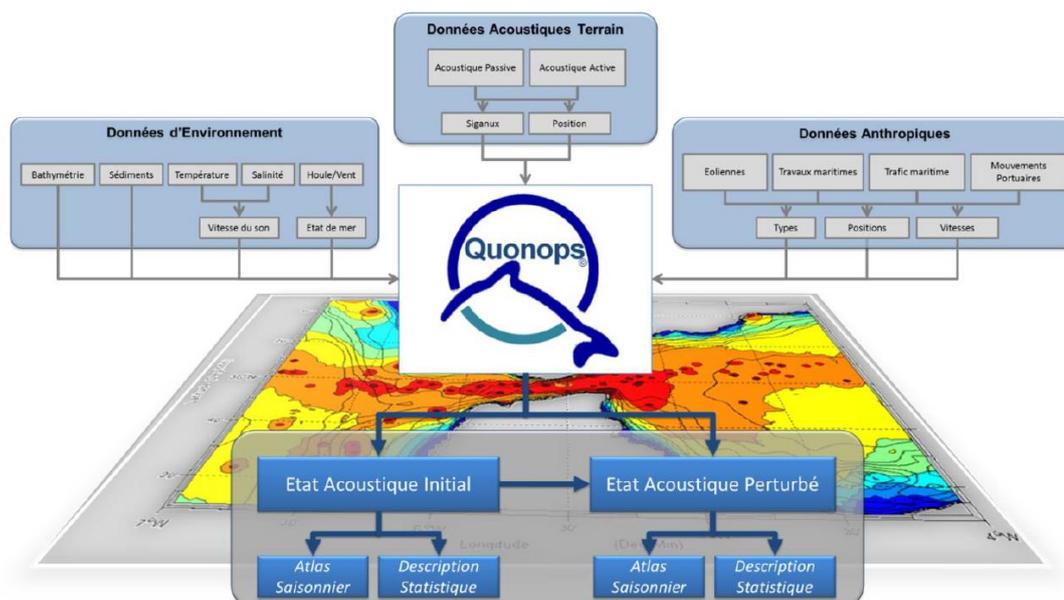


Figure 59 : Fonctionnement de la plate-forme Quonops

### Projet de recherche RESPECT

Projet de recherche multidisciplinaire RESPECT (Réduction des Empreintes Sonores des Parcs Éoliens en mer : Comprendre pour de nouvelles technologies) réunit des géophysiciens, des acousticiens et des biologistes. Son objectif est d'étudier la propagation du bruit émis par le battage d'un pieu lors de la construction d'un parc éolien en mer et de déterminer l'empreinte sonore et les différentes zones de risque acoustique vis-à-vis du marsouin commun. Le volet biologique de l'étude a pour objectifs :

- de prédire les effets à long terme du battage de pieu du futur parc éolien de Dieppe – Le Tréport sur la population de marsouin commun (dans un cas fictif où les fondations des éoliennes sont des monopieux de 8,5 m de diamètre, alors que l'opérateur de Dieppe – Le Tréport utilisera des pieux de type jacket de 2,2 m diamètre) ;
- de comparer cinq systèmes de réduction du bruit à la source, en simulant des niveaux d'efficacité décroissants, pour évaluer leurs performances à long terme sur la démographie de cette espèce.

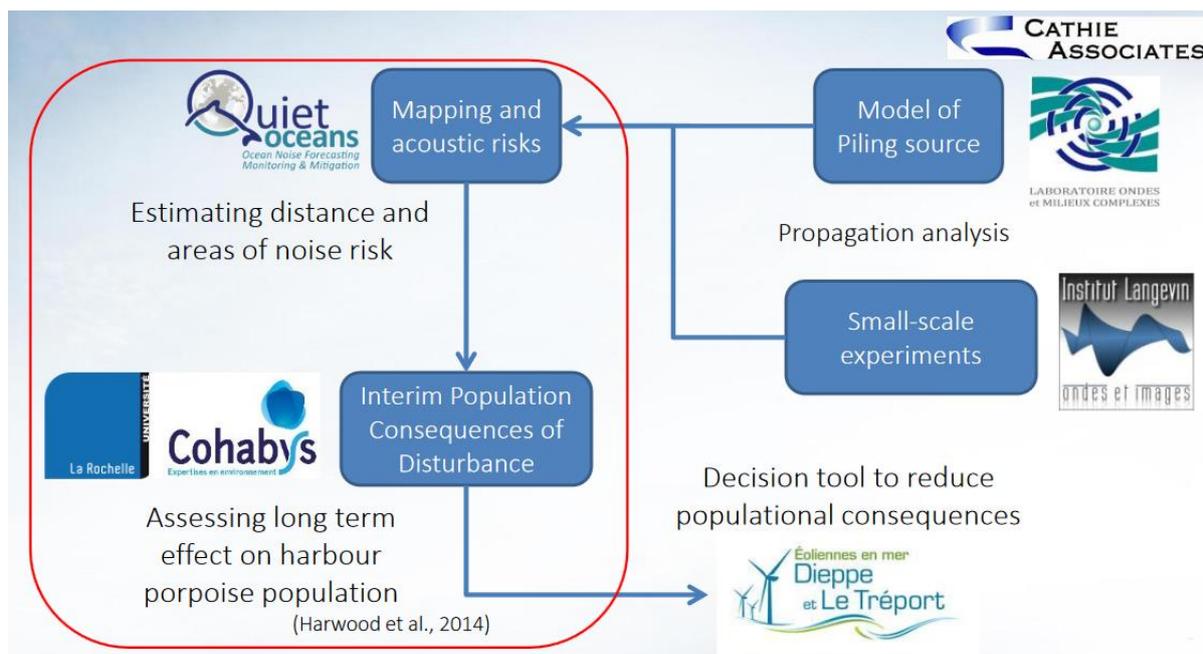


Figure 60 : Méthode du projet RESPECT (source : Quantifying consequences of acoustic disturbance on marine mammal populations: a decision support tool for offshore windfarm development. Emeline Pettex et al., Séminaire éolien et biodiversité 2017)

### Modèle IPCoD

L'évaluation des conséquences du dérangement acoustique pour les populations de mammifères marins représente un enjeu de recherche important et difficile. Harwood et al. (2014) ainsi que King et al. (2015) ont développé un modèle appelé Interim Population Consequences of Disturbance (iPCoD), permettant de quantifier l'impact démographique d'un chantier éolien à long terme.

#### - Modélisation hydrodynamique et sédimentaire

Le modèle TELEMAC 3D permet de modéliser l'impact hydrodynamique. Au sein de la chaîne TELEMAC, le module de simulation TOMAWAC est dédié à la propagation spectrale des états de mer. Le code SISYPHE de la chaîne TELEMAC développé par EDF-LNHE permet de réaliser des modélisations du transport sédimentaire.

L'étude de la dispersion des matériaux d'anodes sacrificielles et l'étude de la mise en suspension des particules lors des travaux d'enfouissement peuvent également être évalués par une modélisation tridimensionnelle à l'aide du logiciel MIKE 3D et ses modules hydrodynamiques HD et de transport de sédiments fins MT. Le module hydrodynamique HD permet de simuler la dynamique des masses d'eau en tenant compte :

- des courants et des variations de profondeur liés à la marée,
- des courants induits par les vagues et le vent,
- des variations de niveaux induites par la marée, le vent et les vagues (set-up).

