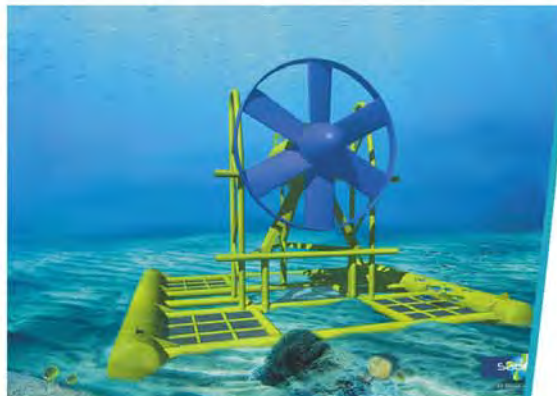


Energies marines renouvelables

Etude méthodologique des impacts
environnementaux et socio-économiques

Version 2012



Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie

**Étude méthodologique
des impacts environnementaux
et socio-économiques
des énergies marines renouvelables**

Version 2012

Sommaire

Introduction 13

1	Contexte.....	13
2	Echelle d'évaluation des impacts.....	14
3	Périmètre de l'étude	15
4	Les technologies évaluées	15
5	Les configurations étudiées	16
6	Les acteurs concernés.....	16
7	Contenu et structure du document	17

Chapitre 1 - Présentation des différentes énergies marines renouvelables en France et de leurs grands principes techniques..... 18

1	Energie éolienne.....	18
2	Energie des courants et des courants de marée	24
3	Energie houlomotrice.....	28
4	Energie thermique des mers	31
5	Pompes à chaleur alimentées en eau de mer.....	33

Chapitre 2 - Synthèse des connaissances sur les impacts environnementaux des énergies marines renouvelables . 38

1	Remaniement des fonds et mises en suspension de matériaux ..	47
1.1	Techniques de travaux et pressions sur les fonds.....	47
1.1.1	Construction par lestage.....	47
1.1.2	Construction par enfoncement de pieux dans le substrat.....	48
1.1.3	Fixation de structures flottantes par ancrage.....	49
1.1.4	Installation de câbles.....	49
1.2	Destruction d'habitats et processus de recolonisation.....	50
1.2.1	Effets sur le compartiment benthique	50
1.2.2	Effets sur les poissons.....	55
1.3	Remise en suspension de matériaux en phase travaux	56
1.3.1	Effets sur la faune benthique et les habitats de plus forte sensibilité	57
1.3.2	Effets sur le plancton	57
1.3.3	Effets sur les poissons.....	58
1.4	Cas spécifique des travaux en milieu terrestre	58
1.4.1	Cas des câbles.....	58
1.4.2	Cas des installations énergétiques à la côte	60
1.5	Synthèse	60
2	Bruits et vibrations.....	61
2.1	Notions de base sur le bruit	62
2.1.1	Caractéristiques et unités	62
2.1.2	Ambiances sonores de référence.....	64
2.2	Niveaux de bruits des EMR	66
2.2.1	Bruits en phase travaux.....	66
2.2.2	Cas spécifique des navires.....	67
2.2.3	Bruits et vibrations en phase opérationnelle.....	67
2.3	Rapport au bruit des différentes espèces marines	68
2.3.1	Production sonore et audition chez les mammifères marins	68
2.3.2	Audition chez les poissons	70
2.3.3	Rapport au bruit des invertébrés	70
2.3.4	Production sonore et audition des oiseaux.....	70

2.3.5	Production sonore et audition chez les chiroptères	70
2.3.6	Catégories d'effets	71
2.4	Risques de perte d'audition et de blessure.....	72
2.4.1	Cas des mammifères marins.....	72
2.4.2	Cas des poissons	74
2.4.3	Cas des invertébrés	75
2.5	Perturbations comportementales	76
2.5.1	Niveaux de perturbation chez les mammifères marins.....	77
2.5.2	Niveaux de perturbation chez les poissons	79
2.5.3	Perturbations des oiseaux	81
2.5.4	Perturbations des chiroptères.....	81
2.6	Impacts cumulatifs	81
2.7	Synthèse	82
3	Transport d'électricité et électromagnétisme.....	83
3.1	Notions de base sur les champs électromagnétiques	83
3.2	Effets sur les espèces marines	84
3.2.1	Effets sur les poissons.....	84
3.2.2	Effets sur les mammifères marins	86
3.2.3	Effets sur les tortues.....	87
3.2.4	Effets sur les invertébrés.....	87
3.3	Impacts cumulatifs	87
3.4	Synthèse	87
4	Variations thermiques.....	89
4.1	Hausses de températures aux abords des câbles électriques et des machines.....	89
4.2	Variations thermiques associées aux pompages et rejets d'ETM et de SWAC	90
4.2.1	Mécanismes de pompages et rejets.....	91
4.2.2	Effets des différentiels thermiques sur les organismes marins.....	92
4.2.3	Retour d'expérience pour une PAC métropolitaine	98
4.3	Impacts thermiques cumulatifs	98
4.4	Synthèse	99
5	Pompages : effets mécaniques sur le milieu.....	100
5.1	Aspiration d'organismes marins et contraintes mécaniques	100
5.2	Effets sur le phytoplancton.....	100
5.3	Effets sur le zooplancton.....	101
5.4	Effets sur la macrofaune	101
5.5	Impacts cumulatifs	102
5.6	Synthèse	102
6	Rejets : effets spécifiques d'upwelling artificiel.....	103
7	Présence physique des installations : effet récif, effet réserve, effet barrière et risque de collision	104
7.1	Effet récif	105
7.1.1	Cas de la faune benthique et épibenthique	105
7.1.2	Cas des poissons et des crustacés	108
7.1.3	Cas des mammifères marins.....	111
7.2	Effet réserve.....	111
7.2.1	Effets intra-réserve	111
7.2.2	Effets sur les zones non protégées avoisinantes	112
7.2.3	Etude spécifique de l'effet réserve au regard de l'activité de pêche.....	113
7.3	Risques de collision	113
7.3.1	Risque de collision pour les mammifères marins et les poissons.....	113
7.3.2	Risque de collision pour les oiseaux et les chiroptères	115
7.4	Effet barrière	118
7.4.1	Effet barrière aux déplacements de l'avifaune.....	118

7.4.2	Effet barrière au déplacement de la faune marine.....	119
7.5	Impacts cumulatifs	119
7.6	Synthèse	119
8	Présence physique des installations : impacts sur les paysages .	121
8.1	Effets sur les paysages maritimes	121
8.2	Effets sur les paysages sous-marins	124
9	Exploitation d'énergie et obstacles aux écoulements : perturbation des régimes hydrodynamiques et sédimentaires	125
9.1	Effets locaux sur l'hydrodynamisme et le compartiment sédimentaire.....	125
9.1.1	Cas des dispositifs non dynamiques	125
9.1.2	Cas des dispositifs dynamiques	127
9.2	Effets à grande échelle sur les courants, les houles et les transferts sédimentaires.....	128
10	Emissions lumineuses.....	131
11	Produits chimiques et risques de pollutions accidentelles : pression toxicologique	133
11.1	Risques ponctuels de pollution accidentelle	133
11.1.1	Risques associés aux moyens nautiques mobilisés.....	133
11.1.2	Risques associés à la diffusion de fluides de travail.....	133
11.2	Risques ponctuels associés à certaines opérations contrôlées	133
11.2.1	Remaniement des fonds et remises en suspension de matériaux	134
11.2.2	Coulage de mortier.....	134
11.2.3	Opérations de maintenance	134
11.3	Risques de diffusion à long terme.....	134
11.3.1	Peintures	134
11.3.2	Câbles électriques.....	134
11.3.3	Anodes sacrificielles.....	135

Chapitre 3 - Synthèse des connaissances des impacts sur les principaux usages et aménités de l'espace maritime

1	Impacts sur les activités de pêche professionnelle.....	139
1.1	Enjeux	139
1.2	Impacts potentiels	140
1.3	Une étude de cas : l'appréciation des impacts de la seconde génération de parcs éoliens sur l'industrie de la pêche au Royaume-Uni.....	142
1.3.1	La zone d'étude.....	143
1.3.2	Caractéristiques de la flotte et des activités de pêche.....	144
1.3.3	Résultats des enquêtes.....	145
1.3.4	Mesures de réduction préconisées.....	149
1.4	Impacts prévisibles (<i>ex ante</i>) d'EMR - hors éolien offshore –	150
1.4.1	Projet de parc démonstrateur d'hydroliennes sur le site de Paimpol Bréhat (22) développée par EDF SA	150
1.4.2	Projet SEM-REV (Ecole Centrale de Nantes) d'un site d'expérimentation en mer pour la récupération de l'énergie des vagues	151
1.4.3	Projet houlomoteur PELAMIS à l'île de la Réunion	153
1.4.4	Projet « Energie Thermique des Mers » sur l'île de la Réunion.....	154
1.5	Les mesures de réduction, de compensation et d'accompagnement	156
1.6	EMR : quelles opportunités pour la pêche ?	161
1.7	Conclusions.....	161
2	Impacts sur les activités aquacoles : pisciculture marine et conchyliculture.....	163
2.1	Les impacts potentiels	163
2.2	EMR : quelles opportunités pour les cultures marines ?	164
3	Impacts sur le paysage maritime	165

3.1	Caractérisation des impacts.....	165
3.2	Acceptation des EMR, réactions à la perte d'aménités paysagères	166
3.2.1	Le cas des parcs éoliens offshore de Horns Rev et de Nysted au Danemark.....	166
3.2.2	L'évaluation de la perte d'aménités paysagères dans l'hypothèse de l'implantation d'éoliennes sur le littoral du Languedoc-Roussillon.....	172
3.3	Conclusion	175
4	Impacts sur les activités touristiques	176
4.1	Retour d'expériences	176
4.2	Etude de l'impact des parcs éoliens terrestres sur le tourisme en Ecosse	177
4.3	Conclusions.....	180
5	Les servitudes	181
5.1	Les servitudes militaires.....	181
5.1.1	Les servitudes liées aux champs de tir et aux polygones d'isolement.....	181
5.1.2	Les servitudes liées aux aéronefs	181
5.1.3	Les servitudes liées aux postes électro sémaphoriques	181
5.1.4	Les servitudes liées aux amers, aux feux et aux phares	182
5.1.5	Les servitudes liées à la défense des côtes	182
5.1.6	Les servitudes autour des fortifications	182
5.2	Les servitudes aéronautiques	182
5.2.1	Les servitudes de dégagement	182
5.2.2	Les servitudes de balisage.....	183
5.3	Les servitudes maritimes	183
5.3.1	Les servitudes liées à la navigation et autres servitudes maritimes	183
5.3.2	Le balisage.....	183
5.4	Les servitudes radioélectriques	185
6	Impacts sur la navigation maritime.....	186
6.1	Enjeux et impacts attendus	186
6.2	Impacts potentiels et facteurs à considérer	186
6.3	Impacts pendant la construction et le démantèlement	189
6.3.1	Chantier de construction maritime.....	189
6.3.2	Pose des câbles.....	189
6.4	Exploitation.....	189
6.4.1	Les gênes à la navigation.....	189
6.4.2	Les câbles sous-marins.....	190
6.4.3	Les risques d'accidents maritimes.....	191
6.5	Les mesures de balisage réglementaire et de restriction de navigation....	195
7	Impacts sur la navigation et la pêche de plaisance, la plongée sous-marine.....	197
7.1	Navigation et pêche de plaisance	197
7.2	Plongée	197
8	Impacts sur la navigation aérienne	199
8.1	Enjeux et impacts potentiels	199
8.2	Information aéronautique	199
8.3	Servitudes radioélectriques.....	199
8.3.1	Servitudes radioélectriques de protection contre les obstacles	200
8.3.2	Servitudes radioélectriques de protection contre les perturbations électromagnétiques	200
8.4	Altitude minimale de secteur	200
8.5	Manœuvres à vue	200
9	Impact des EMR sur les systèmes de radars et de radionavigation maritime.....	202
9.1	Approche théorique.....	202
9.2	Etude expérimentale	204
9.2.1	Compas magnétique	204

9.2.2 DGPS	205
9.2.3 GPS.....	205
9.2.4 AIS	205
9.2.5 Loran-C	205
9.2.6 VHF et autres systèmes de transmission	205
9.2.7 Radars.....	206
9.3 Principes pour éviter la perturbation des radars	207
9.3.1 Introduction.....	207
9.3.2 Contraintes des opérateurs radars	208
9.3.3 Zones de servitudes	208
9.3.4 Analyse de la covisibilité d'un aérogénérateur avec un radar.....	209
9.3.5 Analyse en cas de covisibilité dans une zone de coordination	209
10 Impacts sur le patrimoine historique et archéologique	
subaquatique	210
10.1 Enjeux	210
10.2 Le cadre réglementaire	210
10.2.1 Le régime des épaves	210
10.3 La protection des biens culturels maritimes.....	211
10.4 Analyse des impacts	212
10.5 Mesures pour éviter ou réduire les effets sur le patrimoine historique.....	213
Chapitre 4 - Choix du site	216
Chapitre 5 - Analyse de l'état initial	217
1 Analyse du milieu physique	220
1.1 Conditions océanographiques	220
1.2 Nature et structure des fonds et des sols	222
1.2.1 Nature et structure des fonds marins	222
1.2.2 Topographie et géomorphologie terrestre	225
1.3 Qualité physico-chimique du milieu	225
1.3.1 Qualité physico-chimique du substrat.....	225
1.3.2 Qualité physico-chimique des eaux.....	227
2 Analyse du milieu biologique	229
2.1 Biocénoses et macrofaune benthique.....	229
2.2 Cas des habitats terrestres	231
2.3 Faune pélagique et ressources halieutiques	231
2.4 Mammifères marins.....	233
2.5 Phytoplancton	235
2.6 Avifaune	236
2.7 Chiroptères.....	238
3 Analyse du patrimoine écologique	239
4 Analyse du paysage et du patrimoine culturel.....	241
4.1 Analyse paysagère.....	241
4.2 Identification du patrimoine archéologique	245
5 Analyse des activités socio-économiques et des usages.....	246
5.1 Activités maritimes professionnelles	246
5.1.1 Pêche	246
5.1.2 Cultures marines	249
5.1.3 Navigation commerciale	249
5.1.4 Extraction de granulats.....	250
5.2 Activités de loisirs en mer	252
5.2.1 Plaisance.....	252
5.2.2 Plongée	252

5.3	Tourisme	253
5.4	Réglementation et servitudes	253
5.5	Organisation du territoire et des ressources	255
5.5.1	Urbanisme	255
5.5.2	Documents de planification et de gestion des ressources en eau, en air et en énergie du territoire	256
6	Affinage des périmètres de projet.....	257

Chapitre 6 - Analyse prévisionnelle des impacts et proposition de mesures 258

1	Principes méthodologiques et clés de lecture	258
1.1	Effets et impacts : éléments de distinction et de caractérisation	258
1.1.1	Les différents types d'effets.....	259
1.1.2	La caractérisation des impacts	260
1.2	Limites d'évaluation.....	261
2	Méthodologie d'analyse prévisionnelle des impacts sur les écosystèmes et les usages en mer	262
2.1	Structure et contenu de l'outil	262
2.2	Proposition de méthodes de hiérarchisation des impacts	263
2.2.1	Hiérarchisation des impacts sur les espèces et les habitats marins.....	264
2.2.2	Echelle de sensibilité des activités socio-économiques	268
2.3	Analyse prévisionnelle des impacts liés aux interactions mécaniques avec les fonds	270
2.3.1	Analyse prévisionnelle des impacts du remaniement du substrat	270
2.3.2	Analyse prévisionnelle des impacts de la remise en suspension de matériaux.....	271
2.4	Analyse prévisionnelle des impacts du bruit.....	272
2.5	Analyse prévisionnelle des impacts de l'électromagnétisme.....	275
2.6	Analyse prévisionnelle des impacts des variations de température	276
2.7	Analyse prévisionnelle des impacts associés à la présence physique des installations	278
2.7.1	Analyse prévisionnelle des impacts de l'effet récif	278
2.7.2	Analyse prévisionnelle des impacts de l'effet réserve	280
2.7.3	Analyse prévisionnelle des risques de collision et de l'effet barrière	281
2.7.4	Analyse prévisionnelle des impacts de la présence des installations sur les usages.....	283
2.7.5	Analyse prévisionnelle des impacts de la présence des installations sur le paysage.....	287
2.8	Analyse prévisionnelle des impacts sur l'hydrodynamisme et le compartiment sédimentaire.....	289
2.9	Analyse prévisionnelle des impacts des charges nutritives des rejets des ETM et des PAC	290
2.10	Analyse prévisionnelle des impacts des pompages d'eau de mer ..	292
2.11	Analyse prévisionnelle des risques de pollution	293
2.12	Analyse prévisionnelle des impacts des émissions lumineuses.....	295

Chapitre 7 - Analyse des incidences sur les sites Natura 2000 296

1	Le régime d'évaluation Natura 2000.....	296
1.1	Objectifs	296
1.2	Champ d'application.....	296
1.3	Principes de l'évaluation des incidences Natura 2000	297
1.4	Le contenu du dossier d'évaluation des incidences	297
1.5	Outils 300	

Chapitre 8 - Suivi des impacts	301
1 Principes méthodologiques.....	301
1.1 Définition	301
1.2 Champ d'application.....	301
1.3 Objectifs des suivis environnementaux.....	301
1.4 Etapes du suivi environnemental	302
2 Propositions de suivis environnementaux de projets EMR	306
2.1 Suivi des effets.....	306
2.1.1 Bruit.....	306
2.1.2 Electromagnétisme.....	306
2.1.3 Température.....	306
2.2 Suivi des composantes environnementales	306
2.2.1 Suivi des fonds marins	306
2.2.2 Suivi de la faune pélagique (hors mammifères marins) et des ressources halieutiques	308
2.2.3 Suivi de la qualité des eaux.....	308
2.2.4 Suivi de l'avifaune	309
2.2.5 Suivi des mammifères marins	310
2.3 Suivi des usages.....	311
2.3.1 Suivi des impacts sur la pêche	311
2.3.2 Suivi des impacts sur la navigation maritime.....	311
2.3.3 Suivi des impacts sur le tourisme et les activités de loisirs en mer	311
2.3.4 Suivi des retombées socio-économiques	311
 Chapitre 9 - Evaluation des retombées socio-économiques des projets d'EMR.....	 312
1 La notion de chaine de valeur	312
2 Les impacts sur l'emploi local.....	316
2.1 Analyse de l'emploi local.....	317
2.2 Eléments de méthodologie pour évaluer les effets sur l'emploi	317
 Conclusions	 320
1 Amélioration des connaissances et retours d'expériences	320
2 Enjeux de développement et gouvernance	322
 Bibliographie.....	 323
 Lexique 336	
 Membres du comité de pilotage de l'étude.....	 340
 Annexe 1 – Cartographie des espaces d'intérêt écologique côtiers et des aires marines protégées	 342

Liste des figures

Figure 1 : Schéma d'implantation d'un projet éolien en mer (source DTI, Royaume Uni).....	15
Figure 2 : Lauréats du premier appel d'offres éolien en mer du 11 juillet 2011 (source : MEDDE)	20
Figure 3 : Eoliennes offshore posées – Parc d'Alpha Ventus en Allemagne	21
Figure 4. Eoliennes offshore posées : les différents types de fondation (source : SAIPEM)	22
Figure 5 : Illustration d'une éolienne flottante	22
Figure 6 : L'usine marémotrice de la Rance	25
Figure 7 : Hydrolienne OpenHydro en test dans la rade de Brest	27
Figure 8 : Hydrolienne Beluga d'Alstom.....	27
Figure 9 : Dispositif houlomoteur Pelamis	30
Figure 10 : Schéma de principe d'une installation ETM offshore	31
Figure 11 : Projet de centrale pilote ETM de DCNS	32
Figure 12 : Schéma de principe d'une SWAC	33
Figure 13 : Projet SWAC du Nord de l'île de la Réunion	35
Figure 14 : Projet hydrolien Tidal Stream : test en bassin	37
Figure 15 : Eolienne fixée sur une fondation type bloc	47
Figure 16 : Marteau hydraulique et battage de pieux sous-marins	48
Figure 17 : Exemple de fondation par mono-pieux (gauche) ou multi-pieux (droite)	48
Figure 18 : Rhizome d'herbier de posidonie sur lest de câble (Source : EDF)	52
Figure 19 : Impact de l'enfouissement d'un câble électrique par tranchée sur un herbier de posidonie en Méditerranée française	52
Figure 20 : Schéma des étapes de recolonisation des sites d'extraction par les communautés benthiques (d'après Nedwell et al. 2004).....	54
Figure 21 : Frayère à <i>Spiraca maena</i> sur banc de sable à faible couverture permanente d'eau marine sur la côte varoise (source : Andromède Océanologie / Agence des aires marines protégées (AAMP), image issue du programme CARTHAM, 2010 – 2012).....	55
Figure 22 : Schéma de principe d'un forage dirigé (Source: RTE).....	59
Figure 23 : Exemple d'une chambre de jonction (Source : RTE).....	59
Figure 24 : Illustration des valeurs de pression acoustique dB_{rms} et $dB_{pic-pic}$	62
Figure 25 : Audiogramme du Marsouin commun (Kastelein et al. 2002 in OSPAR, 2006).....	63
Figure 26 : Gammes de fréquences d'audition par groupe fonctionnel de mammifères marins (Southall et al. 2007).....	69
Figure 27 : Zones d'influence théoriques du bruit (<i>inspiré de Richardson et al. 1995</i>)	71
Figure 28 : Critères acoustiques de blessures chez les mammifères marins (Southall et al. 2007)	74
Figure 29 : Coupe et emplacement du statocyste chez le calmar	75
Figure 30 : Modélisation de l'intensité moyenne des champs magnétiques à la surface des fonds pour des câbles de raccordement de parcs éoliens offshore (à gauche en courant alternatif, et à droite en continu). La courbe bleue représente le champ moyen tandis que la surface verte représente la gamme d'intensité couverte par les différents types de câbles considérés.....	83
Figure 31 : Thermocline typique en milieu intertropical.....	91
Figure 32 : Modélisation d'un rejet d'ETM à la côte (gauche) et en mer ouverte (droite) (Source : <i>Paddock and Ditmars 1983</i>).....	92
Figure 33 : Représentation de différentes dispositions d'éoliennes en mer.....	123
Figure 34 : Intersection des perceptions visuelles pour deux exemples de sites en mer.....	124

Figure 35 : Imagerie sonar des fonds sur Scroby sands (Sources : e-on – UK, CEFAS)	126
Figure 36 : Changement de la hauteur des vagues dans le cas du scénario moyen (haut) et dans le cas du scénario de plus forte contrainte (bas) pour une houle de période de retour un an ($H_s = 10$ m, $T = 12$ s).....	129
Figure 37 : Variations des courants de marée associées au scénario de plus forte contrainte en condition de flot (gauche) et de jusant (droite).....	130
Figure 38 : Variations des courants de marée associées au scénario d'aménagement typique en condition de flot (gauche) et de jusant (droite).....	130
Figure 39. Sites de parcs éoliens au Royaume-Uni.....	143
Figure 40 : Nombre de navires de pêche commerciaux dans chaque région de développement éolien	144
Figure 41 : Nombre de membres d'équipages employés par région	144
Figure 42 : Valeur des captures déclarées par les navires de 10 m basées sur les rectangles ICES couvrant les trois zones stratégiques pour le développement des parcs éoliens (Source : Defra Fishing Activity).....	146
Figure 43 : Revenus moyens des navires de pêche susceptibles d'être impactés par les parcs éoliens de 2 ^{ème} génération sur la côte de Cumbria	146
Figure 44 : Deux scénarios hypothétiques illustrant les impacts économiques potentiels sur un chalut de jour devant éviter un parc éolien.....	147
Figure 45 : Valorisation halieutique des parcs d'EMR par récifs artificiels et éco-conception des parcs d'éoliennes offshore	160
Figure 46 : Attitude à l'encontre des parcs éoliens existants selon trois échantillons de population	167
Figure 47 : Attitude envers les nouveaux parcs selon trois échantillons de population	168
Figure 48 : Perception des effets sur le paysage littoral selon trois échantillons de population.....	169
Figure 49 : Consentement à payer pour établir les parcs éoliens à des distances supérieures à 8 km de la côte.....	170
Figure 50 : Evolution du consentement à payer en fonction de la distance des parcs éolien à la côte, au-delà de la distance-seuil de 8 km.....	171
Figure 51 : ADCP.....	221
Figure 52 : houlographe.....	221
Figure 53 : Sonogramme extrait de l'Atlas thématique de l'environnement marin de la baie de Douarnenez – Finistère – (Augris et al., 2005).....	224
Figure 54 : Prélèvements par benne.....	226
Figure 55 : Illustration de la pêche au chalut de fond	231
Figure 56 : Illustration de la pêche par drague à coquilles.....	232
Figure 57 : Aires d'étude paysagères	242
Figure 58 : Bloc paysager des Grandes Dalles sur le littoral normand	244
Figure 59. Méthodes d'évaluation des impacts sur le tourisme et sur les activités économiques	287
Figure 60 : Schéma d'un prototype de chape de redirection de flux de pompage (<i>Myers et al 1986</i>)	293
Figure 61 : Chaîne de valeur de l'éolien offshore (Source : DGEC 2011) CAPEX = Dépenses d'investissement du capital ; OPEX = Dépenses d'exploitation	315

Liste des tableaux

Tableau 1 : Liste des 25 fermes éoliennes offshore opérationnelles à plus fort potentiel de production en 2011	23
Tableau 2 . Caractéristiques des sites d'essais France Énergies Marines (source : http://www.france-energies-marines.org)	37
Tableau 3 : Principales catégories d'interaction potentielle des EMR avec le milieu naturel	38
Tableau 4 : Récapitulatif des interactions potentielles avec le milieu à considérer par type de technologie EMR.....	39
Tableau 5 : Ordres de grandeur des surfaces perturbées pour différents types d'opérations	50
Tableau 6 : Effets des variations de température sur les poissons.....	97
Tableau 7 : Exemples de dimensions de projets d'EMR.....	104
Tableau 8 : Taux d'évitement de quelques oiseaux marins	116
Tableau 9 : Evolution de la visibilité d'une éolienne en fonction de la position de l'observateur et de la distance à la côte	122
Tableau 10 : Réaction des oiseaux à l'éclairage d'une plateforme pétrolière offshore lors d'une période de migration, pour une intensité lumineuse de 30 kW.....	131
Tableau 11 : Interactions entre intensité lumineuse et nombre d'oiseaux attirés par les éclairages.....	132
Tableau 12 : Conflits potentiels entre EMR, usages et aménités des espaces maritimes. Mesures pour minimiser ces conflits	136
Tableau 13 : Estimations des retombées économiques appréciées ou dépréciées pour un touriste adulte et pour une semaine en fonction de 4 scénarios (consentement à payer, valeurs en €).....	174
Tableau 14 : Part du tourisme et de la capacité d'hébergement affectés par les parcs éoliens	178
Tableau 15 : Réduction des dépenses touristiques estimées dans chaque périmètre d'étude.....	179
Tableau 16 : Pourcentage de réduction des dépenses touristiques.....	179
Tableau 17 : Estimation des impacts sur l'économie et les emplois des parcs éoliens en Ecosse (Valeur Ajoutée Brute en £m).....	180
Tableau 18. Chaînes d'événements pouvant conduire à des accidents (extraits)	192
Tableau 19. Effets potentiels sur le patrimoine archéologique en fonction de la localisation des installations set de leur raccordement électrique	213
Tableau 20 : Synthèse des préconisations d'étude de l'état initial des sites de projets d'EMR	219
Tableau 21 : Critères d'affinage du périmètre de projet.....	257
Tableau 22 : Echelle de tolérance des espèces à un effet (Source : Egis d'après MarLIN)	264
Tableau 23 : Echelle de résilience des espèces à un effet (Source : Egis d'après MarLIN)	265
Tableau 24 : Evaluation du sens et de l'amplitude des impacts en fonction des échelles de résilience et de tolérance des espèces (Source : Egis d'après MarLIN)	265
Tableau 25 : Echelle d'impact des activités socio-économiques en fonction de l'amplitude de l'effet (Source : EMEC).....	269
Tableau 26 : Echelle de hiérarchisation d'impacts pour les oiseaux de l'effet barrière (COWRIE 2009).....	282
Tableau 27 : Critères de conditionnalité des indicateurs de suivi	304
Tableau 28 : Chaîne de valeurs des EMR	312

Acronymes et abréviations

AAMP	Agence des Aires Marines Protégées
CARTHAM	CARtographie des HABitats Marins
CETMEF	Centre d'études techniques maritimes et fluviales
DGEC	Direction générale de l'énergie et du climat
EMEC	European Marine Energy Center
EMR	Energie(s) marine(s) renouvelable(s)
ETM	Energie thermique des mers
EWEA	European Wind Energy Association
GW	Giga Watts
IEA	International Energy Agency
MEDDE	Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable, et de l'Energie
MW	Méga Watts
NMFS	National Marine Fisheries Service
OSPAR	Convention pour la protection du milieu marin de l'Atlantique du Nord-Est
OTEC	Ocean thermal energy conversion
PAC	Pompe à chaleur
RTE	Réseaux de Transport et d'Electricité
SWAC	Sea water air cooling
UE	Union Européenne

Introduction

1 Contexte

Face à l'enjeu du changement climatique, le développement des énergies renouvelables constitue une opportunité majeure pour réduire les émissions de gaz à effet de serre. L'Union européenne a ainsi adopté en décembre 2008, un ensemble d'objectifs dit « paquet énergie climat » visant à atteindre d'ici 2020 l'objectif emblématique des « trois fois vingt », visant notamment une part de 20 % d'énergies renouvelables dans la consommation finale d'énergie de l'Union, tous usages confondus, électricité, chaleur et carburants. La France s'est fixé un objectif de 23 % d'énergies renouvelables dans son mix énergétique.

Les avancées technologiques réalisées pour tirer partie des diverses formes d'énergies renouvelables (vent, soleil, biomasse...) se font à vitesse variable et l'éolien et le solaire se sont déjà considérablement développés à terre. L'océan possède pour autant un potentiel énergétique remarquable et diversifié au travers des vents marins, des courants, des vagues et des gradients thermiques. Forte de plus de 11 millions de km² d'eaux sous sa juridiction (en majorité dans l'hémisphère Sud), la France dispose d'importantes ressources d'énergie marine, dont l'exploitation pourrait représenter 3% de l'objectif¹ à l'horizon 2020.

La France envisage dans un premier temps de développer les projets éoliens « posés » dans des zones dédiées à des distances plus ou moins importantes du littoral. En parallèle, les technologies telles que l'utilisation de l'énergie des vagues, des courants, « l'éolien flottant » ainsi que l'énergie thermique des mers, seront testées dans des sites d'essais et au sein de fermes pilotes, puis développées à une échelle industrielle. A noter que la filière hydrolienne passe aujourd'hui de la phase recherche et développement à la phase opérationnelle. Ces technologies utilisant les énergies marines renouvelables sont dénommées ci-après « EMR ».

Les enjeux du changement climatique sur le milieu marin se déclinent aujourd'hui aussi bien sur le plan environnemental que sur le plan humain et socio-économique. L'ampleur des conséquences de la hausse des températures et de l'acidification des mers et des océans sur les écosystèmes reste mal appréhendée mais les impacts potentiels sur la chaîne trophique, la transformation des habitats et la migration des espèces sont identifiés. Les perspectives d'élévation du niveau de la mer posent également la question de l'évolution des processus d'érosion, des risques de submersion marine.

À ces considérations environnementales au sens large, s'ajoutent également des enjeux économiques et politiques liés d'un côté au renforcement de l'indépendance énergétique et à sa diversification et de l'autre, à l'opportunité de trouver dans la filière des EMR, un facteur de croissance économique. L'influence de la croissance des énergies renouvelables sur l'activité et l'emploi français dépend principalement de la présence sur le territoire national des entreprises de la filière.

¹ 3% de l'objectif français de 23 % de production énergétique à base de ressources renouvelables.

Le décollage du secteur éolien offshore est une opportunité à saisir pour les industriels français. Les avancées pionnières sur les autres technologies sont autant de promesses de développement d'activités et d'emplois.

Le développement des EMR paraît ainsi essentiel pour répondre aux nombreux enjeux environnementaux et socio-économiques que soulève dès aujourd'hui le changement climatique à l'échelle globale et nationale. A l'échelle des projets, ce développement fait émerger ses propres enjeux d'environnement et d'usages, et nécessite de la part des développeurs un travail pour favoriser l'acceptabilité sociale et environnementale. Il est aujourd'hui clair que l'intégration locale de ces projets est une condition indispensable pour assurer un développement harmonieux de ces technologies au sein des territoires, et atteindre les objectifs environnementaux et socio-économiques fixés au niveau stratégique.

La Direction générale de l'énergie et du climat (DGEC) du Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Energie (MEDDE) a pour mission d'élaborer et de mettre en œuvre les politiques relatives à l'énergie, aux matières premières énergétiques, à la lutte contre le réchauffement climatique et la pollution atmosphérique. Dans ce cadre, la DGEC définit la stratégie française en matière de développement des énergies renouvelables y compris marines, et notamment les conditions dans lesquelles ces nouveaux moyens de production se développent.

Dans ce contexte, la DGEC a souhaité, par la présente étude, se doter d'un cadre de référence pour l'étude des impacts environnementaux et socio-économiques des énergies marines renouvelables à l'échelle des projets. Ce document a ainsi pour objectif de constituer à la fois une synthèse de l'état des connaissances nationales et internationales actuelles sur les impacts des EMR, à l'échelle des projets et un outil de cadrage pour une intégration durable des projets à venir.

2 Echelle d'évaluation des impacts

Cette étude traite des impacts environnementaux et socio-économiques à **l'échelle du projet**, au sens de la directive 2011/92/UE et de ses déclinaisons réglementaires à l'échelle nationale.

A ce titre, les impacts potentiels d'un projet EMR retenus ici, qu'ils soient positifs ou négatifs, temporaires ou permanents, directs ou indirects, sont les impacts s'exprimant à l'échelle des interactions physiques, chimiques ou biologiques du projet avec le milieu et les activités existantes pour les phases de travaux, d'opération et de démantèlement (quelques mètres à plusieurs dizaines de kilomètres en fonction des interactions considérées).

La présente étude concerne ainsi la période de vie du projet allant de la mise en œuvre des installations au démantèlement des structures en passant par l'exploitation et la maintenance des machines. Les impacts des reconnaissances de terrain ne sont pas abordés. Le champ d'évaluation coïncide ainsi globalement avec celui d'une évaluation environnementale réglementaire.

Cette échelle d'évaluation couvre les questions essentielles susceptibles de s'exprimer au travers du régime d'autorisation classique des projets (autorisation au titre de la loi sur l'eau, étude d'impact environnemental, étude d'incidences sur les sites Natura 2000) et de demande de concession d'utilisation du domaine public maritime. Elle n'a pas vocation à fournir l'ensemble des éléments de réflexion nécessaires à une évaluation politique et stratégique des impacts environnementaux et socio-économiques du développement des EMR.

Sans traiter de manière approfondie des impacts des EMR à ces échelles, cette étude propose des pistes de mise en perspective permettant de replacer certaines des considérations locales dans un cadre plus large de réflexion. Les effets cumulés de plusieurs projets d'EMR doivent notamment être pris en compte, tout comme les effets cumulés aux activités existantes.

Les effets associés aux opérations de prospection ne sont pas abordés. Une synthèse bibliographique relative aux opérations de prospection préalables aux opérations d'extraction de granulats marins réalisée pour le compte du MEDDE dresse cependant un état détaillé des connaissances sur cette thématique et transposables aux projets d'EMR².

3 Périmètre de l'étude

Cette étude est centrée sur les effets ayant pour origine le dispositif de production (exploitation et maintenance des équipements inclus) et de transport d'énergie jusqu'au point d'atterrage inclus.

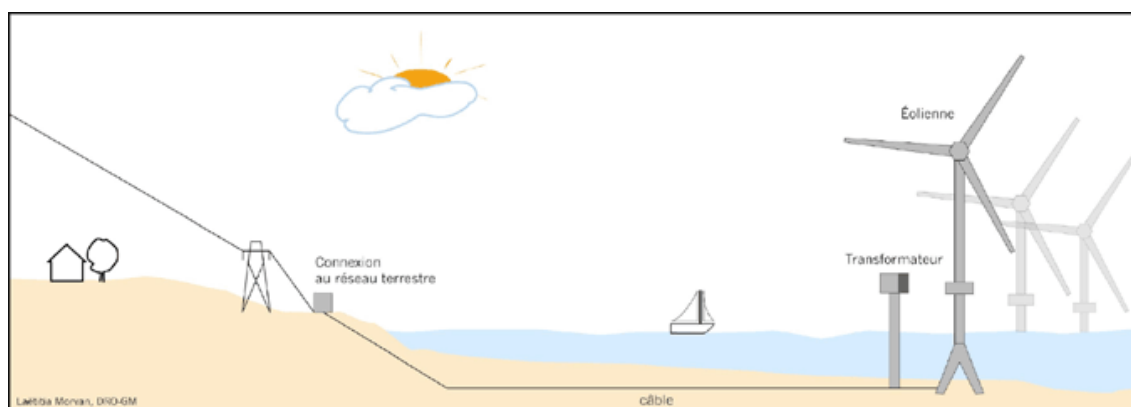


Figure 1 : Schéma d'implantation d'un projet éolien en mer (source DTI, Royaume Uni).

A ce titre, elle ne couvre pas, par exemple, la question des impacts du stockage d'énergie et du transport à grande échelle.

4 Les technologies évaluées

Cette étude traite des impacts environnementaux des énergies du vent, des vagues, des courants et du potentiel thermique des mers.

L'énergie osmotique visant à exploiter le différentiel de salinité entre des eaux douces continentales et des eaux salées marines est encore à un stade très expérimental et n'est donc pas abordée ici. Ce frein technologique majeur ne doit pour autant pas conduire à déconsidérer cette ressource dont le potentiel de production pourrait être considérable.

² http://www.developpement-durable.gouv.fr/Evaluation-des-Incidences.html#guides_methodo_nationaux

5 Les configurations étudiées

Si l'évaluation environnementale *ex ante* est une étape indispensable à l'appréhension des enjeux environnementaux et socio-économiques d'un milieu et à l'intégration optimale d'un projet dans son environnement écologique et humain, seuls les suivis d'impacts *in itinere* et *ex post* peuvent effectivement témoigner de l'existence et de l'ampleur des impacts, et de l'efficacité des mesures d'accompagnement mises en œuvre.

Dans un contexte marin où les lacunes de connaissances sur les interactions éco-systémiques et socio-économiques sont importantes, une place prépondérante a été accordée aux retours d'expériences *ex-post* afin de cadrer autant que possible l'analyse des impacts sur des résultats scientifiques tangibles.

Etant donné le stade de développement actuel des différentes filières EMR, la quasi-totalité de ces retours d'expériences se limite aujourd'hui à l'éolien posé et est focalisée sur quelques thématiques clés qui ne sont souvent pas directement transposables aux autres énergies et à leur technologie d'exploitation.

Un certain regard prospectif a ainsi dû être adopté afin d'appréhender les impacts à l'échelle des machines pour les techniques expérimentales non encore déployées, et à l'échelle des parcs afin d'appréhender les impacts liés à la mise en œuvre d'un nombre suffisant de ces machines pour produire de l'électricité à un niveau industriel.

6 Les acteurs concernés

Cette étude propose, dans un premier temps, une synthèse de l'état des connaissances actuelles sur les impacts environnementaux et socio-économiques des EMR à l'échelle des projets et de leurs périmètres marins. Ces éléments s'adressent ainsi à tout acteur du littoral souhaitant s'approprier une base de connaissance sur les grands enjeux associés au développement d'EMR. Les éléments exposés dans ce rapport ne préfigurent en aucun cas la réalité des contextes individuels des projets à venir. Ils ne posent que le cadre des réflexions qui pourront structurer les démarches d'évaluation environnementale spécifiques à chaque milieu et à chaque projet.

Cette étude fournit, dans un deuxième temps, des éléments de méthode visant à optimiser l'intégration environnementale des projets EMR à venir. Ces éléments s'adressent tout particulièrement aux :

- Maîtres d'Ouvrage, ayant besoin d'outils opérationnels pour la prise en compte de l'environnement dans l'élaboration de leurs projets ;
- Services de l'Etat, souhaitant disposer de références techniques pour l'appréciation de la qualité de la prise en compte de l'environnement dans les projets.

Si la gouvernance revêt une importance majeure dans le processus d'intégration et de maîtrise des risques écologiques et humains, elle n'est cependant pas traitée de manière approfondie dans ce document qui n'a pas vocation à constituer un guide méthodologique en soi. L'objectif est bien d'alimenter les réflexions inhérentes au processus d'évaluation environnementale en données objectives et en pistes techniques, sans pour autant en constituer une doctrine.

7 Contenu et structure du document

① Le chapitre 1 présente les **principales technologies associées à l'exploitation des différentes formes d'énergie marine et leurs grands principes techniques**. Les gisements énergétiques et l'état des filières d'exploitation françaises associées sont rapidement présentés afin de faciliter la mise en perspective des réflexions sur les impacts faites à l'échelle des machines et des projets par rapport aux objectifs de développement des technologies à long terme.

② Le chapitre 2 dresse **une revue bibliographique des impacts sur l'environnement des différentes technologies d'EMR** aux différents stades de vie des projets est ensuite présentée. Les impacts sont déclinés par grandes catégories d'effets sur l'environnement (remaniement des fonds, bruit, présence physique, etc.). Les similitudes ou différences entre les opérations de travaux et entre les différentes formes d'exploitation des énergies marines sont précisées. Ce travail constitue un état de l'art des connaissances disponibles, traite des impacts des projets et des impacts cumulatifs éventuels à considérer, et fait le point sur les lacunes de connaissances majeures existantes.

③ Le chapitre 3 analyse **les impacts sur les principaux usages et aménités de l'espace maritime**. Comme pour les impacts environnementaux, ce travail distingue les impacts spécifiques par technologie, et les impacts cumulatifs à considérer. Les limites de connaissances sont également soulignées.

Les chapitres 4 à 8 constituent une aide à l'évaluation des impacts et l'intégration environnementale des projets EMR. Pour chaque EMR, ils déclinent des propositions méthodologiques concernant :

- ④ **le choix des sites ;**
- ⑤ **l'analyse de l'état initial du territoire de projet ;**
- ⑥ **l'analyse prévisionnelle des impacts sur l'environnement et les activités socio-économiques et des mesures d'évitement, réduction ou compensation associées ;**
- ⑦ **l'analyse prévisionnelle des incidences sur les sites Natura 2000 ;**
- ⑧ **les indicateurs et de dispositifs pour le suivi environnemental du site.**
- ⑨ **L'évaluation des retombées socio-économiques d'un projet d'EMR et la méthodologie** sont traitées dans le chapitre 9.

*Cette étude est issue d'un processus de concertation entre différents acteurs réunis au sein d'un **comité de pilotage** dont la composition figure en annexe.*

Chapitre 1 - Présentation des différentes énergies marines renouvelables en France et de leurs grands principes techniques

L'objet de ce chapitre est de présenter les gisements des différentes formes d'énergie marine, l'état des filières d'exploitation notamment nationales, et les principales techniques mises en œuvre.

1 Energie éolienne

Contexte

Selon le *Global Wind Energy Council*, la capacité totale installée d'énergie éolienne en 2010 représente 194 GW à travers le monde dont 3 GW environ d'éolien offshore. En 2010, les parcs éoliens offshore ne représentaient ainsi que 1,5 % de la capacité éolienne totale installée, et principalement en Europe.

Les parcs éoliens offshore ne fournissent que 0,3 % de la demande totale d'électricité de l'Union européenne aujourd'hui. Toutefois, selon l'*European Wind Energy Association (EWEA)* et le rapport *Oceans of Opportunity*, l'éolien offshore pourrait potentiellement approvisionner entre 12 et 16 % de la demande d'électricité total de l'UE d'ici 2030.

Le plan de développement des énergies renouvelables à haute qualité environnementale proposé dans le cadre du Grenelle de l'environnement prévoit que 1 GW de capacité d'éolien en mer serait à installer à l'horizon 2012 et 6 GW à l'horizon 2020, sur 25 GW d'énergie éolienne.

Le ministère a lancé le 11 juillet 2011 un premier appel d'offres pour le développement de capacités de production d'électricité par énergie éolienne offshore. La date limite de remise des offres était fixée au 11 janvier 2012. Cet appel d'offres avait pour objectif de franchir une première étape vers l'objectif de 6 000 MW d'éolien en mer et d'énergies marines à horizon 2020. Il représentait une puissance maximale de 3 000 MW répartie sur cinq zones : Le Tréport, Fécamp, Courseulles-sur-Mer, Saint-Brieuc et Saint-Nazaire.

L'objectif de franchir une première étape vers 6 000 MW d'éolien en mer et d'énergies marines à horizon 2020, représente une production d'environ 1 000 à 1 200 éoliennes, qui fourniront l'équivalent de la consommation annuelle de 4,5 millions de foyers.

Les offres des candidats ont été notées selon trois critères : la qualité du projet industriel et social (40 %), le prix d'achat de l'électricité proposé (40 %), le respect de la mer et de ses usages (20 %).

La Commission de régulation de l'énergie (CRE) a transmis au Gouvernement le 28 mars 2012 son rapport de synthèse sur l'analyse des offres. Le Gouvernement a désigné les lauréats suivants, après en avoir saisi la CRE, qui en a pris acte.

Site	Puissance (MW)	Lauréat
Fécamp (Seine-Maritime)	498	Eolien Maritime France
Courseulles-sur-Mer (Calvados)	450	Eolien Maritime France
Saint-Brieuc (Côtes d'Armor)	500	Ailes Marines SAS
Saint-Nazaire (Loire-Atlantique)	480	Eolien Maritime France
Le Tréport (Seine-Maritime – Somme)		déclaré sans suite



Figure 2 : Lauréats du premier appel d'offres éolien en mer du 11 juillet 2011 (source : MEDDE)

Principe technique

Les éoliennes en mer suivent le même principe que les éoliennes à terre : elles transforment l'énergie mécanique du vent en énergie électrique.

Une éolienne se compose des éléments suivants :

- un mât fixé sur les fonds marins ou flottant ;
- une nacelle qui abrite les composants mécaniques, pneumatiques et certains composants électriques et électroniques. Elle peut pivoter pour orienter le rotor dans la direction du vent ;
- un rotor, composé de plusieurs pales (en général trois) et du nez de l'éolienne fixé à la nacelle. Il est entraîné par l'énergie du vent et branché directement ou indirectement au système mécanique qui utilisera l'énergie recueillie.

L'électricité produite est alors conduite à terre au travers d'un réseau de câbles et de postes de conversion sous-marins. On parle de parc éolien ou de ferme éolienne pour décrire les unités de productions groupées.

On distingue deux types de technologies en fonction du système de fixation :

- Les **éoliennes posées** sur le fond marin, qui reposent sur une structure monopieu, gravitaire, ou une structure entretoisée. La structure tripode permet d'ancrer l'éolienne jusqu'à 40 m de profondeur. A noter qu'il s'agit de l'unique technologie à maturité à ce jour ;
- Les **éoliennes flottantes** qui s'ancrent au fond marin au moyen de plusieurs systèmes : flotteur colonne à grand tirant d'eau (« spar »), flotteur semi-submergé et support à lignes tendues pour des installations loin des côtes à des profondeurs plus élevées (30 à 300 m).



Figure 3 : Eoliennes offshore posées – Parc d'Alpha Ventus en Allemagne

(Source : Areva Wind)



Figure 1 : Structure monopieu Mer du Nord



Figure 2 : Structure gravitaire Cotentin et Bretagne



Figure 3 : Structure jacket Méditerranée

Figure 4. Eoliennes offshore posées : les différents types de fondation (source : SAIPEM)



Figure 5 : Illustration d'une éolienne flottante

(Source : energiesdelamer.blogspot.com)

Panorama des parcs existants dans le monde

À l'heure actuelle la plupart des fermes éoliennes sont installées en eau peu profonde à moins de 20 m de profondeur et au maximum à 20 km au large des côtes.

Il existe une rupture technologique pour aller vers l'éolien offshore flottant. Les machines flottantes élargissent les zones potentielles de développement de parcs dans de nombreux pays comme en France. Ces éoliennes seront de véritables innovations technologiques dont la conception d'ensemble permettra d'optimiser le comportement global face à la houle et au vent.

L'Union Européenne est aujourd'hui leader mondial avec plus de 1 100 éoliennes offshore installées et raccordées au réseau dans 45 parcs éoliens répartis dans 9 pays de l'Union et développant une capacité de près de 3 000 MW. A ce jour, 13 parcs sont en développement pour un objectif de production de 4 000 MW, portant bientôt à 7 000 MW la capacité européenne éolienne offshore.

Tableau 1 : Liste des 25 fermes éoliennes offshore opérationnelles à plus fort potentiel de production en 2011

Ferme éolienne	Production totale (MW)	Pays	Nombre de turbines	Année de mise en service
Thanet	300	Royaume-Uni	100	2010
Horns Rev II	209	Danemark	91	2009
Rødsand II	207	Danemark	90	2010
Lynn and Inner Dowsing	194	Royaume-Uni	54	2008
Walney 1	184	Royaume-Uni	51	2011
Robin Rigg (Solway Firth)	180	Royaume-Uni	60	2010
Gunfleet Sands	172	Royaume-Uni	48	2010
Nysted (Rødsand I)	166	Danemark	72	2003
Bligh Bank (Belwind)	165	Belgique	55	2010
Horns Rev I	160	Danemark	80	2002
Princess Amalia	120	Pays-Bas	60	2008
Lillgrund	110	Suède	48	2007
Egmond aan Zee	108	Pays-Bas	36	2006
Donghai Bridge	102	Chine	34	2010
Kentish Flats	90	Royaume-Uni	30	2005
Barrow	90	Royaume-Uni	30	2006
Burbo Bank	90	Royaume-Uni	25	2007
Rhyl Flats	90	Royaume-Uni	25	2009
North Hoyle	60	Royaume-Uni	30	2003
Scroby Sands	60	Royaume-Uni	30	2004
Alpha Ventus	60	Allemagne	6	2009
Baltic 1	48	Allemagne	21	2011
Middelgrunden	40	Danemark	20	2001
Jiangsu Rudong	32	Chine	16	2010
Kemi Ajos I + II	30	Finlande	10	2008

Les objectifs du premier appel d'offres français s'orientent vers le développement de fermes éoliennes constituées d'une centaine de turbines ou plus, soit un nombre d'unités équivalent à l'actuel parc leader de Thanet au Royaume-Uni (100 turbines lancées en 2010). La puissance et la dimension des machines ne cessent par contre d'augmenter et à taille de parc similaire, ce sont des machines de plus de 5 MW et d'une hauteur d'environ 170 m qui sont attendues le long des côtes françaises en 2015.

2 Energie des courants et des courants de marée

Contexte

Le centre européen de recherche sur l'énergie marine, EMEC, a recensé de nombreux projets dans le monde. En Europe, des potentiels importants existent : l'Angleterre détient avec la France l'essentiel du potentiel de l'hydrolien en Europe.

La France possède de nombreux atouts en raison de la puissance des courants, et plus particulièrement sur la côte Nord-Ouest. Les sites les plus favorables sont essentiellement répartis entre la Bretagne et le Cotentin. Le Raz Blanchard, le Raz de Sein, le passage du Fromveur à Ouessant ou encore le Raz de Barfleur en constituent des exemples.

En se limitant à des vitesses exploitables, entre 1,5 et 4,5 m/s en moyenne annuelle à coefficient 95, il serait possible d'installer environ 3 à 5 GW dans des conditions économiques avantageuses. A noter qu'une étude précise de définition du potentiel hydrolien de Basse-Normandie a été réalisée par SOGREA pour le compte de la DREAL Basse-Normandie et sera diffusée prochainement.

Il convient de souligner que ces zones sont toutes localisées en mer ouverte, et sont soumises aux houles de tempête d'ouest. Les hydroliennes développées au stade expérimental au Royaume-Uni sont toutes installées pour l'instant, dans des zones relativement abritées. Leur utilisation sur des sites français nécessiterait, comme pour tout type de machine, une adaptation et un dimensionnement aux conditions particulières de ces sites.

La densité énergétique d'un parc d'hydroliennes offshore est de l'ordre de 20 à 30 MW par km² dans les sites favorables, à comparer aux 8 à 10 MW/km² pour l'éolien offshore (à noter néanmoins la différence d'emprise surfacique des différents systèmes, moins importante pour les éoliennes que pour les hydroliennes). Les hydroliennes sont susceptibles de fonctionner 2 500 à 3 000 heures en équivalent pleine puissance.

Principe technique

Il est avant tout nécessaire de distinguer les usines marémotrices des hydroliennes, dont les principes techniques diffèrent.

Les **usines marémotrices** visent l'exploitation de l'énergie potentielle de la marée, c'est-à-dire l'énergie liée à la différence de niveau entre deux masses d'eau. L'énergie des marées est récupérée par des systèmes à barrage, au travers desquels le passage de l'eau entraîne des turbines. Ces dernières sont réversibles pour pouvoir produire de l'énergie à marée montante ainsi qu'à marée descendante. Malgré leur grand intérêt technique et leur caractère parfaitement prévisible pour alimenter le réseau électrique, ces usines restent relativement peu développées en raison des problèmes d'acceptation environnementale et de coût.

En France, l'usine de la Rance constitue l'unique infrastructure de ce type. Réalisée entre 1961 et 1969, elle produit 500 GWh par an.

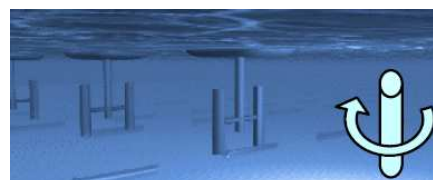
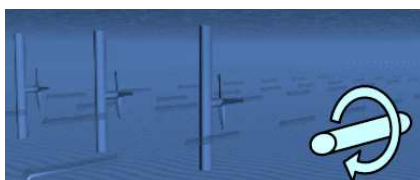


Figure 6 : L'usine marémotrice de la Rance

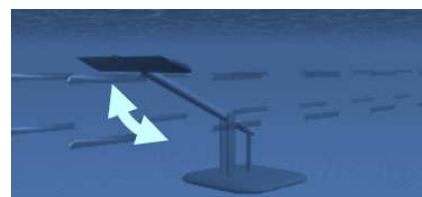
(Source : PRODIG 2007, <http://energigeo.veille.inist.fr/images/542.jpg>)

Les **hydroliennes** exploitent les courants marins dont les courants de marée sont une composante. A la différence des usines marémotrices, elles ne reposent pas sur un effet barrage, ce qui limite une partie des impacts environnementaux associés à cette forme d'exploitation des courants. Leur potentiel de développement est bien plus important et c'est ce type de dispositif d'exploitation de l'énergie des courants qui sera abordé ici. Il existe trois grandes familles d'hydroliennes :

Les systèmes à entraînement axial - L'énergie est capturée par des installations hydroliennes dont le principe peut être assimilé à celui d'une éolienne sous-marine. Les pales d'un rotor convertissent le courant linéaire en rotation, puis en électricité par le biais d'un générateur. Le rotor peut pivoter pour capturer l'énergie des courants venant de toutes les directions. On distingue les turbines à **axe horizontal** et celles à **axe vertical**.



Les systèmes à hydrofoils - Ce type de dispositif est constitué de « pagaies » sous-marines actionnant un système hydraulique. Les pagaies oscillent sous l'effet des courants, comprimant ainsi un fluide hydraulique. La pression est convertie en électricité.



Les systèmes exploitant « l'effet Venturi » - Ce type de dispositif exploite le phénomène d'accélération d'un fluide passant dans une conduite dont le diamètre se rétrécit.

Il existe un foisonnement de concepts de développant autour de ces trois principes et l'EMEC en recense plus de 50.

Expérience française et perspectives de développement

La France compte aujourd'hui deux réalisations avec l'hydrolienne D03 (échelle 1/3) de Sabella dans l'Odet en 2008 et l'hydrolienne OpenHydro (échelle 1/1) installée par EDF à Paimpol Bréhat en 2011.

Le site de Paimpol-Bréhat dans les Côtes d'Armor, relevant des activités de France Energies Marines (voir encadré à la fin du chapitre 1), est destiné en effet à devenir un centre d'essai pour les hydroliennes. EDF y teste le pilote OpenHydro. Après une première phase de test de plusieurs mois EDF prépare quatre machines d'un diamètre de 16 m pour 850 tonnes qui devraient y être immergées à l'automne 2012 par 35 m de fond pour une production unitaire de 0,5 MW (soit un parc de 2 MW).

Des projets sont également en cours de développement dans le Raz Blanchard.



Figure 7 : Hydrolienne OpenHydro en test dans la rade de Brest

(Source : Ouest France)

L'entreprise Alstom développe par ailleurs deux prototypes d'hydroliennes. Le premier (« Beluga »), à centre ouvert et de 13 m de diamètre, est actuellement en construction dans la région nantaise et sera testée en baie de Fundy au Canada en 2012. Le deuxième modèle (« Orca ») permettra d'exploiter les zones de moindre intensité énergétique, et sera testée sur le site d'essais de Paimpol Bréhat»



Figure 8 : Hydrolienne Beluga d'Alstom

(Source : Alstom Hydro)

3 Energie houlomotrice

Contexte

L'ensemble des zones au large des façades maritimes françaises représente un potentiel considérable, mais présente des difficultés technologiques d'exploitation. Ce type d'énergie est à un stade de maturité inférieur aux éoliennes et hydroliennes.

En métropole, le potentiel d'exploitation est principalement situé sur la façade atlantique en raison de vagues plus importantes. Les gisements sont très importants dans les DOM-COM.

Les installations de première génération, sont des installations fixes, à la côte, qui exploitent le déferlement des vagues ou le principe de la colonne d'eau oscillante. Les impacts environnementaux et paysagers de ce type d'installation limitent leur perspective de développement, même si des intégrations spécifiques restent envisageables. Un projet à Mutique au Pays Basque, utilise par exemple la construction du nouveau brise-lames du port pour y incorporer une petite centrale houlomotrice. Si la puissance plus élevée au large qu'à la côte, oriente aujourd'hui le développement de cette technologie vers le large, les installations onshore présentent néanmoins plusieurs avantages liées à l'absence d'interventions en mer : raccordement « direct » au réseau, intervention de maintenance facilitée, etc.

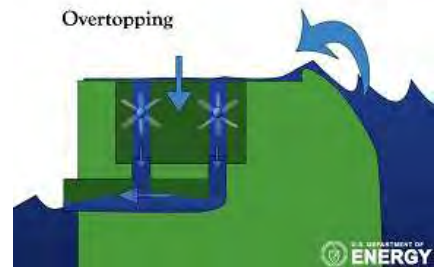
La densité énergétique d'un parc houlomoteur au large est de l'ordre de 20 à 30 MW par km². Les machines sont susceptibles de fonctionner jusqu'à 4 000 heures par an en équivalent pleine puissance. En France métropolitaine, le potentiel techniquement exploitable peut être estimé à 10 % au moins de la ressource théorique (400 TWh/an) soit 40 TWh/an que pourraient produire quelques 10 à 15 GW situés principalement sur la façade atlantique (Ifremer, 2008).

Selon l'Agence Internationale de l'Energie, plus de 46 projets de systèmes houlomoteurs sont actuellement à l'étude dans le monde. Plus de 90 % de ces projets sont flottants (colonne d'eau oscillante, systèmes à déferlement, flotteurs).

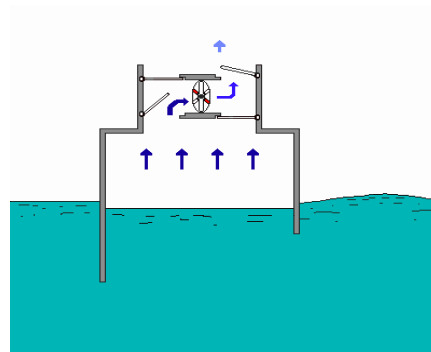
Principe technique

Il s'agit d'exploiter la puissance oscillante du mouvement des vagues pour entraîner une turbine, et ainsi produire, par le biais d'un générateur, de l'électricité. On distingue quatre grands principes techniques.

Déferlement - La vague déferlant sur un plan incliné est recueillie sur un bassin en hauteur dans lequel l'eau actionne une turbine, puis retourne à la mer.



(Source : <http://www1.eere.energy.gov/water/hydrokinetic/techTutorial.aspx>)



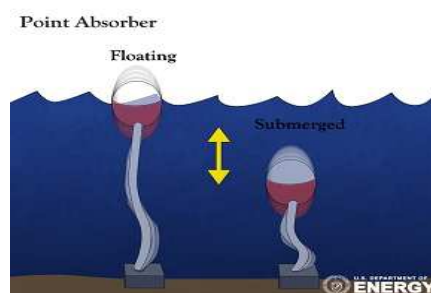
Colonne oscillante - La surface de l'eau de mer agit comme un piston pour pousser l'air dans un tuyau (« trou du souffleur ») ; cet air actionne à son tour une turbine qui peut travailler dans les deux sens. Ce type de dispositif peut être installé en mer ou sur le littoral.

(Source : <http://www.daedalus.gr/OWCsimulation2.html>)

Flotteurs en surface - Ces dispositifs constituent une structure flottante articulée et perpendiculaire aux vagues. Ils sont formés de tuyaux en aciers ou de pontons reliés par des joints contenant des pompes hydrauliques. Le mouvement des vagues force le liquide hydraulique qui actionne une turbine.



(Source : <http://www1.eere.energy.gov/water/hydrokinetic/techTutorial.asp>)

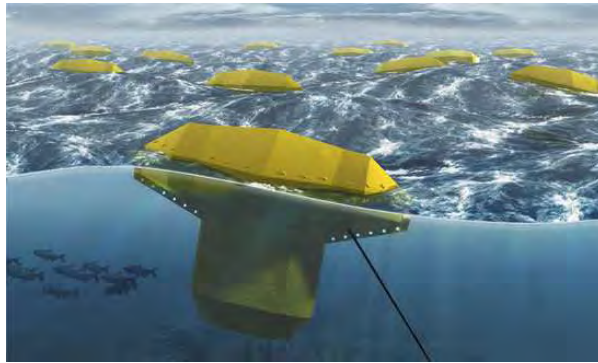


Systèmes immergés - Ce sont de petits dispositifs en comparaison à la longueur d'ondes des vagues, dont il existe plusieurs variantes. Ils peuvent soit osciller (sorte de volet oscillant dans les deux sens avec le passage des vagues), soit actionner une sorte de pompe à piston à vérin hydraulique.

Expérience française et perspectives de développement

Si aucun dispositif n'a encore été mis à l'eau sur les côtes françaises, la plateforme expérimentale SEM-REV constitue une étape importante pour la mise au point, en conditions opérationnelles, des systèmes de récupération de l'énergie des vagues. Ce site d'expérimentation installé au large du Croisic et réalisé dans le cadre du Contrat de Projets Etat-Région 2007-2013, doit permettre d'accueillir et de tester des prototypes à échelle 1 en mer. Devant être opérationnel à l'été 2012, le site permettra de tester des systèmes à énergie des vagues, sa vocation première, et des éoliennes flottantes de taille réduite.

Aujourd'hui, plusieurs acteurs industriels et institutionnels français s'impliquent dans la recherche et le développement de dispositifs houlomoteurs. Par exemple, le projet S3 porté par SBM et co-financé au titre des Investissements d'Avenir, doit être testé au SEM-REV.



L'île de la Réunion sera vraisemblablement le premier territoire français à voir la mise en œuvre d'installations houlomotrices. Le projet *Ceto* porté par EDF EN et DCNS et *Pelamis* de *Seawatt* doivent s'installer côte à côte au large de Saint-Pierre. Ce sont 30 machines qui doivent être mises à l'eau très prochainement.



Figure 9 : Dispositif houlomoteur Pelamis

(Source : Seawatt)

4 Energie thermique des mers

Contexte

Le potentiel d'énergie thermique des mers est aujourd'hui quasi-exclusivement localisé en zone tropicale. La différence de température entre la surface et le fond y est en effet suffisante pour alimenter une machine thermique avec un gradient minimum de 20°C et assurer ainsi un rendement suffisant au regard des techniques disponibles.

La ressource mondiale théorique basée sur un gradient de température de 20 °C au moins permettrait de produire environ 80 000 TWh/an dans les zones intertropicales. Cette ressource théorique n'est actuellement exploitable que très partiellement et ponctuellement, en raison de l'absence de zones de consommation électrique (Ifremer, 2008).

Principe technique

L'énergie thermique des mers (ETM) est produite en exploitant la différence de température entre les eaux superficielles et les eaux profondes des océans. (Un acronyme souvent rencontré est en anglais OTEC, pour *Ocean Thermal Energy Conversion*).

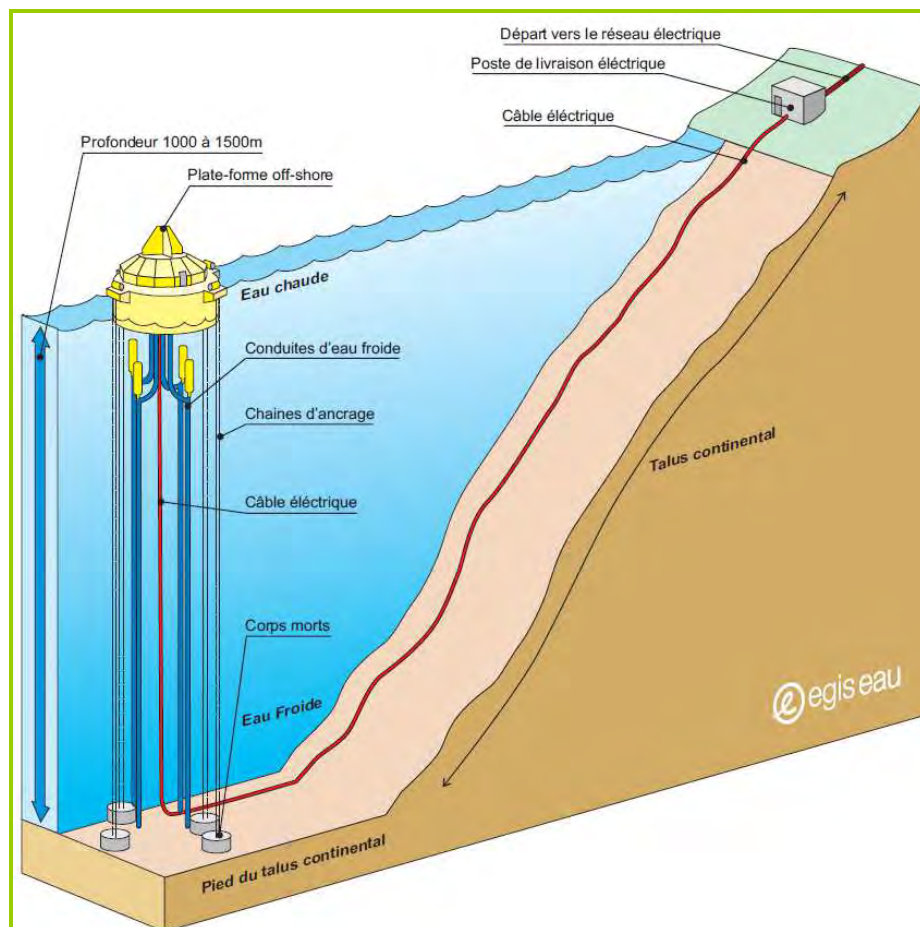


Figure 10 : Schéma de principe d'une installation ETM offshore

Ce dispositif est centré sur un fluide de travail qui passe de l'état liquide à l'état vapeur au contact de l'eau chaude (eau de surface). La pression produite par la vapeur passe dans un turbogénérateur et entraîne une turbine. Après avoir perdu sa pression, le gaz passe dans un condenseur pour retourner à l'état liquide au contact de l'eau froide pompée depuis le fond.

Les eaux résiduelles peuvent trouver une multitude d'applications complémentaires - associées ou non à l'ETM - et notamment au conditionnement d'air et à la réfrigération.

***Expérience
française et
perspectives de
développement***

La Martinique sera le premier territoire français à accueillir une centrale pilote ETM opérationnelle qui pourrait être mise en service dès 2016. Testée partiellement sur l'île de la Réunion qui conservera un démonstrateur à terre, la technologie portée par DCNS prendra la forme d'une centrale offshore d'une puissance de 10 MW, puisant des eaux froides à environ 1 000 m de profondeur pour un différentiel de température de 20 °C et une production d'électricité 24 h / 24.



Figure 11 : Projet de centrale pilote ETM de DCNS

(Source : DCNS)

5 Pompes à chaleur alimentées en eau de mer

Contexte

La disponibilité d'une eau de température relativement stable en comparaison aux fluctuations annuelles des températures de l'air pousse aujourd'hui les aménageurs à considérer cette ressource comme une source de chauffage ou de climatisation selon les saisons. Plusieurs projets de construction de bâtiments en zone littorale intégrant des pompes à chaleur basées sur l'utilisation d'eau de mer, voient le jour en France métropolitaine.

Principe technique

L'eau profonde froide peut être utilisée directement comme réfrigérant pour des machines thermiques, ou pour du conditionnement d'air, en utilisant l'eau froide des profondeurs pour de la climatisation (technique dite SWAC, pour *Sea Water Air Cooling*).

Cette technique n'est pas strictement réservée aux zones intertropicales le développement de réseaux de chaleur fonctionnant à partir d'eau de mer est aussi possible en zone tempérée.

- **Production de froid et de chaleur centralisée**

Dans le cas d'une pompe à chaleur (PAC) eau de mer produisant directement de l'eau glacée et de l'eau chaude sans boucle de transfert, le captage/rejet en mer et la production thermo-frigorifique seront considérés comme une installation unique, sauf exception.

- **Production de froid et de chaleur décentralisée**

Cette solution permet de différencier la boucle eau de mer et la boucle de transfert en eau douce des productions thermo-frigorifiques qui seront implantées dans chaque bâtiment. Toutefois, la boucle de transfert ne constitue par un réseau de froid et de chaleur puisque les productions décentralisées se trouvent en aval. Le captage/rejet en mer et la ou les productions thermo-frigorifiques seront considérés comme des installations indépendantes.

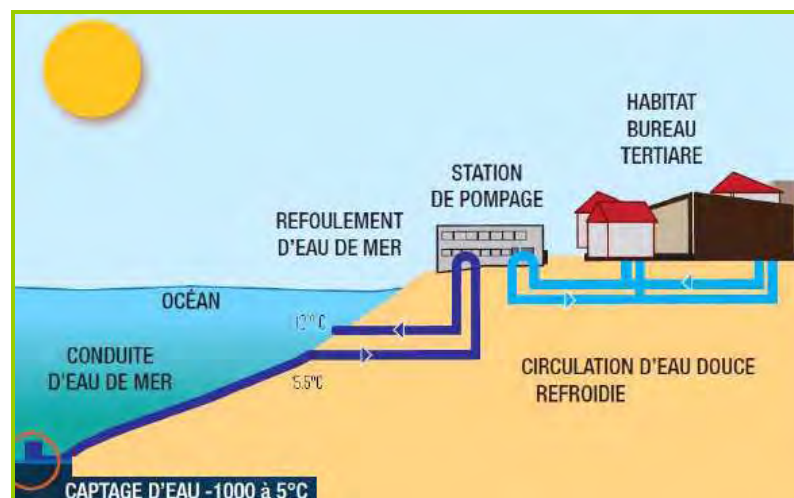


Figure 12 : Schéma de principe d'une SWAC

Expérience française et perspectives de développement

Cette technique est aujourd'hui en développement sur les côtes de France métropolitaine ainsi qu'outre-mer. Les dimensions des projets dans ces deux zones diffèrent cependant. Les petites installations de quelques centaines de mètres cubes par heure et desservant le circuit thermo-frigorifique de quelques bâtiments voient ainsi le jour sur le littoral métropolitain et notamment en Méditerranée.

Outre-mer, les installations sont plus puissantes à l'instar du projet SWAC du Nord de la Réunion. Le Syndicat Intercommunal D'Exploitation d'Eau Océanique (SIDEO), regroupant les communes de Saint-Denis et Sainte-Marie, a ainsi confié au groupement CLIM ABYSS composé des sociétés GDF SUEZ, Energie Services, Climespace et de la Caisse des Dépôts et Consignations, la charge de concevoir, financer, réaliser et exploiter un réseau de production et de distribution de froid à partir des eaux marines profondes. Les installations selon la technologie SWAC, sont destinées à la climatisation d'immeubles implantés sur les communes de Saint-Denis et de Sainte-Marie. Les ouvrages constitués des réseaux offshore et de distribution, ainsi que de la station de pompage, sont dimensionnés pour délivrer 40 MWf à partir de l'eau de mer pompée à grande profondeur.

France Energies Marines

France Energies Marines, Institut d'Excellence dans le domaine des Energies Décarbonées, est la plateforme nationale pour les énergies marines renouvelables. Elle incarne la volonté, exprimée par l'Etat en 2009, de créer une plateforme technologique nationale des énergies marines renouvelables, destinée à soutenir le développement d'une filière créatrice d'emplois et capable de prendre le leadership sur le marché mondial.

France Énergies Marines, dont la définition et le portage ont été confiés initialement à l'Ifremer, est le fruit d'une dynamique partenariale initiée autour de projets de démonstration en mer de divers types de récupérateurs d'énergie, ainsi que de démarches prospectives pour identifier l'évolution du marché, les verrous technologiques, les critères d'insertion environnementale et de compatibilité des usages. Elle regroupe aujourd'hui 58 acteurs, 9 structures académiques et scientifiques, plus de 20 acteurs industriels (dont 9 grands groupes), 3 pôles de compétitivité (Mer Bretagne, Mer PACA et Capenergies) et 7 collectivités territoriales. France Energies Marines va regrouper 70 collaborateurs sur 3 sites: Brest, son siège et site principal, Nantes et Toulon.

Ses principaux objectifs sont :

- la stimulation de la compétitivité française de la filière des énergies marines renouvelables (EMR), en apportant son soutien aux secteurs éolien offshore fixe et flottant, hydrolien, houlomoteur et thermique marin ;
- la promotion du caractère soutenable des technologies EMR et de leur acceptabilité, la France disposant d'un potentiel naturel considérable grâce à la diversité et l'étendue de ses littoraux métropolitains et ultra-marins ;
- la consolidation du niveau d'excellence de la recherche sur les EMR grâce à la synergie d'une structure public-privé et multidisciplinaire, sur la base de secteurs académiques et scientifiques renommés (océanographie, ingénierie navale, ...) et des positions de leaders des industriels sur les compétences clés (ingénierie off-shore, production énergétique, ...) ;
- la qualification des technologies portées par les industriels et la mutualisation des moyens de simulation, d'expérimentation et tout particulièrement de sites d'essais opérationnels dès 2013.

France Énergies Marines doit garantir à la filière la disponibilité d'infrastructures permettant la validation des démonstrateurs, au premier rang desquels les cinq premiers démonstrateurs financés dans le cadre des investissements d'avenir, pour les différents types d'énergies marines. Pour ce faire, France Énergies Marines développe un ensemble de sites d'essais, ouverts aux différentes filières, ainsi que les protocoles et chaînes d'instrumentation nécessaires à la réalisation de tests fiables et homogènes.

Tableau 2. Caractéristiques des sites d'essais France Énergies Marines (source : <http://www.france-energies-marines.org>)

Sites	Type d'EMR	Nombre de connexions	Puissance totale (MW)	Profondeur (m)
Paimpol Bréhat	Hydrolien	2	2	25 à 45
Bordeaux	Hydrolien estuarien	3	0,25	9
Le Croisic	Houlomoteur	4	8	35
Fos sur Mer	Eolien flottant	3	10	65
Groix	Eolien flottant	2	10	60

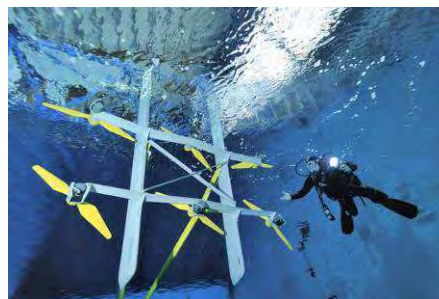


Figure 14 : Projet hydrolien Tidal Stream : test en bassin

(Source : Ifremer / Olivier Dugomay)

Chapitre 2 - Synthèse des connaissances sur les impacts environnementaux des énergies marines renouvelables

Au cours de ses différentes phases de vie, un projet **interagit** inévitablement avec son environnement et **modifie** de fait certains paramètres environnementaux. L'**effet** décrit la conséquence objective de cette interaction sur l'environnement. L'**impact** est la transposition de cette conséquence sur les différents compartiments de l'environnement (écosystème, paysage et patrimoine, usages) selon une échelle de **sensibilité**.

Ce chapitre dresse une synthèse des connaissances sur les effets et les impacts sur l'environnement des EMR à l'échelle des projets. Les interactions potentielles des projets avec leur environnement ont été regroupées en 11 grandes catégories.

Tableau 3 : Principales catégories d'interaction potentielle des EMR avec le milieu naturel

Interaction	Détail
Remaniement des fonds et remises en suspension de matériaux	Il s'agit des interactions mécaniques directes avec le milieu associées aux opérations de travaux (installations et démantèlement) et aux ancrages en phase opérationnelle qui perturbent le substrat et peuvent remettre des matériaux en suspension de la colonne d'eau.
Bruits et vibrations	Il s'agit des interactions acoustiques avec le milieu en phase travaux et en phase opérationnelle dans le champ proche et lointain.
Electromagnétisme	Il s'agit des interactions électriques et magnétiques générées autour des installations de transport d'électricité entre les installations et jusqu'à la côte.
Température	Il s'agit des variations thermiques générées par les câbles de transport d'électricité et les rejets d'installations type ETM ou PAC.
Pompages	Il s'agit des interactions mécaniques avec le milieu associées à l'aspiration d'eau en entrée d'installations type ETM ou PAC.
Rejets nutritifs	Il s'agit des effets d'upwelling artificiel pouvant être spécifiquement générés par les installations type ETM ou PAC avec pompage en eaux profondes et chargées en nutriment.
Présence physique des installations	Il s'agit des effets directement associés à la présence des installations dans le milieu : effet récif, effet réserve, effet barrière et risque de collision.
Présence physique des installations et paysage	Il s'agit des interactions spécifiques des installations avec les paysages maritimes et sous-marins.
Obstacles aux écoulements	Il s'agit des perturbations hydrodynamiques (houle, courant) et sédimentaire qui peuvent provenir de l'interaction statique ou dynamique des installations avec le milieu.
Eclairages	Il s'agit des interactions lumineuses du projet avec le milieu en période nocturne.
Contamination	Il s'agit des risques de contamination du milieu marin, accidentels ou liés à la diffusion lente de contaminants provenant des matériaux eux-mêmes.

Pour chaque type d'interaction, les effets et impacts **potentiels** sont déclinés par **compartiment** de l'environnement affecté : benthos, mammifères marins, poissons, avifaune, hydrodynamisme, sédimentologie, etc., et leur champ temporel et spatial est apprécié. Un effort a été fait pour distinguer au mieux, les notions d'effet et d'impact.

Les **phases du projet** sont systématiquement distinguées : construction, exploitation et maintenance, démantèlement. A noter que du fait du caractère récent des EMR, aucun retour d'expérience sur le démantèlement n'est encore disponible. Les effets sont enfin bien distingués par type de **technologie** en fonction des connaissances disponibles. Le tableau ci-dessous récapitule les interactions à considérer par type de technologie.

Tableau 4 : Récapitulatif des interactions potentielles avec le milieu à considérer par type de technologie EMR

Interaction		Energie				Référence
		Eolienne	Hydrolienne	Houlomotrice	Thermique	
Remaniement des fonds et remises en suspension de matériaux		X	X	X	X	p.47
Bruits et vibrations		X	X	X	X	p.61
Electromagnétisme		X	X	X	X	p.83
Température	Câbles	X	X	X	X	p.89
	Rejets				X	p.90
Pompages					X	p.100
Rejets nutritifs					X	p.103
Présence physique des installations		X	X	X	X	p.104
Présence physique des installations et paysage		X	X	X	X	p.121
Exploitation d'énergie et obstacles aux écoulements		X	X	X	X	p.125
Eclairages		X	X	X	X	p.131
Contamination		X	X	X	X	p.133

Enfin, la distinction entre effet avéré ou pressenti a été faite dans la limite de pertinence de cet exercice. Il est en effet important de noter que si une étude d'impact permet d'appréhender les effets potentiels en amont, seul un suivi ou des expérimentations pertinentes permettent de constater l'existence et, dans une certaine limite, l'amplitude de ces effets, dans des conditions de projet bien spécifiques (type et envergure de l'installation, zone géographique et écosystèmes associés, etc.). Aujourd'hui, ce type de suivis reste assez limité et quasi-exclusivement associé à des projets éoliens offshore en Europe du Nord. Il est donc important de signaler que dans ce contexte, l'exercice de transposition de ces retours d'expérience est limité, et que chaque risque d'impact doit être considéré au cas par cas. De plus, si l'étude d'effets directs sur les habitats, les communautés ou certaines composantes physiques du milieu est déjà souvent complexe, la difficulté est d'autant plus importante pour suivre les effets indirects pouvant résulter d'une cascade de processus. Cette difficulté ne doit pas pour autant limiter la prise en compte de ces effets indirects, et l'appréhension de la vision globale d'un effet sur l'environnement.

Résumé des effets et impacts sur l'environnement

Effets et impacts en phase de travaux d'installation pour tout type d'EMR

Les principaux effets à considérer en phase travaux sont le **bruit** (dans l'eau et dans l'air), le remaniement des fonds, les potentielles remises en suspension de matériaux associées, ainsi que le risque de pollution accidentelle par les engins de travaux. L'universalité des techniques pouvant être appliquées aux travaux indépendamment des technologies considérées amène à raisonner en termes d'impacts par opération plutôt qu'en termes d'impact par technologie pour cette phase. A noter que ces effets restent limités dans le temps.

Les impacts sur les fonds associés à la mise en œuvre des fondations, l'ensouillage des câbles ou encore l'ancrage des installations et des navires de surface sont inévitables. Leur ampleur dépend directement de la surface perturbée et de la sensibilité des peuplements. Dans la mesure où les surfaces de perturbation sont relativement limitées et où les précautions nécessaires sont prises pour éviter les habitats et les espèces les plus sensibles, on peut considérer que cet impact sur les fonds marins peut être maîtrisé et réduit à un niveau acceptable. Les perturbations associées aux diverses phases d'ancrage et aux moyens nautiques des travaux ou de maintenance ne doivent pas être négligées. Les mêmes préoccupations s'appliquent aux opérations en milieu terrestre.

Les processus de recolonisation dépendent des communautés en place et du degré de perturbation du milieu. La fréquence des perturbations est globalement limitée à la mise en œuvre des installations et à leur démantèlement.

Le bruit constitue ensuite la préoccupation majeure associée aux opérations de travaux et la grande disparité acoustique des différents outils pouvant être utilisés doit mener à bien considérer cet effet au cas par cas. Le battage de pieux est l'opération qui a potentiellement l'impact le plus fort au vu de la pression acoustique mise en jeu et des vastes distances que le bruit généré peut couvrir. Aujourd'hui, cette opération concerne essentiellement la technologie éolienne posée. Des mesures spécifiques de réduction des effets existent mais ne garantissent pas de risque zéro, notamment pour les mammifères marins. Viennent ensuite les bruits émis par les opérations de préparation des fonds (forage, dragage), puis par la navigation. La mise en place d'installations par simple pose sans préparation préalable des fonds, ni battage, laisse envisager des risques d'impacts acoustiques relativement limités en phase travaux. Les techniques de démantèlement n'étant à ce jour pas définies, il est difficile d'appréhender les risques associés au bruit de cette phase. On notera que le déroctage par explosif est susceptible d'avoir un impact majeur sur le milieu et qu'il conviendra de mettre au point des techniques de démantèlement plus adaptées.

Les risques de pollution sont difficiles à prévoir. Les mesures de réduction de ces risques doivent être bien définies en amont des travaux et appliquées avec rigueur pendant les opérations.

***Effets associés
aux câbles en
phase
opérationnelle***

Les câbles sont une composante commune à toutes les énergies marines renouvelables. Leurs impacts en phase opérationnelle se manifestent essentiellement au travers des champs électromagnétiques qu'ils génèrent dans le milieu et des hausses de température des matériaux.

Si la réaction de nombreuses espèces marines aux champs électromagnétiques est bien établie, les conséquences sur leur physiologie et leur comportement demeurent méconnues pour une majorité d'entre elles. La principale incertitude porte aujourd'hui sur l'orientation des individus et la perturbation éventuelle de leurs déplacements, en particulier pour les espèces migratrices.

Les impacts de l'élévation de la température sont vraisemblablement localisés aux abords immédiats des câbles et limités.

Pour les câbles non ensouillés, le substrat spécifique qu'ils procurent peut enfin donner lieu à la colonisation par des espèces plus ou moins opportunistes. L'effet récif potentiellement associé est cependant très limité au vu de la structure linéaire et peu complexe du câble et de son volume très réduit.

Effets et impacts de l'éolien en phase opérationnelle

Les parcs éoliens prennent aujourd'hui la forme de vastes périmètres au sein desquels jusqu'à une centaine de machines peuvent être disposées de manière espacée (entre 500 et 1 000 m entre les machines environ).

Les deux compartiments avec lesquels ces machines interagissent (sous-marin et aérien) sont bien différenciés en termes d'effets et de risques d'impact.

Dans l'air, le principal enjeu est le risque de collision des oiseaux avec les pales et l'entrave aux déplacements que l'évitement de ces structures peut imposer. Une bonne connaissance préalable du milieu est indispensable pour optimiser le positionnement des parcs et ainsi minimiser l'effet de barrière sur les populations d'oiseaux. Si la littérature semble indiquer des taux d'évitement moyen élevés, les risques de collision dans des conditions limitantes (mauvaises conditions météo, attraction par la lumière en période nocturne, etc.) doivent amener à ne pas négliger ce risque, notamment pour les espèces migratrices et les espèces à fort taux de mortalité annuel.

Sous l'eau, les effets sont essentiellement dus à la présence des installations et se partagent entre des interactions potentiellement positives ou plus négatives avec le milieu.

Les effets de récif et de réserve produits par la présence des ouvrages immergés et par les modalités de gestion particulière des sites pourraient permettre d'envisager des impacts favorables sur certains peuplements des écosystèmes. Ces situations restent à explorer au cas par cas. Ces impacts demandent aujourd'hui à être mieux maîtrisés afin d'optimiser l'intégration pro-active des projets dans leur environnement. Certaines conséquences négatives potentielles associées à ces mêmes effets doivent également être appréhendées (dispersion favorisée d'espèces allochtones par exemple).

L'effet barrière et les risques de collision des espèces marines avec ces ouvrages statiques sont par ailleurs jugés faibles.

La présence des installations peut cependant être la source de perturbations hydrosédimentaires plus ou moins étendues. Au pied des ouvrages, les fonds subissent des érosions et des accrétions sédimentaires localisées. La réfraction des houles par les mâts peut dans certains cas modifier l'hydrodynamisme et les transits sédimentaires sur des étendues plus vastes.

Le bruit en phase opérationnelle est relativement limité et ne semble pas avoir d'impact majeur sur la fréquentation des parcs par la faune marine dont les retours sur site après les travaux sont attestés par plusieurs suivis de parcs existants. Néanmoins, des différences existent entre les espèces considérées et les effets associés à des machines plus grandes en zone plus profonde restent à caractériser.

Effets et impacts de l'hydrolien en phase opérationnelle

La technologie hydrolienne en France semble s'orienter vers des structures totalement immergées même si des machines semi-immergées voient également le jour à l'international.

La présence physique des installations se manifeste au travers d'interactions statiques et dynamiques avec le milieu. La principale contrainte environnementale aujourd'hui mise en évidence en phase opérationnelle est le risque de collision de la faune marine (poissons, mammifères, oiseaux plongeurs) avec les pales en rotation. Des recherches complémentaires doivent être menées pour pouvoir mieux appréhender ce risque, notamment au regard de la vitesse de rotation des pales, de l'envergure des turbines et de la capacité d'évitement des différentes espèces exposées.

La salissure représentant une contrainte à l'efficacité des systèmes, l'effet récif ne sera vraisemblablement pas recherché sur ces dispositifs. Quant à un effet réserve potentiel, il mérite d'être mieux caractérisé, notamment vis-à-vis des spécificités de l'énergie hydrolienne (superficie moins importante des parcs, contraintes liées aux turbines immergées, etc.).

L'exploitation de l'énergie des courants doit enfin amener à évaluer l'ampleur des effets sur l'hydrodynamisme en aval des installations, leurs étendues, et les impacts potentiels sur les écosystèmes et sur la tenue du trait de côte.

La signature acoustique de ces dispositifs reste encore assez peu connue, et des suivis en milieu naturel des dispositifs pilotes sont nécessaires pour juger du potentiel de perturbation à long terme.

Effets et impacts de l'houlomoteur en phase opérationnelle

Etant donné le développement limité des technologies houlomotrices et la multiplicité des dispositifs existants ou envisagés, les incertitudes portant sur les effets et impacts sont, comme pour l'énergie hydrolienne, relativement importantes.

Localisés dans le périmètre d'action de la houle, ces dispositifs ont une interaction dynamique avec le milieu essentiellement centrée à l'interface air/eau. Les principaux effets à considérer de cette interaction sont l'extraction d'énergie et les impacts directs sur l'hydrodynamisme (houle, courant) et indirects sur la dynamique sédimentaire, notamment au niveau du trait de côte.

La salissure représentant une contrainte à l'efficacité des systèmes, l'effet récif ne sera vraisemblablement pas recherché sur la partie dynamique des installations. Néanmoins, lorsque les dispositifs sont constitués d'une partie dynamique et d'une embase statique, l'effet récif peut être recherché sur cette embase. Concernant l'effet réserve potentiel, il mérite d'être mieux caractérisé, notamment vis-à-vis des spécificités de l'énergie houlomotrice (modalités d'usage, dispositifs flottants, etc.).

En tant que dispositifs relativement stables, les risques de collision avec les mammifères marins semblent limités. Le peu de recul doit amener à considérer cette hypothèse avec précaution. Inversement ces installations pourraient par leur présence jouer un rôle de reposoir pour l'avifaune.

La signature acoustique de ces dispositifs reste encore assez peu connue, et des suivis en milieu naturel des dispositifs pilotes sont nécessaires pour juger du potentiel de perturbation à long terme, voire du pouvoir répulsif que ces machines pourraient exercer, limitant ainsi les risques de collision.

Effets et impacts des ETM et des PAC en phase opérationnelle

Les ETM et les PAC sont des dispositifs aux interactions bien spécifiques avec le milieu, centrées autour des pompages et des rejets d'eau de mer. Les différences de configuration potentielle de projet (débits, eaux tempérées ou tropicales, profondeur de pompage, hydrodynamisme de la zone de rejet) poussent à considérer une variabilité importante d'effets et d'impacts sur le milieu.

Les risques d'impacts principaux associés aux pompages sont les aspirations d'organismes marins conduisant à la blessure et à la mort des individus. Ils peuvent être limités pour les espèces les plus mobiles par une réduction des vitesses d'aspiration au niveau de la prise d'eau.

Les risques d'impacts principaux associés aux rejets sont pour les pompages profonds, l'enrichissement en matière nutritive de la colonne d'eau à une température différente de la température ambiante. Cet enrichissement est susceptible de modifier la production primaire et la chaîne trophique locale. La localisation du rejet par rapport aux caractéristiques des eaux rejetées et des eaux réceptrices a une influence directe sur ces processus. Pour les eaux pompées en profondeur et chargées en substances nutritives, un rejet en zone euphotique doit permettre de limiter ces risques. Les travaux de recherche associés à la mise en œuvre des premières installations pilotes permettront d'apporter un recul nouveau par rapport à cette problématique.

Pour les installations côtières plus petites pompant en eau peu profonde (comme certaines PAC métropolitaines par exemple), les risques de rejet concernent d'avantage l'eutrophisation pour les rejets chauds en milieu confiné.

La signature acoustique de ces dispositifs reste encore assez peu connue, et des suivis en milieu naturel des dispositifs pilotes sont nécessaires pour juger du potentiel de perturbation à long terme, notamment sur les mammifères marins évoluant en eau profonde.

Effets et impacts en phase de travaux de démantèlement pour tout type d'EMR

Les effets attendus en phase de démantèlement seront similaires aux effets identifiés pour les travaux d'installation (bruit, perturbation du substrat, etc.).

En l'absence de retours d'expérience spécifiques aux EMR, les démantèlements d'installations offshore de l'industrie pétrolière dans les décennies à venir constitueront une source d'information intéressante et sont susceptibles de faire émerger des techniques moins destructrices que celles qui sont actuellement disponibles (explosifs, découpe, etc.).

Les impacts du démantèlement seront cependant directement liés aux effets et impacts que les installations auront eu au cours de la phase opérationnelle. Ainsi, l'opportunité d'éliminer des habitats de substrat dur par la dépose des fondations peut par exemple être discutée au regard des impacts sur le milieu (perte de biodiversité ou retour à l'état initial) et des usages (accessibilité du site pour la pêche ou plus value des habitats pour la ressource halieutique).

Un guide axé sur ce thème est en cours d'élaboration au CETMEF : aspects techniques, réglementaires et environnementaux liés à la réversibilité des ouvrages (plateformes offshore, câbles sous-marins) sur le domaine public maritime.

1 Remaniement des fonds et mises en suspension de matériaux

1.1 Techniques de travaux et pressions sur les fonds

On entend par remaniement des fonds, tous les processus en phase travaux impliquant une interaction mécanique directe avec les fonds marins. La nature de ces interactions dépend à la fois du type de dispositif EMR considéré et des techniques de construction retenues pour les mettre en place. On distingue principalement :

- la préparation éventuelle des fonds en vue de la mise en place des ouvrages : forage, nivellement par dragage (et clapages de matériaux éventuellement extraits) ;
- la mise en place des ouvrages : enfoncement de pieux, pose des structures (dispositif ou lests), ancrage ;
- l'extraction éventuelle des matériaux de ballast dans le cas de fondations gravitaires ;
- l'installation des câbles : pose et ancrage sur fond dur, ensouillage sur fond meuble ;
- le démantèlement des structures.

La stabilisation des moyens nautiques d'intervention implique par ailleurs des phases d'ancrage plus ou moins répétitives et étendues (ancrage simple, stabilisation de plateformes autoélévatrices, etc.).

1.1.1 Construction par lestage

Il s'agit de stabiliser le dispositif directement sur le fond par force gravitaire. Il peut s'agir d'un bloc de béton ou d'acier apporté sur site par barge, lesté par du sable, du béton ou de l'acier et posé sur le fond.

Les ancrages type blocs de structures flottantes rentrent dans cette catégorie. Ce type de dispositif peut s'appliquer tant à des éoliennes flottantes qu'à des dispositifs houlomoteurs, ainsi qu'à certains types d'hydroliennes.

Certains dispositifs peuvent enfin être déposés directement par l'intermédiaire de barges spéciales, sans forage ni ancrage, du fait d'un poids suffisant des machines.

➤ *L'interaction mécanique avec les fonds réside principalement dans les travaux de préparation des fonds pouvant s'avérer nécessaires à la stabilité des lests (enlèvement de la vase et établissement d'un fond plat de graviers par dragage), et dans le recouvrement des fonds par le lest ou le dispositif lui-même. Les matériaux remis en suspension pendant les opérations de préparation des fonds peuvent étendre les perturbations au-delà de cette seule emprise. Les blocs peuvent être supportés et entourés de matériaux anti-affouillement dont la granulométrie et l'étendue dépendent des courants et de la densité du matériel sédimentaire à stabiliser.*

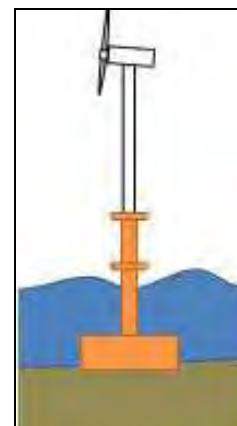


Figure 15 : Eolienne fixée sur une fondation type bloc

(Source : IEA – RETD)

1.1.2 Construction par enfoncement de pieux dans le substrat

Se substituant à la stabilisation par poids (voir ci-avant), cette technique consiste à enfoncer directement un (ou plusieurs) pieux (ou mât) dans le substrat. Cette opération peut être réalisée par forage ou par battage généralement via un marteau hydraulique.



Figure 16 : Marteau hydraulique et battage de pieux sous-marins³

Pour les éoliennes, les mâts actuellement déployés possèdent un diamètre d'environ 3,5 à 4,5 m pour une emprise au sol de 20 m² environ. Ils sont enfoncés à une profondeur de 10 à 20 m et fixés avec un mortier. Un fond plat est préféré mais n'est pas un préalable indispensable.

Le mât du projet hydrolien Seaflow en Angleterre est par exemple construit par forage d'un trou, puis par la pose d'une gaine en acier et cimentation. Son diamètre est d'environ 2,1 m. Un enfoncement par battage est également envisageable pour ce type de structure.

Plusieurs structures sont aujourd'hui basées sur des squelettes à trois ou quatre jambes de diamètre plus fin que les monopiles (0,9 m) présentant l'avantage de limiter la pression des vagues et des courants sur le dispositif.

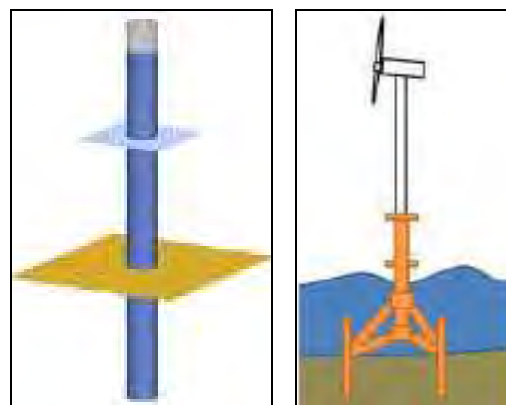


Figure 17 : Exemple de fondation par monopieux (gauche) ou multi-pieux (droite)

(Source : IEA – RETD)

↻ *L'interaction mécanique avec les fonds se fait essentiellement sur l'emprise du ou des pieux sur le fond. Les vibrations et les matériaux remis en suspension pendant cette phase peuvent étendre les perturbations au-delà de cette seule emprise.*

³ http://www.schleswig-holstein.de/Wirtschaft/DE/Standortmarketing/Wirtschaftsland/wirtschaftslandarchiv/ausgabe28_2010/artikel/unternehmensh_bohrinseln.html et <http://www.offshore-technology.com/contractors/dredging/menck/>

1.1.3 Fixation de structures flottantes par ancrage

Il s'agit de stabiliser les dispositifs flottants par liaison à des ancrages. Dans le cas des éoliennes flottantes, le dispositif est relié au fond par des cordes de chaînes métalliques ou à base de fibres synthétiques. Ces « cordes » sont ensuite liées à des ancrages de type blocs gravitaires, pieux, ancres à filetage, etc.