Ce code résout, par une méthode éléments finis sur des maillages triangulaires, les équations de l'hydraulique (avec l'hypothèse de pression hydrostatique et surface évolutive au cours du temps) et de transport-diffusion de grandeurs intrinsèques (température, salinité, concentration) pour les écoulements à surface libre de type fluvial ou maritime. La représentation des courants et des

propriétés physiques de l'eau sera réalisée sur l'ensemble de la zone d'étude et permettra d'évaluer avec précision le déplacement des masses d'eau en fonction des différentes conditions.

Le code de calcul est capable notamment de prendre en compte les phénomènes suivants :

- Frottement sur le fond,
- Influence de la force de Coriolis,
- Influence de phénomènes météorologiques : pression atmosphérique et vent,
- Sources et puits de fluide et de quantité de mouvement à l'intérieur du domaine,
- Modèles de turbulence simples ou complexes (e.g. K-Epsilon) avec prise en compte des effets

liés à la force d'Archimède (flottabilité).

La simulation du transport des sédiments fins, qui a lieu en suspension, est assurée par le module MT (Mud Transport), qui permet le calcul du transport sédimentaire fins sous l'action des courants (de marée et induits par le vent) et des vagues. Le transport 3D est simulé en résolvant une équation d'advection-diffusion. La variabilité spatiale et temporelle de l'érodabilité des fonds vaseux peut être simulée : le tassement et la consolidation des lits sédimentaires sont calculés en exprimant des taux de transition entre les couches du sédiment.

Les processus suivants peuvent être pris en compte dans les simulations :

- Forçage par les vagues et/ou les courants
- Flocculation
- Description détaillée du processus de décantation
- Érosion/dépôt, remise en suspension
- Tassement/consolidation du fond

#### - **Modélisation écosystémique**

#### **Projet de recherche TROPHIK**

Les études d'impact environnemental des projets éoliens offshore s'attachent à considérer la sensibilité aux perturbations potentielles de chacun des compartiments écologiques (benthos, oiseaux, mammifères marins), de façon fractionnée. Dans ce contexte, l'objectif du projet TROPHIK est de développer une vue d'ensemble, intégrée, de l'écosystème, par la mise en place d'outils de modélisation, complémentaires aux approches utilisées lors des études d'impact, considérant le réseau trophique dans son ensemble. La modélisation proposée permettra de considérer l'écosystème dans toute sa complexité, du plancton aux oiseaux.

Le projet TROPHIK se propose de développer les outils de cette approche écosystémique, en se basant sur le site représentatif du bassin oriental en baie de Seine : le parc éolien au large de Courseulles-sur-Mer. Le projet permettra également d'améliorer la compréhension des effets d'impacts combinés sur les écosystèmes, en intégrant les pressions prépondérantes avant l'introduction des systèmes d'énergies marines renouvelables (EMR) comme le dépôt des résidus de dragage, la pêche, le changement climatique...

Coordination : France Energies Marines

Pilotage scientifique et technique : Université de Caen Normandie

Méthodes identifiées dans le cadre du CEAF

(source : *Inventory and assesement of models and methodes used for decribing, quantifying and assessing cumulative effects of offshore wind farm*).

Le Ceaf a réalisé un inventaire des méthodes et modèles utilisées en Europe du Nord pour décrire, quantifier et évaluer les impacts des parcs éoliens en mer sur certaines espèces. Le tableau ci-dessous récapitule les principales méthodes et modèles identifiées.

<b>Éléments étudiés</b>	<b>Modèles / Méthodes identifiées</b>
Quantification du bruit sous-marin	Aquarius 2.1
Distribution sonore sous-marine	Aquarius 2.1, Aquarius 1, Kraken, Scooter, Oases, Inspire
Répartition du marsouin commun	Gilles, Heinanen, Join Cetacean protocol
Impact du bruit sous-marin sur la population	IPCoD, DEPONS
Risque de collision	Modèle de Band, modèle de Masden, modèle de Bradbury,
Impact de la collision sur l'avifaune	PBR, State-space mode, Leslie matrix
Perte d'habitats pour l'avifaune	Bradbury

## Annexe 3 Considérations méthodologiques

### - **Multiplicité des informations entrantes**

Les activités en mer génèrent des pressions pouvant modifier plusieurs composantes du milieu. Ces pressions peuvent impacter, à différents niveaux, des habitats ou espèces en fonction de leur degré de sensibilité vis-à-vis de chaque type de pression. La complexité de ces analyses repose donc entre autres sur la quantité importante d'informations à traiter et à interpréter.

Pour évaluer les pressions et leurs impacts cumulés, il faut connaître l'aire d'influence des pressions ;

Informations entrantes :  
→ Projets = {1, 2, 3 ...}  
qui génèrent :  
→ Pressions = {A1, A2... B1, B2, B3... C1, C2, C3...}  
qui peuvent interagir avec :  
→ Habitats /espèces = {a, b, c ...}

- connaître l'aire d'influence des pressions ;
- qualifier la pression issue d'un cumul de pressions ;
- connaître la répartition des espèces potentiellement impactées ;
- qualifier l'impact issu de l'interaction entre un récepteur et une pression donnée.

Une distinction devra être faite entre :

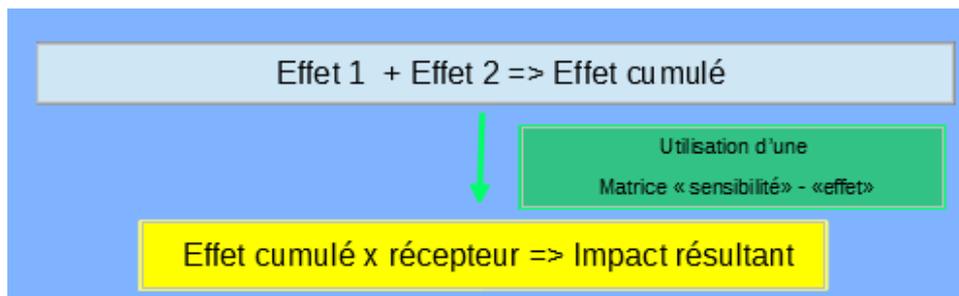
- les espèces / habitats qui peuvent être mobiles et ceux qui sont fixes ;
- les effets qui peuvent être diffus et ceux qui restent à une échelle très locale.

### - **Cumul d'effets et cumul d'impacts**

L'analyse des effets et l'analyse des impacts cumulés peuvent être deux types de travaux à distinguer.

#### **1) Effets cumulés : les effets se cumulent à l'échelle d'un parc ou d'une façade**

Les effets peuvent se cumuler avant d'impacter les habitats / espèces (exemple : bruit sous-marin). Dans ce cas le récepteur reste en un même point. Les rapports entre les effets cumulés peuvent être de trois natures : addition ( $1+1=2$ ), synergie ( $1+1>2$ ) ou antagonisme ( $1+1<2$ ).  
Exemple d'addition : la perte de l'habitat d'une espèce marine et sa récolte/exploitation biologique engendrent un déclin additif de sa population.  
Exemple de synergie : lorsque l'augmentation du rayonnement UV augmente les effets négatifs d'une toxine.  
Exemple d'antagonisme : lorsque l'enrichissement en nutriments diminue l'effet négatif d'une toxine.  
(source : Muséum national d'histoire naturelle)



**Exemple : le battage de pieux simultanément de deux parcs éoliens impactant les mammifères marins.**

2) *Figure 61 : Effets cumulés sur l'environnement*

iment à

**l'échelle d'un parc ou d'une façade**

Les impacts sur le milieu peuvent se cumuler (exemple : effet barrière de plusieurs parcs). Dans ce cas le récepteur est mobile.

**Exemple : la présence de deux parcs éoliens sur une voie migratoire.**

## Annexe 4 Synthèse des données et protocoles des études d'impacts et des avis de l'Autorité environnementale sur les parcs EMR français

---

*Rédactrice :  
Maëlle NEXER, France Energies Marines*

*Historique des versions du document :*

Version	Date	Commentaire
0	22/10/2018	Rédaction FEM (MN)
0	07/01/2019	Relecture AFB (SM), CEREMA (AQ et LT) et DGEC (AM)
1	09/01/2019	Modification FEM (MN) : ajout des informations sur les données et protocoles provenant des études d'impact

# Introduction

Les avis de l'autorité environnementale ont été synthétisés par technologie (hydrolien, éolien flottant, éolien posé) et par catégorie : milieux physiques (qualité de l'eau, bruit...), habitat et communauté benthiques, habitat et communauté pélagiques, mammifères et tortues marines, avifaune et chiroptères. Les catégories abordées dans ces avis sont résumées dans la Figure 62. Le détail des différentes thématiques est synthétisé dans le Tableau 16. Pour compléter la synthèse de ces avis, pour chaque parc, une synthèse des données et méthodes utilisées pour l'évaluation de l'état initial a été réalisée à partir des études d'impact.

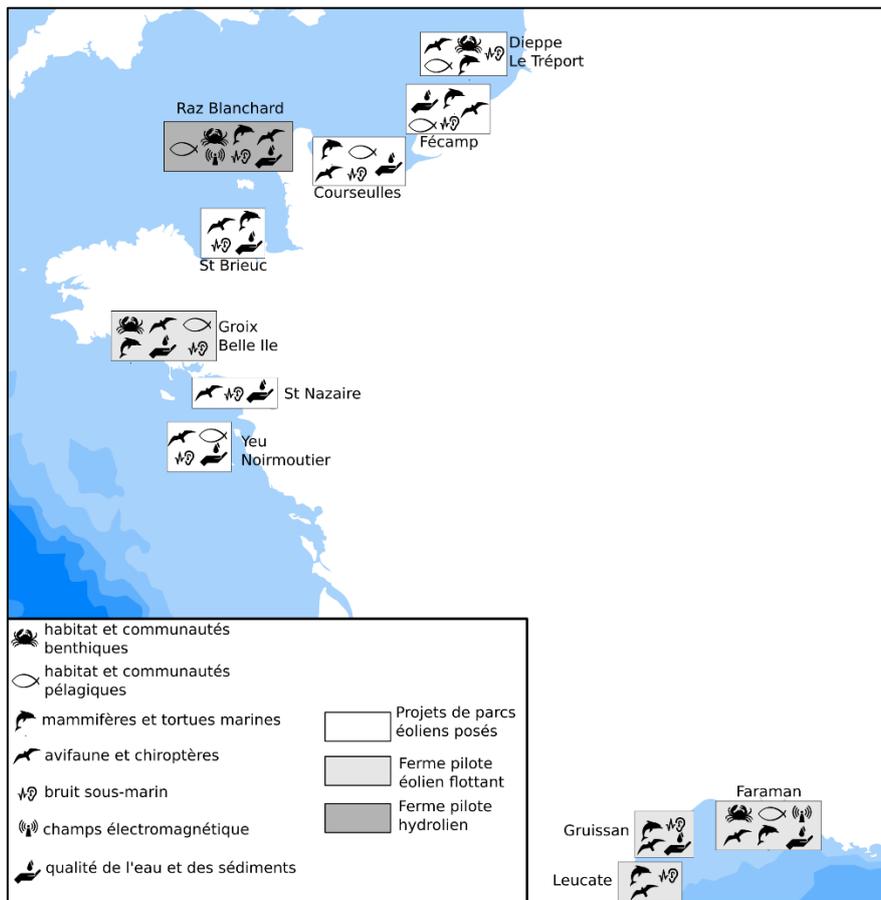


Figure 62 : Thématiques abordées par l'autorité environnementale dans ses avis en fonction des parcs EMR

<b>Qualité de l'eau et des sédiments</b>	Anodes sacrificielles, clapage, déversement accidentel d'hydrocarbures
<b>Bruit sous-marin</b>	Mammifères marins, tortues, ressource halieutique Claquage des chaînes
<b>Champs électromagnétiques</b>	Mieux considérer le champs électromagnétique
<b>Benthos</b>	Fixation de contaminants (peintures, anodes), espèces invasives
<b>Pelagos</b>	Passage d'un poisson dans une turbine, impact sur les frayères et les nourriceries, turbidité (morue et poissons plats), migrants amphihalins
<b>Mammifères marins</b>	Risque de collision avec les pâles d'hydroliennes, impact du bruit sur les tortues et les mammifères, perte d'habitats
<b>Avifaune et chiroptères</b>	Compléter les connaissances sur les chiroptères, migration (passereaux), apprécier la dépendance aux conditions météo

## Hydrolien

---

Un appel à manifestation d'intérêt (AMI) relatif à des fermes pilotes hydroliennes dans le Raz Blanchard a été lancé le 1<sup>er</sup> octobre 2013 par l'ADEME. La société Normandie Hydro SAS (filiale d'EDF-Energies nouvelles) et Futures Energies (filiale ENGIE) sont les deux lauréats retenus pour implanter deux parcs hydroliens pilotes dans le Raz Blanchard. Ces deux projets pilotes sont situés dans la même zone et utilisent le même raccordement électrique. Les deux parcs pilotes comprennent 4 et 7 hydroliennes. Les avis de l'autorité environnementale étant très similaires pour les deux projets, ils seront traités dans le même paragraphe. Les données et protocoles, les mesures ERC prévues par les porteurs de projets ainsi que les avis de l'Ae sur celles-ci sont synthétisés dans tableaux 1 et 2.

Il semble y avoir très peu de retours sur ces technologies novatrice. Les maîtres d'ouvrage relèvent un certain nombre de références tirées de la bibliographie et d'expérimentations mais avec des machines plus petites ou uniques. L'Autorité environnementale (Ae) mesure les difficultés rencontrées par les maîtres d'ouvrage pour caractériser, qualitativement et quantitativement certains impacts avant de présenter la démarche ERC et de conclure sur leur caractère notable ou non. Pour l'autorité environnementale, les deux projets étant pilotes, l'enjeu environnemental principal réside dans leur capacité à permettre de mesurer et maîtriser l'impact de cette technologie sur l'environnement marin. Pour que ceci soit réalisable, l'Ae préconise :

- de mutualiser le dispositif de suivi des deux fermes pilotes,
- que ce programme de suivi soit cohérent avec le suivi du plan d'action pour le milieu marin Manche – Mer du Nord, élaboré en application de la directive cadre sur la stratégie pour le milieu marin (DCSMM)
- de prévoir que les données récolées soient mises à la disposition des scientifiques et des structures et autorités chargées du rapportage communautaire sur la DCSMM.