➤ *L'interaction mécanique avec les fonds se fait essentiellement sur l'emprise au niveau du contact des ancres sur le fond. Le raclement des câbles sur le fond, lorsque ceux-ci sont fixés avec un certain jeu, induit une perturbation supplémentaire des fonds.*

1.1.4 Installation de câbles

Il est possible de distinguer trois types de processus d'installation :

- lest ou ancrage sur substrat dur ;
- ensouillage par jet d'eau haute pression sur substrat meuble ;
- ensouillage par trancheuses ou charrues sur substrat meuble, dans un terrain difficile.

Ensouillage

Lorsqu'il est techniquement réalisable, l'ensouillage (dépose au fond d'une tranchée qui sera rebouchée) est indispensable sur des fonds de 0 à 2 000 m de profondeur afin de protéger les câbles de la majorité des risques de croche et de détérioration par des pratiques de pêche aux arts traïnants. Le choix de se limiter à la pose du câble sur le fond et sa fixation par le biais d'ancrages écologiques peut être fait sur des habitats particulièrement sensibles tels que les herbiers, lorsque la pose sur ce type d'habitat est incontournable.

La création de la tranchée a le plus souvent lieu par jetting, technique consistant à envoyer de l'eau ou de l'air sous pression à la surface du substrat. Une barge de surface est équipée d'une motopompe qui prélève de l'eau de mer directement sous le bateau ou de l'air puis qui renvoie le fluide sous pression au fond par un tuyau immergé. Les câbles sont ainsi ensouillés à une profondeur pouvant varier de 0,6 m à 3 m environ. Les trancheuses à roue ou à chaîne permettent de creuser une souille pouvant atteindre environ 2,50 m de profondeur.

En plus du remaniement de matériaux causé par le creusement de la tranchée et son rebouchage, ces opérations génèrent une remise en suspension de matériaux, dont la sédimentation est le plus souvent localisée à une zone de 10 à 20 m autour de l'axe de pose (Knudsen et al. 2006 in Wilhelmson et al. 2010).

➤ *Le processus d'ensouillage conduit à un remaniement complet du substrat sur la largeur de la tranchée (1 à 2 m de large) et un dépôt de matériaux remis en suspension sur une étendue pouvant atteindre plusieurs dizaines de mètres de part et d'autre de la ligne de pose.*

Ancrage

Lorsqu'un écosystème trop sensible ou des fonds trop durs empêchent l'ensouillage du câble, celui-ci peut-être posé et fixé sur le fond par le biais d'ancrages.

➤ *L'emprise de ces ancrages est très limitée, et leur forme est le plus souvent adaptée au substrat et à l'écosystème dans lesquels ils sont mis en place. La perturbation est globalement restreinte à la surface d'emprise du câble sur le fond.*

Dépose

L'opération de dépose est similaire à celle de la pose du fait des moyens nautiques qu'elle met en œuvre (navire câblé notamment). Le câble est remonté à bord par le biais d'un grappin désensouilleur.

➤ *Cette opération génère également un remaniement localisé du substrat et une remise en suspension de matériaux.*

1.2 Destruction d'habitats et processus de recolonisation

1.2.1 Effets sur le compartiment benthique

On peut considérer que certaines interactions mécaniques directes avec les fonds marins en phase travaux, sont à l'origine d'une destruction quasi-complète des habitats sur la zone considérée. Il s'agit du dragage ou du forage des fonds en vue de la création des fondations des structures et de l'immersion des matériaux associés, de la pose ou de l'ensouillage des câbles et de leur dépose, de la plantation de piliers, des divers types d'ancrages, et de la pose des structures elles-mêmes et des matériaux anti-affouillement.

A l'inverse, les restrictions possibles d'usages à l'intérieur des parcs dont les fonds subissaient au préalable une altération régulière par des activités telles que la pêche aux arts traînants, peuvent avoir un impact positif sur la vitalité des habitats et la structure des communautés benthiques (Lindenboom et al., 2001).

Echelle spatiale d'impacts - Les destructions d'habitat sont **très localisées**, et **limitées à l'étendue des interactions mécaniques directes avec les fonds marins**. A titre indicatif, le tableau suivant fournit quelques ordres de grandeurs de la surface concernée par ces interactions.

Tableau 5 : Ordres de grandeur des surfaces perturbées pour différents types d'opérations

Type d'interaction	Emprise / action au sol	Surface impactée par projet
Bloc de soutien d'éolienne	500 à 1 500 m ² / machine	100 machines : 50 000 à 150 000 m ²
Bloc d'ancrage de dispositif houlomoteur	15 à 30 m ² / machine	50 machines : 750 à 1 500 m ²
Mât (éolienne, hydrolienne) seul	3 à 30 m ² / machine	100 machines : 300 à 1 200 m ²
Mât avec matériel anti-affouillement	100 à 450 m ² / machine	100 machines : 10 000 à 45 000 m ²
Câbles ensouillés	2 000 m ² / km de câbles	30 km de câbles : 60 000 m ²
Câbles posés	10 à 15 m ² / km de câble	30 km de câbles : 300 à 350 m ²
Ancrage	-	-

A noter que s'il est difficile d'estimer l'étendue des perturbations causées par les ancrages, elles ne doivent pas être négligées au regard des autres types de perturbations, étant donné la fréquence des ancrages à attendre en phase travaux.

Pour les opérations de préparation des fonds en vue de la mise en œuvre des fondations on peut considérer que les surfaces impactées seront de l'ordre de grandeur de celles soumises à l'emprise des fondations. Concernant l'immersion des matériaux de forage ou de dragage associés, l'étendue des fonds recouverts dépend de leur profondeur, des conditions hydrodynamiques, des caractéristiques des matériaux et enfin de leur mode de dispersion. Ces paramètres doivent être évalués au cas par cas.

Sur le site éolien d'Horns Rev au Danemark, l'emprise sur les fonds marins des fondations et des matériaux anti-affouillement est estimée à près de 25 000 m² soit environ 0,2 % de la surface totale du parc. Wilhelmsson (2010) retient quant à lui une emprise globale des structures fixes équivalente à 0,14 à 3 % de la surface totale des parcs éoliens sur la base de sa revue bibliographique.

Afin de resituer cet enjeu de destruction d'habitat dans le cadre global des destructions anthropiques d'habitat pouvant avoir lieu en milieu marin, une comparaison a été faite entre une simulation des surfaces impactées par le développement des projets éoliens première et deuxième génération en Grande-Bretagne, et les surfaces impactées par d'autres activités (OSPAR, 2006 ; Foden, J. et *al.*, 2011). En prenant ainsi pour hypothèse que l'ensemble des turbines éoliennes prévues (2 414 unités) étaient installées, une surface de 14,7 km² serait directement perdue par l'installation des fondations et de matériaux anti-affouillement. Les surfaces exploitées et détruites par d'autres activités sont de 144 km² pour l'extraction de granulats, 310 km² pour l'immersion de matériaux de dragage et de 1 605 km² pour les déblais de forage de l'industrie des hydrocarbures. La surface ainsi impactée par le développement éolien ne représenterait ainsi, même pas 1 % de la surface totale impactée par les activités anthropiques sur un plateau continental d'une superficie globale de 870 000 km². La notion de fréquence des perturbations doit enfin être considérée dans cet exercice de comparaison. Elle est limitée, dans le cadre des EMR, à une intervention en phase de construction et éventuellement une intervention en phase de démantèlement, contrairement à des remaniements fréquents pour des sites de dragage ou de dépôt.

Si l'étude n'aborde pas la notion de préservation des fonds associée à des restrictions d'usages dans le périmètre des parcs, cet effet positif dont l'ampleur reste à étudier mérite d'être souligné. En prenant un ratio moyen de destruction d'habitat d'environ 1,5 % de la surface d'un parc, ce sont donc 98,5 % des fonds du parc qui sont par ailleurs préservés d'altérations d'autres activités dans un degré à définir en fonction des usages autorisés dans le périmètre du parc. A noter que ces fonds peuvent tout de même subir des perturbations indirectes par le biais d'autres processus décrits dans la suite de ce document (perturbations hydro-sédimentaires notamment).

Echelle temporelle d'impact - L'impact peut ensuite être décrit en terme de durée et comme le souligne la comparaison précédente, de fréquence. Ces paramètres dépendent essentiellement de l'interaction considérée et de la sensibilité de l'habitat.

Sur les emprises où les ouvrages seront présents pendant la totalité de la phase opérationnelle (fondations), on peut considérer que l'impact est permanent (ou du moins durable et au moins égal à la durée de présence des ouvrages sur le site). Le potentiel de retour à des communautés de référence après démantèlement dépendra notamment :

- des impacts permanents sur le substrat : mise à jour de couches de granulométrie différente, accumulation de sédiments par perturbation des régimes hydrosédimentaires, résidus de matériaux anti-affouillement ou de destruction des fondations, etc. ;
- des perturbations durables des écosystèmes liées à l'immersion de substrats différents des fonds environnants (généralement substrats durs sur fonds meubles) ;
- de la sensibilité des communautés initialement présentes sur le site et de leur potentiel de régénération à partir de communautés environnantes non détruites par le projet.

Aucun parc n'ayant encore été démantelé à ce jour, l'étendue de ces effets au-delà de la durée de vie du parc n'a pas encore pu être suivie ni analysée. A noter que pendant la durée de présence des installations, ces zones ne sont pas vierges de vie. D'autres communautés adaptées au nouveau substrat fourni par les dispositifs se développent en leur présence. Ceci soulève la question centrale de l'opportunité de perturber à nouveau les écosystèmes par le démantèlement des structures. Pour les fondations, l'aspect bien particulier des communautés développées par effet récif est traité dans le chapitre relatif à la présence physique des installations. Pour les câbles, les retours d'expérience sont plus nombreux et la dépose implique nécessairement une perturbation de communautés ayant atteint un nouvel équilibre. L'opportunité de procéder à cette perturbation doit être évaluée au regard de la sensibilité des communautés en place, et des risques environnementaux associés au maintien du câble sur le fond marin (essentiellement la diffusion de polluants liée à corrosion du câble), et de la gêne éventuelle causée à certaines pratiques de pêche.

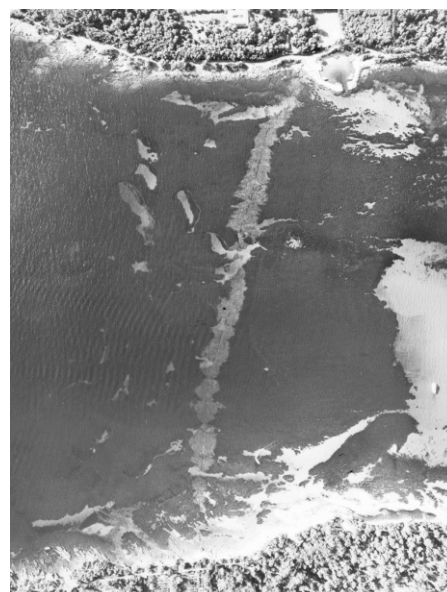


Figure 18 : Rhizome d'herbier de posidonie sur lest de câble (Source : EDF)

La figure ci-contre illustre cette problématique. Des rhizomes d'herbiers de Posidonie se sont à terme redéveloppés sur la zone impactée par colonisation des matériaux de ballast d'un câble sous-marin. La dépose du câble et de ces matériaux entraîne inévitablement une destruction de cet écosystème en phase de recolonisation lente.

Figure 19 : Impact de l'enfouissement d'un câble électrique par tranchée sur un herbier de posidonie en Méditerranée française

Pour les interactions à plus court terme (ensouillage d'un câble, ancrage d'un navire, etc.), les impacts liés à la destruction d'habitats peuvent être considérés comme temporaires et singuliers dans la mesure où ils n'auront lieu qu'à un instant de la vie du parc et qu'un processus de recolonisation va pouvoir débuter directement à la suite de la phase de travaux considérée. Cette notion d'impact temporaire doit néanmoins être nuancée en tenant compte de deux éléments majeurs : la sensibilité des habitats et leur capacité à se régénérer d'une part et les caractéristiques des processus de recolonisation d'autre part.



Les habitats les plus sensibles seront ainsi les habitats de substrats durs, les habitats à coralligène et les herbiers, pour lesquels les temps de régénération après destruction peuvent être extrêmement longs. A titre d'exemple, la vitesse de croissance très lente du maërl, entre 0,3 et 0,5 mm par an par fragmentation des thalles, ne permet pas une recolonisation rapide des milieux. Une modification du substrat pourra dans certains cas compromettre le retour aux communautés initiales.

Cependant, aucune opération n'est généralement envisagée sur ce type d'habitat lorsque leur présence est identifiée. Doivent essentiellement être distingués les habitats de fonds meubles, pour lesquels les retours d'expériences provenant d'autres activités telles que les extractions de granulats marins ou la pêche aux arts traînants témoignent d'une résilience relativement satisfaisante (voir ci-après), des habitats de fonds durs, moins documentés mais a priori plus sensibles.

La dynamique de recolonisation de communautés benthiques de fonds meubles dont les espèces ont un cycle de vie plus court sera vraisemblablement plus rapide. Les retours d'expérience sur des opérations d'extraction de granulats peuvent fournir une indication sur la dynamique de recolonisation des communautés benthiques de substrats meubles ; il s'effectue de manière progressive, et un schéma général semble se dégager de la littérature. On observe trois phases distinctes au cours desquelles se succèdent des communautés benthiques aux caractéristiques différentes (Kenny et Rees 1996, Desprez 2000, Toupin 2004, Boyd et al. 2005) :

- Une **première phase de recolonisation rapide par des espèces opportunistes** adaptées aux sédiments dragués parfois instables. La recolonisation se fait soit par des espèces vagiles issues de populations voisines du site, soit par recrutement larvaire depuis la colonne d'eau. Elles présentent généralement un taux de reproduction ainsi qu'une abondance élevés. La richesse spécifique du peuplement est faible en raison de la prédominance de ou des espèces opportunistes. La combinaison de la faible taille des animaux et de la forte abondance se traduit par une biomasse moyenne. Leur cycle de vie et leur vitesse de croissance déterminent le rythme de cette première phase de recolonisation.
- Une **phase de transition est ensuite observée lorsque des espèces initiales ou d'autres espèces non-opportunistes** commencent à recoloniser le milieu, et entrent en compétition avec les espèces opportunistes de départ. Le nombre d'espèces des populations est alors maximal, mais la réduction du nombre d'individus opportunistes se traduit par une nette baisse de l'abondance.
- Un **équilibre est enfin atteint au bout d'un temps qui varie en fonction des conditions locales**. Il est caractérisé par une communauté benthique qui présente une richesse spécifique et une abondance caractéristique du type d'habitat, et une biomasse restaurée liée à la croissance des individus qui composent la communauté.

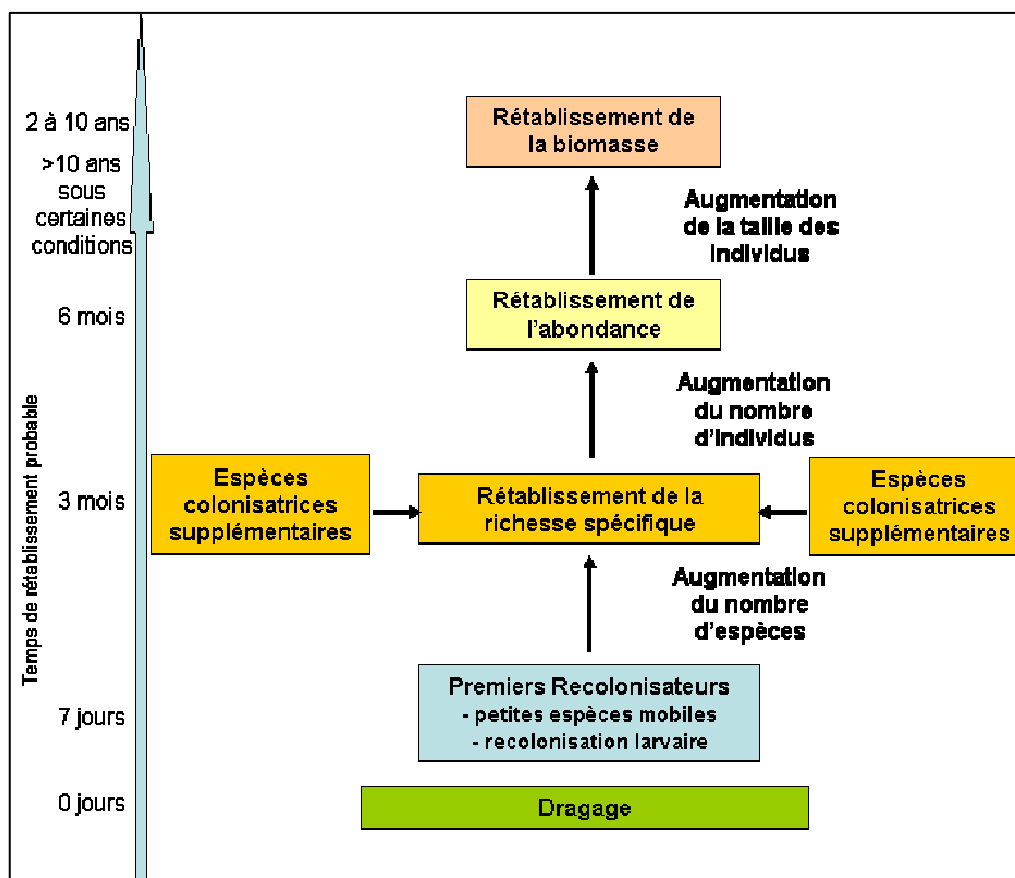


Figure 20 : Schéma des étapes de recolonisation des sites d'extraction par les communautés benthiques (d'après Nedwell et al. 2004)

A noter que l'équilibre en termes de biomasse et de richesse spécifique ne constitue pas nécessairement une indication d'un retour aux communautés initialement en place. Des différences significatives en termes de cortèges d'espèces peuvent se manifester.

Pour des substrats meubles, les durées de recolonisation mesurées sont généralement de deux à trois ans suivant l'arrêt des opérations. A noter que sur des substrats plus grossiers (gravier et galets), les temps de recolonisation peuvent être nettement plus élevés (jusqu'à plus de dix ans).

Etant donné le caractère plus exceptionnel des perturbations imposées par les opérations de travaux liées aux EMR, des temps de recolonisation similaires peuvent être envisagés pour des substrats meubles. De plus, les surfaces impactées étant moins vastes (tranchées de quelques mètres de large pour l'ensouillage des câbles), la dynamique de recolonisation est susceptible d'être dominée par des recrutements post-larvaires depuis les fonds avoisinants (OSPAR, 2006).

La sensibilité et l'étendue de la destruction de l'habitat doivent cependant être prises en compte dans l'évaluation de la résilience des impacts et évaluées au cas par cas.

1.2.2 Effets sur les poissons

La vulnérabilité des poissons aux interactions mécaniques directes avec les fonds marins s'exprime au travers de deux phénomènes majeurs :

- L'altération directe des populations par destruction d'individus : les individus sont prélevés pendant les dragages, écrasés par la pose des fondations ou étouffés par enfouissement lors de la sédimentation de matériaux remis en suspension. Ces risques d'impacts ne concernent a priori que les espèces ayant une **faible capacité de fuite**. Ils sont localisés, limités à l'étendue des interactions mécaniques directes avec les fonds marins, et limités à la durée et à la fréquence de ces opérations de travaux ;
- L'altération indirecte des populations par dégradation ou destruction de certaines « fonctions » supports exercées par des habitats spécifiques et nécessaires à la reproduction ou à l'alimentation, ou par contamination par apports de matériaux pollués au niveau des zones d'immersion. Ces risques d'impacts sont susceptibles de concerner un éventail d'espèces plus larges, de se répercuter sur des populations localisées au-delà du strict périmètre d'interaction mécanique et de perdurer sur une durée similaire à la durée de perturbation de l'habitat détruit. La prédictibilité d'un tel impact est complexe. Etant donné l'évitement d'habitats clés et la faible surface relative des perturbations au regard des surfaces totales du parc, ce type d'impact devrait être limité dans le cadre des opérations de travaux d'EMR.

Pour les espèces pélagiques, les risques de destruction directe sont faibles car les individus conservent une certaine capacité de fuite (liée à leur mobilité en comparaison à des espèces épi-benthiques moins mobiles), et ce sont essentiellement les risques d'altération d'habitats supports qu'il faut considérer.



Figure 21 : Frayère à *Spiraca maena* sur banc de sable à faible couverture permanente d'eau marine sur la côte varoise (source : Andromède Océanologie / Agence des aires marines protégées (AAMP), image issue du programme CARTHAM, 2010 – 2012)

La photo ci-avant, prise sur la côte varoise dans le cadre de l'inventaire national des habitats patrimoniaux (programme CARTHAM de l'AAMP) illustre bien la fonctionnalité que peuvent exercer certains types d'habitats (ici bancs de sable à faible couverture d'eau marine), souvent peu considérés.

1.3 Remise en suspension de matériaux en phase travaux

La remise en suspension de matériaux dans la colonne d'eau et à proximité des fonds est la perturbation la plus notable qui affecte la qualité de l'eau lors des opérations de travaux. Cette remise en suspension peut intervenir à plusieurs étapes :

■ Phase de construction

- Nivellement voire creusement des fonds par dragage ou forage pour la création des fondations de fixation des structures,
- Immersion des matériaux associés,
- Ensouillage des câbles électriques,
- Plantation de piliers,
- Ancrage de structures flottantes,
- Ancrage des moyens nautiques.

■ Phase de déconstruction

- Destruction et enlèvement des structures,
- Ancrage des moyens nautiques.

Ces opérations sont susceptibles de provoquer une accumulation temporaire de sédiments dans la colonne d'eau appelée panache turbide. Les particules constitutives de ce panache se redéposent ensuite sur le fond marin, à une vitesse et à une distance du site de remobilisation dépendant :

- des caractéristiques du milieu récepteur (profondeur, salinité, densité, viscosité, densité, turbulence, etc.) ;
- des caractéristiques des sédiments en suspension (granulométrie, taille et densité, vitesse de pénétration dans l'eau, etc.).

On peut par ailleurs considérer que ce sont les opérations de dragage, parfois nécessaires au nivellement ou au creusement des fonds pour l'installation de fondations gravitaires qui sont susceptibles de provoquer les remises en suspension les plus importantes. Les opérations d'immersion de matériaux associées à ces dragages ou aux forages pour l'installation de pieux. La mise en suspension de sédiments lors de ces opérations entraîne des incidences diverses dont les principales sont :

- la réduction de la transparence de l'eau et de la visibilité dans l'eau ;
- la mobilisation potentielle de contaminants physico-chimiques, lorsque les sédiments sont pollués (la pollution des sédiments est le plus souvent limitée en milieu ouvert et à une certaine distance des côtes) ;
- l'accroissement de la demande en oxygène ;
- les effets sur les compartiments pélagique et benthique exposés ci-après.

La détérioration de la qualité de l'eau par ces opérations doit cependant être nuancée par rapport aux conditions naturelles de turbidité des sites.

La durée de cette altération de la qualité des eaux est limitée dans le temps. Les retours d'expérience sur des opérations de dragage démontrent généralement un retour à des conditions naturelles de turbidité dans un délai de quelques heures suivant les opérations. Cette dynamique dépend directement des conditions hydrodynamiques et des caractéristiques des matériaux. Plus les matériaux sont fins plus leur vitesse de sédimentation est longue.

Une agitation élevée pourra ralentir d'avantage ce processus tout en favorisant la dispersion des matériaux. A noter que sur les sites de dépôts de matériaux non consolidés où les conditions d'agitation et les caractéristiques des matériaux sont telles que ces matériaux peuvent être remis en suspension, ces perturbations peuvent s'étendre au-delà de la phase de travaux. En termes d'étendue spatiale, la dispersion de ces panaches dépend là encore des caractéristiques des matériaux et des conditions hydrodynamiques. Pour l'ensouillage des câbles où cette remise en suspension est limitée et réalisée près des fonds, on estime que l'essentiel de cette perturbation est généralement restreinte à une bande de 10 à 20 m de part et d'autre de la zone de pose du câble. Pour les opérations de dragage, des retours d'expérience du secteur des granulats marins pour des dragues hydrauliques à surverse indiquent un dépôt de l'essentiel des matériaux dans un rayon de quelques centaines de mètres autour du navire.

1.3.1 Effets sur la faune benthique et les habitats de plus forte sensibilité

Outre les impacts directs sur la faune benthique provoqués par le remaniement des fonds lors de ces opérations, la sédimentation des particules remises en suspension est susceptible d'affecter cette faune de deux façons :

- par asphyxie, si l'épaisseur du dépôt et la vitesse de sédimentation sont trop élevées par rapport aux capacités de mobilité des espèces de la macrofaune benthique, et
- par modification de la nature sédimentaire des fonds.

Les espèces les plus vulnérables à l'enfouissement et à l'étouffement sont les espèces sessiles et les espèces étroitement dépendantes d'une bonne qualité des eaux : brouteurs, mollusques filtreurs, vers tubicoles (i.e. *Sabellaria* spp.), coraux, etc.

A l'inverse on peut considérer que les effets sur des communautés adaptées à une forte dynamique sédimentaire et un remaniement important des fonds seront limités. Ceci est d'autant plus vrai sur des sites pour lesquels les niveaux de turbidité ambiante sont très importants en comparaison à la remise en suspension provoquée par la présence du parc (cas sur Scroby sands en Grande-Bretagne par exemple). Les suivis sur Horns Rev n'ont pas révélé de perturbations significatives des communautés associées aux opérations de travaux (Bioconsult A/S, 2003b).

Les herbiers de phanérogames et les algues sont également particulièrement sensibles à la réduction de la transparence de l'eau du fait de leur activité photosynthétique, lorsque l'altération est prolongée et que leurs besoins d'exposition à la lumière ne sont pas satisfaits.

Les communautés d'algues de substrat dur en eaux tempérées à dominante foliacée pourront par exemple, sous l'effet d'une forte sédimentation, évoluer vers des communautés plus vaseuses d'algues filamenteuses (Balata et al. 2007 ; Vaseli, et al., 2008 ; in Wilhemson et al. 2010).

1.3.2 Effets sur le plancton

Le phytoplancton et le zooplancton montrent des cycles annuels marqués, la période où les abondances sont les plus élevées se situant généralement au printemps, avec des apports d'eaux douces à la côte les plus élevés. Le « bloom » phytoplanctonique de printemps est suivi, quelques semaines plus tard, par le « bloom » du zooplancton, constitué surtout de Copépodes pélagiques et herbivores.

En raison de leurs possibilités de déplacements très faibles, les populations planctoniques peuvent être affectées par les remises en suspension. Deux effets antagonistes peuvent être observés pour le phytoplancton :

- l'accroissement de la turbidité qui aura tendance à inhiber le développement du phytoplancton,
- et le relargage des sels nutritifs contenus dans les sédiments qui aura au contraire, un effet stimulant.

La diminution éventuelle de l'activité photosynthétique peut donc être compensée partiellement, voire totalement, par le relargage dans la colonne d'eau de sels minéraux bio stimulants.

1.3.3 Effets sur les poissons

La remise en suspension de sédiments est susceptible de perturber l'ichtyofaune de deux manières :

- par interaction directe des individus avec les panaches turbides générés : les particules peuvent colmater les branchies, en particulier pour des espèces de petites tailles ou des individus à des stades précoces de développement (Auld and Schubel, 1978, in Wilhelmsson et al, 2010) ;
- par altération d'habitats supports, sur l'empreinte de dépôt des sédiments remis en suspension.

Les poissons ont néanmoins la capacité d'éviter ces expositions en maintenant une certaine distance par rapport à des eaux trop turbides (Westerberg et al. 1996 ; Knudsen et al., 2006, in Wilhelmsson et al. 2010). De récentes études de suivi relatives aux effets d'opérations de dragage nécessaires à la pose de fondations d'éoliennes offshore n'ont ainsi pas révélé d'effet négatif que ce soit sur des juvéniles ou des adultes, dans un rayon de 150 m autour des opérations (Hammar et al. 2008, in Wilhelmsson et al. 2010).

1.4 Cas spécifique des travaux en milieu terrestre

1.4.1 Cas des câbles

Les câbles posés en mer sont reliés au réseau terrestre au niveau du point dit d'atterrissage. L'opération de travaux exerce alors des effets directs sur le milieu terrestre côtier. Ces effets sont majoritairement liés au creusement d'une tranchée, au dépôt des sables extraits de la tranchée et à la circulation des engins de travaux.

Le choix de la zone d'atterrissage du câble dépend des caractéristiques géophysiques et topographiques du trait de côte, du statut de protection réglementaire des espaces, des instructions d'urbanisme existantes, de la sensibilité écologique des milieux et des usages. Les effets des travaux sur le milieu terrestre concernant l'atterrissage sont les suivants:

Dans la zone intertidale, le câble est obligatoirement enfoui par mesure de sécurité. Cela permet également d'en supprimer l'impact visuel et il n'y a donc pas à proprement parler d'effet d'emprise. L'atterrissage au niveau de falaises ou de littoraux à substrat dur en général est problématique. Le franchissement et l'ensouillage y sont parfois impossibles. Les sites à substrat meubles sont ainsi privilégiés. L'enjeu environnemental majeur est alors la préservation des habitats dunaires, milieux riches et sensibles aux perturbations érosives.

Sur la plage, le câble est posé et tiré dans une tranchée creusée généralement avec une pelle mécanique à une profondeur d'environ 2 m (Créocéan, 2007). La tranchée commence quelques mètres sous l'eau au droit de la plage puis relie la chambre de jonction.

Sur certains sites littoraux sensibles, le creusement d'une tranchée peut déstabiliser l'équilibre sédimentaire par dégradation du tapis végétal dunaire maintenant les sédiments en place. La mobilité des dunes peut alors être favorisée entraînant un risque d'érosion et la favorisation de brèches. Le forage dirigé ou le jetting permet alors de limiter les impacts en passant directement sous les dunes sans créer de tranchée.

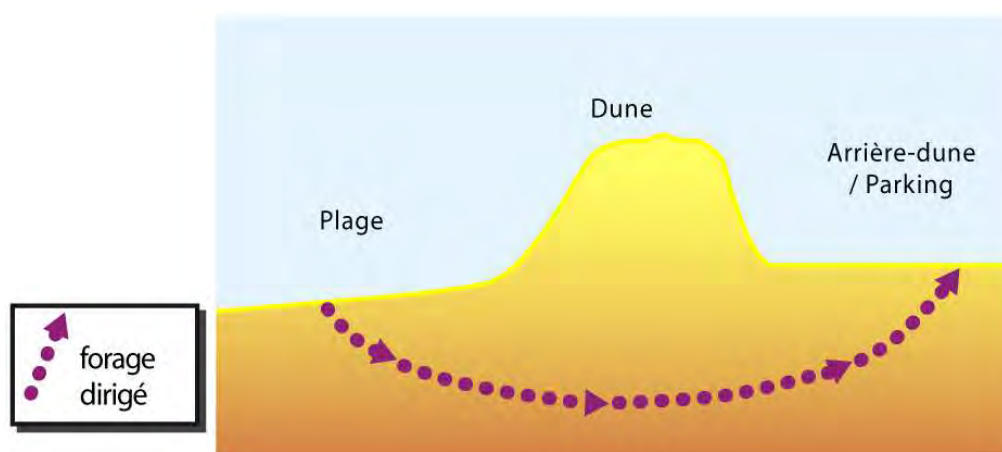


Figure 22 : Schéma de principe d'un forage dirigé

(Source: RTE)

La jonction entre la liaison sous-marine et la liaison souterraine se fait à l'intérieur d'un ouvrage souterrain maçonné appelé « chambre de jonction ». Cet ouvrage mesure généralement entre 10 et 15 m de longueur, 3 m de largeur et entre 1 m et 2 m de hauteur pour une liaison sous-marine d'un diamètre d'environ 175 mm. Une fois les jonctions réalisées, la chambre de jonction est comblée au moyen de sable, refermée par des plaques en béton puis recouverte avec le matériau du terrain naturel. Une implantation tenant compte de la sensibilité érosive du site est généralement privilégiée (par exemple en arrière de cordon dunaire).



Figure 23 : Exemple d'une chambre de jonction

(Source : RTE)

Au cours de ces opérations, un choix adapté de la localisation des ouvrages, des méthodes d'intervention et du plan de circulation des engins doit permettre de maîtriser les impacts potentiels sur la flore et la faune infralittorale. Les risques écologiques associés aux interactions mécaniques avec les sols ne doivent cependant pas être négligés. L'estran, sur lequel les sédiments peuvent être entreposés à proximité de la tranchée, retrouve rapidement son aspect initial par le jeu des marées quotidiennes.

1.4.2 Cas des installations énergétiques à la côte

Contrairement aux risques écologiques et paysagers relativement maîtrisables des câbles électriques, les risques potentiellement associés à la mise en œuvre d'installations côtières soulèvent des enjeux plus forts. Qu'il s'agisse d'installations de SWAC, de centrale ETM ou d'unités houlomotrices côtières, toutes imposent une emprise au sol relativement vaste. Dans la mesure du possible, la mise en œuvre de ces installations doit être recherchée en milieu urbain côtier ou portuaire, limitant ainsi les risques d'impacts écologiques. Dans les cas où ces installations seraient envisagées en milieu naturel, des pertes directes d'habitat doivent être attendues.

1.5 Synthèse

Les impacts les plus sévères de destruction directe d'habitats lors des interactions mécaniques avec les fonds en phase travaux seront limités au périmètre de ces interactions directes, soit quelques pourcents de la surface totale d'un parc, et aux espèces benthiques sessiles ou peu mobiles. La sévérité de cet impact doit conduire à éviter autant que possible les interactions avec les habitats les plus sensibles (herbiers, coralligène) dont la régénération à moyen et long terme est incertaine. De manière générale, le caractère localisé de ces effets à la fois dans l'espace et dans le temps, limite les possibilités de prise en compte d'impacts cumulatifs avec d'autres activités. La restriction d'usages ayant eux-mêmes un impact significatif sur les fonds dans le périmètre des parcs peut par contre permettre aux habitats de poursuivre une évolution naturelle et d'atteindre un meilleur état écologique.

L'ampleur des effets indirects associés à ces remaniements de fonds est mal connue est difficilement prédictible tant en termes d'étendue spatiale que temporelle. Dans la mesure où les perturbations sont focalisées sur des habitats peu sensibles et bien représentés dans la zone, ces effets indirects devraient être limités.

2 Bruits et vibrations

Dans un contexte de pollution sonore croissante du milieu marin, la prise en compte de l'impact du bruit généré pendant les phases de prospection, de travaux et d'exploitation est une des considérations majeures aujourd'hui associées aux projets d'énergies renouvelables marines. Si les impacts semblent le plus souvent se limiter au dérangement d'espèces, des perturbations plus intenses peuvent également être induites.

L'évaluation de l'impact du bruit généré par une activité humaine passe tout d'abord par la détermination de l'audibilité du bruit par l'espèce considérée. Au regard de sa sensibilité et des caractéristiques locales du milieu (bruit de fond notamment), l'espèce peut-elle discerner le bruit créé ? Ce raisonnement a ses limites pour les bruits les plus forts, pour lesquels la pression des ondes acoustiques a un poids déterminant dans l'impact, en comparaison à la fréquence associée.

En termes d'impacts, une distinction sera faite ici entre les risques de perte d'audition et de blessures, et les risques de dérangement d'espèces. On considérera qu'au vu des caractéristiques des bruits générés, seules quelques opérations de travaux bien spécifiques sont aujourd'hui susceptibles de provoquer des pertes d'audition permanentes, des blessures voire la mortalité d'individus.

Si les connaissances sur ces aspects restent à renforcer, plusieurs études sur les catégories de bruits réalisées lors des projets éoliens offshore commencent à fournir une base de réflexion solide. Des rapprochements avec d'autres types d'EMR peuvent notamment être faits pour des conclusions relatives à certaines opérations de travaux. Néanmoins des différences fondamentales subsistent pour les émissions sonores entre les différents types de dispositifs en phase d'exploitation. A ce titre, tout reste à étudier pour les dispositifs immergés encore peu développés.

Remarque : le battage de pieux focalise aujourd'hui l'attention en ce qui concerne l'évaluation des impacts du bruit générés par la construction de champs éoliens offshore. C'est en effet cette opération, lorsqu'elle est mise en œuvre, qui est à l'origine des niveaux sonores les plus importants dans la vie d'un champ éolien offshore. Elle est susceptible de provoquer d'une part les impacts les plus sévères à proximité immédiate de la zone de travaux sur les organismes marins et d'autre part, d'étendre l'effet de dérangement sur les étendues les plus vastes. L'essentiel des connaissances disponibles sur les impacts liés au bruit en phase travaux et retranscrites ici, sont donc directement associées à ce type d'opération. L'impact lié à d'autres sources sonores ne doit pas être négligé pour autant et les effets potentiels du bruit doivent être appréhendés sur la base de toute ses composantes (fréquence, durée, niveau de pression) et des caractéristiques auditives des cibles potentielles.

2.1 Notions de base sur le bruit

L'analyse des effets du bruit sur la faune implique un recours à des notions scientifiques complexes qu'il convient de maîtriser un minimum pour pouvoir aborder la littérature scientifique relative à cette thématique. Ce sous-chapitre vise à fournir quelques explications de base nécessaires à la compréhension des concepts et unités évoqués dans ce document.

2.1.1 Caractéristiques et unités

Un son résulte d'une déformation mécanique d'un milieu élastique (eau ou air par exemple) qui se propage donnant ainsi naissance à une onde acoustique. Un son peut ainsi être décrit en termes **d'amplitude**, de **fréquence** et de **durée**. Le bruit peut être défini comme un son ou un ensemble de sons complexes, produits par des vibrations irrégulières.

Au-delà de la fréquence, deux unités majeures peuvent être utilisées pour décrire et mesurer un son en prévision de son impact.

- Le **niveau de pression acoustique**, qui correspond à la pression exercée par l'onde acoustique sur une surface donnée, décrit l'**amplitude** d'un son.

Lorsqu'il est exprimé en décibel (**dB**) (cas le plus fréquent), les valeurs sont fournies sur une échelle logarithmique, en lien avec une valeur de pression de référence. Dans l'eau cette valeur de référence est généralement de 1 micro-Pascal (μPa). Dans l'air cette valeur est le plus souvent 20 μPa .

Le niveau de pression acoustique est généralement calculé sur la base de la valeur quadratique moyenne (**RMS**) de l'onde ; il est alors exprimé en **dB_{rms}**. Dans une approche de détermination d'impact, d'autres méthodes de calcul peuvent cependant s'avérer plus adaptées. Les valeurs **pic-pic** qui traduisent l'amplitude maximale de pression permettent, par exemple, de mieux décrire le risque associé à des **sons courts de très forte intensité** que des valeurs RMS auraient tendance à sous-estimer. Le niveau de pression acoustique est alors exprimé en **dB_{pic-pic}**.

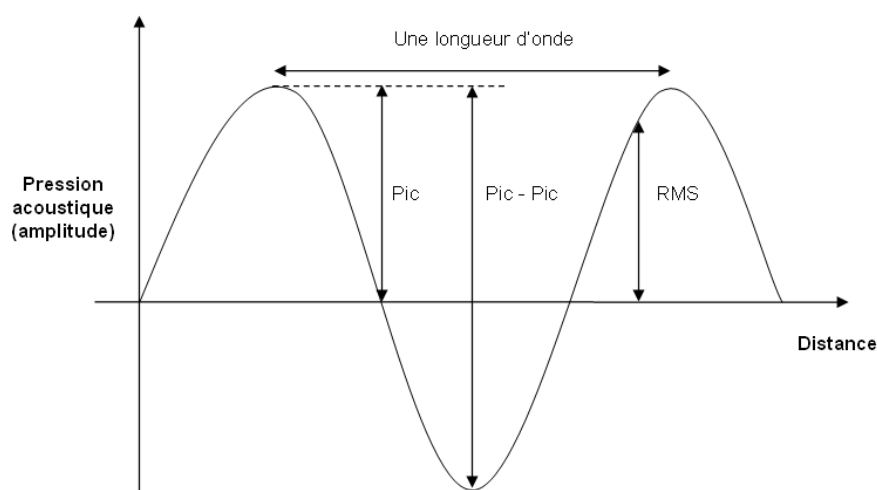


Figure 24 : Illustration des valeurs de pression acoustique **dB_{rms}** et **dB_{pic-pic}**

- Le **niveau d'exposition** au bruit décrit l'énergie d'un son. Il dépend à ce titre à la fois de son **amplitude** et de sa **durée**. L'analyse de ce paramètre permet de mieux prendre en compte les risques associés à une **exposition prolongée**.

Le niveau d'exposition est obtenu en intégrant le niveau de pression acoustique sur la durée du signal. L'unité de référence la plus courante est donc le $\mu\text{Pa}\cdot\text{s}^{-2}$.

L'onde acoustique schématisée ci-avant représente ainsi un cas très particulier d'un signal sonore à fréquence unique. En réalité, et notamment dans le cas des opérations EMR en mer, les bruits résultent de la superposition de nombreux signaux de fréquences diverses. La prise en compte des gammes de fréquences correspondante est cruciale dans une démarche d'évaluation d'impact sur des espèces vivantes, car **leur sensibilité au bruit diffère largement d'une fréquence à une autre**. Ceci soulève les notions de gammes d'audibilité, et donc de seuils d'audibilité, centrales dans ce chapitre.

Le **seuil d'audibilité** correspond au niveau de pression moyen qui marque la limite de perceptibilité d'un bruit pour un individu en milieu silencieux. Un audiogramme constitue une représentation graphique de ces seuils en fonction de la fréquence.

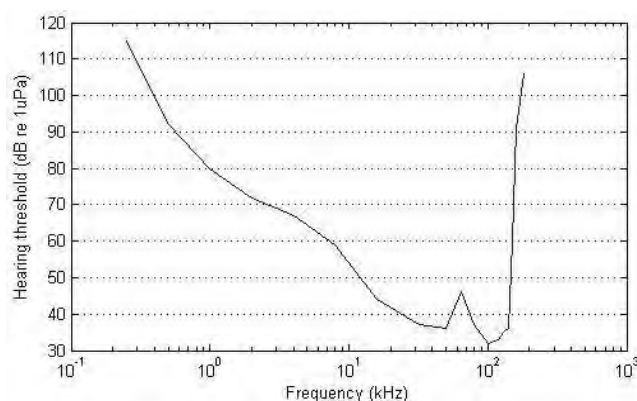


Figure 25 : Audiogramme du Marsouin commun (Kastelein et al. 2002 in OSPAR, 2006)

L'audiogramme du marsouin commun présenté ci-contre indique ainsi qu'il possède un seuil d'audibilité de 90 dB re 1 μPa à 500 Hz alors que ce seuil se situe à 35 dB re 1 μPa uniquement pour des fréquences de 50 kHz.

La connaissance de ces audiogrammes permet donc d'appréhender les effets du bruit d'une activité sur les espèces considérées. L'élaboration de ces audiogrammes suppose néanmoins une série d'expériences qu'il n'est pas aisée de réaliser, en particulier sur les mammifères marins.

Certaines unités de pression ont ainsi été développées pour prendre la spécificité de ces seuils en compte dans la description d'un bruit. L'unité dB_{ht}^4 (species) (Nedwell et al. 2003) permet ainsi d'appréhender le risque d'impact d'un bruit donné, pour chaque espèce considérée en tenant compte de ses capacités auditives. De la même manière que le système dB(A) utilisé pour les humains, il s'agit d'une méthode stochastique déterminant la probabilité de réaction d'un individu à un bruit donné. Les valeurs avancées dans ce chapitre sont néanmoins issues de données relativement restreintes et sont à prendre avec réserve.

⁴ Les limites des données sur lesquelles sont basés les seuils de cette unité font qu'aujourd'hui l'application de ce concept aux mammifères marins n'est pas entièrement reconnue par la communauté scientifique.

A noter, que l'énergie d'une onde sonore décroît avec la distance parcourue depuis la source d'émission. Dans une démarche de prévision d'impact, la sensibilité d'un individu doit donc être évaluée au regard de sa distance à la source et du niveau de bruit réel auquel il est exposé.

2.1.2 Ambiances sonores de référence

Afin de pouvoir resituer et apprécier les bruits qui peuvent être émis dans le cadre de projets d'EMR, quelques valeurs de bruits de référence sont fournies ici. Ces références fournissent aussi une base de réflexion pour l'évaluation des impacts cumulatifs.

Ambiances sonores sous-marines - Le bruit de fond des océans résulte d'une multitude de sources à la fois naturelles et anthropiques : action des vagues et du vent, activité sismique, activités humaines distantes et activités biologiques. La principale source de bruit résulte généralement de l'action du vent sur la surface, créant des bruits d'une fréquence de l'ordre de quelques centaines de Hz à 30 kHz. Dans les zones tropicales, certaines espèces contribuent de manière significative au bruit de fond (certains types de crevettes peuvent par exemple émettre des sons jusqu'à 100 kHz) (OSPAR, 2006).

Le tableau suivant récapitule les ordres de grandeur des différentes sources de bruit anthropiques en milieu marin.

Bruit	Niveau à la source (dB re 1 µPa-m)	Bande de fréquence (Hz)	Amplitude majeure (Hz)	Durée (ms)	Directionnalité
Construction offshore					
TNT (0,5 à 50 kg)	272 – 287 pic-pic	2 – 1 000	6 – 21	~1 - 10	Omnidirectionnel
Battage de pieu	228 pics / 243-257 P-à-P	20 → 20 000	100 - 500	50	Omnidirectionnel
Activités industrielles offshore					
Dragage	168-186 rms	30 → 20 000	100 - 500	Permanent	Omnidirectionnel
Forage	145 – 190 rms**	10 – 10 000	< 100	Permanent	Omnidirectionnel
Eolienne	142 rms	16 – 20 000	30 – 200	Permanent	Omnidirectionnel
Navigation					
Barges petites et bateaux	160-180 rms	20 → 10 000	> 1 000	Permanent	Omnidirectionnel
Navires larges	180 – 190 rms	6 → 30 000	> 200	Permanent	Omnidirectionnel
Sonar					
Sonars militaires de fréquence basse	215 pics	100 – 500	-	600 – 1 000	Concentration horizontale
Sonars militaires de fréquence moyenne	223 – 235 pics	2 800 – 8 200	3,500	500 – 2 000	Concentration horizontale
Echosondeurs	235 pics	Variable	Variable 1,500 – 36,000	5 – 10 ms	Concentration verticale
Sondages sismiques					
Séries de fusils à air	260 – 262 P-à-P	10 – 100 000	10 – 120	30 – 60	Concentration verticale*
D'autres activités					
Dispositifs du	132 - 200	5 000 – 30 000	5 000 – 30 000	Variable	Omnidirectionnel

Bruit	Niveau à la source (dB re 1 µPa-m)	Bande de fréquence (Hz)	Amplitude majeure (Hz)	Durée (ms)	Directionnalité
harcèlement acoustique				15 – 500 ms	
Dispositifs houlomoteurs et marémoteurs***	165 – 175 rms***	10 – 50 000	-	Permanent	Omnidirectionnel

(* Source nominale, ** Emissions plus importantes en cas d'utilisation des propulseurs d'étrave, *** Projection basée aux données bibliographiques qui sont recalculées à la distance de 1 m)

Plusieurs sources scientifiques considèrent que les niveaux de bruits ambiants ont à peu près doublé (accroissement de 3 dB) tous les dix ans dans certaines régions océaniques de la planète. Le trafic commercial étant l'activité économique qui s'est le plus développée sur cette période, il est probable que cet accroissement de bruit soit majoritairement imputable à la navigation.

La part du bruit basse fréquence (10 à 500 Hz) est essentiellement imputable aux sources anthropiques. Dans l'hémisphère Nord, de nombreuses études indiquent ainsi que la navigation est la source dominante des bruits basse fréquence dans les zones littorales et qu'elle a contribué à une augmentation de plus de 12 dB au cours des dernières décennies. Les ondes acoustiques émises par l'exploration sismique, les sonars, les dispositifs répulsifs, et les opérations industrielles telles que les forages, les battages ou les énergies marines voient également la plus grande partie de leur énergie dissipée dans le champ des basses fréquences. A noter que ce sont les basses fréquences qui subissent le moins d'atténuation et que ce sont elles qui sont susceptibles de se propager sur les distances les plus vastes.

Les bruits moyennes fréquences (500 Hz à 25 kHz) subissent une atténuation plus forte, ce qui circonscrit leur propagation à un rayon local voire régional (au plus quelques dizaines de kilomètres de la source). L'ambiance sonore moyenne fréquence est majoritairement naturelle et créée par l'agitation de surface. Certains sonars et les petits navires contribuent en partie à ce bruit.