Selon l'Ae, les porteurs de projets n'ont pas assez pris en compte dans la réalisation de l'état initial et le suivi des méthodologies et les recommandations du « Guide d'évaluation des impacts environnementaux pour les technologies hydroliennes en mer » GHYDRO réalisé et publié par France Energies Marines en 2013 avec le concours de Naval Group, EDF et IFREMER. L'Ae conseille donc de suivre les recommandations de ce guide pour réaliser le suivi environnemental de ces deux projets.

	Données existantes utilisées (état initial)	Méthodes d'acquisition mis en oeuvre (état initial)	Recommandations de l'AE
<b>Milieu physique</b>	<i>Météo</i> : Météo France <i>Bathymétrie</i> : SHOM / IGN <i>Nature des fonds</i> : BRGM / Ifremer <i>Dynamique hydrosédimentaire</i> : Groupe d'Etudes Atomiques de la Marine Nationale <i>Qualité de l'eau</i> : Réseau Hydrologique Littoral Normand et AREVA	<i>Bathymétrie</i> : Sondeur multifaisceaux, <i>Couverture sédimentaire</i> : sonar latéral, sismique réflexion, prélèvements et ROV <i>Houles</i> : modèles NORGAS (Previmer) et SWAN <i>Courantologie</i> : ADCP + Telemac 3D	-
<b>Benthos</b>	Réseau REBENT Réseau Natura 2000 Cartes sédimentologique (Larsonneur et al. 1979)	Observations par vidéo (pas de prélèvement car substrat dur + conditions hydrodynamiques intenses)	- Incertitude sur la possible fixation de contaminants par des mollusques et bivalves, besoin de plus de précisions sur la composition des peintures et des anodes. - Si le développement d'un parc industriel est envisagé, l'étude de l'impact des champs électromagnétiques devra être plus fournie.
<b>Pelagos</b>	<i>Phytoplancton</i> : RHLN <i>Ressources halieutiques</i> : espèces exploitées par la pêche	<i>Ressources halieutiques</i> : pêches expérimentales (CEFAS)	Approfondir l'étude de l'impact des hydroliennes sur des poissons fréquentant les fonds durs et notamment l'impact du passage d'un poisson dans une turbine (pression/dépression) sur son organisme.
<b>Mammifères marins</b>	Réseau National Echouages (RNE) Réseau d'observateurs, mis en place par le GECC en 1995		-
<b>Avifaune</b>	Greet Ingénierie (2000)	-	-

Tableau 17 : Données et Méthodes utilisés dans l'étude d'impact et recommandations de l'avis de l'autorité environnementale sur le projet Nephtyd de parc hydrolien pilote du Raz Blanchard et son raccordement électrique

	Données (Etats initial)	Méthodes (Etats initial)	Recommandations de l'AE
<b>Milieu physique</b>	<p><i>Météo</i> : Météo France  <i>Bathymétrie</i> : SHOM / IGN  <i>Géologie</i> : BRGM  <i>Nature des fonds</i> : BRGM  <i>Marée</i> : SHOM  <i>Houle</i> : ANEMOC (Actimar, 2012), Candhis  <i>Evolution du trait de côte</i> : Institut du littoral français (IFEN)  <i>Qualité de l'eau</i> : surveillance DCE, ARS, Ifremer (REMI, REPHY, ROCCH, REBENT)  <i>Bruit sous-marin</i> : PAMM</p>	<p><i>Bathymétrie</i> : Sondeur multifaisceaux,  <i>Nature des fonds</i> : sonar latéral, sismique réflexion, prélèvements (granulométrie),  <i>Houles</i> : modèles NORGAS et SWAN  <i>Courantologie</i> : ADCP + Telemac 3D  <i>Acoustique</i> : EREA Ingénierie (campagne en mer)  <i>Qualité des sédiments</i> : prélèvements</p>	-
<b>Benthos</b>	Programme CARTHAM	<p><i>Substrat meuble</i> : prélèvements de sédiments à la benne  <i>Substrat rocheux</i> : prospection et analyse par vidéo</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Incertitude sur la possible fixation de contaminants par des mollusques et bivalves + précision sur la composition des peintures et des anodes</li> <li>- Si le développement d'un parc industriel est envisagé, l'étude de l'impact des champs électromagnétiques devra être plus fournie.</li> </ul>
<b>Pelagos</b>	<p><i>Phytoplancton</i> : REPHY  <i>Zooplancton</i> : Ifremer (1991)  <i>Ressources halieutiques</i> : état des lieux des activités halieutiques (CRPMEM BN, 2012), rapport AAMP (2011), données Ifremer sur la pêche</p>	-	Préciser les limites de l'extrapolation pour des poissons fréquentant des fonds durs notamment en termes de changement de pression (ouïe, vessie natatoire)
<b>Mammifères marins</b>	<p>GECC (2012) : GECC à partir de 1995, réseau de la Société Jersiaise initié en 1980, Sea Watch foundation  Suivi aérien de la mégafaune marine (SAMM – PACOMM)</p>	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Compléter la description des impacts acoustiques en fonction des seuils d'exposition</li> <li>- Mener des études complémentaires de suivi et des recherches sur les moyens de réduction du risque de collision avec les pâles d'hydroliennes lors de la phase pilote du projet</li> </ul>
<b>Avifaune</b>	Synthèse données ornithologiques (AAMP)	-	

Tableau 18 : Données et Méthodes utilisés dans l'étude d'impact et recommandations de l'avis de l'autorité environnementale sur le projet Normandie hydro de parc hydrolien pilote du Raz Blanchard et son raccordement électrique

## Eolien flottant

---

La filière éolien flottant fait l'objet de quatre projets de démonstrations (ou pilotes) suite à un appel à projets pour le déploiement de fermes pilotes lancé 2015. A l'heure actuelle, les projets de Groix-Belle Ile (Eolfi/CGN), Provence Grand Large ou PGL (EDF Energies nouvelles), Eol Med (Gruissan) et Golfe du Lion (ENGIE) ont fait l'objet d'un avis de l'Autorité environnementale.

Le projet PGL comprend trois éoliennes, celui de Groix et du Golfe du Lion quatre. Les principaux enjeux environnementaux identifiés par l'autorité environnementale pour ces trois parcs pilotes sont les suivants :

- le bénéfice environnemental d'une production d'électricité dont les émissions de gaz à effet de serre sont limitées,
- la préservation des milieux naturels et des espèces associées (habitats naturels terrestres et marins, avifaune, mammifères marins, espèces protégées terrestres),
- les effets sur le paysage par la modification des perceptions depuis la terre et la mer,
- les effets sur les sédiments et le benthos associé
- la qualité des eaux dans le cas où les anodes sacrificielles seraient utilisées.