Enfin, les bruits hautes fréquences (> 25 kHz) sont essentiellement générés par le déplacement des molécules d'eau et limités à un espace réduit autour de la source (Hildebrand, 2009). Notons néanmoins qu'une partie du spectre sonore générée par les sources anthropiques s'étend dans ce domaine des hautes fréquences.

Notons enfin que le manque de mesures avant développement d'activités humaines ne permet malheureusement pas de définir avec précision la mesure dans laquelle les activités humaines ont participé à accroître les niveaux de bruit ambiant (OSPAR, 2009).

Ambiance sonore aérienne en milieu marin – Les références sur l'ambiance sonore en milieu marin sont quasi-inexistantes. On peut néanmoins dire que l'essentiel du bruit ambiant est d'origine naturelle, formé par le déferlement des vagues et le vent, et donc directement dépendant des conditions météorologiques.

2.2 Niveaux de bruits des EMR

La partie suivante expose les niveaux de bruits générés par diverses opérations anthropiques susceptibles d'être mises en œuvre dans le cadre de projet EMR. La signature acoustique de certaines technologies telles que les ETM est inconnue. A noter que certaines de ces valeurs fournissent également une indication sur d'autres activités externes au projet et susceptibles de contribuer à l'ambiance sonore de fond par cumul des émissions : navires, dragage, etc.

2.2.1 Bruits en phase travaux

Toutes les opérations de travaux génèrent des bruits dont le niveau peut hiérarchiser par grand type d'intervention.

Battage de pieux - Le battage de pieux constitue ainsi l'opération la plus bruyante avec des valeurs maximales de niveaux de pressions sonores pouvant atteindre 235 à 240 re $1\mu\text{Pa}$ à 3 ou 4 m de la source, et des niveaux d'exposition sonore de 200 à 215 dB re $1\mu\text{Pa/s}$. La force des émissions varie en fonction de la dimension des piliers, des caractéristiques du fond, de la profondeur, de la durée de l'impact, etc.

Près de la source, le pic d'énergie sonore se situe dans une gamme de fréquences allant de 100 Hz à 2 kHz mais peut aller jusqu'à 10 kHz. Ensuite, les fréquences hautes s'atténuent rapidement, après 4 km la majorité des sons ont une fréquence inférieure à 5 kHz.

Si cette activité est temporaire, elle peut tout de même durer plusieurs mois. En effet, à Horns Rev II (Danemark) par exemple, la durée moyenne du battage pour une des 95 éoliennes est de 46 min \pm 14 min. La durée de leur installation s'étale sur 5 mois. Pour Horns Rev I (Danemark), le battage s'est déroulé sur 6 mois, à raison d'une à plusieurs heures de battage par pilier. Sur le site de Beatrice en Grande-Bretagne, deux éoliennes ont été installées avec des fondations jacket (4 piliers). Environ deux heures sont nécessaires pour installer un pilier, ce qui totalise 16 h de battage réparties sur plusieurs jours.

Forage - Les forages sont réalisés à partir de plates-formes ou de navires de forage. Les travaux sont les plus bruyants à partir de navires de forage (jusqu'à 190 dB re $1\mu\text{Pa}$ à 1m de distance), du fait d'une forte transmission des vibrations par la coque. De plus, les navires utilisent leur capacité de propulsion pour se maintenir sur place pendant les travaux ce qui produit un mélange de bruit de forage et de bruit provoqué par les hélices.

Dragage - Les dragages éventuels sont le plus souvent réalisés à partir de drague suceuse hydraulique pour les petits fonds ou des dragues mécaniques. Le bruit généré par l'aspiration des matériaux, le choc de la tête d'élinde sur les fonds, les vibrations des machines et du navire atteint généralement des niveaux de pression acoustique de 168 à 186 dB_{rms} re $1\mu\text{Pa}$ pour une bande de fréquence de 30 Hz à plus de 20 kHz (OSPAR, 2009).

Ensouillage - Certaines études concluent que les émissions sonores dues aux travaux d'installation ou de maintenance des câbles sont comparables à celles entraînées par les passages de navires. A titre indicatif, les niveaux des émissions sonores induites par la mise en place de câbles sous-marins sont les suivants :

- navires et machines : 152 – 192 dB re $1\mu\text{Pa}$;
- ensouillage : 178 dB re $1\mu\text{Pa}$.

Démantèlement - Les techniques de démantèlement dépendront étroitement du type de dispositif mis en place. L'enlèvement de structures de type blocs pourrait nécessiter l'emploi

d'explosifs ce qui générerait inévitablement des ondes acoustiques à haut potentiel de nuisance pour les différentes espèces marines. D'autres pistes techniques sont cependant envisageables à l'horizon des premières échéances de démantèlement.

Cas particulier des dispositifs répulsifs - Afin d'éloigner les espèces les plus sensibles avant des opérations bruyantes, des dispositifs sonores spécifiques peuvent être employés pour effrayer les animaux et les faire fuir à une distance suffisante. Ces dispositifs génèrent des bruits d'une bande de fréquence se situant entre 5 et 30 kHz pour une pression acoustique de 132 à 200 dBpic-pic re 1 μ Pa (OSPAR, 2009).

2.2.2 Cas spécifique des navires

Le bruit provoqué par les navires dépend du type, de la taille, de l'entraînement, de la vitesse, etc. La plupart du bruit dégagé provient de la rotation des hélices mais aussi du fonctionnement des machines et des turbulences générées. Quelques ordres de grandeur peuvent être fournis :

- **Navires de petite taille (< 50 m)** : 160-175 dB ; la fréquence est plus haute que les navires de plus grande taille avec une fréquence se situant généralement entre 1 kHz pour les machines et 10 kHz pour la cavitation. Ce type de navire correspond aux navires d'intervention en exploitation et en maintenance.
- **Navires de moyenne taille (50 à 100 m)** : 165-180 dB ; la bande de fréquence est basse (< 1 kHz). Il s'agit de navires évoluant plutôt dans des eaux côtières.
- **Navires de grande taille (plus de 100 m de long)** : 180-190 dB ; la fréquence est basse. Cette catégorie de navires inclut les porte-conteneurs, les superpétroliers mais aussi les navires utilisés pour la mise en œuvre de projets EMR.

2.2.3 Bruits et vibrations en phase opérationnelle

Cas des éoliennes en mer - Si l'exploitation génère des niveaux de bruit largement inférieurs à la phase de travaux, elle le fait néanmoins de manière permanente pendant la durée d'exploitation des dispositifs. Le bruit dépend du type de construction, de la hauteur, des conditions environnementales locales, de la vitesse du vent et de la taille du champ éolien.

Les vibrations générées par l'engrenage de la boîte de vitesses (lorsque la génératrice en contient une) et le générateur sont transmises au milieu marin par le biais du mât, à des fréquences et des intensités basses : 1 à 400 Hz pour des pressions acoustiques de 80 à 110 dB re 1 μ Pa (Nedwell et Howell, 2003, in Wilhelmson, 2010). Pour les fréquences supérieures à 1000 Hz, le bruit émis ne dépasse généralement pas le niveau de bruit ambiant.

Cas des dispositifs houlomoteurs et des dispositifs hydroliens - Les retours d'expérience sur les dispositifs houlomoteurs et hydroliens sont encore très limités.

Le bruit dégagé par les dispositifs houlomoteurs est principalement généré par l'entraînement des turbines, les générateurs, les mécanismes hydrauliques et le mouvement général du dispositif. La collision des vagues sur le dispositif, la vibration des câbles d'ancrage et les phénomènes de cavitation représentent une source secondaire de bruit.

Pour les dispositifs hydroliens, le bruit est principalement généré par la vibration des pales et du générateur ainsi que par les turbulences créées.

Pour ces deux types de dispositifs, le bruit est aujourd'hui estimé à une fréquence de 10 Hz à 50 kHz pour une pression acoustique de 165 à 175 dB_{rms} re 1 μ Pa (OSPAR, 2009).

Cas des SWAC et ETM – Aucun retour d'expérience sur les bruits générés par les installations d'ETM et de SWAC n'existe. Comme pour les autres technologies émergentes, la signature acoustique de ces installations doit être précisée.

Vibration des câbles électriques - Les câbles électriques transportant du courant alternatif à haut voltage émettent du bruit en permanence, induit par la vibration du câble. Ces bruits sont plus faibles en intensité que ceux induits par les opérations d'installations ou de maintenance, mais sont permanents. A titre indicatif, le niveau d'émissions sonores induit par la vibration d'un câble électrique sous-marin transportant du courant alternatif à 138 kV, est d'environ 100 dB.

Vibration des chaînes d'ancrage – Les caractéristiques des vibrations des chaînes d'ancrage dans le milieu sont inconnues. Néanmoins les connaissances sur cette thématique méritent d'être approfondies au vu de leur effet potentiel en phase opérationnelle.

2.3 Rapport au bruit des différentes espèces marines

2.3.1 Production sonore et audition chez les mammifères marins

Les différentes études comportementales menées sur les mammifères marins ont permis d'identifier la place cruciale du bruit dans leur comportement et le soutien de certaines fonctions vitales : socialisation, communication, alimentation et orientation. Ils peuvent être divisés en cinq groupes distincts en fonction de leur gamme de fréquences auditive : trois groupes de cétacés (« à basse fréquence », « à moyenne fréquence » et « à haute fréquence »), et les pinnipèdes (dans l'eau et dans l'air) (Southall et al., 2007).

Les cétacés utilisent les sons pour⁵ :

- communiquer entre eux au moyen de vocalisations, plutôt à basse fréquence mais de spectre très variable selon les espèces ;
- reconnaître et exploiter l'environnement naturel ou artificiel, à la manière d'un sonar passif : bruit de déferlement et proximité de la côte, interception de signaux des prédateurs et des proies, bruit de banquise, etc.;
- détecter activement proies et obstacles, à la manière d'un sonar actif avec détection, localisation, identification par émission de clics d'écholocalisation à très haute fréquence : cette fonction semble n'exister que chez les odontocètes.

Les niveaux d'émission peuvent être très élevés : 190 dBre 1µPa à 1 m en vocalisation très basse fréquence, 220 dBre 1µPa à 1 m pour des « clics » d'écholocalisation⁶.

Les signaux émis par les mammifères marins ont beaucoup été enregistrés et étudiés. Les caractéristiques objectives en sont répertoriées dans les grandes lignes. En revanche, la connaissance de leur traitement est embryonnaire et ne peut guère s'effectuer que par analogie, soit avec des systèmes sonars artificiels, soit avec les fonctions auditives humaines.

Les pinnipèdes, s'ils ne pratiquent pas l'écholocalisation, produisent eux aussi une importante diversité de bruits, à la fois sous l'eau et en surface, mais dans des gammes de fréquences

⁵ Lurton X. et L. Antoine. Avril 2007 Analyse des risques pour les mammifères marins liés à l'emploi des méthodes acoustiques en océanographie. *Rapport Final* – DOP/CB/NSE/AS/07-07.

⁶ La référence de pression sous-marine est le microPascal (1 µPa = 10⁻⁶ N/m²). La pression acoustique absolue est donc exprimée en dB re. 1µPa.

généralement plus restreintes et plus basses. Les bruits sont le plus souvent produits lors d'interactions sociales et reproductives critiques.

Les mammifères marins ont une gamme d'audition fonctionnelle qui va de 10 Hz à 200 kHz, avec les seuils les plus sensibles autour de 40 dB re 1 μ Pa. En fonction de la gamme de fréquence utilisée, Ketten (1998), distingue trois groupes, qui recourent le classement taxinomique :

- infrasonique - soniques (mysticètes) : gamme de 15 Hz à 20 kHz ; bonne sensibilité entre 20 Hz et 2 kHz ; seuil d'audibilité inconnu, sans doute 60-80 dB re 1 μ Pa ;
- sonique - ultrasonique (pinnipèdes) : gamme de 1 kHz à 20 kHz ; gamme optimale de réception très variable ; seuil typiquement de 50 dB re 1 μ Pa. Seul l'éléphant de mer présente une sensibilité notable en dessous de 1 kHz. Les pinnipèdes sont adaptés à entendre à la fois dans l'air et dans l'eau ;
- ultrasonique (odontocètes) : gamme de 200 Hz à 200 kHz ; pic entre 16 et 120 kHz, seuil typiquement 40 dB re 1 μ Pa.

Table 2. Functional marine mammal hearing groups, auditory bandwidth (estimated lower to upper frequency hearing cut-off), genera represented in each group, and group-specific (M) frequency-weightings

Functional hearing group	Estimated auditory bandwidth	Genera represented (Number species/subspecies)	Frequency-weighting network
Low-frequency cetaceans	7 Hz to 22 kHz	<i>Balaena</i> , <i>Caperea</i> , <i>Eschrichtius</i> , <i>Megaptera</i> , <i>Balaenoptera</i> (13 species/subspecies)	M_{lf} (lf: low-frequency cetacean)
Mid-frequency cetaceans	150 Hz to 160 kHz	<i>Steno</i> , <i>Sousa</i> , <i>Sotalia</i> , <i>Tursiops</i> , <i>Stenella</i> , <i>Delphinus</i> , <i>Lagenodelphis</i> , <i>Lagenorhynchus</i> , <i>Lissodelphis</i> , <i>Grampus</i> , <i>Peponocephala</i> , <i>Feresa</i> , <i>Pseudorca</i> , <i>Orcinus</i> , <i>Globicephala</i> , <i>Orcaella</i> , <i>Physeter</i> , <i>Delphinapterus</i> , <i>Monodon</i> , <i>Ziphius</i> , <i>Berardius</i> , <i>Tasmacetus</i> , <i>Hyperoodon</i> , <i>Mesoplodon</i> (57 species/subspecies)	M_{mf} (mf: mid-frequency cetaceans)
High-frequency cetaceans	200 Hz to 180 kHz	<i>Phocoena</i> , <i>Neophocaena</i> , <i>Phocoenoides</i> , <i>Platanista</i> , <i>Inia</i> , <i>Kogia</i> , <i>Lipotes</i> , <i>Pontoporia</i> , <i>Cephalorhynchus</i> (20 species/subspecies)	M_{hf} (hf: high-frequency cetaceans)
Pinnipeds in water	75 Hz to 75 kHz	<i>Arctocephalus</i> , <i>Callorhinus</i> , <i>Zalophus</i> , <i>Eumetopias</i> , <i>Neophoca</i> , <i>Phocarctos</i> , <i>Otaria</i> , <i>Erignathus</i> , <i>Phoca</i> , <i>Pusa</i> , <i>Halichoerus</i> , <i>Histriophoca</i> , <i>Pagophilus</i> , <i>Cystophora</i> , <i>Monachus</i> , <i>Mirounga</i> , <i>Leptonychotes</i> , <i>Ommatophoca</i> , <i>Lobodon</i> , <i>Hydrurga</i> , and <i>Odobenus</i> (41 species/subspecies)	M_{pw} (pw: pinnipeds in water)
Pinnipeds in air	75 Hz to 30 kHz	Same species as pinnipeds in water (41 species/subspecies)	M_{pa} (pa: pinnipeds in air)

Figure 26 : Gammes de fréquences d'audition par groupe fonctionnel de mammifères marins (Southall et al. 2007)

2.3.2 Audition chez les poissons

Les poissons possèdent deux types d'organes leur permettant de détecter les vibrations mécaniques de la colonne d'eau : la ligne latérale, stimulée par les basses fréquences, et l'oreille interne. C'est a priori essentiellement ce deuxième type d'organe qui est sensible aux ondes acoustiques mises en jeu dans le cadre de projets d'EMR.

La diversité de capacité auditive pouvant être rencontrée chez les poissons est importante. Si on considère en effet que la « gamme moyenne » d'audition se situe entre environ 30 Hz et 1 kHz, certaines études ont révélé des capacités spécifiques à certaines espèces s'étendant dans le domaine des infrasons en dessous de 20 Hz ainsi que dans la gamme des ultrasons au-delà de 20 kHz (Thomsen *et al.* 2006).

2.3.3 Rapport au bruit des invertébrés

Les invertébrés ne font *a priori* pas usage du bruit, et ne possèdent pas d'organe auditif spécifique. Ils restent néanmoins sensibles à certaines gammes de fréquences.

Certains crustacés et céphalopodes qui ne possèdent par exemple pas d'organe auditif, s'orientent et se stabilisent grâce à des organes spécifiques : les statocystes. Des études récentes ont permis de mieux caractériser la sensibilité de ces organes aux sons de basses fréquences (André *et al.*, 2011).

2.3.4 Production sonore et audition des oiseaux

Les oiseaux font usage du bruit pour communiquer dès le plus jeune âge, parfois même avant d'éclore. Les chants sont ainsi au cœur de plusieurs processus :

- l'apprentissage à la reconnaissance parents-enfants ;
- la reconnaissance des compagnes ;
- la communication en général.

Leur gamme d'audition est relativement similaire à celle de l'oreille humaine et à l'exception des oiseaux de proie nocturnes, leur oreille est moins sensible aux sons de très faible intensité. Pour la plupart des espèces, la gamme de plus forte sensibilité se situe entre 1 et 5 kHz, mais sur l'ensemble des espèces étudiées la gamme d'audition s'étend de 100 Hz à près de 30 kHz. Elle est parfaitement adaptée à la fréquence de leur chant. Certains oiseaux semblent par ailleurs particulièrement réceptifs aux infrasons : entre 0,01 et 10 Hz.

Si ces indications permettent d'apprécier le rapport général des oiseaux au bruit, elles ne doivent pas masquer le fait que les connaissances précises à l'échelle des individus et des espèces restent très limitées.

2.3.5 Production sonore et audition chez les chiroptères

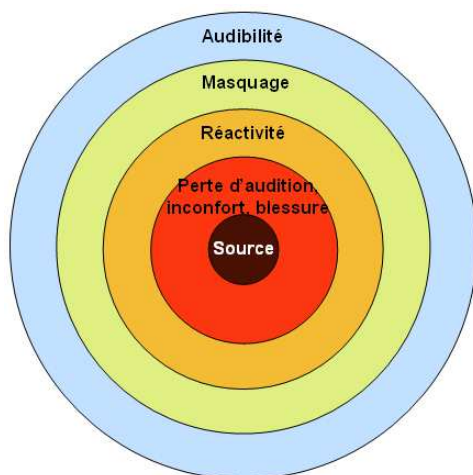
La majorité des chiroptères utilisent l'écholocation pour s'orienter et détecter leurs proies. Elles émettent des faisceaux d'ondes dans la gamme fréquentielle des ultrasons (entre 10 et 120 kHz) qui par réflexion sur les obstacles qu'elles rencontrent leur permet de localiser les objets, d'en déterminer la taille et le mouvement avec une importante précision.

2.3.6 Catégories d'effets

Effets sur les vertébrés

Il est possible de scinder les niveaux de bruit sous-marins sur les vertébrés en quatre grandes catégories d'effets (Richardson et al. 1995 in Thomsen et al. 2006) :

- La **zone d'audibilité** : il s'agit de l'espace au sein duquel l'animal détecte le bruit. Au-delà de cette limite, on considère que le risque d'impact est nul ;
- La **zone de masquage** : il s'agit de l'espace au sein duquel les niveaux de bruit sont suffisamment élevés pour nuire à la détection de bruits naturels tels que des signaux de communication entre espèces. La limite de cet espace est susceptible de varier fortement d'une espèce à une autre mais se situe le plus souvent entre la limite d'audibilité et la limite de réactivité ;
- La **zone de réactivité** : il s'agit de l'espace au sein duquel l'animal réagit physiologiquement ou par son comportement ;
- La **zone de perte d'audition** : il s'agit de l'espace le plus restreint autour de la source de bruit au sein duquel les niveaux sonores sont tels, qu'ils engendrent des blessures du système auditif résultant en une perte temporaire ou permanente de facultés auditives.



Il est possible de distinguer un cinquième seuil d'impact, au plus proche de la source, au-dessus duquel les blessures provoquées entraînent la mort de l'individu.

Figure 27 : Zones d'influence théoriques du bruit (inspiré de Richardson et al. 1995)

Deux types d'impacts peuvent donc être définis par rapport au bruit pour les vertébrés :

- la **blessure** voire la mortalité parmi lesquels il est possible de distinguer les blessures de l'appareil auditif, des blessures d'autres types d'organes ;
- le **dérangement** lié au masquage bio-acoustique ou à la perturbation d'autres fonctionnalités éco-physiologiques.

Effets sur les invertébrés

Les invertébrés constituent un vaste ensemble d'espèces très diverses dont la tolérance et la réaction au bruit peuvent varier de manière significative d'une espèce à une autre. Certains mollusques tels que les ormeaux se montrent par exemple très sensibles aux bruits aigus tandis que d'autres types de mollusques tels que les huîtres sont bien plus tolérants (Moriyasu et al., 2004 in Wilhemson et al. 2010).

L'appréhension des impacts du bruit sur les invertébrés doit se faire au cas par cas et en fonction des connaissances disponibles pour les espèces considérées. A ce jour ces

connaissances sont limitées, mais quelques études récentes sur les céphalopodes confirment que certains types de sons de basses fréquences, peuvent blesser et entraîner la mort d'individus.

2.4 Risques de perte d'audition et de blessure

Les opérations techniques nécessaires à la mise en place d'unités EMR varient en fonction du type d'EMR et de la technologie considérée : battage de pieux pour les éoliennes fixées sur les fonds et certains dispositifs immergés, dragage des fonds pour l'installation de fondations, ensouillage des câbles électriques, forages, présence de navires, etc. Les niveaux de bruit mis en jeu varient énormément d'une opération à une autre.

Les impacts potentiels les plus sévères générés par le bruit sur les organismes marins sont les blessures d'organes, pouvant dans les cas extrêmes (individus à proximité immédiate de la source et bruit d'intensité extrêmement élevée), entraîner la mort d'individus (Nedwell *et al.* 2007). Dans une optique de différenciation des impacts chez les vertébrés, il est possible de distinguer les blessures occasionnées à l'appareil auditif et celles occasionnées à d'autres types d'organes.

Chez les vertébrés, ces types d'impacts sont le plus souvent associés à des ondes acoustiques courtes de très haut niveau (Parvin *et al.* 2007 in Nedwell *et al.* 2007), telles que celles pouvant être mises en jeu lors de battages de pieux ou de prospection sismique. Les variations rapides de pression liées aux ondes acoustiques sont susceptibles d'entraîner des lésions des organes internes y compris auditifs ainsi que des effets se rapprochant de barotraumatismes.

2.4.1 Cas des mammifères marins

Risques de perte d'audition

La perte d'audition, ou modification des seuils d'audition, constitue un des traumatismes majeurs à considérer en lien à une exposition à des bruits intenses. Il est possible de distinguer les pertes temporaires d'audition (PTA) des pertes permanentes d'audition (PPA)⁷. Dans les deux cas, ces pertes sont susceptibles de perturber plusieurs facultés des individus blessés : communication, identification de prédateurs ou de proies, etc.

Les PTA et PPA sont dépendantes à la fois du niveau et de la durée du bruit auquel sont exposés les individus. Ainsi plus la durée d'une exposition sonore est longue plus le niveau sonore engendrant un risque de perte d'audition sera faible. La durée et le type de bruit (continu ou impulsif) doivent donc être considérés lors d'une évaluation d'impact.

A ce jour, des valeurs expérimentales de PTA sont disponibles pour deux espèces de cétacés uniquement : le grand dauphin (*Tursiops truncatus*) et le béluga (*Delphinapterus leucas*) (Finneran *et al.*, 2000, 2002b, 2005a; Schlundt *et al.*, 2000; Nachtigall *et al.*, 2003, 2004). Aucune expérimentation n'a visé à déterminer de valeurs de PPA pour des raisons évidentes d'éthique. Les diverses investigations menées sur ces deux espèces ont permis de définir des valeurs expérimentales de niveau sonore engendrant un risque de PTA.

⁷ Respectivement dans la bibliographie anglo-saxonne Temporary Threshold Shift (TTS) et Permanent Threshold Shifts (PTS)

Pour une impulsion unique, le niveau sonore le plus faible engendrant une perte d'audition était de **210 dB re 1µPa pic-pic**. Il est par ailleurs couramment admis que pour des séries d'impulsion, le niveau sonore engendrant une perte d'audition baisse de 3 dB chaque fois que l'on double l'exposition (Finneran *et al.*, 2000; 2002, Nachtigall *et al.*, 2004) : c'est le critère de l'énergie sonore équivalente (Hassal & Zaveri, 1979). En considérant la valeur limite de 210 dB re 1µPa pic-pic pour une unique impulsion, l'exposition à une minute de martèlement (32 coups) nécessite de respecter un niveau sonore de **195 dB re 1µPa pic-pic** si l'on veut éviter le risque de traumatisme auditif. A noter que ces valeurs sont indicatives et basées sur une base d'information extrêmement restreinte.

Des études équivalentes ont par ailleurs été menées sur trois espèces de pinnipèdes (phoque commun, otaries de Californie, éléphant de mer du Nord) (Kastak *et al.*, 1996, 1999, 2005 ; Finneran *et al.*, 2003). Pour des bruits continus (non impulsifs), des pertes d'audition après 25 minutes d'exposition ont été enregistrées pour des niveaux de pression acoustique de 152 dB re: 1 µPa, 174 dB re: 1 µPa et 172 dB re: 1 µPa respectivement pour le phoque commun, l'otarie de Californie et l'éléphant de mer du Nord. Concernant des sons impulsifs, les retours d'expérience se limitent à l'expérimentation de Finneran *et al.*, en 2003 sur deux otaries de Californie pour des expositions de type mono-impulsion. Cette expérience n'a pas permis de mettre en évidence de perte d'audition pour de pressions acoustiques allant jusqu'à 183 dB re 1 µPa.

Les seuils de risque potentiel généralement admis aujourd'hui sont ceux utilisés depuis 1997 par les organismes régulateurs américains (NMFS) pour l'évaluation *a priori* des risques acoustiques. Les risques de blessure sont à considérer pour des niveaux de pression acoustique supérieurs à 180 dB_{rms} re 1µPa pour les cétacés et 190 dB_{rms} re 1µPa pour les pinnipèdes.

Risques de blessure

Une exposition longue à d'importants niveaux de bruit, voire courte à des bruits impulsifs de très haut niveau, est susceptible d'induire une perte d'audition permanente et d'autres types de blessures chez les mammifères marins. Des autopsies de cétacés suite à des échouages massifs vraisemblablement dû à des expositions sonars lors d'opérations militaires ont révélé des signes de traumatismes par décompression : hémorragies cérébrales, rénales, pulmonaires et d'autres organes acoustiques spécifiques.

Dans le cadre de travaux de mise en œuvre de fermes éoliennes offshore, et plus largement d'énergies marines renouvelables, seul le battage de pieux a été identifié comme pouvant générer des bruits similaires à ceux dont on soupçonne qu'ils soient à l'origine de ces traumatismes. Plusieurs projets éoliens témoignent par ailleurs, de mortalités de poissons en lien avec cette opération dans l'environnement immédiat des travaux.

Les données actuellement disponibles et synthétisées par Parvin *et al.* en 2007 (in Nedwell *et al.* 2007) pour le compte du gouvernement britannique suggèrent que :

- Les risques de mortalité ou de blessures suffisamment sévères pour entraîner la mort existent pour des pressions acoustiques de crête supérieures à **240 dB re. 1µPa** et des impulsions sonores de **700 Pa.s** ;
- Des blessures d'organes tels que les poumons, le foie, les intestins et autres tissus mous entourant des cavités gazeuses du corps peuvent être observés pour des pressions acoustiques de crête supérieures à **220 dB re. 1 µPa** et des impulsions de **14 Pa.s**.

Southall *et al.* ont proposé en 2007, une série de seuils d'exposition pour les cétacés et les pinnipèdes caractérisés par la **pression acoustique de crête** (*peak pressure level*), et le **niveau d'exposition sonore** (*sound exposure level*). Ces seuils sont actuellement discutés par la communauté scientifique, notamment vis-à-vis du fait qu'ils ont été établis sur la base d'un nombre très limité de retours d'expériences (Wilhelmson *et al.*, 2010).

Table 3. Proposed injury criteria for individual marine mammals exposed to “discrete” noise events (either single or multiple exposures within a 24-h period; see Chapter 2)

Marine mammal group	Sound type		
	Single pulses	Multiple pulses	Nonpulses
Low-frequency cetaceans	Cell 1	Cell 2	Cell 3
Sound pressure level	230 dB re: 1 µPa (peak) (flat)	230 dB re: 1 µPa (peak) (flat)	230 dB re: 1 µPa (peak) (flat)
Sound exposure level	198 dB re: 1 µPa ² -s (M_{lr})	198 dB re: 1 µPa ² -s (M_{lr})	215 dB re: 1 µPa ² -s (M_{lr})
Mid-frequency cetaceans	Cell 4	Cell 5	Cell 6
Sound pressure level	230 dB re: 1 µPa (peak) (flat)	230 dB re: 1 µPa (peak) (flat)	230 dB re: 1 µPa (peak) (flat)
Sound exposure level	198 dB re: 1 µPa ² -s (M_{mr})	198 dB re: 1 µPa ² -s (M_{mr})	215 dB re: 1 µPa ² -s (M_{mr})
High-frequency cetaceans	Cell 7	Cell 8	Cell 9
Sound pressure level	230 dB re: 1 µPa (peak) (flat)	230 dB re: 1 µPa (peak) (flat)	230 dB re: 1 µPa (peak) (flat)
Sound exposure level	198 dB re: 1 µPa ² -s (M_{hr})	198 dB re: 1 µPa ² -s (M_{hr})	215 dB re: 1 µPa ² -s (M_{hr})
Pinnipeds (in water)	Cell 10	Cell 11	Cell 12
Sound pressure level	218 dB re: 1 µPa (peak) (flat)	218 dB re: 1 µPa (peak) (flat)	218 dB re: 1 µPa (peak) (flat)
Sound exposure level	186 dB re: 1 µPa ² -s (M_{pw})	186 dB re: 1 µPa ² -s (M_{pw})	203 dB re: 1 µPa ² -s (M_{pw})
Pinnipeds (in air)	Cell 13	Cell 14	Cell 15
Sound pressure level	149 dB re: 20 µPa (peak) (flat)	149 dB re: 20 µPa (peak) (flat)	149 dB re: 20 µPa (peak) (flat)
Sound exposure level	144 dB re: (20 µPa) ² -s (M_{pa})	144 dB re: (20 µPa) ² -s (M_{pa})	144.5 dB re: (20 µPa) ² -s (M_{pa})

Note: All criteria in the “Sound pressure level” lines are based on the peak pressure known or assumed to elicit TTS-onset, plus 6 dB. Criteria in the “Sound exposure level” lines are based on the SEL eliciting TTS-onset plus (1) 15 dB for any type of marine mammal exposed to single or multiple pulses, (2) 20 dB for cetaceans or pinnipeds in water exposed to nonpulses, or (3) 13.5 dB for pinnipeds in air exposed to nonpulses. See text for details and derivation.

Figure 28 : Critères acoustiques de blessures chez les mammifères marins (Southall *et al.* 2007)

Si ces risques d'impact sont avérés, ils doivent néanmoins être nuancés par la capacité que possèdent les mammifères marins à fuir face à une gêne ou une perturbation. Ceci doit notamment être considéré pour les niveaux de bruits susceptibles d'engendrer des pertes d'audition à condition que l'exposition soit « suffisamment » longue.

2.4.2 Cas des poissons

L'effet du bruit a été largement moins étudié sur les poissons que sur les mammifères marins. Les mêmes types d'impact peuvent néanmoins être décrits : perte d'audition temporaire, perte d'audition permanente, blessures d'organes et mortalité pour les cas les plus extrêmes.

Si des expérimentations récentes ont permis d'établir des seuils de pression acoustique entraînant des pertes d'audition pour certaines espèces (poisson rouge, méné à museau arrondi, crapet arlequin, tilapia), elles ne permettent pas, au vu des conditions d'expérimentation et des espèces ciblées, d'étendre les conclusions à des poissons marins susceptibles d'être impactés dans des projets d'EMR. Il est donc difficile de fournir des seuils de PTA, même indicatifs, au regard des connaissances disponibles.

Concernant les PPA, elles semblent le plus généralement dues à la destruction des cellules ciliées de l'oreille interne (Saunders *et al.* 1991 in Thomsen *et al.*, 2006). D'autres types de

blesures causées par des vibrations sous-marines ainsi que des cas de mortalité ont enfin été décrits dans la littérature : hémorragie interne, rupture de la vessie natatoire, etc. Là encore, ce type d'impact semble être à considérer uniquement pour les opérations de type battage de pieux et à proximité immédiate des opérations.

Des recherches approfondies semblent nécessaires.

2.4.3 Cas des invertébrés

Chez les organismes marins invertébrés qui ne font a priori pas usage du bruit, une exposition à des bruits intenses semble en effet représenter un danger de blessure voir de mortalité.

McCauley et *al.* (2000) ont soumis des calmars à l'effet de sources sismiques. Des réactions d'alarme ont été notées pour des intensités de 174 dB re 1 μ Pa rms. En présence d'une intensité sismique croissante (de 156 à 161 dB re 1 μ Pa rms), les comportements ont d'abord été une augmentation de la vitesse de nage, puis une diminution lorsque la source était au plus proche des calmars. Les réactions à des vibrations intenses existent donc, mais les comportements qui en découlent apparaissent variables. Le seuil de dérangement pour l'espèce utilisée dans l'expérience pourrait être voisin de 144 dB re 1 μ Pa rms.

Une étude récente menée par André et *al.* a cherché à étudier plus précisément les perturbations physiologiques induites sur les céphalopodes par des bruits basse fréquence de forte intensité (voir ci-après).

Etude de cas : Etude des traumatismes acoustiques chez les céphalopodes en réponses à des ondes basses fréquences – André et *al.* 2011

Les statocystes sont des structures cavitaires contenant un statolithe et dont les parois sont formées de cellules ciliées. La pression exercée par le statolithe en mouvement sur les cils sous l'effet gravitationnel permet à l'animal de se stabiliser et d'orienter la direction et la vitesse de sa nage.

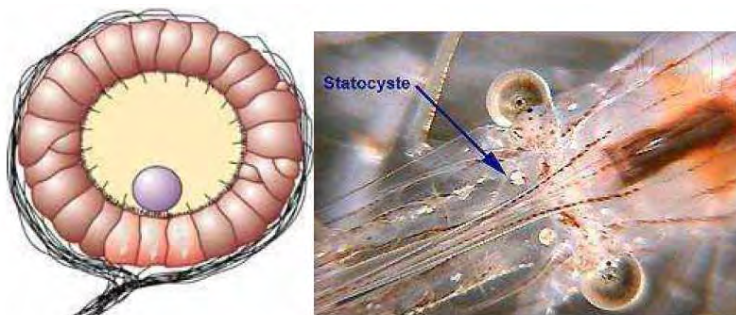


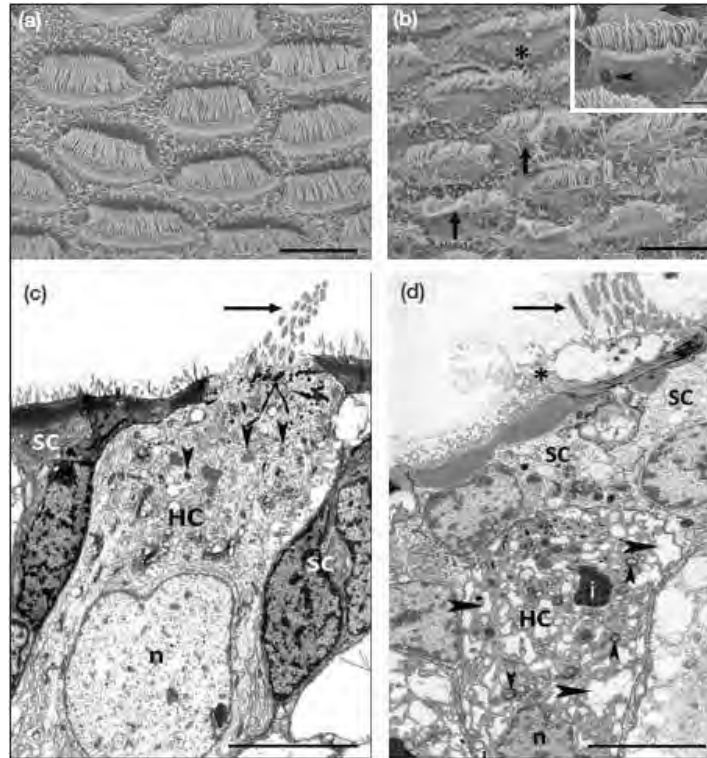
Figure 29 : Coupe et emplacement du statocyste chez le calmar⁸

L'étude a permis d'étudier les altérations morphologiques subies par les statocystes d'individus de quatre espèces de céphalopodes (*Loligo vulgaris*, *Sepia officinalis*, *Octopus vulgaris*, *Illex coindetii*) sous influence d'une exposition à des ondes basses fréquences 50 à 400 Hz de 157 ± 5 dB re 1 μ Pa.

⁸ Source : Meeresschule et BGSU

Les analyses post-mortem ont permis de constater que :

- L'ensemble des individus exposés, présentaient le même type de lésions : un détachement des cellules ciliées de l'épithélium sensoriel et une perte des cils associés à une expulsion partielle du matériel cellulaire au travers des membranes « trouées ».
- Les cellules ciliées de statocystes d'individus témoins, non-exposés aux ondes, ne présentaient aucune altération particulière.



Les lésions mises en évidence au travers de cette expérience suggèrent que l'impact de nombreuses activités marines émettrices d'ondes basses fréquences sont aujourd'hui susceptibles d'avoir un impact majeur sur cette faune, encore mal connue et peu étudiée en comparaison aux cétacés par exemple.

Pour les EMR, ce type de bruit peut être généré en phase de prospection (reconnaissance des fonds par prospection sismique en prévision de battage de pieux, battage de pieux, etc.).

2.5 Perturbations comportementales

On entend par perturbation d'espèces, des modifications du comportement très variables pouvant aller de réactions quasiment imperceptibles (sursaut, changement de direction de nage, etc.) à des perturbations plus profondes pouvant impacter des facteurs clés de survie (abandon temporaire ou durable d'une zone, troubles de l'alimentation, troubles de la reproduction, etc.) (Thomsen et al. 2006).

Contrairement aux risques de blessures d'organes exposés ci-avant, ce type d'impact est directement lié aux facultés de perception des bruits par les individus. Le risque doit donc être évalué au regard des caractéristiques de chaque espèce et considéré sur des étendues bien plus vastes, variables en fonction des caractéristiques de la source émettrice, du vecteur et de l'individu (espèce, âge, condition, sexe, etc.).

Dans ce contexte, il est ainsi utile de distinguer les perturbations comportementales associées aux opérations de travaux susceptibles de générer des bruits relativement intenses aux caractéristiques bien spécifiques, des perturbations comportementales associées à la phase opérationnelle dont les bruits sont généralement moins élevés mais émis de manière permanente.

2.5.1 Niveaux de perturbation chez les mammifères marins

Bruits en phase travaux - Les impacts sur les mammifères marins des bruits émis en phase travaux peuvent s'étendre bien au-delà du périmètre de chantier et le potentiel de propagation des ondes acoustiques doit être évalué pour chaque type d'opération.

On estime par exemple que des effets sur le comportement de dauphins, de phoques ou de marsouins pourront être occasionnés jusqu'à plus de 20 km d'opérations de battage de pieux dans le cadre de projet éolien offshore ((Edren et *al.*, 2004; Tougaard, et *al.*, 2008; Tougaard et *al.*, 2009; David 2006; Madsen et *al.*, 2006; Brandt, et *al.*, 2009 ; Tougaard et *al.*, 2009 ; in Wilhelmsson et *al.* 2010). Ces distances sont néanmoins à évaluer au cas par cas en fonction des conditions de milieu et des espèces considérées.

Plusieurs seuils de réactivité sont aujourd'hui proposés dans la littérature selon des approches différentes et complémentaires. Ils ont été récapitulés par Thomsen et *al.* (2006) et sont présentés dans le tableau suivant.

Référence	Méthode	Espèces étudiées	Stimulus	Seuil de réactivité
McCauley et al. (2000)	Empirique	Rorqual à bosse	Canon à air – Impulsion	172 dB _{p-p} re 1 µPa
Nedwell et al. (2003)	Théorique	Aucune	-	75 dB _{ht}
Kastelein et al. (2005)	Empirique	Marsouin commun	Impulsion (12 kHz ; 1,0 s)	103 dB _{Leq}

Concernant les impacts sur les phoques, les observations actuelles quoique limitées, sont mitigées et semblent indiquer un effet relativement similaire, voire plus faible que pour les cétacés.

En termes d'observations directes d'impacts de construction d'EMR sur les mammifères marins, les résultats obtenus par Tougaard et *al.* lors de la construction des champs éoliens de Nysted (mer Baltique) et de Horns Reef (mer du Nord) restent sûrement les références les plus pertinentes à considérer.

Etude de cas : étude de l'activité acoustique du marsouin commun et du phoque lors de la construction des champs éoliens de Nysted et Horns Rev – Tougaard et al. 2003, 2005 (issu de l'interprétation de Thomsen et al. 2006).

A Horns Rev, l'activité acoustique des marsouins était réduite après chaque épisode de battage puis revenait à son niveau initial (avant battage) 3 à 4 heures après la fin du battage. Cette observation a été réalisée non seulement à proximité immédiate de la zone de chantier mais également au niveau des points de contrôle de référence localisés à une distance de 15 km, indiquant une réaction de réduction de leur activité acoustique ou de fuite relativement étendue. Les observations de densité menées en parallèle ont quant à elles révélé des densités d'individus significativement inférieures dans l'ensemble du secteur en période de battage. Les observations réalisées ont enfin permis d'identifier des différences dans les comportements de nage : les marsouins semblaient présenter des schémas de nage plus directionnels les jours avec battage que lors des jours sans travaux. Cet effet a également été observé jusqu'à 15 km du site de travaux.

Le manque de point de contrôle au-delà de cette distance ne permet pas définir l'étendue exacte de la zone d'impact environnemental.

Sur le site de Nysted, des effets similaires ont été observés en période de travaux (battage et vibro-battage) pour les cétacés : l'abondance du peuplement de marsouins a été fortement réduite cependant sans retour au niveau de référence après travaux. L'abondance étant globalement faible avant travaux, cette deuxième observation est difficile à interpréter. Edren et al. (2004) ont par ailleurs constaté une réduction de 10 à 60 % du nombre de phoques émergeant sur un banc de sable localisé à 10 km du chantier lors des jours de battage. Néanmoins le nombre moyen de phoque sur ce banc étant constant sur l'ensemble de la phase de travaux, cet effet du battage des pieux peut être qualifié de temporaire et à court terme.

A noter que si ces observations suggèrent une zone minimum d'impact du battage de pieux d'un rayon de 15 à 20 km autour de la zone de travaux, des dispositifs acoustiques ont été déployés au préalable pour effrayer et éloigner les phoques et les marsouins sur ces chantiers. Présentant des niveaux acoustiques bien inférieurs à ceux mis en jeu lors des opérations de battage de pieux, ils ne peuvent pas seuls être à l'origine des réductions de population observées. Néanmoins, leur gamme de fréquence étant plus adaptée à la gamme d'audibilité des mammifères marins que celle des bruits de battage, un potentiel effet de combinaison des bruits peut être considéré ici pour expliquer les réactions observées.

Bruits en phase opérationnelle - De manière générale, les niveaux acoustiques connus à ce jour pour les phases opérationnelles d'EMR ne présentent pas de dangers de blessures ou de pertes d'audition pour les mammifères marins.

La majorité des données actuellement disponibles en phase opérationnelle et présentée ci-après concerne l'énergie éolienne, et sont essentiellement ciblées sur les espèces majoritaires en mer du Nord et en mer Baltique : les marsouins et les phoques.

Les estimations actuelles de distance à laquelle les mammifères marins peuvent détecter le bruit généré par des turbines sont de :

- 10 à 100 m pour les marsouins (Koschinski, et al., 2003; Thomsen et al., 2006; Tougaard et al., 2009 ; in Wilhelmsson et al. 2010) ;

- 360 m à 10 000 m pour les phoques (Koschinski, et al., 2003; Thomsen, et al., 2006; Tougaard, et al., 2009 ; in Wilhelmsson et al. 2010).

Madsen et al. (2006) estiment par ailleurs qu'au vu des caractéristiques des bruits sous-marins émis par les turbines et des bruits de fonds générés par les autres activités humaines, les effets en phase opérationnelle sur les mammifères marins fréquentant les petits fonds côtiers (marsouin commun, grand dauphin (*Tursiops truncatus*), baleine franche (*Eubalanea glacialis*), phoque commun (*Phoca vitulina*)) sont susceptibles d'être faibles, voire minimes.

Les retours d'expérience sur le site d'Horns Rev au Danemark semblent par ailleurs indiquer que les impacts en phase opérationnelle sur les marsouins et les phoques sont nuls (Dong Energy, et al. 2006, Tougaard et al. 2003) tandis que sur le site de Nysted, aucun retour aux niveaux de référence n'a été constaté après l'arrêt des travaux pour les marsouins (voir encadré ci-avant). Les explications relatives à cet « abandon » de la zone restent mitigées : faible densité initiale et insuffisance statistique, intérêt limité du secteur pour les individus ne justifiant pas de supporter le dérangement occasionné par les turbines.

Dans une perspective de déploiement de l'énergie éolienne vers des fonds plus profonds, la sensibilité d'autres espèces moins côtières restent à considérer. Ainsi plusieurs espèces de baleines dont le bélouga (*Delphinapterus leucas*), l'orque (*Orcinus orca*) ou encore le rorqual à bosse (*Megaptera novaengliae*), ont démontré leur sensibilité à des sons basses fréquences ayant pour origine une activité humaine offshore (Wilhelmsson et al. 2006).

Ces considérations sont également valables pour les autres types d'EMR pouvant être installées sur des fonds plus profonds.

2.5.2 Niveaux de perturbation chez les poissons

Les connaissances relatives aux perturbations comportementales liées au bruit chez les poissons sont très limitées (Thomsen et al. 2006). La diversité des gammes d'audition qu'ils peuvent présenter rend notamment l'exercice de détermination de seuils d'impact encore plus complexe que pour les mammifères marins. Les effets majeurs à considérer semblent être l'évitement de zones, et notamment de zones spécifiques étroitement impliquées dans la survie de l'espèce (zones de frai, voies migratoires, zones de regroupement, etc.).

Bruits en phase travaux - Comme pour les mammifères marins, les efforts d'investigation portés sur l'impact du bruit en phase travaux sur des projets éoliens offshore se sont focalisés sur l'opération la plus nuisible : le battage des pieux. Les parallèles pouvant être faits par ailleurs avec d'autres observations (hors EMR) et retranscrits dans la littérature éolienne se sont ainsi orientés vers des bruits impulsifs de haut niveau (type prospection sismique ou explosion sous-marine). Une étude récente fournit les premières observations expérimentales directes de réactions de poissons exposés à des bruits de battage de pieux (voir encadré ci-dessous).

Etude de cas : étude de l'effet de battage de pieux sur le comportement de poissons marins - Mueller-Blenkle et al., 2010

Afin d'améliorer les connaissances sur les perturbations comportementales des poissons associées aux opérations de battage de pieux dans le cadre de projets éoliens, Mueller-Blenkle et al. (2010) ont exposés des morues et des soles retenues dans des cages à filets et localisés dans une baie silencieuse d'Ecosse à des enregistrements de bruits de battage de pieux.

Un accroissement des déplacements significatif a été mis en évidence lors de l'exposition aux enregistrements et ce pour des niveaux de pression acoustique relativement faibles (sole : 144 – 156 dB_{pic} re 1 µPa ; morue : 140 – 161 dB_{pic} re 1 µPa). Une augmentation de la vitesse de nage a par ailleurs été constaté pour les deux espèces (uniquement de manière significative pour la sole néanmoins), ainsi que des trajectoires de nage traduisant une fuite globale depuis la source. Un phénomène d'immobilisation a enfin été observé chez la morue lors des mises en marche et des extinctions des émissions acoustiques.

Première expérience à réellement suivre les réactions comportementales de poissons à des enregistrements de battage de pieux, ses résultats confirment les craintes d'un impact de ce type d'opérations sur les poissons à proximité des zones de chantier. S'ils définissent par ailleurs une gamme relativement large de réactivité à ce type de bruit, une recherche plus approfondie sur la nature exacte des réactions observées reste nécessaire. Les résultats semblent également indiquer une diminution des réactions en lien à des expositions multiples et donc un effet d'accoutumance relative probable.

L'appréciation des impacts doit ici encore être nuancée par la capacité de fuite et d'évitement que possèdent les poissons lorsqu'ils sont exposés à ce type de pressions. Plusieurs études semblent ainsi indiquer une recolonisation rapide du milieu après des émissions acoustiques liées à du battage de pieux ou de caractéristiques similaires.

A noter que cette capacité est plus limitée pour les juvéniles et les larves que pour des individus de taille plus importante ou plus pélagique (Engås, et al., 1996, in Wilhelmsson et al. 2010). Une limite peut également être évoquée pour les habitats spécifiques, restreints géographiquement et abritant, de manière temporaire ou permanente, des espèces étroitement dépendantes des conditions édaphiques fournies par ces habitats. Dans cette logique, le non-respect de certaines fenêtres environnementales peut être préjudiciable à proximité de zones de frayère ou de nurserie par exemple (Wilhelmsson et al. 2010).

Bruits en phase opérationnelle - Les estimations de distance à laquelle les poissons peuvent percevoir le bruit d'une éolienne en mer varient de quelques centaines de mètres à une cinquantaine de kilomètres (Nedwell & Howell, 2003 ; Wahlberg & Westerberg, 2005 ; Thomsen, et al., 2006 ; in Wilhelmsson et al. 2010). Ces distances sont néanmoins à évaluer au cas par cas en fonction des espèces considérées, des conditions hydrographiques et géologiques locales, de la profondeur et du bruit de fond imposé par les sources naturelles et anthropiques.

Comme pour les mammifères marins, les risques de blessures de poissons par le bruit à proximité de turbines éoliennes sont hautement improbables (Wahlberg & Westerberg, 2005; Madsen et al., 2006 in Wilhelmsson et al. 2010). A noter que ces réflexions sont basées sur des niveaux de bruit produits par les éoliennes actuellement en place et que les perspectives de

développement éolien offshore s'orientent vers des turbines de taille plus importante, donc potentiellement plus bruyantes et ayant un rayon d'impact plus étendu.

Une revue des différentes études menées à ce jour effectuée par Wilhelmsson et *al.* (2010) suggère que les impacts potentiels sont très localisés et peuvent être considérés comme faibles. Les poissons sont susceptibles de s'acclimater à un bruit opérationnel relativement continu, comme cela peut être observé dans de nombreuses zones portuaires dans lesquelles les activités humaines sont autant de sources de bruits participant à un niveau sonore ambiant relativement élevé.

Les configurations dans lesquelles les mâts sont implantés sur des substrats durs doivent néanmoins être considérées avec prudence. Les fonds ne fournissent en effet pas une atténuation similaire à des fonds meubles et des mesures réalisées sur ce type de structure ont révélé des niveaux acoustiques considérables pouvant entraîner des perturbations plus fortes de poissons (Linley et *al.*, 2007).

2.5.3 Perturbations des oiseaux

Le bruit émis pendant la construction et la maintenance est susceptible de perturber les oiseaux s'il peut être perçu au-delà du bruit ambiant naturel (Madsen et *al.* 2006). Comme pour les perturbations sous-marines, on peut estimer que ces perturbations seront minimales pour la mise en œuvre de dispositifs flottants qui n'implique ni forage, ni battage (Thomsen et *al.* 2006, Snyder & Kaiser 2009). L'attention naturelle des animaux aux activités anthropiques peut perturber leur activité en les attirant ou les repoussant des zones de projet (Burger 1988, Koschinski et *al.* 2003) mais cet effet varie selon les conditions locales de milieu et les espèces et n'est pas prédictible compte-tenu des connaissances actuellement disponibles (Hill et *al.* 1997). L'impact sur les oiseaux par les bruits d'exploitation des dispositifs est peu connu.

2.5.4 Perturbations des chiroptères

Les connaissances actuelles ne permettent pas d'apprécier les perturbations induites par le bruit aérien généré par les EMR sur les chiroptères. Les gammes fréquentielles étant différentes, on peut cependant s'attendre à ce que les perturbations liées au bruit soit minimales. L'enjeu majeur pour ces espèces concerne en premier lieu le risque de collision.

2.6 Impacts cumulatifs

Les ondes basses et moyennes fréquences générées par un projet d'EMR s'étendront inévitablement au-delà du périmètre strict du projet à une distance dépendant de la fréquence et de l'intensité sonore à la source. Inversement, le site de projet est susceptible d'être affecté par des bruits générés par d'autres activités humaines plus ou moins distantes. De manière générale, un projet d'EMR vient ainsi participer à la création de bruit dans un milieu déjà plus ou moins anthropisé.

Dans ce contexte, l'évaluation des impacts cumulatifs du bruit est complexe et suppose de pouvoir identifier et interpréter l'ambiance sonore de la zone d'effet du projet et la signature acoustique des autres sources d'influence. On conçoit ainsi la difficulté d'évaluer les impacts cumulatifs d'un projet EMR avec par exemple des sources mobiles et non prévisibles tels que les navires de transport de fret ou de passagers.

2.7 Synthèse

Les impacts potentiels du bruit sur les espèces marines dépendent d'une série complexe de facteurs tels que les caractéristiques des sources, les conditions de milieu et les capacités auditives des espèces considérées. Les bruits de travaux constituent les bruits potentiellement les plus impactants. Les retours d'expériences d'autres activités industrielles et les premiers retours d'expérience apportent une base solide de connaissances à leur sujet. Les bruits en phase opérationnelle sont cependant bien moins connus et un important travail de caractérisation des signatures acoustiques des technologies émergentes doit être entrepris. Les connaissances sur les capacités auditives des espèces, et notamment des poissons doivent elles aussi être améliorées, notamment pour pouvoir mieux appréhender l'effet du bruit des dispositifs en phase opérationnelle sur les capacités de fréquentation des sites et l'influence sur les effets récifs et réserves souvent mis en avant. Dans un contexte d'émergence des technologies en zone profonde, le champ d'évaluation doit aujourd'hui être étendu à ce type de milieu afin d'en préciser les enjeux (ambiance sonore en zone profonde, diffusion spécifique des ondes en milieu à forte stratification, espèces concernées, etc.). Enfin la question des moyens d'évaluation des impacts cumulés doit également être approfondie au regard des différentes configurations de projets considérées (projet côtier en zone anthropisée ou projet en milieu moins perturbé par ailleurs).

3 Transport d'électricité et électromagnétisme

La question de l'impact potentiel des champs électromagnétiques générés par les câbles des installations offshore sur les espèces marines est aujourd'hui une question majeure à laquelle il reste difficile de répondre. Par leur activité, les câbles induisent des champs magnétiques et électriques plus ou moins étendus et à des niveaux détectables par différents types d'espèces. Les effets sur l'activité électromagnétique de ces espèces et leurs conséquences physiologiques et comportementales restent mal connus.

3.1 Notions de base sur les champs électromagnétiques

Un câble électrique émet un champ électromagnétique dont la composante électrique est contenue à l'intérieur du câble tandis que la composante magnétique est mesurable de part et d'autre du câble. Les mouvements d'eau ou d'organisme au travers de cette composante magnétique induisent un champ électrique secondaire. Les champs électromagnétiques considérés ici sont donc les champs magnétiques et les champs électriques induits. Les champs électriques sont mesurés en volts par mètre (V/m) tandis que les champs magnétiques sont mesurés en micro-teslas (μT). L'ensouillage des câbles permet de réduire l'effet de ces champs sur les organismes en imposant une distance minimale aux câbles.

Plusieurs facteurs influencent la distribution de tels champs dans la colonne d'eau, dont la tension, le type de courant électrique (alternatif ou continu), le type de câble ou encore la salinité de l'eau. Aujourd'hui la plupart des projets sont en courant alternatif étant donné leur proximité au rivage mais le transport en courant continu pourrait se développer dans le cadre de projets plus éloignés des côtes. On rappellera que le champ électrique est constant quelque soit l'intensité transitée par la ligne, le champ magnétique augmente avec l'intensité du courant transité, les champs électriques et magnétiques augmentent avec la tension de la ligne et que ces champs varient en fonction de la configuration (tri-câbles en nappe, en trèfle, etc.).

L'intensité du champ magnétique décroît en fonction de la distance au câble. Elle est maximale à l'aplomb du câble et décroît ensuite en fonction de la distance verticale et horizontale au câble. Les figures suivantes représentent cette décroissance pour des câbles à courants continu et alternatif.

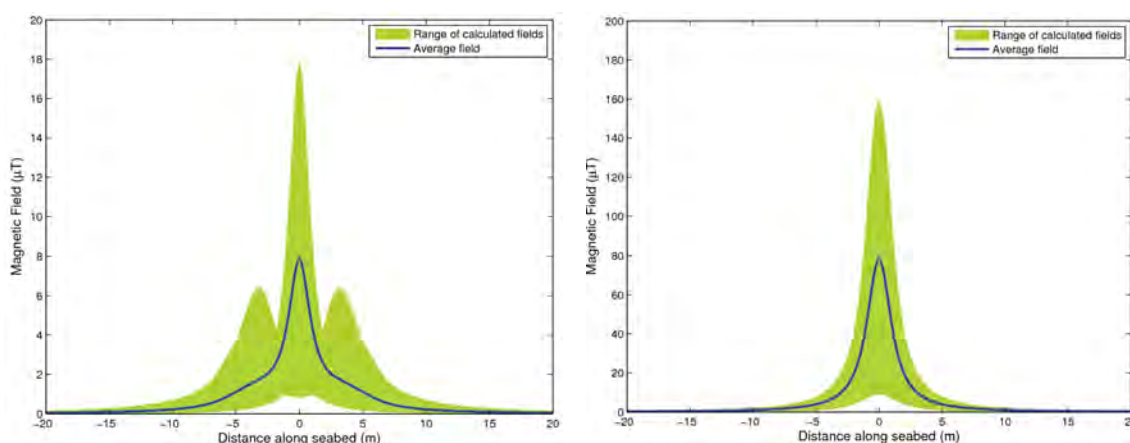


Figure 30 : Modélisation de l'intensité moyenne des champs magnétiques à la surface des fonds pour des câbles de raccordement de parcs éoliens offshore (à gauche en courant alternatif, et à droite en continu). La courbe bleue représente le champ moyen tandis que la surface verte représente la gamme d'intensité couverte par les différents types de câbles considérés.

(Source : U.S. Department of the Interior / prepared by NORMANDEAU ASSOCIATES, INC.)

Les figures ci-dessus traduisent ainsi que pour les câbles ayant servi à l'étude (tensions de 33 à 345 kV), la valeur du champ magnétique varie en moyenne de près de 8 μT à l'aplomb du câble et à la surface du sédiment à moins de 0,1 μT à une distance de 10 m à la verticale et à l'horizontale du câble. Néanmoins l'amplitude des variations d'un cas à un autre peut être considérable et nous amène à nuancer l'interprétation des résultats moyens au profit d'une analyse au cas par cas.

Le champ électrique induit est quant à lui fonction de l'orientation et de la vitesse du courant ou de l'organisme traversant le champ électromagnétique, et de l'intensité du champ magnétique lui-même au niveau de cette perturbation. On considère que cette perturbation est maximale pour un mouvement perpendiculaire au champ et qu'elle augmente avec la vitesse de ce mouvement.

Pour un câble à courant continu, le même travail de modélisation sur une série de configurations possibles de câbles (*U.S. Department of the Interior*) et pour un courant perpendiculaire de 5 nœuds, montre un champ électrique induit de 0,19 mV/m à l'aplomb du câble et à la surface du sédiment à moins de 8 $\mu\text{V}/\text{m}$ à une distance de 10 m à la verticale et à l'horizontale du câble. Ces indications sont fournies à titre indicatif et ne doivent pas occulter le fait que ces champs sont à considérer au cas par cas.

A titre indicatif également, le champ électrique et le champ magnétique naturels en milieu marin, s'élèveraient en moyenne à 25 $\mu\text{V}/\text{m}$ et 50 μT (OSPAR, 2008 et OSPAR, 2009 ; in CETMEF 2010)

3.2 Effets sur les espèces marines

L'état des connaissances sur l'effet des champs électromagnétiques sur les organismes du milieu marin est assez inégal en fonction des catégories d'espèces considérées, et globalement limité. On peut considérer qu'il n'est actuellement pas possible de conclure sur les effets potentiels des champs électromagnétiques générés par les câbles sur les espèces marines à long terme (OSPAR, 2008 / COWRIE 2009).

Deux questions structurent aujourd'hui la réflexion sur les impacts des champs électromagnétiques des câbles associés aux EMR :

1. Les champs générés peuvent-ils être perçus par les organismes marins ?
2. Comment la perception de ces champs se traduit-elle en termes d'impacts sur le comportement des individus ?

3.2.1 Effets sur les poissons

Plusieurs études suggèrent que le système sensoriel de certaines espèces de poissons puisse être influencé par les champs électromagnétiques naturels, qu'ils mettraient à profit de leur orientation, migration et prédation. De petites quantités de matériel magnétique peuvent ainsi être retrouvées chez l'ensemble des groupes de téléostéens localisées dans diverses parties du corps en fonction de l'espèce considérée : par exemple le crâne, la colonne vertébrale et la ceinture pectorale pour l'anguille (*Anguilla anguilla*) (Hanson *et al.* 1984 in Öhman *et al.* 2007). Les élasmobranches (requins et raies) quant à eux, peuvent analyser leur environnement en détectant les champs électromagnétiques créés par les courants océaniques, grâce à l'électrosensibilité que leur confèrent leurs ampoules de Lorenzini.

On estime aujourd'hui que les espèces les plus électro-sensibles sont les élasmobranches. Si on considère en effet que les téléostéens présentent des perturbations du comportement pour

des champs de 0.5 à 7,5 V/m (Poléo *et al.* 2001 in OSPAR, 2008), la sensibilité des élasmobranches à été illustrée pour des champs jusqu'à 10 000 fois plus faibles (10 μ V/cm).

Les connaissances disponibles confirment que le comportement des poissons électro-sensibles peut être perturbé par les champs générés par les câbles électriques d'installations d'EMR offshore. Néanmoins ces connaissances ne permettent pas d'établir les conséquences réelles sur ces espèces en termes d'impact.

Une expérimentation à grande échelle visant à reproduire les conditions des raccordements électriques d'une exploitation éolienne offshore a mis en évidence des variations de comportement d'espèces élasmobranches à proximité des câbles (voir encadré suivant).

Etude du projet COWRIE 2.0 EMF

Le projet de recherche COWRIE 2.0 EMF a été réalisé avec pour objectif de déterminer si des poissons électro-sensibles réagissaient à des champs électromagnétiques contrôlés possédant des caractéristiques similaires aux champs générés par les câbles électriques associés aux exploitations éoliennes offshore.

Une approche expérimentale par mésocosme a été retenue afin de pouvoir suivre des espèces élasmobranches tests dans un environnement semi-contrôlé. Les espèces retenues étaient la raie bouclée (*Raja Clavata*), l'aiguillat (*Squalus acanthias*) et la petite roussette (*Scyliorhinus canicula*). Elles ont été exposées à des émissions de CEM d'une heure en période diurne et nocturne et ce pendant trois semaines. L'expérience a été répétée trois fois. Le champ généré s'étendait sur une largeur de 2 m de part et d'autre du câble et présentait des valeurs comprises dans l'échelle de détection des élasmobranches. L'analyse a porté sur la distance de chaque poisson par rapport au câble sur une période de trois heures entourant la mise en route du champ (l'heure précédant l'émission du champ, l'heure d'émission, et l'heure suivant l'émission).

Les résultats de cette étude ont mis en évidence que les espèces élasmobranches benthiques, réagissent à la présence d'un champ électromagnétique de type et d'intensité similaire à celui généré par une exploitation éolienne offshore. **La réponse des individus n'est pas prédictible et n'est pas toujours détectable. Lorsqu'elle est observée, elle est étroitement associée à l'espèce considérée, et spécifique à chaque individu.**

Le rapprochement des petites roussettes vers le câble et la réduction des déplacements semble cohérent avec le mode d'alimentation de ces espèces benthiques. Le comportement de certaines raies semble par ailleurs indiquer un effort de recherche de proies plus important en période d'activation du champ.

Les auteurs indiquent néanmoins que si cette étude permet de mettre en évidence une réaction des espèces à un champ électromagnétique, elle ne permet pas de discerner des effets significatifs sur le comportement des individus et des espèces qui réagissent.

La question des impacts sur ces espèces sensibles reste donc à étudier, au travers de suivis appropriés de fermes éoliennes offshore ou d'autres types d'EMR et d'expérimentations plus ciblées.

Au vu de la sensibilité des espèces et de leur utilisation des champs électromagnétiques naturels, on considère aujourd'hui que les impacts potentiellement associés à ces champs sont la perturbation de la prédation, de l'orientation et de la migration des individus. Ces

suppositions doivent néanmoins être clarifiées sur la base de recherches spécifiques approfondies.

Des expériences antérieures ont montré que des individus de petite roussette (*Scyliorhinus canicula*) fuyaient des champs électriques d'une certaine intensité mais se trouvaient attirés par des champs plus faibles (Gill & Taylor, 2001 in Wilhelmsson *et al.*, 2010). En 1989, Marra avait identifié des traces de morsures de requins sur des câbles sous-marins de télécommunications optiques, émettant l'hypothèse que les champs émis par les câbles pouvaient avoir déclenché des réactions de prédation sur des individus passant à proximité.

Dans un travail de synthèse réalisé pour le Scottish Natural Heritage, Gill, A.B. et Bartlett, M. (2010) se sont penchés sur l'effet potentiel des champs électromagnétiques sur le mouvement et le comportement de trois espèces de poissons emblématiques des mers d'Ecosse : le saumon d'Atlantique (*Salmo salar*), la truite de mer (*Salmo trutta*), et l'anguille européenne (*Anguilla anguilla*). L'étude conclut que si les salmonidés et les anguillidés semblent avoir la capacité de détecter les niveaux d'électromagnétismes associés à des câbles d'EMR, les données disponibles ne permettent aujourd'hui pas de déterminer clairement si ces champs auront effectivement un effet sur ces espèces et dans quelle mesure.

Ainsi des suivis migratoires d'anguilles d'Europe (*Anguilla anguilla*) en mer Baltique ont montré que les anguilles étaient retardées ou légèrement déviées à court terme mais que les câbles n'empêchaient pas la migration des individus, dont la trajectoire restait globalement inchangée (Öhman *et al.*, 2007, Westerberg & Lagenfelt, 2006 ; in Gill et Bartlett, 2010). Des recherches ciblées sur l'effet potentiel de parcs éoliens offshore en mer Baltique sur le comportement de l'anguille, ont révélé une absence d'effet à une distance de plus de 500 m des parcs. Au sein de cette zone des 500 m, des observations de perturbations de populations d'anguilles ont pu être corrélées à l'activité du parc mais l'étude n'a pas permis de conclure si ces perturbations étaient dues aux champs électromagnétiques ou aux bruits émis par les turbines (Westerberg *et al.* 2007, in Gill et Bartlett, 2010).

Pour le site du parc éolien en mer de Thanet, English Nature a déclaré (sur la base des connaissances écologiques actuelles) qu'il n'y aura pas d'impact notable sur les populations d'élaémobranches résidant dans l'empreinte du parc éolien et sur le cheminement des câbles d'exportation, mais l'avis d'English Nature ne repose que sur les informations disponibles à ce jour (English Nature, 2006).

3.2.2 Effets sur les mammifères marins

Qu'il s'agisse de cétacés, de mysticètes ou d'odontocètes, des réactions reliées au changement du champ magnétique terrestre ont été mises en évidence. Selon l'ampleur et la persistance de ce changement, il est par exemple susceptible de modifier les directions de nage et donc les voies migratoires des animaux (Gill *et al.* 2005).

La réaction potentielle aux champs générés par les câbles électriques sous-marins reste méconnue. L'exposition à l'influence des champs dépend fortement de la profondeur d'eau. Les espèces vivant dans les eaux peu profondes seront a priori influencés d'avantage par la présence des câbles que les espèces évoluant dans des colonnes d'eau relativement vastes. On peut également estimer que les espèces se nourrissant près du fond présentent plus de risque d'être affectées.

Quelle que soit la capacité des mammifères marins à détecter ces champs, leur réaction à ces expositions et les conséquences en termes d'impact restent inconnues. Les données disponibles sur leur capacité à détecter ces champs suggèrent qu'un approfondissement des connaissances au travers de recherches spécifiques serait pertinent.

3.2.3 Effets sur les tortues

Les tortues s'orientent grâce au champ magnétique terrestre en période migratoire. L'électrosensibilité des tortues caouannes varierait ainsi de 0,0047 à 4 000 μ T et pour les tortues vertes entre 29,3 et 200 μ T. Un effet sur la migration est ainsi envisageable mais reste hypothétique dans le sens où les preuves de la détection des altérations du champ magnétique terrestres sont limitées.

On peut par ailleurs considérer que les juvéniles sont les individus les plus sensibles à l'exposition étant donné leur habitat préférentiel en eau peu profonde ainsi que les adultes creusant le sol en période de reproduction.

3.2.4 Effets sur les invertébrés

Les connaissances actuelles indiquent une sensibilité aux champs électromagnétiques pour au moins trois catégories d'espèces (mollusques, arthropodes et échinodermes). La magnétosensibilité des invertébrés serait ainsi susceptible d'être inférieure à 100 nT (Kirschvink and Gould, 1981 ; Lohmann and Lohmann 1996b ; Walker et al. 1984, in Normandeau associates, 2011) tandis que leur sensibilité aux champs électriques serait perceptible pour des gammes de 3 à 20 mV/cm (Steullet et al. 2007, in Normandeau associates, 2011).

Les observations d'impacts sur les invertébrés restent enfin assez peu développées. Les impacts potentiels seraient à déterminer à partir de la sensibilité de l'espèce à ces champs et des fonctions vitales que supportent son système électro ou magnéto sensoriel. Les suivis existants semblent indiquer une sensibilité globalement faible mais ces conclusions méritent d'être approfondies par une recherche plus adaptée à l'évaluation des impacts de l'électromagnétisme.

Alors qu'aucun suivi ciblé n'a été spécifiquement effectué pour déterminer si la présence de câbles électriques sous-marins et de champs magnétiques associés affectait les répartitions de crustacés et de mollusques, les surveillances effectuées pour répondre à d'autres objectifs relatifs aux parcs éoliens en mer n'ont pas montré l'existence d'un tel effet. Il existe donc des incertitudes quant à l'importance de cet impact potentiel (Berr, 2008).

3.3 Impacts cumulatifs

L'évaluation des impacts cumulatifs de l'électromagnétisme doit être envisagée au sein même d'un parc EMR ainsi qu'à une échelle régionale plus vaste. Au sein d'un parc, un réseau de câbles relie les machines entre elles, créant ainsi un « maillage » de champs électromagnétiques à considérer. A l'échelle régionale, cet effet potentiel doit également être considéré par rapport aux différents parcs pouvant éventuellement occuper l'espace maritime ainsi que par rapport aux autres réseaux de transport d'électricité.

3.4 Synthèse

Si la capacité de plusieurs espèces marines à détecter et faire usage des champs électriques et magnétiques est démontrée, les connaissances disponibles ne permettent pas de conclure sur les effets potentiels d'une perturbation de ces champs, par l'activité d'un câble électrique.

Toutefois, cet impact ne devrait pas être important dans la mesure où les espèces pouvant être affectées sont connues pour leur mobilité et peuvent donc éviter les zones touchées. Les habitats qu'elles occupent sont en général répartis sur de vastes superficies alors que les effets des champs magnétiques sont généralement très localisés autour du câble.

Les études les plus récentes concluent à la nécessité de renforcer ces connaissances au travers de recherches complémentaires et notamment d'observations *in situ*. L'étude des effets sur l'orientation et les déplacements de certaines espèces benthiques mobiles et migratrices (espèces de poissons non encore étudiées, invertébrés comme l'araignée de mer) paraît à ce titre prioritaire. Les impacts cumulatifs intra et inter-projets associés au maillage électrique de raccordement au sein des parcs sont également à documenter.

4 Variations thermiques

Les EMR peuvent entraîner des variations thermiques dans le milieu dans deux cas :

- Le transport de l'électricité produite par les câbles, les hausses de température se manifestant aux abords des câbles et des machines ;
- Le rejet d'eaux présentant avec le milieu récepteur, un différentiel de température résultant du principe de fonctionnement des SWAC et des ETM.

4.1 Hausses de températures aux abords des câbles électriques et des machines

Une certaine part de l'énergie transportée par le câble est perdue sous forme de dégagement de chaleur, ce qui entraîne une augmentation de température à la surface du câble et dans son environnement immédiat.

Les facteurs déterminant le degré d'élévation de la température autour du câble sont le type de câble, le niveau de transmission, les caractéristiques du sédiment, la profondeur d'enfouissement, et les conditions ambiantes. On considère également que la dissipation de chaleur est plus importante dans le cas de transport de courant alternatif (OSPAR, 2008, in CETMEF, 2010).

A titre indicatif, une augmentation maximale de 2,5°C a été mesurée à proximité directe d'un câble électrique de 132 kV et un seuil maximal d'élévation de température des sédiments de 2°C à 20 cm de profondeur est fixé en Allemagne (OSPAR, 2008, in CETMEF 2010).

Le Connecticut Siting Council (CSC, 2001) a examiné l'effet de la chaleur rayonnant des câbles ensouillés dans le fond marin dans le cadre du projet « Cross Sound Cable Interconnector », un système de câbles à haute tension en courant continu ensouillé entre la Nouvelle Angleterre et Long Island à New York. Le CSC a estimé que l'augmentation de la température au niveau du fond marin immédiatement au-dessus du câble était de 0,19 °C alors que l'augmentation correspondante de la température de l'eau était de 0,000006 °C. L'échauffement potentiel est donc considéré comme impossible à détecter par rapport aux fluctuations naturelles dans les sédiments environnants. »

Les suivis des communautés benthiques en lien avec l'augmentation de chaleur de part et d'autre de câbles électriques sont rares, et les impacts de tels effets sur ces communautés sont donc difficiles à évaluer.

Il est néanmoins admis que de nombreux organismes marins réagissent à de très faibles augmentations de température ambiante, de l'ordre des variations pouvant être constatées à proximité d'un câble électrique sous-marin.

On peut ainsi s'attendre à ce que l'augmentation de température autour des câbles sous-marins puisse induire des changements sur la composition de la faune et de la flore benthiques en agissant sur la physiologie, la reproduction, la mortalité, et la migration de certaines espèces. En outre, des perturbations indirectes de la faune benthique peuvent également être attendues, en lien avec l'effet des augmentations de température sur les équilibres physico-chimiques et bactériologiques du compartiment sédimentaire (OSPAR, 2008).

Des phénomènes d'élévation de température peuvent également être signalés hors eau au niveau des machines. Leur effet potentiel concerne l'attraction d'oiseaux et de chiroptères par phénomène de concentration d'insectes.

4.2 Variations thermiques associées aux pompages et rejets d'ETM et de SWAC

Les impacts liés aux pompages et aux rejets thermiques doivent être considérés pour l'exploitation de l'énergie thermique des mers dans le cadre de la production d'électricité (ETM) ainsi que pour le réchauffement/climatisation d'infrastructures (SWAC). Si le principe d'exploitation du gradient thermique des eaux marines est commun à ces deux technologies et implique des pompages et des rejets thermiques de température différente à celle du milieu récepteur, la configuration de ces pompages et rejets (volume, débit, localisation géographique, écarts de température, etc.) peut être radicalement différente d'une technologie à une autre. Une distinction doit notamment être faite entre les installations en milieu tropical dont les projets actuels laissent prévoir des débits et des différentiels de température importants, et les installations de SWAC métropolitaines dont les dimensions sont vraisemblablement plus limitées et les écarts de température plus faibles (de l'ordre de 5°C environ).

Deux impacts majeurs peuvent être associés à ces prises d'eau et ces rejets en mer :

- les impacts mécaniques sur les organismes marins liés à l'aspiration et aux contraintes subies au niveau de la prise d'eau et à l'intérieur du système ;
- les impacts thermiques liés aux écarts de température auxquels sont soumis les organismes aspirés à l'intérieur du système ainsi que ceux exposés aux rejets.

A noter qu'aux effets thermiques des rejets s'ajoutent les effets liés aux apports de matières nutritives dans le cas de pompage profonds.

Remarque : la bibliographie existante ne relève quasiment aucune référence sur le thème de l'impact environnemental des échangeurs thermiques utilisant de l'eau de mer. La documentation disponible traite essentiellement des effets de rejets thermiques des centrales de production d'électricité à combustible fossile et nucléaire. Si le principe d'utilisation de l'eau de mer comme fluide caloporteur est commun aux centrales thermiques et aux échangeurs thermiques utilisant de l'eau de mer, les échelles de comparaison peuvent être très éloignées. En effet, des différences notables peuvent exister en termes de :

- de volumes d'eau de mer prélevés/rejetés par les installations,
- du delta de température entre l'eau du milieu récepteur et l'eau rejetée (*a priori* moindre pour les échangeurs thermiques que pour les centrales thermiques).

4.2.1 Mécanismes de pompages et rejets

Qu'il s'agisse de SWAC ou d'ETM, le principe de base des installations repose sur le pompage d'eau de mer pour en exploiter le pouvoir calorifique. En zone tropicale profonde, la stratification relativement stable entre l'eau de surface, chauffée par le soleil, et l'eau profonde, froide en provenance des régions polaires, assure un potentiel d'exploitation annuel entre des eaux profondes à environ 4° C à 1 000 m de profondeur, et des eaux de surface chaudes à plus de 20 °C. En zone métropolitaine, les pompages de SWAC réalisés en eau moins profonde exploite des ressources moins stables mais dont la température permet néanmoins d'assurer une certaine efficacité de systèmes de réchauffement / climatisation.

Dans le cadre d'une SWAC, le pompage se fait en un point unique et le passage de l'eau au niveau d'un échangeur thermique permet d'en exploiter la chaleur pour des finalités de chauffage ou la fraîcheur pour des finalités de climatisation. Pour cette technologie, les écarts de température en entrée et en sortie pour des systèmes basés sur des échanges avec des fluides caloporteurs sont de l'ordre de 1°C à 6°C. Les systèmes exploitant directement la température de l'eau de mer pompée (SWAC) peuvent induire des différentiels de température plus importants (10°C à Stockholm).

Dans le cadre d'une centrale ETM à cycle fermé (projets envisagés aujourd'hui), le pompage se fait à la fois en surface et en profondeur, à volume égal, afin de maîtriser le processus de vaporisation / condensation du fluide de travail. Ces centrales nécessitent un différentiel de température en entrée d'au moins 20 °C et les rejets mixtes se font à une température de 14 à 17 °C. Le différentiel avec le milieu récepteur doit être considéré en fonction de la profondeur du rejet et des thermoclines. Les configurations de rejets potentielles sont multiples : rejet en mer ouverte ou lagune, réutilisation et valorisation des eaux pour d'autres usages (SWAC par exemple), rejet en point unique ou rejets séparés...

Quelle que soit la configuration de rejet retenue, l'effet thermique va être directement lié à la dynamique de diffusion du panache dans la colonne d'eau. Cette diffusion dépend étroitement de la différence de densité entre l'eau rejetée et l'eau réceptrice, elle-même directement dépendante de la température et de la salinité de l'eau. Selon que le rejet est donc plus dense ou moins dense que le milieu récepteur, le panache peut être amené à couler, remonter ou se stabiliser par rapport au point de rejet. Plusieurs configurations peuvent par ailleurs venir complexifier ces principes de diffusion : stratification particulière de la colonne d'eau, rejets en point unique d'eaux chaudes et froides, volume disponible à la dilution (cas des milieux confinés par exemple), etc.

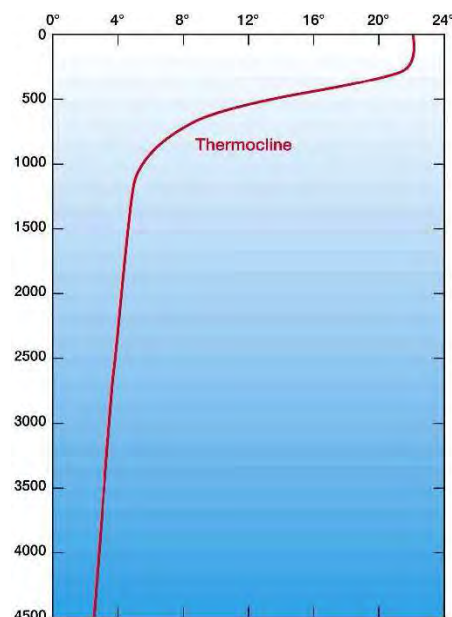


Figure 31 : Thermocline typique en milieu intertropical

(Source : ARER)

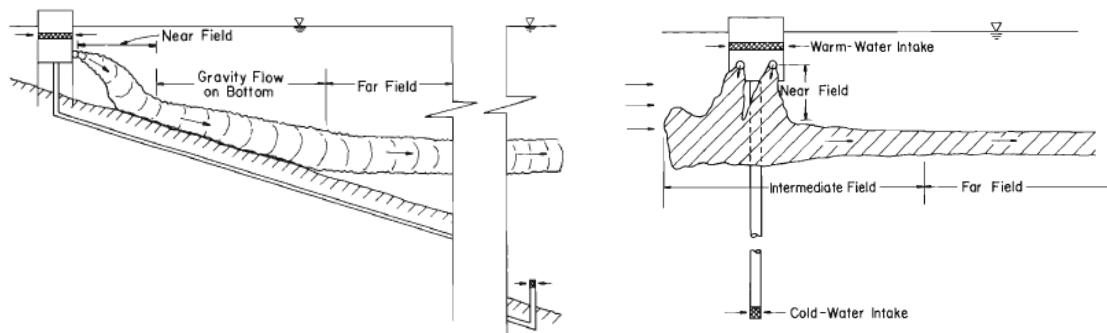


Figure 32 : Modélisation d'un rejet d'ETM à la côte (gauche) et en mer ouverte (droite)
(Source : Paddock and Ditmars 1983)

4.2.2 Effets des différentiels thermiques sur les organismes marins

Deux mécanismes doivent être considérés : l'exposition des organismes marins à des eaux plus chaudes ou l'exposition des organismes marins à des eaux plus froides. A ce jour, la majorité de la bibliographie disponible traite de l'effet du réchauffement des eaux.

Notions d'effets létaux et sub-létaux - Les effets de la température sur les organismes marins sont relativement complexes car ils dépendent de nombreux facteurs. On dissocie généralement les effets létaux entraînant la mort des organismes, des effets sub-létaux affectant les processus physiologiques et biochimiques.

La température létale peut être influencée par :

- L'intervalle de tolérance thermique des individus,
- L'importance de la variation de température,
- La durée de l'exposition,
- L'acclimatation,
- Le stade de développement,
- La santé des organismes,
- Les stratégies adaptatives (comportement, etc.).

Les effets sub-létaux peuvent influencer :

- Le métabolisme et les activités de l'organisme,
- Le taux de croissance,
- L'alimentation et la digestion,
- La reproduction,
- Le développement.

A noter également des effets indirects de la chaleur qui peuvent modifier le comportement des organismes, induire des mouvements ou des migrations. Ceux-ci peuvent également être affectés par l'impact de la variation de la température sur la disponibilité de la nourriture, la compétition, la relation prédateur-proie, etc.

Les effets thermiques sont souvent subtils, et la létalité est, au mieux, un indice grossier des conséquences des changements de température. Il n'est cependant pas nécessaire de tuer directement les poissons pour éliminer des populations d'une espèce donnée. L'augmentation de température peut arriver aussi facilement, si ce n'est plus lentement, en agissant sur le potentiel de reproduction, la capacité d'éviter les prédateurs et la sensibilité aux agents pathogènes et aux polluants.

Mécanismes de choc thermique - Les expériences réalisées en faisant varier l'amplitude du ΔT et son temps d'application, montrent que la mortalité immédiate et différée, apparaît influencée par trois facteurs :

- L'amplitude du ΔT ,
- La durée d'application du ΔT ,
- Le niveau thermique maximal atteint ($T + \Delta T$).

Toutefois, la littérature fournit très peu d'informations sur les mécanismes intimes du choc thermique.

Effets sur le plancton - Dans certains cas où des masses d'eaux piégées par la topographie demeurent en permanence soumises à un certain ΔT , il est possible d'observer des modifications importantes de la structure du peuplement planctonique. Mais, le plus souvent, le plancton est très vite entraîné au loin par l'effluent et l'interprétation des données est rendue délicate. D'une manière générale, la tendance est à la sélection des espèces thermophiles.

■ Phytoplancton

D'une manière générale, l'échauffement du milieu récepteur favorise l'augmentation du pourcentage de Dinoflagellés au détriment des Diatomées (Briand, 1975). Ces changements qualitatifs et quantitatifs de populations phytoplanctoniques peuvent modifier l'équilibre biochimique des eaux ainsi que les ressources trophiques de l'échelon secondaire. Cette sélection des Dinoflagellés peut conduire, dans certaines conditions thermiques estivales, à un accroissement des risques de formation d'eaux décolorées (Berland, 1996). Ce phénomène de développement intense des espèces modifiant la couleur apparente de la surface des mers est catastrophique au plan écologique. Tandis que certaines efflorescences algales (« blooms ») entraînent une dystrophie des eaux, d'autres sont nocives en raison des toxines qu'elles produisent. Sur le plan sanitaire, les phycotoxines ont pris une importance croissante ces dix dernières années et leur effet toxique sur l'homme par voie alimentaire (mollusques, crustacés et poissons) est connu depuis longtemps. L'effet de stimulation de la production primaire est surtout net en hiver (ΔT relativement faible).

Bloom phytoplanctonique (*Ostreopsis*) sur les côtes marseillaises en 2006 (IFREMER, 2007)⁹

Les 31 juillet, 1^{er} et 2 août 2006, le Centre Anti-Poison de Marseille a été contacté par le Directeur d'un centre UCPA des Bouches du Rhône suite à la survenue chez 3 ou 4 moniteurs d'irritations des lèvres, de la langue et de céphalées. L'un d'entre eux a présenté le 7 août une fièvre à 38,6°C, pharyngite et gingivite. Ces moniteurs encadrent chaque semaine 35 adolescents de 12 à 15 ans. Ils avaient fréquenté la calanque de Morgiret, au Frioul, pour des activités de baignade et de plongée en surface. Ils ont relevé que l'eau présentait un goût désagréable ainsi qu'une mortalité inhabituelle d'oursins et de coquillages. Parmi les adolescents, seuls quelques symptômes légers (irritations des lèvres,...) ont été signalés (DRASS / Cire Sud).

Par ailleurs, sur signalement du CEEP, trois prélèvements ont été effectués le 7 août par l'Ifremer dans la calanque du Morgiret. Ils ont montré des concentrations de 900 000 cellules d'*Ostreopsis* spp. par litre (prélèvement de sub-surface), et 38 000 cellules d'*Ostreopsis* par litre en pied de falaise par 5,5 m de profondeur, à 20 cm du fond. Le genre identifié est *Ostreopsis*, connue pour être toxigène pour les espèces présentes en Méditerranée, dont *Ovata*.

L'hypothèse émise a été qu'*Ostreopsis*, microalgue benthique aurait bloomé au moment des fortes chaleurs du mois de juillet. Les rochers à proximité étaient recouverts par un fin tapis de mucus transparent contenant ces microalgues. Des mortalités d'oursins et de coquillages ont été observées.

Ce dinoflagellé, considéré comme tropical, peut remonter à la surface de l'eau lors de la floraison, lysé par l'agitation de l'eau lors d'événements venteux, ou emporté et lysé dans les embruns. Ces microalgues libèrent alors dans l'atmosphère les toxines qu'elles contiennent. La toxine en question est une palytoxine qui peut, en cas d'exposition par voie respiratoire, provoquer des effets sanitaires tels que : rhinorrhée, toux productive, augmentation de la température corporelle (< 38°C), bronchoconstriction, difficultés respiratoires, éruptions cutanées, conjonctivites, irritations de la sphère ORL.

Un suivi spécifique des eaux a été défini par l'Ifremer.

■ Zooplancton

L'échauffement généralement modéré du milieu récepteur apparaît favorable aux espèces holoplanctoniques à tendance thermophile, au détriment des espèces psychrophiles.

Au plan physiologique, l'échauffement accélère les processus métaboliques et donc la succession des générations. Dans le cas d'un séjour prolongé dans la tache thermique, la proportion de stades jeunes est accrue tandis que la taille des adultes diminue. L'augmentation du métabolisme peut poser des problèmes de nourriture. Or il est tout à fait probable que les modifications qualitatives de l'échelon primaire entraînent des perturbations au niveau de l'échelon secondaire dont les ressources trophiques se trouvent changées.

⁹.KANTIN R ; 2007. Note de Synthèse sur la présence d'*Ostreopsis* en Méditerranée et risques associés. IFREMER.

Lors d'un séjour prolongé dans les eaux échauffées, et notamment lorsque des masses d'eaux piégées par la topographie demeurent en permanence soumises à un certain ΔT , des phénomènes d'acclimatation peuvent intervenir.

De tels phénomènes ont été mis en évidence par Reeve et Cospers (1972) dans la Biscayne Bay : avec un ΔT de 5°C, le Copépode *Acartia tonsa*, qui est l'espèce dominante du zooplancton, présente une mortalité de 50 % de l'effectif en 3 h à 32°C pour les populations hivernales qui vivent dans des eaux dont la température demeure inférieure à 21°C pendant plusieurs mois, tandis que les populations estivales qui vivent dans des eaux à 30°C ne perdent que 25 % de leur effectif en 5 h à 36°C. Selon Gaudy (1977), des durées de 24 h suffisent pour qu'un effet semblable à une acclimatation apparaisse chez *Acartia clausi*. Une telle adaptation résulte de mécanismes non génétiques de réponse à l'élévation de température (Kinne, 1964, 1970).

Toutefois, le problème de l'acclimatation d'*Acartia tonsa* a été réétudié par Gonzalez (1974) qui a comparé différentes populations de la côte Est des Etats-Unis. L'auteur a récolté cette espèce très eurytherme dans des eaux dont la température allait de -1°C, dans la Narragansett Bay en février, à 32°C dans la Bahia Fosforescente à Puerto Rico. L'adaptation peut revêtir deux modalités. L'une concerne les individus d'une population donnée qui, acclimatés à des températures de 5 à 20°C, présentent une tolérance aux hautes températures qui augmente avec la température d'acclimatation. En revanche, le fait que 50 % des *Acartia tonsa* provenant de Puerto Rico et maintenus à 27°C puissent supporter pendant 4 h une température de 37°C, conduit à ne pas exclure une certaine adaptation de nature génétique.

Effets sur le benthos - D'une manière générale, la composition et la structure des peuplements benthiques sous l'influence d'une pollution thermique peuvent être profondément modifiées par :

- **l'introduction accidentelle d'espèces tropicales**, telle le Polychète euryhalin *Mercierella aenigmatica*, apparu pour la première fois en Europe au voisinage des centrales de la Tamise,
- **des changements portant sur le cycle biologique des espèces indigènes**. Ces changements sont, bien sûr, favorables aux espèces thermophiles et dans lesquels des phénomènes d'adaptation génétique ne sont pas à exclure.

Concernant le réchauffement des eaux, des études du milieu récepteur de la centrale thermique de Martigues-Ponteau menées par Verlaque et Boudouresque (1976, 1977) ont mis en évidence, une diminution de la diversité spécifique et du recouvrement traduisant un net appauvrissement de la macroflore superficielle au fur et à mesure que l'on se rapproche du point d'émission de l'effluent. Néanmoins, au-delà de cette zone, il existe une aire plus ou moins enrichie, entre 100 et 500 m du rejet. Dans cette zone, l'augmentation des éléments floristiques à affinités chaudes, permet de définir un peuplement "thermophile à affinités tropicales" (Verlaque, 1977). Dans la zone proche du rejet, l'impact maximal de l'effluent thermique s'observe pendant la saison estivale et les conséquences sont d'autant plus graves que la température du rejet est plus élevée. Ces altérations importantes surviennent au sein des peuplements pour des températures supérieures à 30°C (températures fréquemment atteintes en été).

Au voisinage de la centrale de Turkey Point (Floride), qui rejette 36 m³/s à 37°C (parfois davantage), Roessler (1971) et Baoer et al. (1972) ont observé la disparition complète des herbiers de la phanérogame marine *Thalassia testudinorum* sur une surface de 20 à 25 ha et noté que ces herbiers sont en voie de régression sur plus de 50 ha.

La précocité et l'intensification de la reproduction ont été constatées pour de nombreuses espèces macrobenthiques animales et végétales. En ce qui concerne la macroflore, l'abondance des éléments reproducteurs entraîne une accélération de la recolonisation des surfaces dénudées artificiellement ou naturellement (Verlaque, 1977).

Pour le zoobenthos, il est à noter :

- **la précocité de la maturité sexuelle** conduit souvent à un certain nanisme, comme cela s'observe pour le Gastéropode *Cerithium vulgatum*, à Martigues-Ponteau ;
- **la période de reproduction est avancée** : cas de l'Amphipode *Urothoe brevicornis*, et du Gastéropode *Nassarius reticulatus* aux alentours de la centrale d'Hunterston, selon les observations de Barnett, 1971, 1972 ;
- **la période de reproduction s'allonge** : cas de *Balanus eburneus* à proximité de la centrale d'Oyster Creek (New-Jersey, selon les observations de Young et Frame, 1976. Dans certains cas, la période de reproduction tend à devenir continue (cas de certains *Corophium*, selon Young et Frame, 1976).

Il résulte de cette accélération des processus reproducteurs un pourcentage élevé de juvéniles dans les populations.

Les études expérimentales de Wear (1974) sur le développement embryonnaire et la vitalité des embryons d'une vingtaine d'espèces de Crustacés Décapodes des côtes britanniques ont montré que de légers changements de températures suffisent à modifier l'époque normale de libération des larves dans le plancton. Ainsi, une diminution de la fécondité par incapacité des femelles à mobiliser les réserves nécessaires à la vitellogenèse¹⁰ est observée.

Certains cas de mortalité massive ont enfin pu être observés à proximité de centrales thermiques : *Mytilus edulis* dans le Massachusetts (Gonzales et Yevich, 1976) et *Mytilus galloprovincialis* et *Balanus perforatus* à Martigues-Ponteau (1976). Ces phénomènes semblent avoir résulté de dépassements de seuils létaux dans des conditions de rejets de températures exceptionnels (favorisés en période estivale).

De telles mortalités massives ou partielles induisent par ailleurs des écosystèmes déséquilibrés : non seulement les peuplements en place sont détruits, mais l'accumulation de matière organique entraîne la multiplication d'espèces détritivores. C'est ainsi que certaines espèces semblent attirées par les rejets chauds. Un tel effet d'attraction s'observe fréquemment chez les poissons et a été prouvé pour le crabe *Callinectes sapidus* à partir de captures effectuées autour d'une centrale de la Baie de Galveston (Texas) par Gallaway et Strawn (1975).

Effets sur les poissons - Les effets de l'échauffement des milieux récepteurs sur l'ichtyofaune sont importants à considérer du fait de son intérêt économique. L'impact de la pollution thermique vis-à-vis des individus et des populations présente des caractéristiques analogues à celles déjà mentionnées pour d'autres organismes : accroissement de l'intensité du métabolisme entraînant des besoins trophiques plus grands, altération des processus de reproduction, modifications éthologiques. Les espèces les plus thermophiles se trouvent évidemment favorisées.

¹⁰ Constitution du vitellus, de l'ensemble des éléments à l'origine de l'œuf

Les principales conséquences de l'augmentation de la température de l'eau sur les poissons sont reprises dans le tableau ci-dessous.

Tableau 6 : Effets des variations de température sur les poissons

Composante biologique	Modifications et risques
Températures létales	Mortalité des poissons (selon la tolérance thermique des individus) et particulièrement chez les larves et les alevins qui ne sont pas en mesure de compenser métaboliquement les variations de température (faible acclimatation).
Comportement	<ul style="list-style-type: none"> • Augmentation du taux d'activité, • Modification de la vitesse de nage, • Concentration de certaines espèces au niveau du site de rejet, • Distribution et la migration.
Métabolisme	<ul style="list-style-type: none"> • Accélération des activités métaboliques, • Augmentation de la consommation en oxygène, • Croissance plus rapide.
Reproduction	<ul style="list-style-type: none"> • Modification des cycles saisonniers de développement des gonades, • Diminution du succès reproducteur.
Développement embryonnaire et larvaire	Le développement des embryons et des larves de certaines espèces de poisson peut être décalé par rapport au rythme normal et donc, confronté à un manque de nourriture ou à des conditions non favorables.
Alimentation	L'augmentation du métabolisme augmente les besoins en nourriture ce qui peut être désastreux s'il y a parallèlement détérioration des lieux de nourrissage et de certaines ressources alimentaires.
Croissance	Inhibition de la croissance des alevins et des juvéniles si la température dépasse un certain seuil.
Maladies parasites	Diminution de l'immunité naturelle des poissons en cas de températures élevées.
Toxicologie	Accroissement de la bioconcentration de certaines substances (Hg) et de la toxicité d'autres (Zn, Cd, NH ₄ ⁺ , phénols)
Populations	<ul style="list-style-type: none"> • Modification des proportions de l'abondance des espèces, • Baisse de diversité des espèces au détriment des espèces thermophiles, • Changement dans la chaîne alimentaire.

Toutefois, la grande mobilité des poissons les rend aptes à rechercher les zones correspondant à un certain *preferendum* thermique. Ainsi, l'abondance et l'indice de diversité augmentent pendant les mois où la température des eaux est basse, et diminuent au cours des mois les plus chauds : les individus fuient les eaux de température excessive. Ceci a été observé dans plusieurs sites, et notamment par Gallaway et Strawn (1974) dans la baie de Galveston (Texas).

Par ailleurs, d'après Sylvester (1972), de nombreuses espèces de poissons présentent des possibilités d'acclimatation à des températures supérieures au maximum thermique annuel de leur habitat et ces possibilités sont accrues par les fluctuations mêmes de la température.