S'y ajoute l'enjeu important qu'est la capacité de ce projet pilote à permettre d'évaluer et de maîtriser l'impact de cette technologie sur l'environnement marin.

L'Ae relève le manque de retour d'expérience pour ce type de projet expérimental. L'évaluation des impacts de PGL s'appuie le plus souvent sur des études scientifiques publiées dans la littérature internationale ou sur les retours d'expérience des parcs éoliens des pays du nord de l'Europe qui disposent de plusieurs années de fonctionnement et d'observation des effets sur le milieu marin. L'évaluation environnementale de Groix Belle-Ile s'appuie par analogie sur de nombreux résultats d'études et des retours de l'expérience capitalisée à la faveur d'autres projets (éolien, plateformes flottantes de production pétrolière off-shore).

	Données (Etats initial)	Méthodes (Etats initial)	Recommandations de l'AE
<b>Milieu physique</b>	En attente de l'étude d'impact	En attente de l'étude d'impact	Procéder à une évaluation des risques éco-toxicologiques liés à l'ensemble des métaux présents dans les anodes sacrificielles en tenant compte de leur forme chimique et de leur potentielle bioconcentration dans la chaîne alimentaire.
<b>Benthos</b>	En attente de l'étude d'impact	En attente de l'étude d'impact	- Incertitude sur la possible fixation de contaminants par des mollusques et bivalves + précision sur la composition des peintures et des anodes - Si le développement d'un parc industriel est envisagé, l'étude de l'impact des champs électromagnétiques devra être plus fournie.
<b>Pelagos</b>	En attente de l'étude d'impact	En attente de l'étude d'impact	Prolonger l'estimation des ressources halieutiques non pêchées par une évaluation des impacts sur les populations
<b>Mammifères marins</b>	En attente de l'étude d'impact	En attente de l'étude d'impact	Requalifier le niveau d'enjeu concernant le Grand dauphin et la Tortue caouanne, Compléter le dossier par une analyse chiroptérologique en milieu marin
<b>Avifaune</b>	En attente de l'étude d'impact	En attente de l'étude d'impact	Compléter les études sur l'avifaune par une analyse des comportements des oiseaux marins et migrateurs terrestres susceptible de circuler sur le site, d'en déduire les impacts potentiels

Tableau 19: Données et Méthodes utilisés dans l'étude d'impact et recommandations de l'avis de l'autorité environnementale sur le parc éolien flottant Provence Grand Large (Faraman)

	Données (Etats initial)	Méthodes (Etats initial)	Recommandations de l'AE
Milieu physique	<p><i>Météo</i> : Atlas de l'environnement du Morbihan (2010) et Météo Bretagne</p> <p><i>Géologie</i> : BRGM</p> <p><i>Géomorphologie</i> : BRGM</p> <p><i>Bathymétrie</i> : SHOM</p> <p><i>Température et salinité de l'eau</i> : Analyse des caractéristiques et de l'état écologique du PAMM de la sous-région marine Golfe de Gascogne et envlit (Ifremer)</p> <p><i>Vent</i> : Météo France et NOAA</p> <p><i>Houle</i> : ANEMOC</p> <p><i>Courants de marée</i> : SHOM</p> <p><i>Nature des sédiments superficiels</i> : carte G du SHOM</p> <p><i>Evolution du littoral</i> : MEEM et CEREMA (indicateur national de l'érosion côtière)</p> <p><i>Qualité de l'eau</i> : surveillance DCE, ARS, Ifremer (REMI, REPHY, ROCCH, REBENT)</p> <p><i>Bruit sous-marin</i> : Atlas de l'environnement du Morbihan (2011)</p>	<p><i>Bathymétrie</i> : Sondeur multifaisceaux</p> <p><i>Nature des fonds</i> : campagne géophysique (sonar latéral et prélèvements)</p> <p><i>Houles et courants</i> : campagne de mesure des états de mer et des courants et études de modélisation des états de mer (par Setec Hydratec, 2017)</p> <p><i>Dynamique sédimentaire</i> : modélisation hydrosédimentaire (modèle MARS S4)</p> <p><i>Qualité des sédiments</i> : prélèvements</p> <p><i>Qualité de l'eau</i> : prélèvements et analyse</p> <p><i>Bruit sous-marin</i> : campagne avec immersion d'enregistreurs acoustiques (R1 et R2)</p>	<p>- Fournir la composition complète des anodes sacrificielles, renseigner les formes chimiques des métaux, estimer la contamination des sédiments et de la chaîne alimentaire par tous les métaux présents et évaluer les risques qui en découlent pour la chaîne trophique</p> <p>- Assurer un suivi du bruit sous-marin généré par les éoliennes notamment par le claquage des chaînes</p>
Benthos	<p>- Bibliographie : cartographie des fonds biosédimentaires du plateau continental du golfe de Gascogne (Chassé et Glémarec, 1976)</p> <p>- CARTHAM lot n°20 (par TBM, Ifremer, DIREN, REBENT et AAMP)</p>	<p><i>Zone subtidale</i> : prélèvements biosédimentaires à la benne</p> <p><i>Zone intertidale</i> : investigations de l'estran</p>	Eviter les tracés qui passent par les habitats rocheux
Pelagos	<p><i>Plancton</i> : bibliographie (Dauvin, 1997, Labry et al., 2001, 2002, Guillaud et al., 2008, Lampert, 2001, Herbland et al., 1998 et Marquis et al., 2007)</p> <p><i>Ichtyofaune</i> : bibliographie</p>	<i>Ichtyofaune</i> : campagnes de pêches scientifiques en lien avec le CDPMEM 56, Ifremer et FEM (chalut à GOV et chalut de fond)	Prolonger l'estimation des ressources halieutiques non pêchées par une évaluation des impacts sur les populations
Espèces invasives	<p>doris.ffessm.fr</p> <p>Programmes Ecolkelp ANR 2007-2009 et Interreg IVA</p> <p>Marinexus 2010-2014</p> <p>sextant.ifremer.fr</p>		
Mammifères marins et reptiles	Réseau National Echouages (RNE) ; Observations opportunistes ; Suivis Aériens de la Mégafaune Marine (SAMM) ; Suivis lors des campagnes PELGAS (Ifremer).	Campagne d'observation par bateau	Requalifier le niveau d'enjeu concernant le Grand dauphin et la Tortue caouanne
Avifaune	Synthèse des données ornithologiques (AAMP)	Campagne d'observation (échantillonnage protocolé en bateau)	- Compléter le dossier par une analyse chiroptérologique en milieu marin- Compléter au



travers du suivi prévu les connaissances des impacts  
du projet sur les chiroptères

*Tableau 20 : Données et Méthodes utilisés dans l'étude d'impact et recommandations de l'avis de l'autorité environnementale sur les éoliennes flottantes de Groix et Belle-île*