La littérature relative à l'exposition de poissons à des **chocs froids** est peu abondante et quasi-uniquement spécifique aux eaux tempérées. Myers et al. (1986), avait réalisé une revue des différents effets potentiellement intéressants pour les ETM. Une distinction doit notamment être faite entre les besoins thermiques d'individus adultes et ceux de larves et d'œufs. Ces derniers nécessiteraient des conditions de température plus stables et adaptées à leurs besoins faute de quoi, leur développement pourrait être retardé voire altéré. Harada et al. (1978) avaient par

exemple remarqué qu'aucune larve d'albacore (*Thunnus albacares*) ne se développait normalement à des températures inférieures à 20°C.

4.2.3 Retour d'expérience pour une PAC métropolitaine

Suivi des incidences des rejets thermiques de la pompe à chaleur d'un hôtel méditerranéen.

L'hôtel utilise un pompage d'eau de mer d'environ 1 000 m³/h qui est effectué au niveau d'un émissaire immergé à une cinquantaine de mètres du rivage sur 10 m de fond. L'eau de mer ayant transité par la pompe à chaleur est ensuite rejetée au niveau du rivage, 50 m plus au Nord, en mer ouverte. La température du rejet est de 30°C.

Sur le plan de l'impact physique, les mesures de température au niveau du rejet de la pompe à chaleur de l'hôtel, réalisées avec un courant ambiant nul, une houle de 0.5 m et un vent inférieur à 5 m/s, montrent que :

- La tache thermique est très localisée. Par rapport à la température de référence le jour de l'intervention (28°C), la surface impactée par une augmentation de température est peu importante. La tache thermique s'étend en surface à 30 m du rivage, pour une largeur de 24 m. L'impact thermique est encore moins étendu au niveau du fond (13 m x 24 m, soit une surface d'environ 310 m²).
- Le gradient de température du au rejet est de très faible amplitude par rapport aux conditions normales à cette saison. Pour une température de référence de 28°C mesurée au niveau de l'émissaire de pompage, celle mesurée au pied du rejet (distance 0,50 m) est de 29°C.

Ainsi sur l'ensemble de la surface de la tache thermique, le gradient de température du au rejet est inférieur à 1°C.

Sur le plan de l'impact biologique, l'étude des peuplements de la flore et de la faune présents au niveau de la zone de rejet et au niveau d'une zone témoin montre que :

- Il n'existe pas de différences significatives entre la zone du rejet et la zone témoin du point de vue du taux de recouvrement du substrat par les organismes.
- Les mêmes espèces (invertébrés sessiles et vagiles, poissons) sont présentes sur les deux zones. Les assemblages sont cohérents et aucune prédominance anormale ou développement anarchique d'espèces particulières n'a été observé.
- La présence de *Cystoseira stricta* (algue brune), et de *Paracentrotus lividus* (oursin violet) espèces sensibles à l'élévation de température, montre que l'impact thermique du rejet peut être considéré comme négligeable.
- De nombreux juvéniles de plusieurs espèces de poissons ont été observés à proximité du rejet.

4.3 Impacts thermiques cumulatifs

Au sein d'un parc, un réseau de câbles relie les machines entre elles, créant ainsi un « maillage » pour lequel les impacts cumulatifs associés aux élévations thermiques aux abords des câbles doivent être considérés. Etant donné les faibles amplitudes et étendues de ces effets, et la surface qu'elle représente par rapport à l'étendue des parcs, il semble que cet effet cumulatif puisse être considéré comme négligeable.

Pour les rejets thermiques d'ETM et de PAC, les impacts cumulatifs doivent être évalués au regard de l'existence d'autres rejets thermiques à proximité. On peut penser qu'étant donnée la faible densité générale de rejets thermiques en milieu marin et les dilutions locales des panaches, ce type d'effet cumulatif sera globalement négligeable. Néanmoins, si l'évolution de ces technologies conduit à la mise en œuvre de plusieurs unités relativement proches, cette hypothèse devra être réévaluée.

4.4 Synthèse

Deux types d'interactions thermiques avec le milieu doivent être considérées : celles des câbles et celles des rejets des ETM et des PAC.

Le réchauffement lié au câble est limité dans l'espace et concerne essentiellement les peuplements benthiques et la qualité physico-chimique des matériaux. Même si des suivis sont nécessaires pour mieux comprendre les conséquences sur la faune et notamment la composition des communautés dans la zone d'influence, on peut considérer que ces impacts sur le milieu seront localisés et globalement limités.

Concernant les rejets thermiques associés aux ETM et aux PAC, les différentes configurations de projet possibles (mer ouverte / zone plus confinée, rejet en pleine eau / rejet sur fonds, débits...) et le peu de retour d'expérience sont autant d'éléments qui rendent la conclusion sur ces impacts complexes. Etant donné leur capacité de fuite, on peut estimer que les espèces mobiles seront peu affectées directement par ces variations de température. Les efforts de suivi et de recherche doivent porter sur la production primaire et les réseaux trophiques ainsi que sur les peuplements benthiques dans le cas où les panaches thermiques sont amenés à se disperser sur les fonds ou à influencer indirectement les communautés benthiques, par un apport plus important de matière phytoplanctonique, par exemple.

5 Pompages : effets mécaniques sur le milieu

Les opérations de pompage et de rejet et les effets mécaniques associés concernent ici uniquement les technologies PAC et ETM. Les principes techniques de ces opérations sont décrits dans le chapitre précédent.

5.1 Aspiration d'organismes marins et contraintes mécaniques

Les eaux pompées entraînent avec elles des organismes marins dont la nature et la quantité dépend de la richesse des milieux, de la taille et de la mobilité des espèces présentes, de la force d'aspiration et des caractéristiques structurelle de la prise d'eau. Les contraintes mécaniques subies par les organismes par aspiration constituent la principale source de blessure et de mortalité des organismes.

Dans ce contexte, les organismes les plus vulnérables à l'aspiration sont les organismes dont la capacité de déplacement et donc de fuite est nulle ou extrêmement limitée, particulièrement au regard des flux hydrauliques en jeu : plancton, larves et certains juvéniles à des stades précoces de développement.

La vulnérabilité d'organismes de taille plus importante est à considérer au cas par cas mais la sensibilité aux chocs mécaniques est a priori prédominante.

5.2 Effets sur le phytoplancton

Selon Blanchard (1977), les effets mécaniques sont la résultante des chocs sur les parois des circuits ainsi que sur les grilles et filtres, des variations de pression (environ 2 bars dans la pompe de la centrale et une dépression au niveau des condenseurs) et des phénomènes de turbulence, de tourbillons et de cisaillement (notamment dans l'espace interaube de la pompe de la centrale).

Ces effets s'avèrent important vis-à-vis de certaines espèces de petite taille, notamment de diatomées et de cryptophycées (Bourgade, 1978, 1980, 1981). Travaillant sur une tranche de la centrale de Martigues-Ponteau non productrice d'électricité, la circulation des eaux agissant seule, cet auteur a observé des diminutions d'effectifs phytoplanctoniques totaux de l'ordre de 10 % à 25 % avec des réductions moyennes de 18,5 % (observations qui portent sur cinq populations de composition spécifique différente dans des eaux de température initiale comprise entre 13°C et 16°C sur la période de mars à juin). Certaines espèces apparaissent plus sensibles que d'autres. Ainsi, *Chaetoceros compressus* et *Nitzschia delicatissima* semblent peu affectés, tandis que *Schroederella deilicatula* (-18 %), les Cryptophycées (- 28 %) et *Chaetoceros sp.* (- 28 %) semblent plus sensibles aux effets hydrodynamiques.

Les effets conjugués des chocs mécaniques et de très faibles chocs thermiques (ΔT de 2°C à 3,3°C) sont du même ordre de grandeur que les seuls effets hydrodynamiques sur ces dernières espèces : des diminutions d'effectifs d'environ 24 % pour les Cryptophycées et de 29 % pour *Chaetoceros sp.* ont été observées.

Si ces résultats sont en accord avec ceux obtenus par plusieurs auteurs (Storr, 1974 ; Lanograp et Starzyk, 1977 ; Bradfor et Burns, 1977), d'autres auteurs n'ont mesuré aucun effet des chocs mécaniques sur le phytoplancton ou sur certaines espèces spécifiques (Khalanski, 1981 ; Koops, 1974, Lanograp et Starzyk, 1977).

5.3 Effets sur le zooplancton

Le zooplancton apparaît particulièrement sensible au choc mécanique. Les lésions consécutives au transit sont essentiellement des bris de soies furcales (de l'ordre de 10 à 20 %) et des ruptures d'appendices (généralement moins de 10 %). La mortalité due aux seuls effets mécaniques a pu être estimée par Gaudy (1981) sur une tranche de la centrale de Martigues-Ponteau non exploitée (ΔT nul). Elle s'élève à 28 %.

Il convient par ailleurs de dissocier la mortalité immédiate de la mortalité différée. Ainsi, à une centrale du Long Island Sound, 60 % des Copépodes qui ont transité dans les circuits ressortent morts et sédimentent rapidement dans le milieu récepteur et 70 % de ceux qui sont encore vivants meurent dans les cinq jours suivants (Carpenter *et al.*, 1974). Des observations réalisées à la centrale de Turkey Point en Floride par Badet et Tabb (1970) indiquent enfin une prépondérance du facteur température dans les taux de mortalité observés.

5.4 Effets sur la macrofaune

Les risques mécaniques pour des espèces de faune de taille plus importante se manifestent au travers de deux processus majeurs :

- Pour les individus de taille inférieure à la maille de filtration en entrée, l'aspiration à l'intérieur du système expose l'individu à des chocs sur les parois des circuits ainsi que sur les grilles et filtres, des variations de pression, des phénomènes de turbulence, de tourbillons et de cisaillement, ainsi qu'à une exposition à des variations de température ;
- Pour les individus de taille supérieure à la maille de filtration en entrée, l'aspiration entraîne l'individu au niveau de la prise d'eau, son choc et son blocage sur la grille de filtration.

Ces deux processus ont une forte probabilité d'entraîner la mort des individus (Vega, 1999). A noter également que les installations peuvent agir comme des dispositifs d'attraction de poissons (renvoi) et sont donc susceptibles de concentrer un nombre significatif d'individus sur des espaces où ils sont susceptibles d'être aspirés (Seki, 1984 in Myers *et al.* 1986).

Le blocage d'individus en entrée des grilles s'il est avant tout un problème écologique, est également un problème opérationnel et économique. Les poissons se déplaçant en bancs représentent une population à haut risque. On reporte ainsi un incident à la centrale de Millestone dans le Connecticut où 2 millions d'aloses se sont retrouvées bloquées au niveau de la prise d'eau et ont forcé un arrêt de la centrale pour insuffisance de débit d'eau de refroidissement (Myers *et al.*, 1986).

Lors de l'étude préliminaire des impacts potentiels sur les ressources halieutiques associés aux projets d'ETM sur l'île d'Hawaï, Myers *et al.* (1986) concluaient aux hypothèses suivantes. Considérant que les poissons possèdent une capacité de distance de nage par seconde égale à 3 à 6 fois leur longueur (Hocutt and Edinger, 1980), et considérant des vitesses d'aspiration de 0,25 à 0,30 m/s et des débits de 3-5 m³/s., il est improbable que des poissons de taille supérieure à 10 cm soient entraînés.

Néanmoins s'il s'agit des ordres de grandeur pour des installations de quelques MW, la conception technique d'installations à haute production (100 MW) ou plus, laisse entrevoir des débits de plusieurs centaines de mètres cube par seconde. Les vitesses d'aspiration et l'impact associé seront à revoir en fonction des débits et du diamètre envisagé pour ce type d'installations.

Dans le cadre de son étude, Myers et al. (1986) concluait par ailleurs que la majorité des organismes vulnérables à l'aspiration et au blocage se plaçait dans la catégorie de taille du micronecton (2 à 20 cm) et concernait les poissons, les crustacés macroplanctoniques, les céphalopodes et les organismes gélatineux de type cœlentérés, salpes et cténophores. Le micronecton constitue une étape importante de la chaîne alimentaire entre le zooplancton et les poissons de taille plus importante, notamment ceux à valeur commerciale. L'effet potentiel des mortalités causées par aspiration sur la chaîne alimentaire, n'a cependant pas été suivi dans le cadre de prises d'eau de centrales thermiques côtières et les données en zone tropicales sont encore plus restreintes. Cet effet doit par ailleurs être nuancé en tenant compte des taux de mortalité naturels de ces organismes, eux aussi peu renseignés.

Dans ce contexte une conception adaptée des prises d'eau et des systèmes en général doit permettre de réduire la vitesse d'aspiration et les perturbations hydrodynamiques de type turbulence et recirculation à proximité de la prise d'eau. Les poissons ont notamment une meilleure capacité d'orientation vis-à-vis de flux horizontaux que vis-à-vis de flux verticaux. Des prises d'eau orientées de telles sortes qu'elles puissent entraîner des courants d'aspiration à dominante horizontale permettraient aux poissons d'éviter plus efficacement les prises d'eau (Langford, 1993).

5.5 Impacts cumulatifs

Comme pour les notions d'effets thermiques associées à ces technologies, les impacts cumulatifs doivent être évalués au regard de l'existence d'autres prises d'eau ou de rejets à proximité. On peut penser qu'étant donné la faible densité générale de ce type d'installations et le caractère très localisé des effets, ce type d'effet cumulatif sera globalement négligeable ou nul.

5.6 Synthèse

L'étendue de l'effet d'aspiration doit être évaluée en tenant compte des configurations de pompage (débit, structure) et des conditions de milieu (hydrodynamisme, densité du fluide). Les impacts sur le plancton ne peuvent *a priori* pas être limités et doivent être évalués au regard de la ressource et de la productivité globale des milieux dans lesquels sont réalisés les pompages. Pour la macrofaune, des leviers d'actions permettent de limiter la vitesse et la direction des flux en entrée et les individus les plus vulnérables restent les individus de petites tailles et notamment les individus lors de leurs premiers stades de développement à mobilité faible ou nulle (larves, post-larves et juvéniles).

6 Rejets : effets spécifiques d'upwelling artificiel

Les impacts associés aux rejets s'expriment d'une part au travers des différences de température entre les eaux rejetées et le milieu récepteur et d'autre part au travers des apports en éléments nutritifs associés aux pompages en eau profonde.

Le pompage d'eau profonde froide et riche en nutriments vers la surface constitue une des préoccupations majeures associées aux pompages profonds, particulièrement dans le cadre des ETM. Les effets potentiels associés à ce phénomène d'upwelling artificiel sont en effet mal maîtrisés et sont susceptibles de présenter à la fois des avantages et des inconvénients.

La fertilisation des eaux dans la zone euphotique peut en effet présenter un risque de bloom phytoplanctonique qu'il convient de maîtriser. Ce risque dépend notamment de la profondeur de rejet et des conditions d'éclairement et donc d'activité photosynthétique à cette profondeur, ainsi que de l'hydrodynamisme. Sur le projet d'ETM mené à Hawaï les experts recommandent ainsi un exutoire localisé au-delà de la zone des 1 % d'éclairement pour minimiser ce risque. Dans les conditions du site de projet, cette zone oscille entre environ 90 m et 115 m de profondeur et une marge de sécurité a été retenue avec un rejet à 120 m. Les remontées naturelles sous l'influence des conditions d'agitation en surface pouvant « élever » le panache, doivent également être prises en compte (Comfort and Vega, 2011). En mer ouverte, d'autres experts considèrent qu'au vu des volumes mis en jeu, le brassage hydrodynamique limite ce risque d'enrichissement très localisé et les phénomènes de blooms phytoplanctoniques associés. A contrario, si cet effet de stimulation de la productivité primaire peut être recherché par rejet en eau moins profonde et plus confinée, il convient de suivre et de maîtriser ce processus de plus près.

A l'inverse, la fraîcheur du panache peut induire un effet potentiellement inhibant sur la croissance du phytoplancton dans la zone euphotique. Ainsi un délai de croissance de six jours a été observé pour du phytoplancton dans une eau composée à 50 % d'eau profonde sur un dispositif pilote à Kona (Hawaï). Ce type de ralentissement couplé à un flux plongeant, des températures plus froides et un entraînement du phytoplancton peut réduire le risque de bloom craint par ailleurs (Comfort and Vega, 2011).

On peut enfin penser que la fertilisation des eaux peut entraîner à long terme une biostimulation positive agissant à la manière des upwellings naturels.

7 Présence physique des installations : effet récif, effet réserve, effet barrière et risque de collision

Une fois mis en place, les ouvrages occupent une certaine emprise au sol et constituent des obstacles sous-marins et aériens (pour les dispositifs émergés), dont la gêne dépend directement de la taille des installations, de leur disposition, de leur densité et des cibles potentielles de cet effet barrière. Quelques exemples de chiffres sont regroupés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 7 : Exemples de dimensions de projets d'EMR

Projet	Unités	Dimension des dispositifs	Emprise totale du parc (km ²)	Capacité de production (MW)
Nysted I <i>Danemark</i> (éolien)	72	Diamètre rotor : 82 m Hauteur nacelle : 69 m Espacement : 850 m	28	165,6
Horns Rev <i>Danemark</i> (éolien)	80	Diamètre rotor : 80 m Hauteur nacelle : 70 m Espacement : 560 m	-	160
Kentish Flats <i>Angleterre</i> (éolien)	30	Diamètre rotor : 90 m Hauteur nacelle : 70 m Espacement : 700 m	10	90
Thanet <i>Angleterre</i> (éolien)	90	Diamètre rotor : 90 m Hauteur nacelle : 70 m Espacement : 500 à 800 m	35	300
Pelamis <i>Portugal</i> (houlomoteur)	3	Diamètre : 3,5 m Longueur : 30 m par tronçon		2,25
Lysekil <i>Suède</i> (houlomoteur - pilote)	29	Diamètre bouée : 3 m Emprise lest : 16 m ² Espacement : 100 m	40	-
ETM <i>Réunion (projet)</i>	1	Diamètre: 30 m Profondeur : 1 000 m		2,5

La présence physique de ces installations implique une interaction constante avec le milieu dont les effets s'expriment au travers de la nature des matériaux, de la forme et de la densité des ouvrages. Pour les hydroliennes, le mouvement des pales et la recirculation des masses d'eau associée constituent des effets spécifiques à prendre en compte.

7.1 Effet récif

Dès lors qu'un substrat dur est immergé en mer, il est rapidement colonisé par des organismes marins. La colonisation microbienne débute le plus souvent dans les heures qui suivent l'immersion et donne lieu à l'établissement d'une macrofaune sessile généralement dans un délai de quelques semaines à quelques mois.

Les impacts sur la faune ne se limitent pas qu'à la faune sessile, et le récif peut être à terme également fréquenté par des populations de poissons et de crustacés qui trouvent, dans sa structure particulière, des opportunités de protection, d'alimentation et de repères d'orientation.

Dans ce contexte, les ouvrages d'EMR fournissent des substrats durs favorisant le développement d'une vie marine spécifique dont les avantages et les inconvénients doivent être évalués.

7.1.1 Cas de la faune benthique et épibenthique

Nature et dynamique de colonisation

La colonisation des ouvrages par la faune et la flore marine dépend de nombreux paramètres tels que leur dimension, leur forme, leur rugosité ou encore leur complexité structurelle. D'autres facteurs de milieu tels que la localisation géographique, la profondeur, la proximité de récifs naturels, les biocénoses environnantes et les conditions hydrodynamiques contrôlent également directement le développement et la nature des communautés colonisatrices (Hoffmann *et al.* 2000).

La majorité des suivis réalisés à ce jour sur la colonisation de structures d'EMR en mer porte sur les fondations d'éoliennes offshore. Quelques retours d'expérience sont également disponibles pour des dispositifs houlomoteurs. Les observations réalisées sur ce type d'ouvrages et pour la région géographique concernée (essentiellement Europe du Nord) convergent globalement : les communautés observées sur les parties immergées des ouvrages sont dominées par des invertébrés filtreurs.

Ainsi les suivis de champs éoliens offshore construits au Danemark, en Suède et en Grande-Bretagne témoignent de deux principaux types d'assemblages (Wilhelmsson *et al.* 2010) :

- dominance de bernacles et de moules communes (*Mytilus edulis*) ;
- dominance d'anémones, d'hydroïdes et de tuniciers.

Les fondations des mâts éoliens fournissent ainsi un substrat particulièrement adapté au développement de moules, dont la structure complexe des lits favorise à son tour l'apparition de riches communautés de macro-invertébrés. Cet habitat profite au développement de petits crustacés qui alimentent à leur tour des poissons et d'autres types de prédateurs. Les déchets produits par ces communautés sont susceptibles d'accroître l'abondance d'autres espèces et à termes de favoriser une transition d'une chaîne alimentaire composée de producteurs primaires et de brouteurs vers des communautés de détritivores (Norling & Kautsky, 2008 in Wilhelmsson *et al.* 2010).

Des investigations menées sur un parc expérimental de dispositifs houlomoteurs sur la côte ouest de la Suède révèlent des observations similaires (voir encadré ci-après).

Etude de cas : investigation de l'effet récif de dispositifs houlomoteurs – Projet pilote Lysekil sur la côte Ouest de la Suède (O. Langhamer *et al.* 2009)

Depuis 2005, un projet pilote d'énergie houlomotrice est développé au large des côtes suédoises, au nord de Gothenburg. Les dispositifs sont constitués de bouées houlomotrices en surface qui alimentent, par le biais d'un piston, un générateur fixé sur un socle béton posé sur le fond à environ 25 m de profondeur. Les fonds sont meubles et dominés par des sédiments vaseux fréquemment remaniés.

Des suivis ont été entrepris afin d'observer notamment la structure des assemblages colonisant les fondations bétons et les bouées.

Sur les fondations béton, un total de 29 espèces a été mis en évidence parmi lesquelles les organismes épibenthiques dominants étaient des ascidiens (*Ascidaceae*), des serpulidés (*Pomatoceros triqueter*), des hydroïdes, des algues rouges et des bernacles (*Balanus sp.*). Les surfaces verticales étaient plus densément colonisées que les surfaces horizontales sur l'ensemble du parc. Une sédimentation plus forte favorisée sur les pans horizontaux des ouvrages pourraient expliquer ce phénomène. Les algues rouges par contre n'étaient observables uniquement sur les surfaces horizontales où les conditions d'éclaircissement étaient les plus favorables étant donné la profondeur et la turbidité naturelle des eaux.

Sur les bouées, un total de 31 espèces a été mis en évidence avec une forte domination de moules (*Mytilus edulis*), représentant 85 % de la biomasse. Des différences significatives d'assemblages ont pu être observées d'une bouée à une autre, les bouées étant exposées aux conditions hydrodynamiques les plus fortes étant celles qui présentaient par ailleurs la biomasse la plus élevée.

Aujourd'hui la perspective de déploiement de différents dispositifs d'EMR soulève, entre autres, la question de l'influence des matériaux sur ces aspects de colonisation épibenthique. Plusieurs études montrent que la composition des matériaux et la structure de la surface jouent un rôle central dans les processus de colonisation épibenthique de surfaces artificielles immergées (Mullineaux and Garland 1993; Anderson and Underwood 1994; Walters and Wetthey 1996; Glasby 2000; Becerra-Muñoz 2007, in Andersson *et al.* 2010).

Ainsi si la colonisation d'un substrat type béton commence à être bien documentée pour les EMR en mers froides, un approfondissement des connaissances sur des fondations métalliques permettrait de mieux appréhender les impacts de dispositifs EMR encore peu développés comme les hydroliennes ou d'autres structures légères associées aux éoliennes flottantes par exemple.

Etude de cas : suivi expérimental de la colonisation épibenthique de pieux en béton et métalliques sur la côte ouest suédoise (Andersson *et al.* 2010)

Une expérience réalisée à Gåsevik bay sur la côte ouest suédoise, a consisté à immerger 6 pieux en acier et 6 pieux en béton de 1,5 m de hauteur et de 0,4 m de diamètre à une profondeur d'environ 6 à 8 m. Les investigations d'espèces ont porté sur les premières phases de recrutement et sur les successions de communautés sur une période de 5 mois.

Concernant la nature des organismes colonisateurs, elle a été similaire pour les deux types de fondations : tuniciens, hydroïdes, bernacles, moules et serpulidés. Néanmoins, si les mêmes cortèges d'espèces ont été attirés après immersion, le poids de chaque espèce a fortement varié d'un matériau à un autre, résultant dans des structures de communautés significativement différentes après un an de suivi.

En termes de préférences de substrat, cette étude vient soutenir les observations d'études précédentes : les bernacles ont émis une préférence pour les surfaces lisses de l'acier alors que les hydroïdes se sont d'avantage développées sur les surfaces plus rugueuses du béton.

Perturbations des communautés épibenthiques associées aux besoins de maintenance

La colonisation des ouvrages peut s'avérer problématique dès lors qu'elle réduit l'efficacité des dispositifs ou qu'elle entraîne une altération prématurée des installations. Le recouvrement des mâts éoliens augmente par exemple le poids de l'ouvrage, sa résistance aux courants et facilite la corrosion. Pour les dispositifs houlomoteurs, la colonisation des structures flottantes peut s'avérer être un véritable enjeu d'efficacité et de durabilité des dispositifs.

Les peintures antisalissures ne sont pas systématiquement employées, en particulier sur les mâts éoliens, et les interventions mécaniques de nettoyage sont le plus souvent privilégiées. Le nettoyage des ouvrages implique ainsi une perturbation / élimination des communautés en place et des écosystèmes associés à chaque intervention (environ tous les 2 ans).

Les études réalisées à ce jour sur la dynamique de colonisation de pieux, de piles de ponts et de bouées indiquent par ailleurs que la structure des communautés est relativement stable après une à deux années d'immersion (Qvarfordt, 2006; Wilhelmsson & Malm, 2008; Langhamer *et al.*, 2009 in Wilhelmsson *et al.* 2010). L'expansion des communautés est en effet limitée par les ressources alimentaires, l'espace de développement et l'effet de l'hydrodynamisme sur la stabilité des individus. L'opportunité d'une telle action de nettoyage à une fréquence à laquelle les communautés en place sont stabilisées doit ainsi être réévaluée au regard des bénéfices techniques réellement attendus et des pertes écologiques induites.

Perturbation des communautés en place

Ces structures artificielles favorisent donc un accroissement de l'abondance et de la diversité d'espèces dans leur environnement immédiat. Cependant elles peuvent, par leur différence de substrat, de forme et d'exposition, abriter des communautés différentes de communautés établies sur des récifs naturels adjacents.

De plus lorsque ces structures sont immergées sur des fonds à dominante sableuse, comme c'est le plus souvent le cas, elles sont susceptibles d'induire localement des modifications des chaînes trophiques.

Les structures artificielles semblent par ailleurs favoriser le développement d'espèces non indigènes en modifiant les dynamiques de compétition entre espèces (Fenner & Banks, 2004; Sammarco, et al. 2004 ; Bulleri & Airoidi, 2005 ; Glasby, et al., 2007 in Wilhelmsson et al. 2010). Trois espèces non natives, dont deux dominaient leur sous-habitat respectif, ont par exemple été mises en évidence sur des pieux éoliens au Danemark et en Suède (Dong Energy, et al., 2006 ; Brodin & Andersson, 2009 in Wilhelmsson et al. 2010).

Enfin, du fait de capacités de dispersion limitantes (par le biais de propagules), certaines espèces marines ne parviennent pas à se déplacer jusqu'à d'autres habitats à fort potentiel d'accueil trop éloignés. Elles se retrouvent alors cantonnées à des zones géographiques bien spécifiques.

Ce phénomène concerne notamment des espèces de substrat-dur, isolées le long de littoraux à dominante de matériaux meubles. Pour ces espèces, les ouvrages EMR sont susceptibles de constituer des passerelles au travers d'espaces normalement infranchissables et de modifier ainsi leur distribution biogéographique.

Si les équilibres d'espèces natives peuvent ainsi s'en trouver modifiés, certaines espèces envahissantes peuvent également y trouver des opportunités de développement favorables comme le suggèrent les résultats d'études réalisées sur des pieux de jetées et des plateformes pétrolières vis-à-vis de larves transportées dans les eaux de ballast (Glasby & Connell, 1999 ; Connell, 2001 ; Airoidi, et al., 2005; Bulleri & Airoidi, 2005 ; Page et al., 2006; Glasby, et al., 2007 ; Villareal, 2007 in Wilhelmsson et al. 2010).

7.1.2 Cas des poissons et des crustacés

La mise en œuvre de récifs artificiels est pratiquée dans le monde entier et poursuit trois objectifs spécifiques ou complémentaires :

- le soutien et la gestion des stocks halieutiques ;
- la préservation et la restauration de milieux marins ;
- l'accroissement de l'attractivité des fonds pour des usages récréatifs.

Dans une perspective de fort développement d'EMR en Europe et dans le monde, l'intérêt porté à ces effets bénéfiques d'immersion de structures artificielles est grandissant. Pour certaines espèces de poissons et de crustacés, les dispositifs d'EMR constituent en effet une opportunité de développement liée :

- aux ressources trophiques qui sont susceptibles de s'y établir du fait des surfaces offertes pour l'accueil d'une flore et d'une faune sessile (voir ci-avant) ;
- à l'effet de refuge et d'abris offert par les structures complexes des ouvrages et des communautés en place ; les structures verticales telles que les mâts d'éoliennes offrent par exemple une série d'habitats de profondeur variable, aptes à soutenir différents stades de développement et différentes espèces de poissons (Molles, 1978 ; Aabel, et al., 1997; Rooker et al., 1997 ; Rilov & Benayahu, 2002 ; Rauch, 2003 in Wilhelmsson et al. 2010) ;
- à l'effet de corridor biologique que peuvent jouer les ouvrages d'une zone de substrat dur naturelle à une autre, à relativiser suivant les espèces telles que mentionné au point 7.1.1.

Ainsi, plusieurs études menées sur des parcs éoliens offshore en Europe du Nord ont par exemple montré que les pieux éoliens et les matériaux anti-affouillement associés peuvent significativement accroître l'abondance de poissons démersaux et de crabes (Wilhelmsson, et al., 2006 ; Maar et al., 2009, in Wilhelmsson et al., 2010).

D'autre part, si les bruits émis par les dispositifs en phase d'exploitation ne sont pas répulsifs, les ouvrages en mer sont aussi susceptibles d'agir comme des dispositifs d'attraction et de concentration de poissons par effet de « thigmotactisme » (attraction par la forme, l'effet d'ombre portée, les modifications de courants, etc.). Cet effet serait d'autant plus fort que les structures sont présentes au large et doit donc être considéré avec une attention particulière pour les projets de dispositifs flottants installés au droit de profondeurs importantes.

Les conclusions d'études préliminaires portant sur l'abondance de poissons au sein de champs éoliens offshore menées au Danemark, en Hollande, au Japon ou encore en Suède sont plutôt prometteuses : l'accroissement de l'abondance sur l'ensemble d'un parc éolien est soit nul, soit globalement positif (Wilhelmsson et al. 2010).

La réponse est cependant différente selon les espèces et ce constat sur l'abondance globale doit être nuancé. Une étude menée par l'Ifremer¹¹ sur l'état des connaissances scientifiques sur les récifs artificiels en général, conclut que la mise en évidence d'impacts positifs ou négatifs sur la faune reste rare et souvent partielle. Réalisée en 2008, l'étude précise que la recherche en ce domaine en est encore à ses débuts, contrainte par un déficit de connaissances sur le fonctionnement des écosystèmes, la variabilité naturelle de la ressource biologique, la difficulté à définir des échelles pertinentes d'étude, le coût et la complexité de mise en œuvre des moyens d'investigation en mer.

La mise en place de méthodes de suivi adaptées pourrait permettre de statuer sur l'efficacité de ces récifs en tant qu'outil de soutien de gestion de la ressource halieutique. Des méthodes plus robustes et des suivis approfondis sont en cours de développement (Wilhelmsson et al. 2010 ; DTU, 2011).

Etude de cas : suivi des peuplements de poisson sur le site éolien offshore de Horns Rev

Dans le cadre du programme de suivi environnemental pluriannuel sur le champ éolien de Horns Rev au Danemark, les populations de poissons ont été suivies par le biais de méthode de prospection hydroacoustiques (données sur l'abondance, la biomasse et la taille). Les investigations ont été menées sur un total de quatre transects (deux au sein du champ éolien et deux sur une zone de référence à l'extérieur), présentant des profondeurs et des fonds similaires. Ces relevés ont localement été complétés de pêches expérimentales.

Les relevés effectués en 2004 ne mettent en évidence aucun impact général du parc sur les populations de poissons à l'échelle du champ éolien. Aucune différence significative en termes de distribution spatiale ou temporelle d'espèces n'a été détectée entre l'intérieur et l'extérieur du site. Les comparaisons réalisées entre les relevés à proximité immédiate des ouvrages et les zones de pleine eau au sein du parc ne révèlent pas non plus de différences statistiques significatives. Des communautés relativement variées ont néanmoins été identifiées autour des mâts et au niveau des matériaux anti-affouillement.

Les suivis réalisés dans ce cas n'ont ainsi pas permis d'illustrer clairement d'effet récif. Plusieurs explications ont néanmoins été avancées pour nuancer cette conclusion négative :

- la présence de matériaux plus grossiers que la moyenne des fonds de la région et leur répartition au-delà du champ éolien sont susceptibles d'avoir induit un effet attractif de

¹¹ Les récifs artificiels – Etat des connaissances et recommandations (Ifremer 2008)

grande échelle, masquant potentiellement celui exercé plus localement par les ouvrages éoliens du site ;

- les communautés ichthyologiques identifiées au niveau des fondations et des matériaux anti-affouillement étaient encore jeunes au moment des investigations ; leur évolution vers des communautés plus matures et complexes est susceptible de traduire un effet récif plus marqué dans le temps.

Si des suivis de fondations d'éoliennes offshore et de dispositifs houlomoteurs ont donc confirmé l'effet attractif des ouvrages pour certaines espèces de poissons, les connaissances sur les capacités de ces structures à réellement accroître les stocks à l'échelle d'un parc restent limitées.

Ceci soulève notamment l'enjeu de la gestion des sites. En effet un risque de l'attraction d'espèces autour des dispositifs serait d'augmenter la vulnérabilité des stocks halieutiques par facilitation de capture sans pour autant suffisamment contribuer au renouvellement ou au renforcement des stocks. Ainsi, si l'efficacité d'un récif artificiel est fonction des choix techniques arrêtés au regard des spécificités du site d'implantation et des caractéristiques des espèces ciblées, les modalités de gestion des espaces aménagés restent le facteur prépondérant conditionnant l'efficacité globale de cet outil (Ifremer, 2008).

L'application de principes d'éco-conception lors de la réalisation des ouvrages permet néanmoins d'orienter la diversité d'espèces, d'accroître l'abondance d'espèces cibles et donc de renforcer les bénéfices recherchés dans l'effet récif pouvant être procuré par les dispositifs d'EMR. Un important effort de recherche doit aujourd'hui permettre d'identifier des structures et des matériaux pouvant être associés aux fondations d'EMR dans un objectif d'optimisation du développement d'espèces spécifiques.

Etude de cas : suivi de l'effet de l'ajout de trous à des fondations de dispositifs houlomoteurs au large de la Suède – Langhamer et al. 2009.

Lors du suivi de l'effet récif des dispositifs houlomoteurs du projet pilote Lysekil sur la côte ouest Suédoise, des essais d'optimisation de cet effet pour certaines espèces de poissons et de crustacés ont également été menés. Pour ce faire, plus de la moitié des fondations bétons ont été aménagées de trous, répartis pour moitié à la base des blocs au contact des fonds et à 50 cm de hauteur.

Les suivis de cette opération ont révélé une densité globalement faible d'espèces mobiles mais une abondance néanmoins significativement supérieure à celle des fonds meubles environnants. La complexification structurelle des fondations (création de trous) n'a pas eu d'effets significatifs sur le nombre de poissons observés mais a cependant eu un impact fort sur les quantités de crabes comestibles (*Cancer pagurus*), avec des densités en moyenne cinq fois plus importantes pour cette espèce par rapport aux fondations traditionnelles.

Ces observations ont également permis d'avancer plusieurs hypothèses d'optimisation de structures en fonction des distributions d'espèces constatées :

- Création de trous à ouvertures multiples pour améliorer la circulation des eaux et les capacités de fuite pour les poissons ;
- Création de récifs intermédiaires de liaison avec des récifs naturels éloignés pour favoriser la colonisation ;

- Prise en compte des dynamiques de prédation entre espèces colonisatrices dans la conception des niches (taille, position sur le récif, etc.).

A noter que si l'optimisation structurelle des ouvrages est une condition nécessaire à l'accueil d'espèces cible en quantité, c'est alors le manque de ressources alimentaires sur et à proximité des ouvrages qui peut limiter leur développement. Dans ce contexte il est intéressant de noter que les moules détachées des modules flottants en surface et s'accumulant sur le fond constituent une ressource alimentaire importante pour certaines espèces. Dans le cadre de plongées réalisées sur ce projet, plusieurs types de crabes ont été observés en train de s'alimenter à partir de monticules de moules tombés sur et au voisinage des fondations. Les éléments flottants des ouvrages houlomoteurs deviennent dans ce cas partie intégrante du système récif artificiel à considérer.

7.1.3 Cas des mammifères marins

L'effet récif est enfin susceptible de se répercuter sur différentes espèces de mammifères marins qui y seraient attirés par l'abondance ou la concentration de poissons, à condition que les bruits émis en phase opérationnelle ne repoussent pas les animaux.

Sur le site de Horns Rev par exemple, le nombre de marsouins observés sur le site (jusqu'à un individu par km²) sont supérieurs à la moyenne en mer du Nord (0,1 individu par km², SCANS I, 1994, in Tougaard et al. 2006) et la baie d'Helgoland (0,3 individu par km², Hammond et al. 2002, in Tougaard et al. 2006). Leur présence est sûrement étroitement associée aux ressources de poissons mais ceci n'a pas pu être clairement établi sur la base des données d'observation disponibles.

7.2 Effet réserve

Dans les zones marines où les usages sont réglementés et les prises de pêche notamment interdites, la perturbation réduite des habitats et la réduction des pressions sur les individus résulte en un effet positif global sur les écosystèmes : **l'effet réserve**. Il se manifeste au travers d'effets structuraux, éthologiques et sur la distribution des individus. Les restrictions d'usage dans le périmètre des projets EMR pourrait ainsi avoir un effet similaire dans ces zones, dont l'importance dépendra notamment des autres impacts potentiels positifs et négatifs du projet en phase travaux et en phase opérationnelle.

Les retours d'expérience sur cet effet dans les parcs EMR sont assez limités. Cette partie vise à décrire les conséquences de l'effet réserve sur les écosystèmes et à mettre cet effet en perspective des différents modes de gestion des parcs EMR.

7.2.1 Effets intra-réserve

Une des constatations quasi-unanimes des suivis réalisés sur les réserves marines est **l'augmentation significative de l'abondance relative globale** des poissons pour un type de substrat donné (Severin, 2001). Néanmoins si ce constat est le plus souvent partagé pour l'abondance globale, il ne l'est pas systématiquement à l'échelle de l'espèce. Plusieurs suivis relèvent ainsi que ce sont les espèces ciblées par la pêche qui bénéficient au maximum de cet effet. Dans ce cadre, l'effet réserve serait d'autant plus aisé à mettre en évidence que l'intensité de l'activité de pêche était importante sur la zone avant sa protection (Roberts et Polunin, 1992, in Severin, 2001). L'effet réserve est particulièrement visible sur les espèces dont le cycle de vie les rend vulnérables à la surexploitation : croissance lente, longévité forte, faible densité des populations et facilité de capture (Roberts, 1998 in Severin, 2001).

A l'inverse, l'accroissement de l'abondance de gros prédateurs qui constituent souvent les espèces cibles peut se répercuter directement sur l'effectif de leurs proies qui auront tendance à diminuer. Cet effet sur la chaîne trophique peut en partie expliquer qu'une augmentation de l'abondance ne soit pas constatée pour toutes les espèces au sein d'une zone protégée ; c'est **l'effet cascade**.

Peu de publications se consacrent par ailleurs à l'effet sur la faune autre que les poissons. Certaines études spécifiques tendent à montrer que cette augmentation d'abondance s'étend à d'autres groupes zoologiques (Garces et al. 1998 in Severin, 2001).

Au-delà des effets sur l'abondance des espèces halieutiques, de nombreux auteurs constatent un accroissement de la **richesse spécifique** au sein des aires marines protégées. Les mesures de gestion assurent la conservation de certaines espèces victimes de pressions anthropiques et menacées d'extinction par ailleurs et constituent ainsi de véritables conservatoires génétiques et écologiques (Barnabé et Barnabé, 1997, in Severin, 2001).

Les aires marines protégées favorisent également la reproduction des différentes espèces marines au travers de quatre processus majeurs :

- La réapparition d'une structure équilibrée des populations et plus particulièrement :
 - une concentration plus élevées d'adultes de grande taille (la fécondité de nombreuses espèces marines est directement corrélée à leur taille) ;
 - une structure d'âge équilibrée avec une proportion naturelle d'individus mâles et femelles (notamment pour les espèces ichthyologiques changeant de sexe avec l'âge) ;
- La protection de comportements reproducteurs de groupe (voir ci-après) ;
- L'absence de dérive génétique liée à la sélection de reproducteurs précoces.

Enfin, il est à noter que l'interdiction des actions de prédation par l'homme dans les réserves marines réduit la méfiance de certaines espèces (Russ, 1991 ; Wantiez et al., 1997). Ceci est directement valorisable dans le cadre d'activités récréatives telles que la plongée, par ailleurs susceptible de perturber le comportement des poissons par nourrissage (Walls, 1998 in Severin, 2001).

Au-delà des effets sur les poissons, la préservation des communautés benthiques et épibenthiques par restriction de fréquentation et exclusion de certaines pratiques de pêche dans l'enceinte des parcs EMR doit être considéré. En effet, les règles de sécurité maritime ou la protection des câbles par interdiction de pêche aux arts traînants peut permettre aux communautés benthiques d'évoluer vers des structures plus complexes, processus limité dans le cadre de perturbations régulières.

7.2.2 Effets sur les zones non protégées avoisinantes

L'effet réserve n'est pas nécessairement constaté uniquement à l'intérieur des réserves elles-mêmes mais peut contribuer au renforcement des peuplements ichthyologiques dans les zones non protégées avoisinantes par exportation d'individus à différents stades de développement (larves, juvéniles, adultes) (Bohnsack, 1990 ; Mc Clanahan, 1994 ; Carter et Sadberry, 1997 in Severin, 2001).

Si l'étude des flux larvaires reste complexe, certains auteurs estiment que l'effet positif des réserves marines sur la reproduction peut se répercuter sur le recrutement larvaire à l'intérieur et à l'extérieur des aires protégées (Bohnsack, 1990, 1993 ; Buxton, 1993b ; Roberts et Polunin, 1991 ; Rowley, 1992 in Severin 2001). D'autres auteurs relativisent cette potentialité du fait de deux facteurs majeurs influençant le recrutement :

- **La prédation des larves** : plus faible sur les zones très pêchées, le recrutement pourrait s'y trouver accru ;
- **La qualité des habitats spécifiques au recrutement** : sans mesure particulière d'amélioration en zone non protégée, le recrutement n'est pas nécessairement amélioré malgré d'importants flux de larves à la côte.

Concernant les juvéniles et les adultes, la concentration dans les réserves marines conduit à une compétition inter et intra-spécifique accrue. Pour échapper à ce phénomène, certains individus se déplacent vers des zones de moindre compétition et colonisent ainsi de nouveaux espaces (Severin, 2001). C'est principalement par ce processus d'exclusion compétitive que l'effet réserve peut rayonner au-delà du strict périmètre de protection et notamment profiter à la pêche.

7.2.3 Etude spécifique de l'effet réserve au regard de l'activité de pêche

En 2010, l'AAMP a sollicité Agrocampus Ouest pour réaliser une synthèse des connaissances sur les réserves de pêche au sens d'une restriction spatio-temporelle de l'activité. Cette étude¹² a notamment eu pour objectif d'analyser les mesures mises en place dans des réserves intégrales et d'autres types de réserves et leurs conséquences sur les ressources vivantes, les écosystèmes et l'exploitation halieutique. L'analyse conjointe de la littérature scientifique et des acquis des études de cas a permis de dresser un bilan des conséquences de la mise en place de réserves de pêche et de mettre en évidence les critères d'efficacité tant du point de vue des écosystèmes que de leur exploitation.

7.3 Risques de collision

7.3.1 Risque de collision pour les mammifères marins et les poissons

Le risque de collision des mammifères marins et des poissons avec les dispositifs d'EMR doit être appréhendé en fonction du type d'énergie considérée.

- **Pour les éoliennes offshore fixées** sur les fonds marins, on estime que ce risque est minime à l'échelle des populations considérées (Pelc & Fujita, 2002; Wilson, et *al.*, 2007; Inger, et *al.*, 2009 in Wilhelmsson et *al.*, 2010). En effet si les recherches sur ce type d'effet sont relativement limitées, les retours d'observations directes témoignent d'une bonne capacité d'identification et d'évitement de structures immergées immobiles. Aucun des suivis réalisés sur les parcs éoliens offshore existants ne témoignent de blessures par collision.
- **Pour les hydroliennes ou les modules houlomoteurs**, l'appréciation des risques semble plus nuancée. Pour les hydroliennes, on considère par exemple que le risque de collision est probable pour des installations présentant un rotor dont le diamètre dépasse plus de 15 à 20 m. Le cumul de dispositifs dans un parc est également considéré comme un élément favorisant ce risque. D'autre part les sites privilégiés pour le développement des hydroliennes se trouvent dans les passages entre des îles où les courants sont les plus

¹² http://www.colloque2010-aires-marines.com/joomla1.5/images/presse/rapport_colloque.pdf .

forts. Malheureusement certains mammifères marins utilisent ces mêmes zones géographiques pour relier d'autres masses d'eaux ou se nourrir (Johnston *et al.*, 2005; Mendes *et al.*, 2002). Le risque dépend globalement de variables comme la vitesse de nage des individus en rapport à la vitesse de rotation des turbines, de la visibilité ou encore de la dynamique des courants.

Une étude récente (R. Batty *et al.*)¹³ a modélisé les risques de collision entre les vertébrés marins et des projets d'hydroliennes immergées sur la côte Ouest de l'Ecosse. L'hypothèse portait sur l'implantation de 100 machines avec chacune deux pales d'un rayon de 8 m. Les hydroliennes modélisées sont de type MCT, la vitesse périphérique des pales de cette machine est de 12 m/s.

Cette étude conclut que le risque de collision s'accroît avec la taille de l'animal, les risques étant les plus forts pour les mammifères marins. La configuration écologique du site implique un impact potentiellement significatif sur les marsouins communs. La modélisation tient compte des phases d'activité de l'animal, de la vitesse de rotation des pales, et les variations de la marée et les cycles lunaires. Les résultats doivent être relativisés en fonction de la profondeur d'implantation de l'hydrolienne, du type de turbine employée.

Un suivi environnemental à large échelle a par ailleurs été mis en place pour contrôler les interactions entre l'hydrolienne SeaGen exploitée par MCT à Strangford Lough en Irlande et les mammifères marins. Des moyens acoustiques et des survols aériens ont notamment été mis en place. Les données des T-PODs placés à différentes stations montrent que SeaGen ne constitue pas une barrière pour les marsouins ; il n'y a pas de différence dans les détections entre avant et pendant le fonctionnement. D'autre part, les échouages ne présentent pas de marques d'interaction avec SeaGen.

L'utilisation de répulsifs sonores pour éloigner les mammifères marins sont envisagés mais leur efficacité et leur impact indirect sur les déplacements et la répartition d'espèces est peu connue. Ces points sont traités plus en détail dans la partie méthodologique de cette étude relative à l'analyse prévisionnelle des impacts liés au bruit.

Pour les poissons, sont essentiellement concernés les poissons pélagiques, généralement en bancs voire les poissons carnivores chassant dans ces bancs. Si les turbulences peuvent être gênantes à proximité des pales, la capacité de nage et « d'échappement » de ces poissons devrait leur permettre d'échapper à tout contact avec les pales.

Batty *et al.* comparent la vitesse périphérique des pales (12 m/s) à celle des coups de queue que les orques utilisent lors de la chasse des harengs. Ils traversent le banc de poissons en donnant des coups de queue qui assomment les poissons. Ils reviennent ensuite pour manger les poissons inanimés. La vitesse des coups de queue est de 12 m/s, et les auteurs mentionnent que des vitesses inférieures à 7 m/s ne permettraient pas d'agir sur les harengs. A titre comparatif, la vitesse périphérique des pales des hydroliennes ne dépasserait pas 6 m/s (cf. essais de l'hydrolienne Sabella dans l'Odette ou les récentes études réalisées en Irlande du Nord). En s'appuyant sur cette comparaison, on peut donc avancer que les poissons ne seront pas impactés par les turbulences au voisinage des pales.

¹³ R. Batty, B. Wilson et C. Carter, 2008. Predicting marine vertebrate encounter rate with tidal stream turbine and the risk of collision. ICOE 2008.

Pour les dispositifs **houlomoteurs**, on considère que le risque de collision de certains mammifères avec de larges éléments mobiles comme les bouées ou les lignes d'ancrage existe. Comme pour d'autres dispositifs flottants pouvant être établis plus au large, ce risque de collision doit être appréhendé en fonction des espèces pouvant fréquenter ces eaux de forte profondeur. La baleine grise par exemple possède une mauvaise vue, ce qui accroît son risque de collision en général. On ne sait par ailleurs pas si ces écholocations à basse fréquence lui permettrait d'identifier de tels champs.

7.3.2 Risque de collision pour les oiseaux et les chiroptères

Un des risques d'impact majeur pour la vie aviaire est le risque de collision des oiseaux et des chiroptères avec les pales d'éoliennes en mer (Huppopp *et al.*, 2006).

Un oiseau passant par un parc éolien lors d'une migration ou de son activité quotidienne risque en effet d'entrer en collision avec les parties dynamiques des installations (Drewitt and Langston 2006). Actuellement, la plupart des enquêtes sur la mortalité concluent à un risque faible de collision car la majorité des oiseaux sait éviter le contact avec ces structures. Néanmoins ce risque de collision dépend de plusieurs facteurs et est difficile à quantifier.

Son estimation dépend de l'espèce d'oiseau considérée, de la concentration des individus en vol et de leur comportement, des conditions météorologiques, de la topographie et de la nature du parc ainsi que de son éclairage (Brown *et al.* 1992 ; Drewitt and Langston 2006).

Certaines espèces choisiront par exemple d'éviter le parc dans son ensemble tandis que d'autres pourront entrer dans le parc et effectuer des manœuvres d'évitement à des distances beaucoup plus courtes des installations. L'âge des individus peut constituer un facteur de risque supplémentaire (Henderson *et al.* 1996), et la différence de dynamisme des individus pourrait expliquer des variations de mortalité en fonction des tranches d'âge considérée (Votier *et al.* 2008).

L'altitude de vol joue enfin un rôle majeur dans le risque de collision. La majorité des oiseaux marins se déplacent à des altitudes variant entre 0 et 50 m d'altitude (Dierschke & Daniels, 2003 in Wilhelmsson *et al.* 2010) voire 20 m pour certaines espèces telles que les eiders (Larsen & Guillemette, 2007 in Wilhelmsson *et al.* 2010). En considérant les dimensions des éoliennes actuellement mises en œuvre, ces altitudes de vol se situent à la limite des pales des turbines.

Les résultats d'une étude menée par Huppopp *et al.* (2006) sur un parc offshore en Allemagne ont révélé que la majorité des collisions annuelles étaient en fait susceptibles d'être concentrées sur un nombre relativement restreint de jour de l'année pour lesquels les conditions météo sont les plus défavorables.

Le risque de collision est souvent considéré comme étant plus important pendant la nuit, l'éclairage des dispositifs pouvant accroître ce risque par attraction des oiseaux. Sur le site de Nysted au Danemark, les observations réalisées témoignent cependant d'une attention accrue des eiders à l'évitement des ouvrages en période nocturne conduisant à un risque faible voir négligeable de collision.

Un effet cumulé lié à l'installation de plusieurs parcs éoliens sur une même zone géographique ou à la présence d'autres constructions avec lesquelles une collision est possible, doit enfin être considéré.

Les taux d'évitement fournis dans la bibliographie doivent ainsi être consultés avec prudence. Ils sont susceptibles de ne pas être représentatifs de la variabilité de l'ensemble des facteurs qui influencent le risque de collision.

A ce titre, un important travail de recherche et de suivi est nécessaire pour affiner ces informations. La revue bibliographique sur les impacts des éoliennes offshore sur l'avifaune réalisée par COWRIE propose des taux d'évitement retenus pour les espèces les plus renseignés et résultants des travaux scientifiques les plus pertinents (Winkelman 1992 ; Painter et al. 1999 ; Chamberlain et al. 2006 ; Everaert and Stienen, 2006).

Tableau 8 : Taux d'évitement de quelques oiseaux marins

Taux d'évitement (%)	Espèce
99,0	Sternes, plongeurs, cormorans, canards, oies, grèbes, puffins
99,5	Goélands, Fou de Bassan
99,9	Fulmar

D'autres sources complètent cette bibliographie : l'eider à 94,6 % (Desholm and Kahlert, 2005), les sauvagines à 97,5 % (Winkelman 1992, 1994), la mouette à 99,9 %.

Etude de cas : Observation du risque de collision d'oiseaux sur le parc éolien de Nysted au Danemark

D'une tour située à 5 km du parc, une observation visuelle et par radar effectuée entre les années 1999 et 2005 a permis d'estimer les impacts du parc éolien sur les oiseaux migrateurs et hivernants. Ont été étudiés le risque de collision des oiseaux migrateurs et la perturbation et les effets d'attraction sur les oiseaux hivernants.

L'observation visuelle a été réalisée sur une section de 6,9 km pendant la journée afin d'identifier les différentes espèces, tandis que le suivi radar réalisé sur une surface circulaire de 388 km² autour de la tour a permis un comptage des oiseaux. Les routes migratoires ont également été identifiées par le radar et notées (à partir d'une longueur de 5 km). Ces observations ont été réalisées en deux phases successives : la pré-construction et la post-construction.

Ces investigations ont démontré que les oiseaux migratoires (principalement les eiders) ajustaient leurs routes à partir d'une distance de 3 km du parc, le changement le plus remarquable se produisant à une distance d'un kilomètre : une réduction de passage de 24-48 % à 9 % a été observée entre les deux phases d'observations préalables.

Les résultats pour les oiseaux hivernants diffèrent. Les cormorans ont montré une attraction aux fondations des turbines pour se reposer. Les mouettes ont également montré une abondance plus forte pendant la deuxième phase mais la relation entre cet accroissement et la présence des dispositifs est incertaine.

Un modèle de collision des eiders avec les turbines a ensuite été déterminé sur la base d'une recherche bibliographique, les systèmes de reconnaissance thermique mis en place ne s'avérant pas suffisamment sensible pour déterminer des collisions. Ce modèle a estimé une moyenne de collision de 68 eiders pour une saison d'automne

Pour quantifier le risque de collision d'autres espèces, leur hauteur de vol a été comparée à la

hauteur des turbines. Les cormorans et les mouettes observés volant respectivement à environ 58,3 m et 71,2 m d'altitude, ils se trouvaient à 100 % dans l'étendue du rotor.

Pour les dispositifs houlomoteurs, le risque de collision en plein air est faible du fait de la hauteur relativement limitée des constructions (quelques mètres au maximum). Pour des dispositifs immergés et mobiles cependant (hydroliennes, parties immergées de dispositifs houlomoteurs, etc), il existe un risque de collision pour les oiseaux plongeants (Wilson et *al.*, 2007).

On estime que les conditions influençant ce risque (densité, âge, etc.) sont les mêmes que celles évoquées pour les éoliennes. Néanmoins, il existe peu d'informations sur la variabilité du risque de collision en fonction des conditions environnementales, notamment en période de mauvais temps. La sensibilité des oiseaux à la collision dépend enfin étroitement de leur méthode de chasse. On considère ainsi que les oiseaux plongeant depuis la surface ont des trajectoires de plongée relativement contrôlées et possèdent ainsi une bonne faculté à éviter les obstacles sous-marins. On estime au contraire que les espèces effectuant directement leur plongeon depuis une certaine hauteur de vol ont une capacité plus faible à éviter les obstacles et se blessent plus facilement (Ropert-Coudert et *al.* 2004, Thaxter et *al.* 2009). Aucun suivi ne permet actuellement d'attester un risque plus fort d'impact lié à la remise en suspension de matériaux provoquée par l'entraînement de turbines par exemple.

Enfin, les dispositifs utilisant les différences de pression pour entraîner les turbines (colonne d'eau oscillante, déferlement) contiennent des orifices dans lesquels quelques oiseaux peuvent entrer et être tués par les différentes actions mécaniques du dispositif en question.

Selon Garthe et Hüppop (2004), l'impact de ces collisions doit être mis en perspective des taux de mortalité naturels régionaux, nationaux et internationaux. La prise en compte des taux de mortalité adulte dans la définition de la sensibilité des espèces doit permettre de donner une vision plus réaliste de l'ampleur des impacts.

7.4 Effet barrière

7.4.1 Effet barrière aux déplacements de l'avifaune

L'effet de barrière se traduit par une manœuvre d'évitement du site dont résulte un effort accru lié au parcours d'une distance plus longue (Tulp et al. 1999 ; Petterson and Stalin, 2003 ; Drewitt and Langston, 2006 ; Laresen and Guillemette, 2007). Il s'agit de l'effet sur l'avifaune le plus complexe à évaluer, et son appréciation reste souvent qualitative.

Cet effet se manifeste essentiellement pour les installations éoliennes, qui peuvent constituer des obstacles dans les voies de déplacement privilégiées par certaines espèces d'oiseaux marins : voies migratoires, voies connectant des zones d'alimentation, de repos, de nidification, etc. (Drewitt and Langston 2006). Cette perturbation dépend fortement des conditions de déplacement des oiseaux et de leur altitude de vol, mais également de l'orientation des turbines et de la direction et de la vitesse du vent.

Plusieurs suivis confirment cette dynamique d'évitement, généralement pour des distances de 100 à 3 000 m d'installations offshore (Winkelman 1992, Christensen et al. 2004, Kahlert et al. 2004), et ce de jour comme de nuit (Winkelman 1992, Dirksen et al. 1998, 2000). Un suivi des plongeurs à gorge rousse et noire (*Gavia stellata / arctica*) au parc éolien à Horns Rev conclut à une réduction statistiquement significative du nombre d'oiseaux passant dans le parc et à une distance allant jusqu'à 2 km autour. A partir d'une distance de 2 à 4 km, le nombre et la répartition d'oiseaux entre la période pré et post construction sont égaux.

Certains suivis témoignent cependant aussi de passages d'oiseaux au sein des parcs éoliens. Ainsi à Nysted au Danemark, des eiders ont régulièrement été observés passant dans le parc, à une distance moyenne de près de 500 m des dispositifs (Christensen et al. 2004, Kahlert et al. 2004).

Un alignement des éoliennes dans la direction de vol des oiseaux doit permettre de limiter l'effet cumulé lié à la présence de nombreuses unités dans un parc. De même, le maintien des accès aux zones d'alimentation principales doit permettre aux oiseaux de compenser les dépenses énergétiques accrues liées à l'évitement des parcs.

Etude de cas : étude de l'effet des éoliennes sur les ressources énergétiques de l'avifaune

Une étude réalisée par l'université d'Aberdeen en Ecosse a visé à déterminer l'effet cumulé de dispositifs éoliens sur certains oiseaux présents sur les côtes de Grande Bretagne : petit Plongeon catmarin (*Gavia stellata*), Macreuse noire (*Melanitta nigra*), Cygne chanteur (*Cygnus cygnus*) et Sterne pierregarin (*Sterna hirundo*).

Pour les effets de consommation énergétique, l'étude estime que le détour d'environ 30 km imposé par la présence du parc induit une consommation accrue des réserves de graisse d'environ 2 % pour la plupart des espèces. La construction du parc entre les sites de repos ou de nidification et les sites d'alimentation peut provoquer une distance de vol additionnelle de 15 km soit une consommation d'énergie de 4,8 à 6 % par jour.

Les oiseaux sont forcés de compenser cette perte d'énergie par une absorption accrue de nourriture ou une restriction des dépenses énergétiques connexes, afin de limiter l'augmentation du risque de mortalité. Il existe cependant peu d'information sur l'ampleur des impacts liés à une demande accrue d'énergie sur l'avifaune.

Pour les dispositifs houlomoteurs, on peut estimer que l'effet général sur l'avifaune peut se manifester par les mêmes mécanismes : évitement et consommation énergétique renforcée (Desholm, 2003 ; Masden et *al.* 2009). Néanmoins, la hauteur émergée faible de la plupart de ces dispositifs pousse à croire à un effet barrière négligeable sur l'avifaune. L'impact de dispositifs plus grands, tel le Fred Olsen Buldra / FO3 concept d'une hauteur de 24 m, devra être considéré au cas par cas.

Enfin, ces dispositifs pourraient avoir un effet positif en constituant des sites de repos pour certaines espèces, notamment certains oiseaux migrateurs incapables de se poser sur l'eau. A noter que la fréquentation des bouées houlomotrices par les oiseaux pourrait à terme induire des dommages et réduire l'efficacité des dispositifs (Michel et *al.* 2007).

7.4.2 Effet barrière au déplacement de la faune marine

L'effet de barrière pouvant potentiellement s'exercer sur la faune marine est malheureusement peu documenté. Il résulte potentiellement de deux effets bien distincts sur le milieu : l'électromagnétisme (ce point est traité dans le chapitre spécifique à l'électromagnétisme) et la présence des installations.

Sur Horns Rev et Nysted, les suivis ne semblent pas montrer de changement significatif du comportement des phoques avant et après la construction du parc (Miller 2005). L'effet de barrière sur les autres types de mammifères marins est également jugé négligeable (Damsgaard Henrikson et *al.* 2004 and Tougaard et *al.*, 2004).

Les connaissances sur ce type d'effet pour les hydroliennes notamment restent à renforcer.

7.5 Impacts cumulatifs

La prise en compte des impacts cumulatifs associés à ces effets est indispensable car c'est essentiellement au travers de cette cumulation au sein d'un parc ou avec un projet connexe que se définit leur efficacité (effets positifs) ou leur véritable potentiel de nuisance (effet négatif). La synergie entre les différentes unités immergées est ainsi un élément central dans tout projet d'immersion de récifs artificiels et l'intérêt de ces structures en tant qu'outil de soutien de corridors écologiques est une réflexion qui émerge aujourd'hui, tout en tenant compte de certains effets plus néfastes (voir 7.1.1). L'impact de l'effet réserve doit quant à lui être évalué au regard de sa place et de son rôle à l'échelle régionale et notamment de ses interactions potentielles avec les aires marines protégées.

Inversement c'est aussi cet effet cumulatif qui accroît les risques de collision et renforce l'amplitude de l'effet barrière associés à la présence des installations.

7.6 Synthèse

Par leur simple présence, les installations interagissent avec le milieu et génèrent des effets positifs comme des effets négatifs. L'effet récif, couramment mis en avant, semble en effet porter un potentiel de bénéfice écologique significatif à condition qu'il soit maîtrisé et que les projets soient conçus de sorte à ce qu'il soit stimulé. L'effet réserve quant à lui dépend étroitement des mesures de gestion d'usages qui seront finalement retenus dans le périmètre de projet. Il est clair que les incertitudes associées à l'effet du bruit opérationnel, aux risques de collision et à l'effet barrière ainsi qu'aux champs électromagnétiques doivent être clarifiées afin de pouvoir juger du potentiel de réserve pressenti pour ces zones.

L'effet barrière et les risques de collision constituent en effet des enjeux variables en fonction des espèces et des types de technologie considérée. Sous l'eau, les risques associés aux hydroliennes doivent être mieux caractérisés, tandis que pour les autres technologies, ces risques semblent limités. En milieu aérien, ces risques se posent essentiellement pour l'éolien et l'avifaune et doivent être considérés au cas par cas.

8 Présence physique des installations : impacts sur les paysages

Les éoliennes sont l'objet de représentations diverses et les effets sur les paysages se situent à la croisée des notions environnementales et socio-économiques. Elles peuvent en effet être prises comme des objets purement matériels et techniques, vues sous un regard architectural ou esthétique, considérées comme des objets relevant de l'individuel ou bien encore être ramenées à l'échelle sociale, collective (représentation d'un symbole d'une nouvelle ère d'intégration de l'homme dans son environnement par exemple). Les aspects liés à la perception sociale des ouvrages sont traités dans le chapitre relatif aux impacts socio-économiques. La présente partie tente de fournir une appréciation paysagère plus physique de la présence des installations dans l'environnement aérien ou marin. Le chapitre méthodologique relatif à l'analyse de l'état initial aborde enfin les notions d'analyse des paysages et des sensibilités.

8.1 Effets sur les paysages maritimes

Les effets sur les paysages maritimes concernent évidemment les dispositifs émergés et en particulier les champs d'éoliennes. Par la combinaison de leur taille, leur nombre, leur concentration, et le mouvement de leurs pales, les éoliennes offshore ont en effet un pouvoir d'attraction du regard plus élevé que les autres technologies (à distance et à condition de perception égale).

La visibilité des objets dépend de nombreux facteurs tels que l'éclairage, le mouvement, l'orientation, le contraste avec l'arrière plan et l'horizon, la couleur et la structure, le paysage environnant, etc. La formule simplifiée suivante détermine la distance maximale D , à laquelle un spectateur à une hauteur H_1 peut voir un objet d'une hauteur H_2 devant l'horizon, pour un rayon r de la terre : $D = \sqrt{2rH_1} + \sqrt{2rH_2}$. Selon cette formule, un observateur d'une hauteur d'œil de 1,5 m peut percevoir une éolienne d'une hauteur de 150 m jusqu'à une distance de 51.92 km. En réalité, les capacités de discernement des éoliennes sont bien inférieures et on comprend bien le besoin d'intégrer les conditions environnementales qui influencent la visibilité dans ce raisonnement. Husar and Husar (1998) utilisent ainsi la formule $V = C / E$ où V est la portée visuelle, E le coefficient d'extinction qui décrit la masse de brume dans l'air et $C = 3,9$ une constante basée sur la sensibilité de l'œil humain et le contraste d'un objet par rapport à l'arrière plan. Cette formule néglige cependant les conditions météorologiques spéciales telles que la pluie. D'autres experts indiquent par ailleurs que la visibilité d'un objet en mer est réduite à cause des réflexions de la lumière et proposent une valeur plus petite du coefficient C (jusqu'à 1,9 dans certaines conditions). Avec une supposition de $E = 0,15$ (valeur majoritairement appliquée en Grande-Bretagne) on atteint ainsi une portée visuelle de 12 km pour $C = 1,9$ et de 26 km pour $C = 3,9$.

L'effet de la courbure de la terre doit ensuite être considéré pour déterminer les parties des installations qui seront visibles en fonction de la distance au site. Le tableau 8 présente deux simulations à partir d'une formulation simplifiée de la perception visuelle.

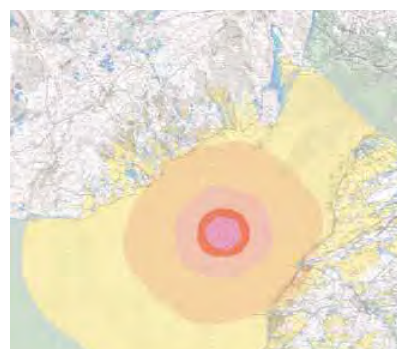
Tableau 9 : Evolution de la visibilité d'une éolienne en fonction de la position de l'observateur et de la distance à la côte

Distance (km)	Partie des éoliennes visible pour un observateur d'1,7m localisé sur une plage Turbine de 150 m et rotor de 90 m		Partie des éoliennes visible pour un observateur localisé sur une falaise à 50 m d'altitude Turbine de 150 m et rotor de 90 m	
	Hauteur (m)	Composante	Hauteur (m)	Composante
10	148	Mât et pales	150	Mât complet et pales
15	143	Mât et pales	150	Mât complet et pales
20	135	Mât et pales	150	Mât complet et pales
25	123	Mât et pales	150	Mât complet et pales
30	108	Mât et pales	150	Mât complet et pales
35	90	Nacelle, haut du mât et pales	146	Mât et pales
40	68	Nacelle, haut du mât et pales	139	Mât et pales
45	43m	Pales	129	Mât et pales
50	14	Extrémité des pales	115	Mât et pales
55	0	Aucune	98	Nacelle, haut du mât et pales
60	0	Aucune	78	Nacelle, haut du mât et pales
65	0	Aucune	54	Nacelle, haut du mât et pales
70	0	Aucune	27	Extrémité des pales
75	0	Aucune	0	Aucune

La perception des objets repose sur la visibilité et des notions d'observation propres à l'observateur telle que sa connaissance du site, son attention à son environnement et ses attentes en matière de paysage.

En mer, les structures émergées coupent avec les plans horizontaux posés par la mer et le ciel. Ainsi la couleur et la forme des installations jouent directement sur la perception depuis la côte. La couleur blanche des éoliennes s'intègre généralement bien dans les tons et les nuances de couleur de ce type de paysage (bleu/vert pour la mer, bleu clair à blanc pour un ciel dégagé). Si cette couleur ne constitue généralement pas une accroche pour le regard, les installations s'imposent néanmoins par l'irrégularité qu'elles créent et définissent un nouveau paysage pour l'observateur. Sur les sites côtiers présentant une géomorphologie particulière ou dans les estuaires par exemple, les installations sont susceptibles de contraster avec un arrière plan terrestre. Les mesures d'intégration doivent alors être réfléchies au par cas (voir ci-contre).

On considère enfin que l'intégration des dispositifs peut se faire sur la base d'une meilleure prise en compte de l'aménagement côtier et d'une conception du projet en conséquence. On peut ainsi se questionner sur l'opportunité de retenir une disposition géométrique ordonnée des installations face à des villes ou des ports dont l'organisation répond généralement à une organisation similaire, ou de retenir une disposition plus



confuse et désorganisée rappelant davantage la complexité du milieu naturel.

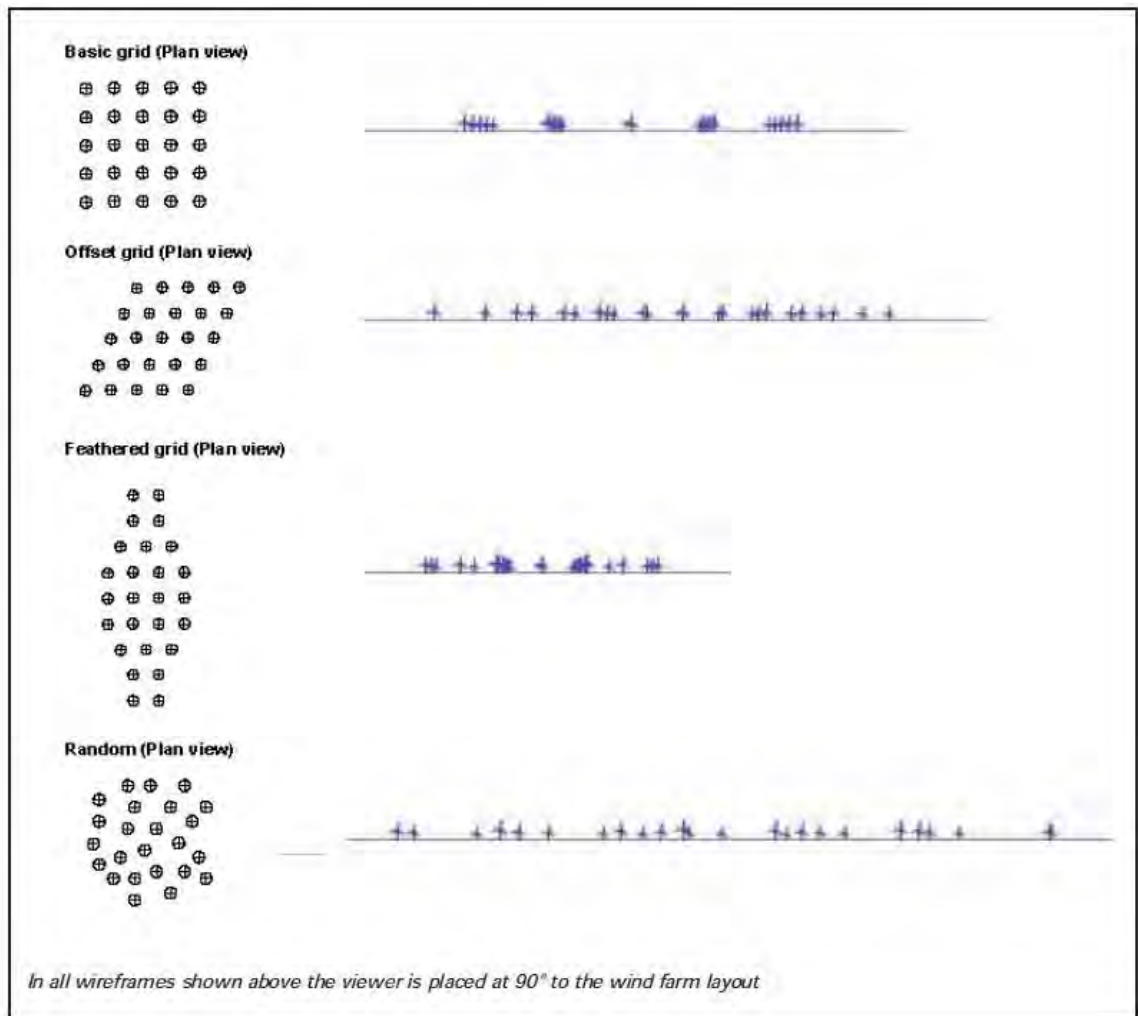


Figure 33 : Représentation de différentes dispositions d'éoliennes en mer

Les effets cumulatifs associés à la mise en place de plusieurs sites de projet doivent être considérés en fonction des différents points de vue de projet. La figure suivante illustre cette notion de cumulation d'effet visuel en mer et à la côte. L'exemple n°1 illustre une superposition faible à modérée de la visibilité en mer sans superposition à terres. L'exemple n°2 illustre une superposition faible à forte en mer et faible à modérée à terre.

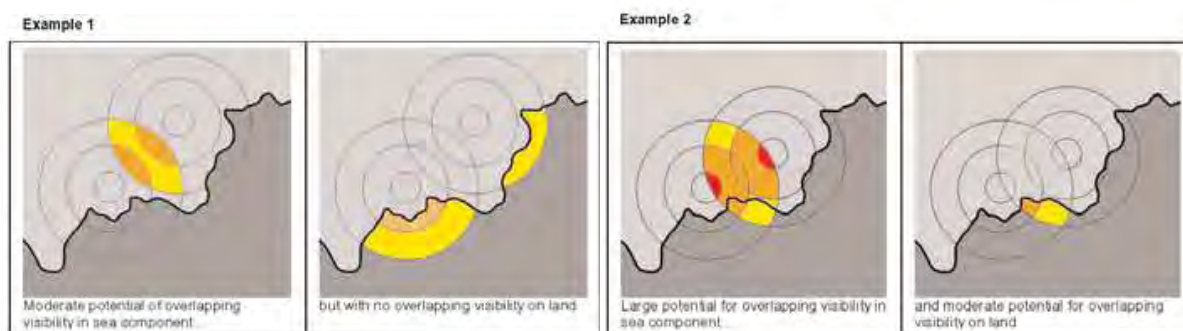


Figure 34 : Intersection des perceptions visuelles pour deux exemples de sites en mer

8.2 Effets sur les paysages sous-marins

La notion de paysage sous-marin¹⁴, quoique peu employée par la communauté scientifique, tend à s’immiscer progressivement au sein des concepts-clés de l’écologie marine tout en se renforçant parmi d’autres acteurs de la mer que sont les gestionnaires d’aires marines protégées ou les plongeurs sous-marins par exemple.

La référence au « paysage sous-marin » remonte au moins au 19^{ème} siècle, et son emploi s’est rapidement immiscé dans le vocable des plongeurs sous-marins dès les années 1940-1950 et son utilisation par les scientifiques français s’accroît depuis les années 1990 (Terrasson, 2006). Les nouvelles technologies appliquées aux explorations scientifiques ont au 20^{ème} siècle progressivement permis de découvrir les fonds marins notamment littoraux au travers de leurs reliefs et des composantes faunistiques et floristiques associées.

En interaction avec des enjeux économiques, sociaux ou écologiques, cette notion de paysage sous-marin prend sa place sur le plan scientifique et ce pour différentes disciplines directement liées à l’environnement (écologie, écologie du paysage, géographie, économie, droit,...). Elle soutient notamment des concepts clés de l’écologie marine telles que la connectivité et la description des habitats. Si la notion de paysage sous-marin n’est pas nouvelle, elle semble donc prendre un nouvel essor tant sur le plan scientifique (écologie du paysage) que sur le plan sociétal.

Dans ce contexte, on comprend bien que la perspective d’immerger des dispositifs en mer dans des zones littorales plus ou moins territorialisées conduit à se questionner sur l’impact de ces dispositifs sur les paysages sous-marins. Le développement des EMR ouvre ainsi un nouveau champ de réflexion dans le chantier de qualification et de valorisation de ce concept.

La question de l’impact sur les paysages sous-marins se pose d’une part dans les aires marines protégées et d’autre part, dans l’espace fréquenté par les plongeurs sportifs, soit entre 0 et 40 m de profondeur, espace convoité pour l’installation d’éoliennes offshore notamment. Dans une logique de préservation des sites naturels et culturels les plus riches, les paysages les plus emblématiques (tombants, coralligène, herbiers et champs de grandes algues, plateaux rocheux, roches profondes isolées, « secs » et grottes sous-marines, épaves) sont à considérer

¹⁴ Le cadrage du concept de paysages sous-marins présenté dans le paragraphe 8.2. est issu du séminaire scientifique et technique organisé à ce sujet par l’Agence des aires marines protégées en mars 2011.

comme des secteurs de l'espace maritime à forte contrainte pour l'implantation d'EMR. Certaines EMR seront installées dans des zones à fort courant (hydroliennes) ou dans des zones à visibilité réduite et ou sur des fonds sablo-vaseux qui ne constituent pas des paysages sous-marins de qualité et recherchés par la communauté des plongeurs sportifs.

A contrario, les champs d'éoliennes peuvent constituer de nouveaux paysages sous-marins, voire de nouveaux sites de plongée sous certaines conditions. On se reportera au chapitre 3.7.2. qui développe les impacts des EMR sur les activités subaquatiques.

9 Exploitation d'énergie et obstacles aux écoulements : perturbation des régimes hydrodynamiques et sédimentaires

L'exploitation de l'énergie de l'air ou de la colonne d'eau génère des effets dynamiques dans les champs proches et lointains des dispositifs EMR. Ces effets sont liés à la soustraction d'énergie et à l'effet d'obstacle que représentent les structures par rapport à l'écoulement de ces fluides.

Dans l'eau, la perturbation des flux hydrauliques (direction des écoulements, turbulence, énergie globale) agit directement sur les processus de sédimentation, la courantologie, la disponibilité des ressources nutritives, la dispersion de polluants ou encore le recrutement larvaire et donc la reproduction d'espèces.

Dans l'air, certaines modélisations récentes indiquent que les turbulences générées en aval d'importants champs éoliens pourraient modifier les phénomènes d'upwelling ou de downwelling de manière significative (Broström, 2008, in Wilhelmsson 2010).

9.1 Effets locaux sur l'hydrodynamisme et le compartiment sédimentaire

L'empreinte de dispositifs EMR sur les fonds marins peut s'étendre au-delà de la simple emprise des ouvrages du fait des perturbations hydrodynamiques et sédimentaires qu'ils induisent sur le milieu. On distinguera ici les dispositifs non dynamiques par opposition aux dispositifs dynamiques tels que les hydroliennes ou les prises d'eau ou rejets d'ETM qui induisent une perturbation supplémentaire des écoulements.

9.1.1 Cas des dispositifs non dynamiques

Pour des fonds meubles, les perturbations des écoulements induits par la présence des fondations sont susceptibles d'entraîner l'apparition de fosses d'affouillement sur une superficie dépendant des conditions hydro-sédimentaires locales et de la taille des dispositifs. On considère généralement que la dimension de ce type de fosse est limitée à 10 fois le diamètre de l'obstacle qui l'occasionne (OSPAR, 2006). Cet effet est techniquement réductible par la mise en place de matériaux anti-affouillement au pied des dispositifs visant à stabiliser les fonds dans l'environnement immédiat des ouvrages. Ces fosses peuvent être accompagnées de trainées sédimentaires marquant des processus de sédimentation au-delà des fosses et dans la direction des courants dominants.

Etude de cas : suivi des phénomènes d'affouillement sur le site éolien de Scroby Sands (Rees, 2006, in OSPAR 2006)

Le site de Scroby Sands en Grande Bretagne est localisé dans une zone à fort hydrodynamisme et peut être considéré comme l'un des sites éoliens existants pour lesquels les conditions hydrodynamiques sont susceptibles d'engendrer les affouillements les plus importants. Les suivis réalisés sur ce site ont confirmé l'évolution prédite par modélisation dans la phase d'évaluation environnementale du projet : les affouillements se sont développés sur 5 m de profondeur et sur un diamètre de 100 m de part et d'autre des fondations. Les affouillements les plus importants s'établissent ainsi à environ 7 850 m³ de fond marin.

Ces suivis ont également permis de constater que ces affouillements étaient limités au pourtour des fondations et n'étaient jamais reliés d'une fondation à une autre. Dans un contexte où les turbines sont généralement espacées de 500 à 1 000 m afin d'optimiser l'utilisation des ressources éoliennes, ces résultats indiquent que les affouillements devraient pour la plupart des sites éoliens offshore être cantonnés à l'environnement immédiat des ouvrages, et se présenter sous forme de petites « tâches » de perturbations hydro-sédimentaires au sein d'une zone globalement non perturbée.

L'étude de la position, de la taille et de la forme des crêtes sédimentaires des fonds à l'échelle du parc indique par ailleurs peu de différences avant, pendant et après la construction du parc. La dynamique globale des fonds est donc peu affectée par la présence du parc sur ce site.

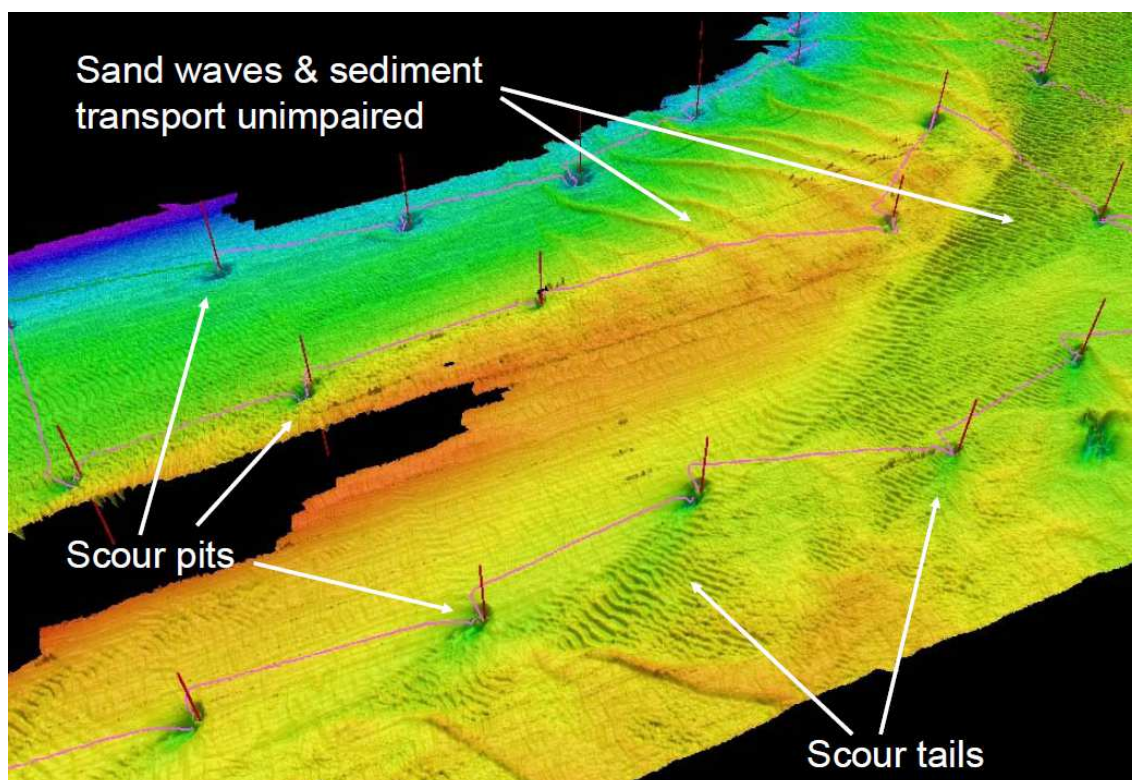


Figure 35 : Imagerie sonar des fonds sur Scroby sands (Sources : e-on – UK, CEFAS)

(Scour pits : fosses d'affouillement ; Scour tails : trainées d'affouillement)

Ces perturbations auront nécessairement des effets sur les communautés benthiques qui doivent notamment être évaluées au regard de leur aptitude à s'adapter à des conditions sédimentaires instables. On peut ainsi considérer que les effets sur des communautés benthiques adaptées à une forte dynamique sédimentaire et un remaniement fréquent des fonds seront limités (cas sur le site éolien de Scroby sands).

Les risques d'accumulation de matériaux et notamment de matières organiques doivent être pris en compte là où les écoulements sont ralentis. Si l'accumulation de ressources nutritives peut constituer une source d'alimentation privilégiée pour les communautés benthiques sur ces zones, elle peut aussi provoquer des modifications localisées des assemblages de macro-invertébrés et des conditions physico-chimiques (Wilhelmsson, 2010). L'accumulation de matière organique en fond de fosse d'affouillement, là où les eaux sont peu renouvelées, favorise notamment le développement de conditions anoxiques (Andersson, 2009, in Wilhelmsson et al. 2010).

Des études portant sur la recolonisation benthique de souilles d'extraction de granulats témoignent de processus de recolonisation lents dans ces conditions. Les investigations menées après l'arrêt de l'exploitation témoignent généralement de l'existence de peuplements qui diffèrent considérablement des peuplements des sites voisins, dominés par des espèces opportunistes (Szymelfenig, Kotwicki et Graca, 2006).

9.1.2 Cas des dispositifs dynamiques

Les dispositifs hydroliens modifient la distribution des écoulements au sein du système dans lequel ils sont placés. D'après Michel et al. (2007) l'extraction de l'énergie cinétique des courants entraîne un accroissement de la sédimentation en aval du projet par rapport au sens du courant. La profondeur et l'extension de cette aire de sédimentation est fonction de la topographie locale, de la nature du sédiment et des caractéristiques des courants et du projet, et doit être appréhendée en parallèle des phénomènes d'érosion exposés précédemment.

Toutefois, dans le cadre particulier de l'hydrolien, les sites propices à l'implantation de projets étant par nature fortement brassés naturellement par les courants marins, les fonds sont le plus souvent peu recouverts de sédiment au profit de fonds rocheux ou de cailloutis sur lesquels l'effet hydro-sédimentaire est *a priori* moindre.

Au-delà des conséquences purement physiques sur l'hydrodynamisme et la sédimentologie que peut entraîner ce phénomène, la perturbation des thermoclines et de la distribution des nutriments doit également être considérée.

Concernant les effets sur le milieu vivant, les retours d'expérience portant sur ce type de dispositif restent limités. Les premiers résultats du suivi du projet SeaGen fournissent quelques pistes de réflexion.

Etude de cas : suivis des communautés benthiques sur le projet SeaGen (Irlande)

L'objectif des suivis benthiques réalisés sur le projet hydrolien SeaGen est d'identifier les grandes modifications structurales des communautés (variation de l'abondance des espèces représentatives par exemple) que pourraient induire une modification de l'hydrodynamisme et de la sédimentologie ou des interactions mécaniques directes avec les fonds.

Les résultats de ce suivi indiquent que les changements observés sur les communautés potentiellement influencées par l'hydrolienne sont similaires aux changements constatés sur les stations témoins. L'étude conclut que ces communautés, caractéristiques de fonds exposés

à une forte courantologie, suivent une évolution naturelle non influencée par la présence du dispositif hydrolien.

Les effets liés aux pompages pour l'exploitation du potentiel thermique des mers sont traités dans le chapitre suivant.

9.2 Effets à grande échelle sur les courants, les houles et les transferts sédimentaires

La soustraction d'énergie du champ aquatique ou aérien est susceptible d'entraîner des modifications des courants et de la dynamique sédimentaire, à plus large échelle, au-delà de la simple emprise du parc.

Ces effets ont encore été peu investigués mais quelques études et suivis disponibles fournissent les premières pistes de réflexion. Ainsi Rees et *al.* (2006) ont mis en évidence des phénomènes d'affouillement secondaires sur un site éolien en mer du Nord. Besio et Losada (2008) ont par ailleurs modélisé des phénomènes de sédimentation lointains en aval d'un champ éolien (in Boelherth & Gill, 2010).

Ces observations soulèvent la question des effets potentiels sur la sédimentologie côtière dans le cadre de développement de parcs d'EMR « proches » de la côte. Les risques de perturbation des régimes sédimentaires et de processus d'érosion / accrétion côtier doivent être évalués.

Dans le cadre du projet SEM-REV de la plateforme de récupération d'énergie des vagues au large du Croisic, la prévision des incidences sur les processus hydrodynamiques et le transport sédimentaire n'ont pas pu être évalués du fait de la méconnaissance des prototypes qui y seront testés. L'étude de modélisation (CREOCEAN, 2009) du transport sédimentaire dans le secteur du projet indique néanmoins que, bien que de faible intensité, ce transport est dû en partie aux vagues même lorsque la houle est de faible amplitude. A ce titre, les auteurs concluent que si les incidences devraient être mineures (éloignement de la côte et nombre restreint de dispositifs), elles pourraient même être positives du fait de l'absorption d'une très faible partie de l'énergie des vagues et de la diminution du risque d'érosion associé.

Sur Scroby sands, les modélisations réalisées indiquent par ailleurs que les perturbations hydrodynamiques sont cantonnées à l'environnement immédiat des structures et maximales pour les écoulements les plus forts. Le Cefas a observé que la forme des vagues et leur direction n'étaient pas modifiées par la présence du parc. A ce titre il a été recommandé d'abandonner le suivi sur les effets potentiels d'érosion des côtes associés au parc (Cefas, 2006, in OSPAR 2006).

Etude de cas : Evaluation des impacts de dispositifs houlomoteurs sur le littoral de Cornouaille (Source : Halcrow 2006).

L'agence régionale de développement du sud-ouest de l'Angleterre (SWRDA) a entrepris l'élaboration technique du Wave Hub, une installation sous-marine localisée au large des côtes de Cornouaille et qui permettra de connecter des dispositifs houlomoteurs au réseau national pour des tests de pré-commercialisation.

Les impacts potentiels des dispositifs pilotes proposés pour le Wave Hub sur les processus côtiers ont été évalués selon deux scénarii d'aménagement :

- un scénario d'aménagement d'effet moyen comprenant un dispositif Wave Dragon, deux

dispositifs Fred Olsen FO3, trente appareils PowerBuoy et six dispositifs Pelamis, ainsi que les infrastructures offshore du Wave Hub ;

- un scénario d'aménagement de plus fort effet comprenant quatre dispositifs Wave Dragon orientés vers l'ouest et les infrastructures offshore du Wave Hub. Ces dispositifs ont été choisis pour représenter le cas potentiellement le plus impactant car ils ont l'effet le plus fort sur l'hydrodynamique, et donc sur le régime sédimentaire.

La description et l'évaluation des effets potentiels de ces aménagements sur les régimes hydrodynamiques et sédimentaires sont décrits comme les changements envisagés par rapport aux conditions existantes. La modélisation a été réalisée à partir du modèle de houle régional MWAVE, sur la base d'une houle de période de retour 1 an (hauteur 10 m et période de 12 s) provenant de l'ouest.

Les résultats indiquent une réduction de la hauteur des vagues à la côte de 3 % pour l'aménagement moyen contre 5 % pour l'aménagement de plus forte contrainte.

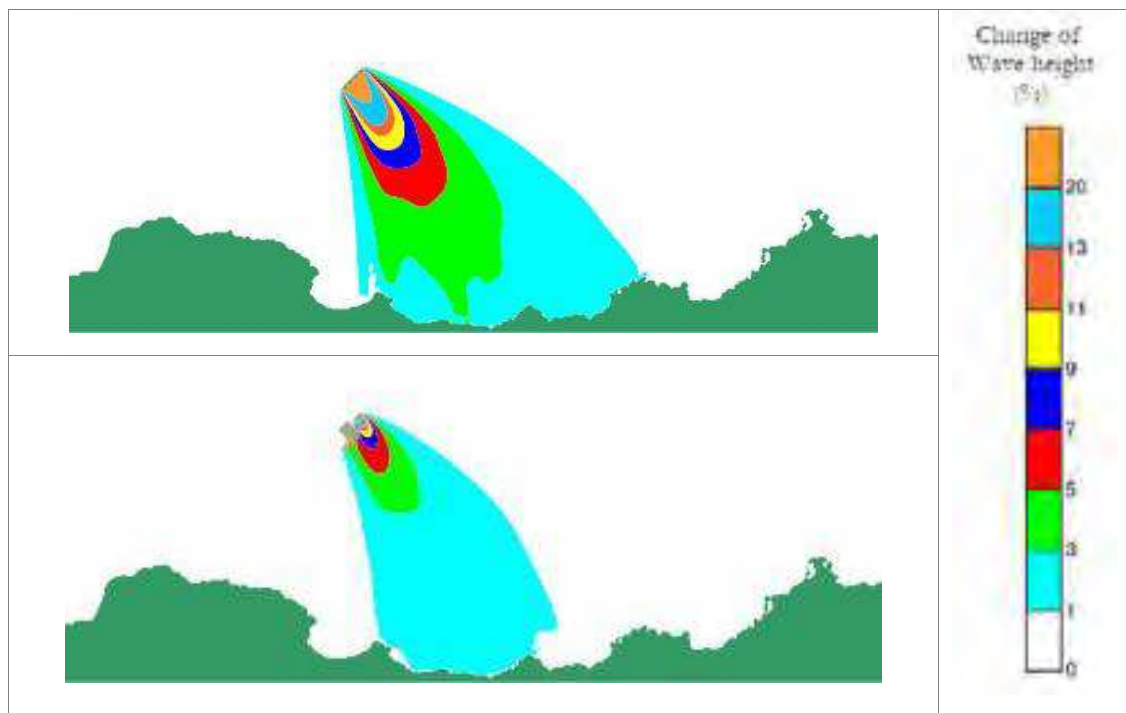


Figure 36 : Changement de la hauteur des vagues dans le cas du scénario moyen (haut) et dans le cas du scénario de plus forte contrainte (bas) pour une houle de période de retour un an ($H_s = 10$ m, $T = 12$ s)

La comparaison des impacts relatifs aux conditions de marée appliquée au scénario de plus forte contrainte a ensuite permis d'identifier que l'impact le plus fort se produisait pour les plus basses marées.

Par rapport à de plus petites houles ($H_s = 1$ m, $T = 7$ s) cependant, les modélisations ont permis de montrer que dans le scénario de plus forte contrainte, la réduction des houles à la côte pouvait atteindre jusqu'à 11 % sur une section de côte de plus de 20 km.

Pour le scénario d'aménagement moyen et dans les mêmes conditions, l'impact est plus faible : 5 % sur 15 km.



Concernant les effets sur la courantologie, ils sont similaires pour les deux scénarii d'aménagement. Le changement de vitesse des courants est limité à un maximum de 0,8 m/s et 0,6 m/s pour le flot et le jusant des courants de marée, respectivement au sein d'une zone de 15 km x 15 km entourant la zone de déploiement. Le changement prévu sur les courants de marée ne s'étend pas à la côte dans les deux cas.

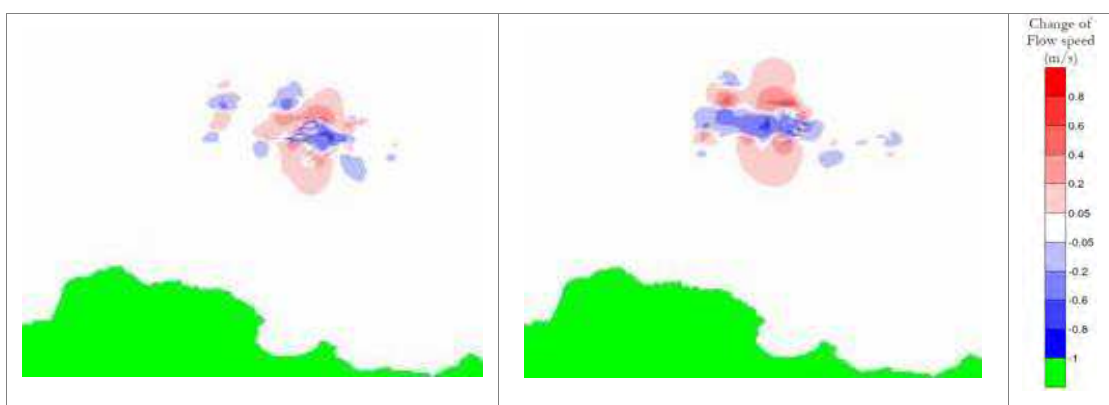


Figure 37 : Variations des courants de marée associées au scénario de plus forte contrainte en condition de flot (gauche) et de jusant (droite).

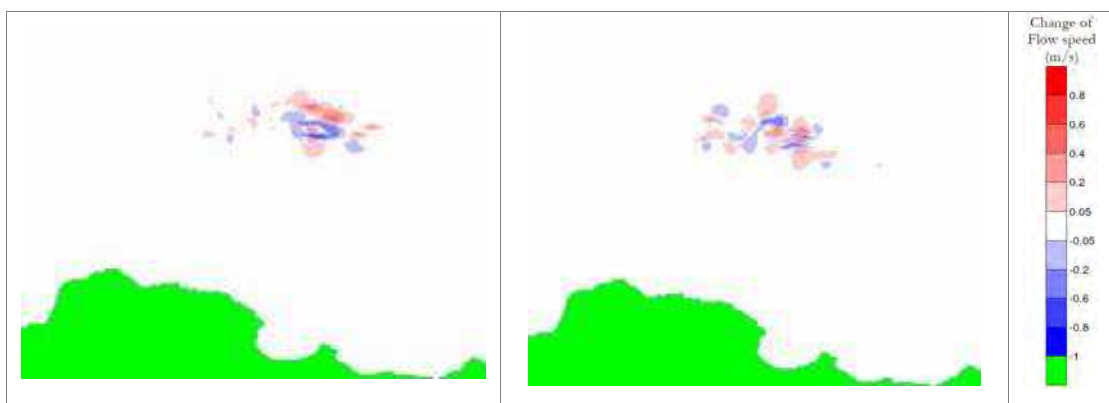


Figure 38 : Variations des courants de marée associées au scénario d'aménagement typique en condition de flot (gauche) et de jusant (droite).