	Données (Etats initial)	Méthodes (Etats initial)	Recommandations de l'AE
<b>Milieu physique</b>	En attente de l'étude d'impact	En attente de l'étude d'impact	-
<b>Benthos</b>	En attente de l'étude d'impact	En attente de l'étude d'impact	-
<b>Pelagos</b>	En attente de l'étude d'impact <i>Ichtyfaune</i> : campagnes d'Ifremer, des sources universitaires et des résultats de plusieurs programmes de recherche, sur une analyse de la bibliographie scientifique	<i>Ichtyofaune</i> : campagnes de pêches	-
<b>Espèces invasives</b>	En attente de l'étude d'impact	-	-
<b>Mammifères marins et reptiles</b>	En attente de l'étude d'impact	Campagne d'observation par avion et bateau	Requalifier le niveau d'enjeu concernant le Grand dauphin - Mieux justifier dans le dossier le niveau de sensibilité aux effets des émissions sonores retenu pour les tortues marines
<b>Avifaune</b>	En attente de l'étude d'impact	Campagne d'observation (avion/bateau)	- Compléter au travers du suivi prévu les connaissances des impacts du projet sur les chiroptères. - mieux préciser, dans l'analyse des variantes, les paramètres environnementaux pris en compte, et notamment comment « l'orientation préférentielle des couloirs de migration de l'avifaune » a permis de définir les variantes proposées

Tableau 21 : Données et Méthodes utilisés dans l'étude d'impact et recommandations de l'avis de l'autorité environnementale sur les éoliennes flottantes du Golfe du Lion (Golfe du Lion)

	Données existantes utilisées (état initial)	Méthodes d'acquisition mis en œuvre (état initial)	Recommandations de l'AE
<b>Milieu physique</b>	<p><i>Météo</i> : Météo France  <i>Géologie</i> : BRGM  <i>Géomorphologie</i> : BRGM, bibliographie  <i>Bathymétrie</i> : SHOM  <i>Houle</i> : ANEMOC, lowaga  <i>Qualité de l'eau</i> : surveillance DCE, ARS, Ifremer (REMI, REPHY, ROCCH, REBENT)</p>	<p><i>Bathymétrie</i> : sondeur multifaisceaux  <i>Nature des fonds</i> : campagne géophysique (sonar latéral et sismique réflexion)  <i>Houles et courants</i> : Modélisation numérique Telemac  <i>Hydrosédimentaire</i> : MIKE 3D  <i>Qualité des sédiments</i> : prélèvements  <i>Qualité de l'eau</i> : prélèvements</p>	<p>veiller à ce que le suivi de la dégradation des anodes sacrificielles porte sur l'éventuelle accumulation des métaux toxiques dans les sédiments et la chaîne alimentaire</p>
<b>Benthos</b>	-	Prélèvements biosédimentaires à la benne	
<b>Pelagos</b>	<p><i>Ichtyofaune</i> : campagnes Ifremer MEDITS (1994) et PELMED (1993)</p>	<p><i>Ichtyofaune</i> : Echantillonnage par chalut à perche</p>	
<b>Espèces invasives</b>	-	-	
<b>Mammifères marins et reptiles</b>	<p>Réseau National Echouages (RNE) ; Observations opportunistes ; Suivis Aériens de la Mégafaune Marine (SAMM), Programme « Grand Dauphin Etude et Gestion en Méditerranée » (GDEGeM),</p>	<p>Campagne d'observation par bateau, avion  Surveillance Acoustique Passive</p>	<p>Justifier dans le dossier le niveau de sensibilité aux effets des émissions sonores retenu pour les tortues marines.</p>
<b>Avifaune</b>	<p>Atlas de répartition des espèces de Chiroptères, données du Groupe Chiroptères Languedoc-Roussillon, Suivis télémétriques des Puffins en Méditerranée,</p>	<p>Campagne d'observation (bateau/avion)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- reconsidérer ou justifier l'absence de qualification d'un enjeu fort pour les passereaux migrateurs ou de le requalifier le cas échéant</li> <li>- Compléter l'étude d'impact avec les données les plus récentes concernant les chiroptères et de réévaluer le niveau d'enjeu attribué à ces espèces</li> <li>- compléter l'étude d'impact par l'étude de fréquentation de la zone par les chiroptères (et les mammifères marins) et de prendre en compte ses résultats dans l'analyse des incidences du projet sur les chiroptères.</li> </ul>



- préciser dans l'analyse des variantes comment l'orientation des fronts de migration de l'avifaune a permis de définir les variantes proposées

*Tableau 22 : Données et Méthodes utilisés dans l'étude d'impact et recommandations de l'avis de l'autorité environnementale sur les éoliennes flottantes d'Eolmed (Grissan)*

## Eolien en mer posé

---

Trois appels d'offre sur l'éolien posé ont été lancés. L'autorité environnementale a donné des avis sur les six projets suivants :

- Fécamp, Courseulles sur mer, Saint Brieux et Saint Nazaire (appel d'offre 1),
- Le Tréport et Yeu Noirmoutier (appel d'offre 2).

Dans tous ces avis, l'autorité environnementale constate le niveau significativement plus réduit en mer qu'à terre des connaissances et des méthodologies disponibles pour aider un maître d'ouvrage à dresser un état des lieux initial, à identifier les effets et les vulnérabilités des espèces et des milieux à ces effets et à conclure sur les impacts, dans le cadre de la démarche ERC.

Les principaux enjeux environnementaux identifiés par l'autorité environnementale pour les parcs éoliens du premier appel d'offres sont les suivants :

- la qualité des eaux, potentiellement affectée par des émissions de métaux venant des éoliennes et de l'utilisation d'anodes sacrificielles,
- l'avifaune, du fait de la perte d'habitat, le risque de collision et l'effet barrière des parcs sur le déplacement des oiseaux,
- les mammifères marins du fait des perturbations acoustiques en phase de construction.

Les études d'impacts concernant les parcs éoliens du premier appel d'offres se basent sur les REX des parcs éoliens en Europe du Nord ainsi que sur des publications.

Les principaux enjeux environnementaux identifiés pour les parcs du second appel d'offre sont :

- les oiseaux, les chauves-souris et les mammifères marins, en lien avec les risques de collision, pertes d'habitats, ainsi que les perturbations acoustiques pendant la mise en place des éoliennes,
- les ressources halieutiques.

Dans les six parcs cités, des études des impacts cumulés ont été réalisées. Certaines reposent simplement sur la description des avis de l'Ae des parcs situés à proximité, d'autres notamment les études d'impacts de Yeu Noirmoutier utilisent des modélisations pour évaluer ces impacts. L'Ae relève que l'étude des impacts cumulés de ce projet sur l'avifaune a été judicieusement menée.

	Données (Etats initial)	Méthodes (Etats initial)	Recommandations de l'AE
<b>Milieu physique</b>	<p><i>Météo</i> : Météo France  <i>Géologie</i> : BRGM  <i>Géomorphologie</i> : BRGM, bibliographie  <i>Bathymétrie</i> : SHOM  <i>Houle</i> : ANEMOC, lowaga  <i>Dynamique hydrosédimentaire</i> : bibliographie (Larsonneur, 1978)  <i>Qualité de l'eau</i> : surveillance DCE, ARS, Ifremer (REMI, REPHY, ROCCH, REBENT)</p>	<p><i>Bathymétrie</i> : sondeur multifaisceaux  <i>Nature des fonds</i> : campagne géophysique (sonar latéral et sismique réflexion)  <i>Houles et courants</i> : Modélisation numérique Telemac  <i>Qualité des sédiments</i> : prélèvements</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Evaluer l'impact des anodes sacrificielles sur la qualité des sédiments</li> <li>- Préciser les effets du clapage des sédiments</li> <li>- Compléter l'analyse des impacts du projet sur la qualité des eaux par une évaluation des risques qui tienne compte de chacune des formes chimiques toxiques des éléments émis par les anodes</li> </ul>
<b>Benthos</b>	-	Prélèvements biosédimentaires à la benne	-
<b>Pelagos</b>	<i>Ichtyofaune</i> : évaluation initiale des eaux marines du PAMM Manche Mer du Nord et projets CHARM	<i>Ichtyofaune</i> : Echantillonnage par chalut et filet	Analyser l'impact des effets du projet de parc éolien sur les frayères
<b>Espèces invasives</b>	-	-	Prendre en compte le risque lié aux espèces non natives, en évaluer les impacts et déduire des mesures adaptées à mettre en œuvre
<b>Mammifères marins, élasmobranches et reptiles</b>	Réseau National Echouages (RNE) ; Observations opportunistes ; Suivis Aériens de la Mégafaune Marine (SAMM)	Campagne d'observation par bateau, avion et depuis la côte	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Prendre en compte la sensibilité des mammifères marins dans le choix technique d'implantation du poste électrique en mer</li> <li>- Prendre en compte les perturbations acoustiques dites moyennes sur les mammifères marins</li> </ul>
<b>Avifaune</b>	Données bibliographiques Pas de données sur les chiroptères	Campagne d'observation (bateau/avion/radar/obs. à terre)	Expliquer les incertitudes liées à l'examen de la bibliographie relative à l'avifaune marine

Tableau 23 : Données et Méthodes utilisés dans l'étude d'impact et recommandations de l'avis de l'autorité environnementale sur le parc éolien de Fécamp

	Données (Etats initial)	Méthodes (Etats initial)	Recommandations de l'AE
<b>Milieu physique</b>	<p><i>Météo</i> : Météo France  <i>Géologie</i> : BRGM, bibliographie  <i>Géomorphologie</i> : bibliographie  <i>Bathymétrie</i> : SHOM  <i>Houle</i> : ANEMOC  <i>Dynamique hydrosédimentaire</i> : bibliographie  <i>Qualité de l'eau</i> : surveillance DCE, ARS, Ifremer (REMI, REPHY, ROCCH)</p>	<p><i>Bathymétrie</i> : sondeur multifaisceaux  <i>Nature des fonds</i> : campagne géophysique (sonar latéral et sismique réflexion)  <i>Houles et courants</i> : ADCP, Telemac  <i>Conditions hydrosédimentaires</i> : Telemac 3D  <i>Colonne d'eau</i> : sonde et prélèvements  <i>Bruit</i> : campagnes de mesures in situ</p>	- Détailler les résultats obtenus selon chacune des formes chimiques des éléments émis par les anodes
<b>Benthos</b>	REBENT	Prélèvements biosédimentaires à la benne, au chalut à perche	-
<b>Pelagos</b>	<i>Ichtyofaune</i> : campagne COMOR	<i>Ichtyofaune</i> : Echantillonnage par chalut et filet	Présenter la possibilité d'autoriser à certaines conditions l'exercice de la pêche pro à l'intérieur du parc
<b>Espèces invasives</b>	Bibliographie	-	Développer l'argumentation sur le risque découlant de la présence d'espèces non-natives
<b>Mammifères marins et reptiles</b>	Réseau National Echouages (RNE) ; Observations opportunistes ; Suivis Aériens de la Mégafaune Marine (SAMM)	Campagne d'observation par bateau, avion et depuis la côte	Réaliser des cartes d'effets du bruit sur les mammifères marins
<b>Avifaune</b>	PACOMM	Campagne d'observation (bateau/avion/radar/obs. à terre)	Approfondir les questions de risque de collision pour le Goéland marin et le Fou de Basan et de perte d'habitats pour le Guillemot troïl, le Pingouin torda, le Fulmar boréal et le Plongeon arctique

Tableau 24 : Données et Méthodes utilisés dans l'étude d'impact et recommandations de l'avis de l'autorité environnementale sur le parc éolien de Courseulles sur Mer

	Données (Etats initial)	Méthodes (Etats initial)	Recommandations de l'AE
Milieu physique	<p><i>Météo</i> : Météo France  <i>Géologie</i> : BRGM, bibliographie  <i>Géomorphologie</i> : bibliographie  <i>Nature des fonds</i> : Atlas thématique de l'environnement marin en baie de St Brieuc (1996)  <i>Bathymétrie</i>: SHOM  <i>Courant</i> : SHOM  <i>Houle</i> : ANEMOC  <i>Qualité de l'eau</i> : surveillance DCE, ARS, CQEL, ROCCH, REPHY, REMI</p>	<p><i>Bathymétrie</i> : sondeur multifaisceaux  <i>Nature des fonds</i> : campagne géophysique (sonar latéral, ROV et sismique réflexion)  <i>Houles et courants</i> : ADCP, Telemac  <i>Conditions hydrosédimentaires</i> : SISYPHE  <i>Colonne d'eau</i> : sonde et prélèvements  <i>Bruit</i> : modélisation et suivi</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Préciser les mesures que le porteur de projets envisage face aux risques d'érosion et de submersion</li> <li>- Surveillance fine de la turbidité pendant les travaux afin de ne pas dépasser les seuils nuisibles.</li> <li>- Détailler les formes chimiques des éléments émis par les anodes</li> </ul>
Benthos	REBENT	Prélèvements biosédimentaires à la benne et observations ROV	-
Pelagos	<i>Ichtyofaune</i> : données VALPENA et bibliographie	<i>Ichtyofaune</i> : Echantillonnage par chalut, filet et casiers (adaptation du protocole halieutique défini par Ifremer (2011))	
Espèces invasives	Bibliographie, OSPAR	-	-
Mammifères marins et reptiles	Réseau National Echouages (RNE) ; Observations opportunistes ; Suivis Aériens de la Mégafaune Marine (SAMM) ; données du GECC, réseau phoque	Campagne d'observation par bateau, avion et données acoustiques avec hydrophones	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Prendre en compte les perturbations acoustiques dites moyennes sur les mammifères marins</li> <li>- Réaliser des cartes du niveau d'exposition au bruit accumulé pendant la durée d'une série de battage de pieux</li> </ul>
Avifaune et chiroptères	<p>Bibliographie : diagnostic Parc Naturel Marin du golfe Normand-Breton, ...</p> <p>Suivis d'oiseaux en baie de St Brieuc</p>	Campagne d'observation (bateau/avion)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Indiquer sur le risque de collision avec les mâts d'éoliennes de la taille de celles du projet a été pris en compte</li> <li>- Prendre en compte les résultats obtenus et tenter d'en apprécier la dépendance aux conditions météo et aux habitudes de vol des espèces</li> <li>- Assurer un suivi fin de la Pipistrelle de Nathusius</li> </ul>

Tableau 25 : Données et Méthodes utilisés dans l'étude d'impact et recommandations de l'avis de l'autorité environnementale sur le parc éolien de St Brieuc

	Données (Etats initial)	Méthodes (Etats initial)	Recommandations de l'AE
Milieu physique	<p><i>Météo</i> : Météo Bretagne  <i>Géologie</i> : BRGM, bibliographie  <i>Géomorphologie</i> : EuroSION, IGN, Corine Land Cover  <i>Bathymétrie</i> : SHOM  <i>Hydrodynamique</i> : NEXT : NESS Extension studies et NEXTRA : NEXT ReAnalysis, SHOM  <i>Qualité de l'eau</i> : surveillance DCE, ARS, CQEL, ROCCH, REPHY, REMI, PREVIMER</p>	<p><i>Bathymétrie</i> : sondeur multifaisceaux  <i>Nature des fonds</i> : campagne géophysique (sonar latéral, prélèvements et sismique réflexion)  <i>Houles et courants</i> : ADCP, Telemac  <i>Colonne d'eau</i> : sonde et prélèvements  <i>Bruit</i> : simulation prédictive</p>	Détailler les formes chimiques des éléments émis par les anodes
Benthos	REBENT	Prélèvements biosédimentaires à la benne, drague et observations ROV	-
Pelagos	<i>Ichtyofaune</i> : SIH, bibliographie	<i>Ichtyofaune</i> : Echantillonnage par chalut, filet et casiers + stades larvaires dans la colonne d'eau	-
Mammifères marins et reptiles	Réseau National Echouages (RNE) ; Observations opportunistes ; Suivis Aériens de la Mégafaune Marine (SAMM) ; Observations PELGAS (Ifremer)	-	-
Avifaune et chiroptères	SAMM	Campagne d'observation (bateau/avion/radar/obs. à terre)	Prise en compte du bruit engendré par le trafic des navires effectuant les travaux et prise en compte de l'impact du bruit sur les oiseaux plongeurs

Tableau 26 : Données et Méthodes utilisés dans l'étude d'impact et recommandations de l'avis de l'autorité environnementale sur le parc éolien de St Nazaire

	Données (Etats initial)	Méthodes (Etats initial)	Recommandations de l'AE
Milieu physique	<p><i>Météo</i> : Météo France  <i>Géologie</i> : BRGM, bibliographie  <i>Géomorphologie</i> : bibliographie  <i>Bathymétrie</i> : SHOM  <i>Houle</i> : ANEMOC  <i>Dynamique hydrosédimentaire</i> : bibliographie  <i>Qualité de l'eau</i> : surveillance DCE, ARS</p>	<p><i>Bathymétrie</i> : sondeur multifaisceaux  <i>Nature des fonds</i> : campagne géophysique (sonar latéral, ROV et sismique réflexion)  <i>Houles et courants</i> : ADCP, Telemac  <i>Conditions hydrosédimentaires</i> : SISYPHE  <i>Colonne d'eau</i> : sonde et prélèvements  <i>Bruit</i> : campagnes de mesures in situ</p>	-
Benthos	REBENT	Prélèvements biosédimentaires à la benne et observations ROV	Compléter l'analyse des impacts pour ce qui concerne la zone des ridens (habitat à graviers sableux)
Pelagos	<i>Ichtyofaune</i> : données VALPENA et bibliographie	<i>Ichtyofaune</i> : Echantillonnage par chalut et filet	Compléter l'analyse des impacts des travaux sur les nourriceries et frayères et réaliser une évaluation globale des impacts des chantiers sur les migrants amphihalins
Espèces invasives	Bibliographie, OSPAR	-	-
Mammifères marins et reptiles	Réseau National Echouages (RNE) ; Observations opportunistes ; Suivis Aériens de la Mégafaune Marine (SAMM)	Campagne d'observation par bateau, avion et depuis la côte, données acoustiques avec hydrophones	Aborder la question des effets indirects de perte d'habitats du fait du dérangement acoustique par une approche de précaution, de retenir par conséquent, pour les Phoques, des niveaux d'impact conservatoire, de réévaluer les impacts résiduels pour les mammifères marins et le cas échéant adapter ou compléter les mesures prévues.
Avifaune	Suivi des oiseaux (GONm), SAMM	Campagne d'observation (bateau/avion/radar/obs. à terre)	Réévaluer les niveaux d'impact pour plusieurs espèces d'oiseaux (les Goélands, la Mouette tridactyle et le Faucon pèlerin)

Tableau 27 : Données et Méthodes utilisés dans l'étude d'impact et recommandations de l'avis de l'autorité environnementale sur le parc éolien de Le Tréport

	Données (Etats initial)	Méthodes (Etats initial)	Recommandations de l'AE
Milieu physique	<p><i>Météo</i> : Météo France  <i>Géologie</i> : BRGM, bibliographie  <i>Bathymétrie</i> : SHOM  Etats de mer : ANEMOC  Courants : SHOM  <i>Hydrodynamique</i> : PREVIMER  <i>Evolution du littoral</i> : Observatoire Littoral des Pays de Monts.  <i>Qualité de l'eau</i> : surveillance DCE, ARS, CQEL, ROCCH, REPHY, REMI</p>	<p><i>Bathymétrie</i> : sondeur multifaisceaux  <i>Nature des fonds</i> : campagne géophysique (sonar latéral, prélèvements et sismique réflexion, profileur de sédiment), sondages géotechniques  <i>Houles et courants</i> : ADCP, Telemac  Transport sédimentaire : Module SISYPHE  <i>Colonne d'eau</i> : sonde et prélèvements  <i>Bruit</i> : simulation prédictive, mesures in situ</p>	<p>Procéder à une évaluation quantitative des risques de perturbation du milieu lités au déversement accidentel d'hydrocarbures</p>
Benthos	<p>Atlas des fonds meubles du plateau continental du golfe de Gascogne, REBENT</p>	<p>Prélèvements biosédimentaires</p>	-
Pelagos	<p><i>Ichtyofaune</i> : PAMM golfe de Gascogne (2012), bibliographie</p>	<p><i>Ichtyofaune</i> : Echantillonnage par chalut, filet et casiers + stades larvaires dans la colonne d'eau</p>	<p>Mise en place d'une démarche ERC pour les effets sur les poissons dont les étapes précoces du cycle de vie sont sensibles à la turbidité (morue et poissons plats)</p>
Mammifères marins et reptiles	<p>Réseau National Echouages (RNE) ; Observations opportunistes ; Suivis Aériens de la Mégafaune Marine (SAMM) ; Observations PELGAS (Ifremer) ; RTMAE</p>	<p>Inventaires visuels en mer (avion et bateau)</p>	-
Avifaune et chiroptères	<p>SAMM et FAME</p>	<p>Campagne d'observation (bateau/avion/obs. à terre)</p>	<p>Prise en compte du bruit engendré par le trafic des navires effectuant les travaux et prise en compte de l'impact du bruit sur les oiseaux plongeurs</p>

Tableau 28 : Données et Méthodes utilisés dans l'étude d'impact et recommandations de l'avis de l'autorité environnementale sur le parc éolien des deux îles (Yeux et Noirmoutier)