Concernant enfin la modélisation du transport sédimentaire, les tendances générales de la sédimentation sont similaires pour les deux scénarii, même s'ils s'exercent sur une zone plus vaste pour le scénario de plus forte contrainte. Ceci peut s'expliquer par le fait que bien que la présence des dispositifs proposés a une incidence sur la houle, cet effet n'est pas perceptible sur le fond marin à des profondeurs d'eau de plus de 50 m.

Pour les deux scénarios, les changements encourus sur le régime des vagues et des courants n'entraîne pas d'effet perceptible sur le transport sédimentaire à la côte, ni un effet visible sur le niveau des plages (soit un changement de moins de 0,2 m du niveau de la plage lors de tempêtes extrêmes). Ce changement est minime par rapport aux variations typiques saisonnières constatées dans la région qui peuvent atteindre jusqu'à 1,8 m dans certaines zones à la suite de violentes tempêtes.

10 Emissions lumineuses

Face aux lumières artificielles, les oiseaux et plus particulièrement les oiseaux migrateurs se trouvent parfois désorientés. Il semblerait en effet qu'en période nocturne, leur orientation naturelle se fasse par rapport aux étoiles par temps clair et par rapport au champ magnétique terrestre par temps plus couvert. Des analyses ont montré que le « compas magnétique » des oiseaux dépend ainsi étroitement des longueurs d'ondes du spectre lumineux. La bonne orientation des oiseaux migrateurs dépend de la partie bleue et verte du spectre lumineux tandis que la lumière rouge la perturbe (Wiltchko et *al.* 1993 et 1995, Poot et *al.* 2008). C'est dans ce contexte que les éclairages littoraux et des grandes agglomérations sont susceptibles de perturber leur orientation par attraction vers des sources anthropiques. Déviés de leur trajectoire, ils peuvent s'amasser autour de sources lumineuses artificielles telles que les phares ou encore les axes routiers et voler ainsi jusqu'à épuisement.

Plusieurs retours d'expérience de l'industrie pétrolière illustre l'étendue de cette perturbation en mer, au niveau des installations offshore.

Etudes de cas : pollution lumineuse et perturbations migratoires des oiseaux

Une étude de terrain réalisée par Marquenie et van de Laar (2004) sur une plateforme pétrolière a consisté à comptabiliser le nombre d'oiseaux attirés par l'éclairage par unité de temps après mise en route et extinction des éclairages. Les résultats sont présentés dans le tableau suivant.

Tableau 10 : Réaction des oiseaux à l'éclairage d'une plateforme pétrolière offshore lors d'une période de migration, pour une intensité lumineuse de 30 kW.

Temps en minutes après mise en marche des éclairages	Nombre d'oiseaux attirés par l'éclairage
7	200-250
12	1 000
20	1 500
25	2 000
30	4 000-5 000
Temps en minutes après extinction des éclairages	Nombre d'oiseaux attirés par l'éclairage
3	Diminution significative
15	Aucun

Lorsque les éclairages sont mis en route, le nombre d'oiseaux à proximité de la plateforme

augmente rapidement tandis qu'ils se dispersent rapidement lors de l'extinction des feux. L'aire d'influence d'un éclairage maximal à 30 kW a été estimée entre 3 et 5 km.

Une seconde expérience réalisée dans les mêmes conditions a tenté de quantifier le rôle de la couleur et de l'intensité des éclairages sur l'attraction des oiseaux (tableau 10).

Tableau 11 : Interactions entre intensité lumineuse et nombre d'oiseaux attirés par les éclairages

Puissance des éclairages (W)	Type d'éclairage	Nombre d'oiseaux
300	Eclairage de sécurité rouge et vert	Aucun
1 500	Lampe à sodium des grues	Faible nombre
1 960	Sources lumineuses supérieures et éclairage de la piste d'hélicoptère	Nombre limité
640	Eclairages TL de la partie supérieure de la piste d'hélicoptère	Quantités croissantes
30 000	Eclairage TL (400 x 36 W) et lampes à sodium (20 x 400 W)	Important à très important pendant les périodes de forte migration

Les oiseaux marins migratoires sont donc sensibles aux éclairages nocturnes et peuvent être déviés de leur trajet migratoire par d'importantes intensités lumineuses.

Une étude menée par Russel et *al.* (2005) sur les plateformes pétrolières dans le Golfe du Mexique conclut ainsi à une moyenne de 50 collisions aviaires par an et par plateforme.

L'industrie pétrolière offshore (Shell-Exxon Mobil) a développé des éclairages qui limitent ces incidences tout en restant compatibles aux conditions de sécurité pour le travail nocturne.

Une autre étude (BOEMRE, 2011) fondée sur des observations extensives des oiseaux migrateurs en 2007 en mer du Nord et dans le golfe du Mexique, n'a pas permis de mettre en évidence de phénomènes de désorientation ou d'attraction par les émissions lumineuses des plateformes pétrolières. Les observations ont été faites durant 525 h d'observations nocturnes incluant pour diverses situations météorologiques et phases lunaires.

Cet effet semble par ailleurs s'accroître par temps couvert, lorsque l'orientation à partir des étoiles ou de la lune est impossible (Russell 2005). Les enquêtes réalisées témoignent ainsi d'importantes collisions d'oiseaux migratoires avec des structures éclairées en période nocturne avec pluie ou de brouillard (par exemple Elkins 1983 Cochran et *al.* 1958, Case et *al.* 1965, Cunningham 1965, Herbert 1970, Weir 1976, Maehr et *al.* 1983, cité dans *California Energy Commission* 1995, Manville 2000 cité dans Erickson et *al.* 2001).

Ce point doit être documenté en fonction de la nature et de l'intensité des éclairages mis en œuvre, de leur orientation et de leurs modalités opérationnelles (éclairage intermittents ou continus par exemple) et de la coïncidence de la position des installations avec les voies de migration ou de rassemblement des oiseaux marins.

11 Produits chimiques et risques de pollutions accidentelles : pression toxicologique

Les risques de contamination chimique associés à des projets d'énergies marines renouvelables seront dans la plupart des cas similaires aux risques associés à l'ensemble des projets de construction offshore (Boelherth & Gill, 2010). Doivent être considérés :

- les risques ponctuels de contamination à caractère accidentel (rupture des circuits fermés des dispositifs, collision et naufrage, etc.) ;
- les risques ponctuels de contamination liés à des opérations contrôlées essentiellement en phase travaux (dragages et immersions, forages, mise en place du mortier, etc.) ;
- les risques associés à une diffusion de long terme de substances contenues dans les dispositifs et exposées au milieu marin (peintures, corrosion des structures et des câbles).

11.1 Risques ponctuels de pollution accidentelle

11.1.1 Risques associés aux moyens nautiques mobilisés

Les contaminants associés au risque de collisions accidentelles de navires entre eux ou contre des ouvrages sont principalement le pétrole, et en deuxième lieu, certains contaminants chimiques pouvant être présents sur les navires.

En contact avec le pétrole, les animaux marins succombent le plus souvent, soit par une contamination extérieure qui détruit leur protection contre le froid et l'eau, soit par une contamination intérieure par une prise qui nuit aux organes. Les poissons sont par exemple frappés par un changement du rythme cardiaque et respiratoire. Le pétrole influence également la reproduction des espèces à long terme.

Les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAPs), un composant de pétrole, sont par ailleurs difficiles à nettoyer. Ils demeurent dans le sédiment plusieurs années et constituent des substances carcinogènes, mutagènes et tératogènes.

11.1.2 Risques associés à la diffusion de fluides de travail

Ces risques sont étroitement liés au dispositif considéré et plus particulièrement à la nature des fluides de travail mis en jeu, ainsi qu'à la sécurisation des ouvrages vis-à-vis des risques de fuite.

Pour les pompes à chaleur par exemple, l'impact direct sur l'environnement du R-134a utilisé comme fluide frigorigène est négligeable. Néanmoins, l'effet indirect associé à l'évaporation de ce fluide dans l'atmosphère peut être considéré ; l'effet de serre associé à ce gaz est 1 300 fois plus fort que celui du CO₂.

Pour les ETM à circuit fermé, c'est le plus souvent l'ammoniac qui est envisagé comme fluide de travail. Substance nutritive à petite dose, elle devient toxique pour la faune pour des concentrations supérieures à 0,35 mg/m³.

Les risques de fuite d'huiles concernent également les autres dispositifs (éoliennes, hydroliennes ou houlomotrices). Si la sécurisation des circuits de fluides de travail est nécessaire, on notera que des huiles biodégradables existent et que leur emploi permette de limiter les risques de toxicité sur les milieux en cas de fuite.

11.2 Risques ponctuels associés à certaines opérations contrôlées

11.2.1 Remaniement des fonds et remises en suspension de matériaux

Comme cela a été présenté au point 1 de ce chapitre, les opérations de dragage, de forage ou d'ensouillage conduisant au remaniement des fonds et à la dispersion de particules fines par remise en suspension peuvent être des sources de contamination du milieu.

Le risque ne peut être évalué qu'au cas par cas, sur la base d'une analyse pertinente de la qualité des matériaux pouvant être remobilisés. Si une analyse préalable des matériaux est indispensable, on estime tout de même que le risque de travailler avec des matériaux contaminés est relativement faible pour des projets localisés au large, sur des sites éloignés de toute sorte de pollution. En revanche des précautions particulières pourront être prises sur des sites plus proches du rivage, là où des influences continentales par rejets anthropiques peuvent avoir eu lieu.

11.2.2 Coulage de mortier

Une contamination par écoulement accidentel de mortier pendant la phase de construction peut être envisagée. A l'état humide, le mortier et le béton émettent des polymères organiques ou des métaux lourds susceptibles de contaminer les organismes marins pélagiques ou benthiques. On considère que cet effet affecte principalement le benthos et indirectement les organismes qui s'en nourrissent.

11.2.3 Opérations de maintenance

Le décapage des structures éoliennes d'un parc par raclement ou par projection de sable à haute pression est susceptible de relâcher plusieurs mètres cubes de peinture si aucune précaution n'est prise pour la récupérer (Bio/consult 2010 in Wilhelmsson et al. 2010).

Le renouvellement des liquides hydrauliques dans les dispositifs en faisant usage (transformateurs, dispositifs houlomoteurs, etc.) ne doit par ailleurs pas être à l'origine d'un rejet des fluides usés dans le milieu naturel.

11.3 Risques de diffusion à long terme

11.3.1 Peintures

Les peintures antisalissure contiennent des substances toxiques qui émettent lentement des métaux lourds pour empêcher les organismes marins de se développer sur les structures immergées. Leur utilisation est cependant fortement régulée et orientée vers l'utilisation de laques à faible toxicité ou toxicité nulle. Certaines éoliennes sont par exemple recouvertes de revêtements polyester renforcés d'écailles de verre ne présentant pas de pouvoir biocide (Wilhelmsson et al., 2010).

Des émissions d'oligométaux comme le cuivre, le zinc et certains hydrocarbures peuvent cependant avoir lieu. Des suivis réalisés à proximité de plateformes pétrolières en Californie n'ont cependant pas révélé d'anomalies sur les moules, les crabes et les poissons pour ce type de contamination (Schroeder & Love, 2004, in Wilhelmsson et al., 2010) et on estime par exemple que le risque de pollution par ces éléments pour des dispositifs éoliens est encore moins probable.

11.3.2 Câbles électriques

La détérioration naturelle de câbles électriques sous-marins par abrasion ou corrosion peut constituer une source de contamination du milieu marin en certains métaux lourds. A titre

indicatif, la teneur en plomb d'un câble armé d'une gaine métallique de 3,5 mm d'épaisseur et d'environ 12 kg par mètre linéaire (OSPAR, 2008).

11.3.3 Anodes sacrificielles

L'utilisation de protection cathodique par anodes sacrificielles est une technique efficace mise en œuvre pour lutter contre la corrosion des matériaux métalliques immergés en mer. Les anodes sont constituées de différents métaux plus réducteurs que le métal à protéger (généralement du magnésium, du zinc ou de l'aluminium), et leur oxydation entraîne une diffusion d'éléments métalliques sous formes d'ions et d'oxydes.

La bioaccumulation de ces éléments métalliques et les risques écotoxicologiques associés doivent être évalués, notamment au regard des processus de fouling des ouvrages anthropiques en jeu et des possibilités d'effet récif et réserve souhaité pour les parcs EMR.

Etude de cas : étude du transfert d'éléments métalliques d'anodes sacrificielles AL-IN vers l'environnement (Pineau et al., 2011)

Pineau et al. (2011) ont souhaité étudier les risques associés à la diffusion d'éléments métalliques en provenance d'anodes sacrificielles en aluminium. Pour ce faire, les expérimentations ont porté sur la distribution de l'aluminium dans des moules (*Mytilus Edulis*) prélevées in-situ dans un grand port français, sur le littoral de la Manche, dont les infrastructures sont protégées par anodes sacrificielles en aluminium. L'objectif était l'observation des processus de bioconcentration/ détoxification mis en place par le bivalve par suivi des métaux dans les différents organes des organismes.

Les résultats de suivi complémentaire en laboratoire démontrent que la glande digestive de la moule *Mytilus edulis* est un organe cible de stockage de l'aluminium. La rapide diminution des concentrations mesurées dans cet organe avant la mise en décontamination de l'eau de mer est probablement liée à un (ou des) processus de détoxification naturelle mis en place par le bivalve.

L'étude des animaux prélevés dans les ports semble indiquer que la protection cathodique des ouvrages métalliques maritimes par anodes sacrificielles en aluminium/indium ne semble pas engendrer une surconcentration d'éléments métalliques dans le milieu environnant et dans les organismes vivants. Les observations montrent que la majeure partie de ces éléments demeure à la surface de l'anode, sous forme d'oxydes. Une difficulté de ces observations est de distinguer l'origine des éléments mesurés *in situ* (provenance de l'anode ou du milieu naturel) et d'identifier les éléments présentant le plus de risques écotoxicologiques qui sont diffusés à de faibles concentrations vers l'environnement.

Chapitre 3 - Synthèse des connaissances des impacts sur les principaux usages et aménités de l'espace maritime

L'activité accrue à l'intérieur des eaux marines de l'Europe a mené inévitablement à une concurrence croissante pour l'espace maritime. Les revendications rivales dans tout un éventail d'activités, incluant la pêche, la navigation de plaisance, les emplacements alloués pour des exercices militaires, les dépôts d'anciennes munitions, les secteurs de navigation et de mouillage, les champs pétroliers et gaziers, l'extraction de sable et les énergies marines renouvelables s'accompagnent d'une pression accrue sur les écosystèmes et les habitats vitaux. La mise en place d'éléments de coordination pour l'attribution de l'espace maritime aux différents secteurs constitue ainsi un préalable indispensable pour éviter les problèmes de chevauchement et de conflits entre les parties prenantes. Par ailleurs ces développements dans la zone maritime transfrontalière d'un pays peuvent avoir des impacts sur un autre.

Le changement d'affectation d'une partie de l'espace maritime nécessite une concertation accrue avec les usagers du milieu (pêche, tourisme...) afin de garantir son acceptabilité. Le tableau 12 analyse, en première approche, les différents conflits potentiels que peut induire le déploiement des énergies marines renouvelables (EMR) et liste les mesures envisageables visant à les supprimer ou à les réduire.

Tableau 12 : Conflits potentiels entre EMR, usages et aménités des espaces maritimes. Mesures pour minimiser ces conflits¹⁵

Thèmes	Conflits potentiels	Mesures pour réduire les conflits
Pêche professionnelle	Impacts sur les espèces commerciales, Perte de zone de pêche, Allongement des routes pêche, Augmentation des consommations de carburant et perte de revenus	Choix des zones et des modalités d'implantation des EMR en concertation avec les professionnels. Mesures d'accompagnement pour limiter les pertes de revenus.

¹⁵ Tableau adapté de : Réseau Transnational Atlantique. Développement des énergies marines renouvelables : conditions de succès dans les régions du RTA de l'Arc Atlantique. Rapport 2010.

Activités aquacoles : pisciculture marine et activités conchylicoles	Impact de l'implantation des EMR et des câbles de raccordement sur des exploitations existantes au large ou sur l'estran, Impact indirect sur la qualité de l'eau pendant les travaux, l'exploitation et le démantèlement des EMR	Implantation des EMR hors des zones potentiellement favorables aux activités aquacoles Possibilité d'associer des cultures marines aux infrastructures des EMR
Navigation commerciale	Interférence avec le libre passage	Eviter les routes de grand trafic maritime. Dispositions réglementaires pour le transport maritime à l'intérieur ou autour des sites EMR
Navigation de plaisance	Restrictions d'évolution	Dispositions réglementaires (zone de restriction de la navigation, balisage)
Zones d'évolution militaire (navires, aéronefs, sous-marins)	Perte ou restriction d'espaces d'utilisation	Négociations à mener dans le cadre de la politique de l'Etat
Trafic aérien	Obstacle à la navigation aérienne en particulier pour les aéronefs volant à basse altitude	Eviter les couloirs de navigation aérienne
Systèmes de radionavigation et radars	Perturbation possible des systèmes embarqués et à terre	Eloignement des parcs d'EMR des principales routes maritimes fréquentées
Gazoducs et oléoducs	Perte ou restriction des surfaces disponibles pour les tracés	Eviter les tracés des pipelines
Câbles de communication sous-marine	Perte ou restriction des couloirs disponibles pour leurs implantations	Planification des points de passages des câbles existants et nouveaux
Extraction de granulats marins	Impossibilité d'exploiter un gisement, Perte temporaire ou restriction des extractions, Perturbation des exploitations existantes.	Eviter les zones d'extraction autorisées
Activités pétrolières et gaz offshore	Exclusion temporaire ou restriction d'exploitation ou d'exploration	Eviter les zones de desserte, garder un espace suffisant pour la poursuite des activités d'exploration ou d'exploitation
Sites d'immersion de matériaux de dragage	Perte des capacités d'accueil du site	Planifier les EMR en dehors des sites d'immersion et de leur extension possible
Sites d'immersion de munitions	Risque d'explosion	Eviter les sites d'immersion de munitions

Tourisme	Pertes de revenus touristiques	Choix d'un emplacement approprié. Valorisation possibles installations (tourisme industriel)
Paysage maritime	Perte d'aménités	Eviter les points de vue sensibles ; choisir un emplacement suffisamment éloigné du rivage
Patrimoine historique archéologique subaquatique	Détérioration ou perte du patrimoine immergé	Archéologie préventive
Recherche scientifique	Pertes de sites d'intérêt scientifique ; restrictions pour la recherche	Eviter les zones utilisées pour les travaux de recherche scientifique

1 Impacts sur les activités de pêche professionnelle

1.1 Enjeux

La pêche professionnelle est une activité économique de premier plan, les pêcheurs professionnels étant les utilisateurs historiques de la mer. Les professionnels de la pêche soulignent que l'implantation des éoliennes, des hydroliennes ou des systèmes houlomoteurs peut présenter des risques de perturbation aussi bien des zones travaillées par les pêcheurs que des zones de frayère et de nourricerie. Les marins pêcheurs peuvent être potentiellement d'autant plus impactés que certaines ressources s'affaiblissent et que certains espaces diminuent, du fait du développement d'autres usages maritimes, de pollutions telluriques ou pour des besoins de protection du milieu naturel.

Mais la difficulté provient en grande partie de l'incertitude sur les interactions entre pêche et exploitation des énergies marines, et seule l'observation à long terme sera en mesure d'apporter des réponses.

Toutes les zones littorales françaises, quasiment sans exception, sont fréquentées par les pêcheurs (Secrétariat Général de la Mer. 2002). En 2002, le Secrétariat général de la Mer, s'intéressant à l'impact des éoliennes offshore sur la pêche professionnelle en mer, soulignait que :

- si les exigences de sécurité sont respectées, l'éolien n'est pas *a priori* incompatible avec le maintien de certains types de pêche (hors période d'installation).
- il convient toutefois d'éviter les zones traditionnelles de pêche en particulier les zones exploitées intensivement,
- tout projet d'affectation de zones à l'implantation de parcs éoliens soit étudié en concertation avec les pêcheurs (concertation le plus en amont possible), et que des compensations soient éventuellement envisagées.

Au-delà de la filière éolienne offshore, ces trois éléments d'analyse s'appliquent à l'ensemble des énergies marines renouvelables.

1.2 Impacts potentiels

Les impacts génériques identifiés comme significatifs sur la pêche peuvent revêtir des conséquences négatives comme positives (Blyth-Skyrme, R.E., 2010).

Impacts potentiels négatifs	Impacts potentiels positifs
<ul style="list-style-type: none"> ● Perte d'accès à la ressource pendant la construction et la maintenance des parcs, ● Impact sur la sécurité nautique du fait des structures immergées et émergées, ● Nécessité d'adapter les engins de pêche et les pratiques à l'intérieur ou autour des parcs éoliens, ● Perte d'habitats pour certaines espèces, ● Problématique du report d'effort et problèmes de cohabitation entre métiers, ● Impacts indirects sur la filière aval, ● Transfert possible de certains équipages des bateaux de pêche vers les navires de servitude. 	<ul style="list-style-type: none"> ● Certaines espèces cibles peuvent bénéficier des habitats artificiels créés par les structures immergées, ● L'impact de la filière sur l'activité portuaire (construction, maintenance) peut contribuer à maintenir et augmenter les services destinés aux pêcheurs, ● Opportunité de créer des emplois alternatifs ou de nouveaux emplois pour la construction et la maintenance.

La critique générale des pêcheurs est d'abord celle de l'amputation de leurs secteurs de pêche (Delpech J.-P et R. Kalaydjian). En raison du niveau général de l'effort de pêche actuel, surtout dans la zone littorale (la bande des douze milles) qui est naturellement la plus exploitée et convoitée, il n'y a pas de zones vierges de report d'effort possible, tout du moins dans un rayon raisonnablement accessible aux navires de taille petite à moyenne. Le report d'effort se fera nécessairement sur des secteurs déjà pratiqués, d'où une concurrence encore plus sévère pour l'espace de travail (renforcement de la compétition entre métiers différents de la pêche et au sein d'une même activité).

Le contournement des parcs éoliens peut concerner très directement certaines flottilles pour se rendre sur leurs lieux de pêche. Pour les plus petits bateaux, qui ont un rayon d'action limité, ce peut être un problème très pénalisant au quotidien (par exemple, rajouter une heure de transit à une sortie de deux heures) ; sans compter la distance accrue pour rentrer au port en cas de mauvaises conditions météo ou autre urgence (problème de sécurité donc).

L'interdiction d'accès peut se traduire par des zones de pêche interrompues : par exemple une traîne de chalutage qui devient inexploitable si elle est coupée par un secteur interdit. Compte tenu des diverses obstructions (épaves...) avec lesquelles les pêcheurs doivent déjà composer et de l'encombrement fréquent des secteurs de pêche (cohabitation entre métiers aux arts traînants et aux arts dormants, en concurrence pour un même espace, et parfois une même ressource), une traîne ne peut pas se substituer à une autre : elle devient impraticable. Il en est de même avec la pose des filets fixes.

Il n'est pas certain que l'aspect positif de l'effet refuge sur la ressource halieutique au sein même du site, soit sensible en périphérie du site, donc là où les pêcheurs pourront venir travailler, espérant des rendements meilleurs. En revanche, si la restriction d'accès n'est que partielle, et si l'exercice des arts traînants est limité, les autres métiers pourront bénéficier de

l'effet refuge du site pour certaines espèces d'intérêt halieutique. Mais cet effet positif ne sera durable que si une gestion raisonnée est mise en place dès l'ouverture du site.

Pêche et développement des parcs éoliens en mer au Royaume-Uni (Blyth-Skyrme, R.E. 2010)

Le premier grief des pêcheurs est la perte potentielle de zones de pêche dans l'aire d'implantation et d'influence des EMR, cumulée avec l'augmentation des temps d'accès à la ressource et la compétition avec d'autres zones de pêche (Mackinson et al. 2006).

L'un des principaux enjeux est de savoir si la pêche peut continuer à s'exercer dans l'emprise des parcs éoliens et aux alentours. Une étude (Blyth-Skyrme, R.E. 2010) a examiné 16 cas de parcs éoliens au Royaume-Uni. Elle indique que sur 8 sites (50 %), il n'y a pas de restriction de la pêche. Pour 25 % des 16 cas, il y a une exclusion de la pêche dans un rayon de 500 m autour des machines.

Pour les 25 % restants, les documents d'autorisation ne donnent pas d'information sur le sujet. Dans le cas où la pêche est autorisée, les documents ne donnent pas d'information sur les modalités de la pêche (type d'activités ou d'engins).

En particulier les arts trainants peuvent être incompatibles avec les infrastructures (croches sur les câbles s'ils sont insuffisamment enfouis). Il y a lieu de distinguer les chaluts des dragues à coquillage dont l'empreinte est beaucoup plus faible et qui peuvent être utilisées dans la zone du parc (BERR, 2008),

La connaissance des fonds et du comportement des espèces peut prendre plusieurs années et les espèces cibles sont souvent très mobiles. Les pêcheurs doivent donc adapter leurs pratiques en fonction de la saisonnalité (zones de pêche différentes pour une même espèce, alternance du type de pêche). Ils subissent la concurrence d'autres activités maritimes (extraction de granulats, industries offshore comme l'exploitation du gaz et du pétrole) qui réduisent d'autant l'accès à la ressource. La réglementation du Royaume-Uni préconise une exclusion des activités de pêche à moins de 500 m des installations d'extraction de gaz et de pétrole (DTI 1987), alors que cette distance n'est que de 50 m autour de chaque turbine (BERR 2007).

Cette distance réglementaire devrait laisser une aire de manœuvre suffisante pour pêcher à l'intérieur du périmètre d'un parc offshore, cependant les parcs les plus anciens sont caractérisés par des distances entre machines relativement faibles par exemple 400 m à Robin Rigg (Edwards et Mc Callum 2002) et 350 m à North Hoyle (NWPO 2002). Cette interdistance assez faible implique que les manœuvres de pêche ne sont pas suffisamment sécurisées notamment par mauvais temps ou marées de fort coefficient (Mackinson et al. 2006).

Dans les parcs nouvellement construits ou en cours de construction, les machines sont implantées avec des interdistances plus importantes : 630 m à Docking Shoal (Centrica 2008) et 500–800 m à Humber Gateway (E-on 2009). Il en résulte que le potentiel de pêche dans les futurs parcs devrait être meilleur. Cependant, les autorités souhaitent que soient exclus les engins de pêche pouvant entraîner des dommages aux infrastructures, notamment les engins trainants, comme cela a été suggéré sur plusieurs sites : Gunfleet Sands II (Dong Energy 2007), London Array (RPS 2005) et Sheringham Shoal (SOE 2006). A l'opposé, les engins trainants sont autorisés dans d'autres sites : Barrow (RSK Environment 2002), North Hoyle (NWP 2002) et Oriel (AFIS 2007).

Les arts dormants n'ont fait l'objet d'aucune exclusion dans le périmètre des parcs éoliens. Ils pourraient bénéficier de zones réservées et interdites aux arts trainants. Les risques d'accrochage des câbles dans les emprises des parcs sont à examiner.

Les câbles de raccordements électriques des EMR à la côte peuvent aussi avoir un impact sur les arts trainants, même si les câbles sont enfouis (risques de croche), *a fortiori* lorsque les câbles ne sont pas enfouis et maintenus au fond par différents types de cavaliers.

Des impacts positifs sont cependant attendus du développement des parcs éoliens offshore. Les fondations des éoliennes et les protections par enrochements peuvent constituer des récifs artificiels

susceptibles d'attirer et de fixer certaines espèces cibles et servir d'habitat à des juvéniles. Le rôle des infrastructures dans la création de récifs artificiels est soulevé dans la plupart des études d'impact des projets : Côte d'Albâtre (Enertrag 2006), Dudgeon (DOW 2009), Gunfleet Sands II (Dong Energy 2007), Horns Rev (Elsam Engineering et ENERGIE2 2005), Kentish Flats (Emu Ltd. 2002), Oriel (AFIS 2007), Ormonde (EEC 2005) and Sheringham Shoal (SOE 2006).

En conclusion, le développement des énergies marines peut modifier les habitats marins et se traduire par des conflits d'usages pour les professionnels (pertes de zones de pêche). C'est pourquoi, comme rappelé en introduction, la concertation préalable est indispensable avec l'ensemble des acteurs du milieu maritimes, notamment les pêcheurs professionnels (CNPMM, 2011).

1.3 Une étude de cas : l'appréciation des impacts de la seconde génération de parcs éoliens sur l'industrie de la pêche au Royaume-Uni

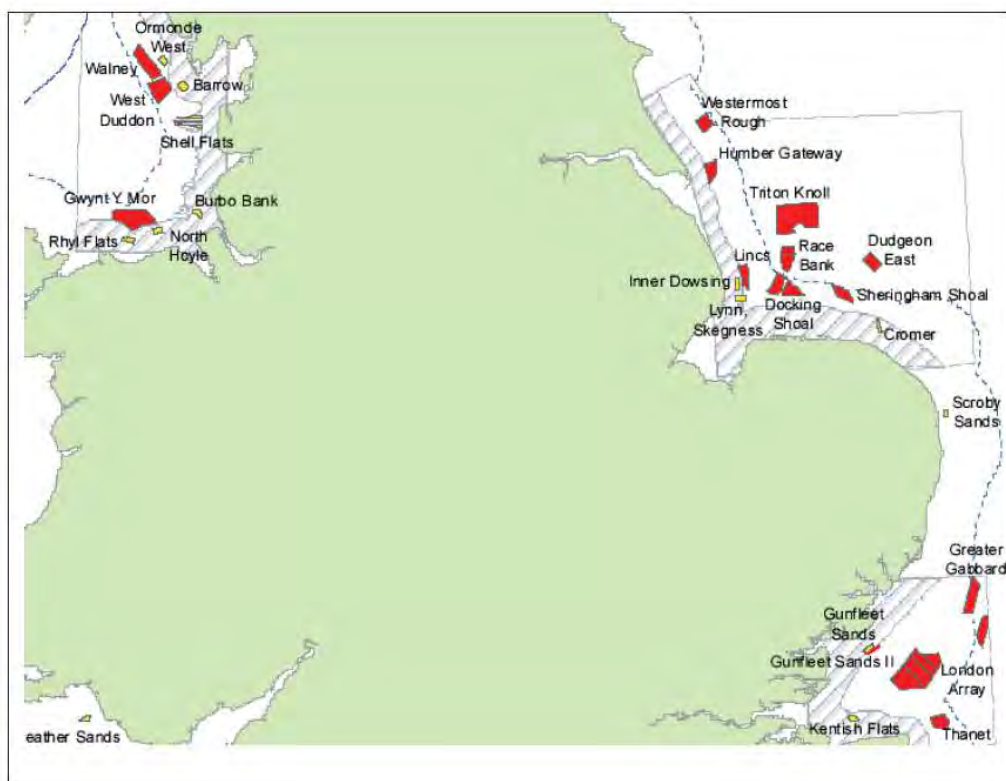
L'étude de cas décrit les investigations menées pendant une année d'étude, pour évaluer les impacts de la seconde vague de parcs éoliens au Royaume-Uni sur les activités et les revenus de l'industrie de la pêche (Mackinson, S. et al., 2006). Elle repose sur une enquête auprès de 1 027 pêcheurs contactés, sur 6 réunions avec les organisations professionnelles et 15 réunions avec des groupes de pêcheurs.

1.3.1 La zone d'étude

Le développement de l'éolien offshore a démarré en 2001 dans le Royaume par la construction de 18 sites représentant plus de 10 km² et accueillant en moyenne 30 machines (Figure 18).

Douze sites de première génération ont reçu le permis de construire du DEFRA (*Department of Environment, Food and Rural Affairs*) et l'autorisation de produire de l'électricité du DTI (*Department of Trade and Industry*). Faisant suite à une évaluation environnementale stratégique, 15 sites de deuxième génération ont fait l'objet d'un appel d'offres dans trois régions stratégiques : l'estuaire de la Tamise, Greater Wash and le Nord-Ouest de la côte de l'Angleterre. Les sites couvrent plus de 200 km² et accueilleront 250 turbines.

Figure 39. Sites de parcs éoliens au Royaume-Uni



En jaune : sites de premières génération ;

En rouge : sites de deuxième génération ;

Pointillé bleu : limite des 12 milles nautiques

Zone hachurée en gris : périmètre de l'évaluation environnementale stratégique mené par le DTI.

1.3.2 Caractéristiques de la flotte et des activités de pêche

Sur une flotte de 700 navires de pêche, les trois-quarts pêchent dans les secteurs concernés par l'extension des parcs éoliens. Quelque 27 métiers différents y sont présents.

Figure 40 : Nombre de navires de pêche commerciaux dans chaque région de développement éolien

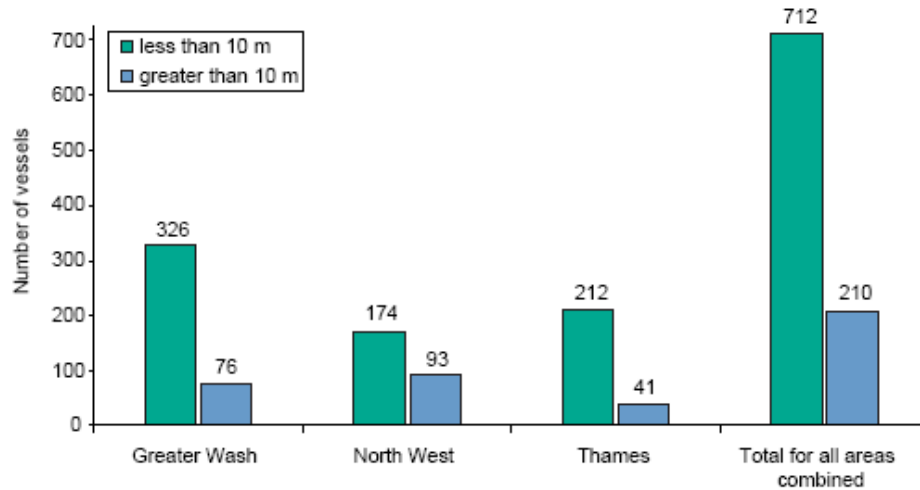
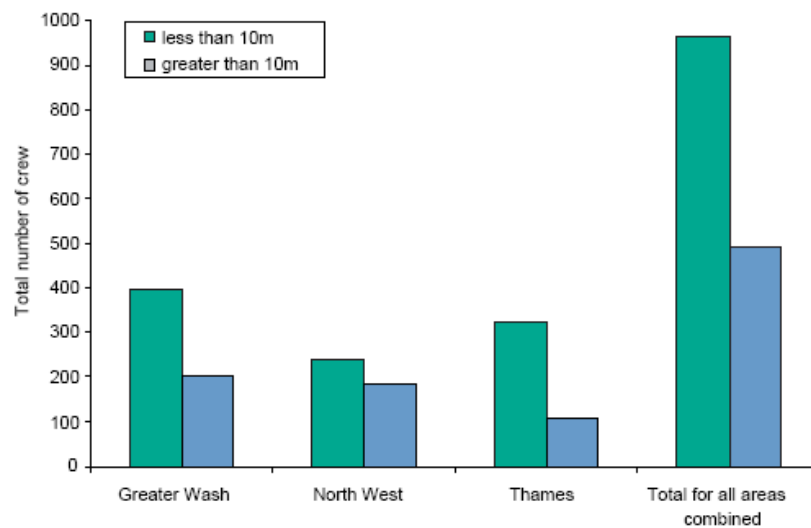


Figure 41 : Nombre de membres d'équipages employés par région



1.3.3 Résultats des enquêtes

Les enquêtes menées au Royaume-Uni ont fournis les résultats suivants :

- Les pêcheurs sont inquiets pour leur avenir ;
- Les principaux impacts attendus sont l'éviction des zones de pêche entraînant plusieurs effets : une compétition accrue entre les divers métiers, une augmentation des consommations de carburants, des impacts cumulatifs avec ceux liés à la diminution de la ressource elle-même ;
- Peu de pêcheurs considèrent le développement de parcs éoliens comme une opportunité pour de nouvelles pratiques à cause des questions de sécurité de la navigation et des risques liés au changement ;
- Les machines sont considérées comme un risque majeur pour la navigation ;
- Les pêcheurs-plaisanciers sont le seul groupe qui attend des effets bénéfiques de ce développement ;
- La création des zones de conservation ou de récifs artificiels qui peuvent éventuellement abriter les juvéniles de certaines espèces, sont considérés comme les actions les plus positives ;
- L'étude insiste sur la nécessité de développer une coopération entre les industries des énergies renouvelables et les organisations socioprofessionnelles des pêcheurs pour évaluer au mieux les effets directs et indirects ainsi que les mesures réductrices et les compensations ;
- Les pêcheurs souhaitent que les retours d'expérience des sites de première génération et des projets internationaux leur soient communiqués afin qu'ils adaptent leur stratégie ;
- La valeur marchande des débarquements n'est pas facile à estimer du fait du caractère incomplet des données relatives aux bateaux de moins de 10 m et de la réticence des pêcheurs à communiquer les paramètres de leur pêche ;
- Il existe des différences de revenus importantes entre les pêcheurs de coquilles (bons profits), les chalutiers et les fileyeurs dont les revenus sont moindres ;
- Les pêcheurs opérant dans la partie Nord-Ouest ont des profits modestes en situation actuelle notamment en raison des coûts élevés de carburant. Environ 40 à 50 % des gains annuels sont corrélés à l'exploitation de la zone concernée par les parcs de deuxième génération ;
- La plupart des scénarios envisagés sont négatifs notamment pour les fileyeurs ;
- Il est raisonnable de s'attendre à ce que l'évitement des parcs éoliens entraîne une augmentation de la distance des routes, donc une augmentation des consommations en carburants et une perte de revenus ;
- Les plus petits navires qui ne peuvent trouver des zones de repli ou qui exploitent en priorité la zone de deuxième génération, n'atteindront pas la rentabilité après la mise en service des nouvelles éoliennes
- La réduction du nombre de navires pourra porter préjudice à la filière nautique et portuaire ;

- La reconversion vers d'autres métiers de la pêche est limitée par la disponibilité du capital, les quotas et licences de pêche et n'est pas une solution attractive au regard des risques et des coûts élevés ;
- Pour calculer les pertes sur les profits de navires de pêche, les dépenses et les gains des navires devraient être connus avant la construction des parcs éoliens (une méthode de calcul est donnée pour estimer les pertes potentielles).

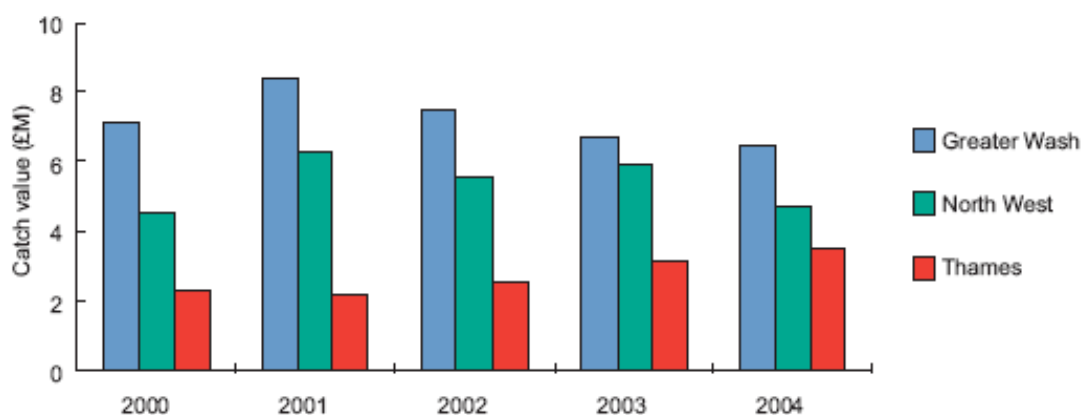


Figure 42 : Valeur des captures déclarées par les navires de 10 m basées sur les rectangles ICES couvrant les trois zones stratégiques pour le développement des parcs éoliens (Source : Defra Fishing Activity)

Les captures déclarées par les navires de 10 m basées sur les rectangles ICES couvrant les trois zones stratégiques pour le développement des parcs éoliens, sur les 5 dernières années, représentent en 2004, £15 million, 4.4 % du total déclaré pour le poisson blanc et les coquillages par la flotte de pêche du Royaume Uni (£340 million in 2004).

Figure 43 : Revenus moyens des navires de pêche susceptibles d'être impactés par les parcs éoliens de 2^{ème} génération sur la côte de Cumbria

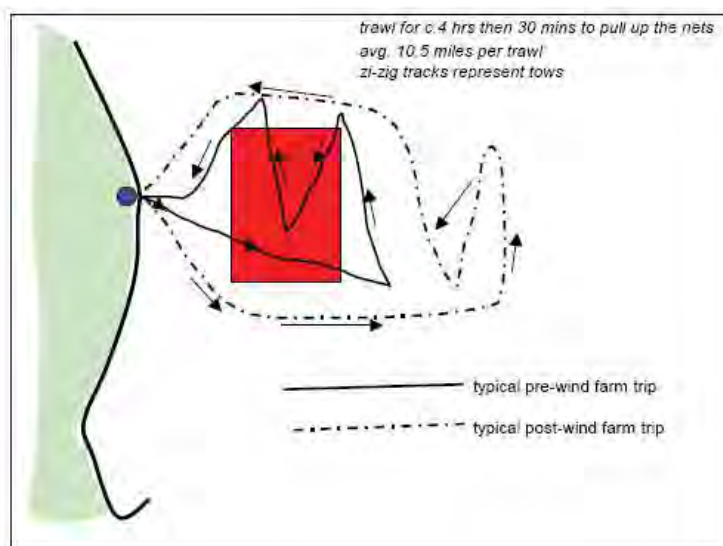
Métier (boat & gear type)	Notes	Home port	Estimated no. of vessels affected	Estimated Average length	Estimated Average no. of crew	Estimated average earnings 2005 £
Northern Ireland twin-rig trawl	<i>Nephrops</i> with whitefish by-catch	Portavogie, Kilkeel	30	21 m	5	300,000
Northern Ireland single-rig trawl	<i>Nephrops</i> with whitefish by-catch	Portavogie, Kilkeel	20	17 m	4	200,000
Seine netters whitefish, flat fish.	May-Sept: 75% of catch in Round 2 area	Portavogie	2	25 m	6	280,000

Une méthode (Figure 43) est proposée pour estimer les pertes générées par la présence d'un parc éolien pour un navire de type chalutier : augmentation des distances de 15 %, réduction du temps de pêche de 15 %, augmentation des consommations en carburant de 10 à 15 % et réduction des revenus de 15 %.

Figure 44 : Deux scénarios hypothétiques illustrant les impacts économiques potentiels sur un chalut de jour devant éviter un parc éolien

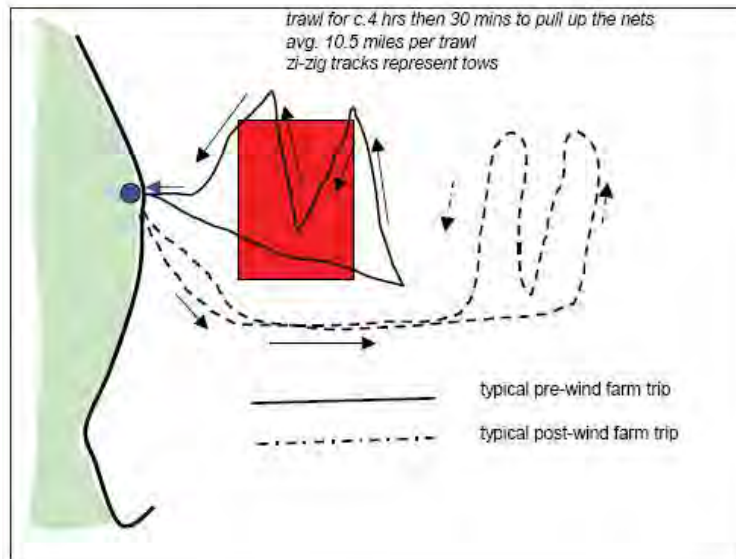
Scenario 1. Steaming distance doubles

	Before wind farm	After wind farm	Difference	% difference
Tows/shots (per day)	4	3	-1	-25.0
Towing distance (n.mi. per day)	42	31.5	-10.5	-25.0
Towing time (hours)	14	11	-3.5	-25.0
Steaming distance (n.mi. per day)	16	32	16	100.0
Steaming time (hours per day)	2.1	4.3	2.1	100.0
Total distance (n.mi. per day)	58	64	6.5	9.5
Total time (hours per day)	16.1	14.8	-1.4	-8.5
Fuel use (litres per day)	338.8	310.1	-28.7	-8.5
Fuel cost (£ per day)	111.8	102.3	-9.5	-8.5
Catch value (£ per day)	480	380	-120	-25.0
Daily margin (sales value - fuel cost)	£368	£258	-£111	-30.0
Annual margin: 150 fishing days/year	£55,229	£38,650	-£16,579	-30.0



Scenario 2. Steaming distance doubles and number of tows maintained

	Before wind farm	After wind farm	Difference	% difference
Tows/shots (per day)	4	4	0	0.0
Towing distance (n.mi. per day)	42	42	0	0.0
Towing time (hours)	14	14	0	0.0
Steaming distance (n.mi. per day)	16	32	16	100.0
Steaming time (hours per day)	2.1	4.3	2.1	100.0
Total distance (n.mi. per day)	58	74	16.0	27.6
Total time (hours per day)	16.1	18.3	2.1	13.2
Fuel use (litres per day)	338.8	383.6	44.8	13.2
Fuel cost (£ per day)	111.8	128.6	14.8	13.2
Catch value (£ per day)	480	480	0	0.0
Daily margin (sales value - fuel cost)	£368	£353	-£15	-4.0
Annual margin: 150 fishing days/year	£55,229	£53,012	-£2,218	-4.0



1.3.4 Mesures de réduction préconisées

Les enquêtes et les échanges pendant les réunions avec les acteurs locaux de la mer ont mis en avant qu'il n'y a pas de mesures de réduction « universelles » et que l'évaluation de ces mesures doit se faire au cas par cas, compte tenu des caractéristiques écologiques et socioéconomiques de chaque zone. A titre d'exemples, les tableaux suivants synthétisent les propositions faites pour l'estuaire de la Tamise et le secteur de Greater Welsh.

Estuaire de la Tamise

Mesures préconisées	Objectifs
Consultation préliminaire de la filière de la pêche industrielle	Possibilité d'influencer le choix en désignant les zones de pêche qui ont le moins de valeur
Enfouissement des câbles. Utiliser les méthodes les moins nuisantes pour l'environnement	Eviter la perturbation des fonds sédimentaires
Pose en couple des câbles de courant opposés et enfouissement à une profondeur suffisante	Minimiser les effets électromagnétiques sur les poissons et les mammifères marins
Déplacement des sites d'implantation prévus : <ul style="list-style-type: none"> • Déplacement du site de Kentish Flat de 5-6 miles, soit au-delà de la distance journalière parcouru par les petits navires • Repositionnement du parc de Londres à l'ouest de Sun sand, • Repositionnement du site de Guin Fleet de 3 milles au Nord-est 	Réduire l'interférence avec les zones de pêche et les pertes en ressources marines
Réduction de l'espacement des machines dans les limites de la sécurité de la navigation	Réduire l'emprise du parc éolien
Contribution de l'industrie de l'éolien au financement de la recherche dans le domaine de l'environnement et des ressources marines	Mesure de responsabilité pour les différentes parties affectées
Mesure d'accompagnement à long terme pour les pêcheurs	Des apports financiers annuels qui permettent aux pêcheurs de continuer leurs activités et protéger leurs revenus, est préférable à l'arrêt de l'activité et à l'attribution d'une indemnité compensatoire définitive

Greater Walsh

Mesures préconisées	Objectifs
Construire les parcs dans des zones de faible importance commerciale où l'activité de pêche est faible (fonds en fin d'exploitation de granulats marins, proches de construction offshore)	Minimiser l'impact sur les zones de pêche existantes
Déplacement du périmètre de Sherigham Shoals vers une zone moins profonde où les palangriers ne pêchent pas	Réduire l'impact sur l'activité des palangriers
Gérer la phase de construction du chantier en fonction des fenêtres environnementales	Eviter les travaux pendant des périodes critiques pour l'écologie marine (reproduction de certaines espèces)
Augmenter la distance entre les machines jusqu'à 1 500 m	Permettre l'exercice de la pêche aux palangres

1.4 Impacts prévisibles (*ex ante*) d'EMR - hors éolien offshore –

Avertissement !

Les exemples décrits dans les paragraphes 1.3.1. (Hydrolienne de Paimpol) et 1.3.2. (Projet SEM-REV) sont caractéristiques de projets « démonstrateurs » d'EMR. Leurs impacts prévisibles sont *a priori* de moindre ampleur que ceux qui relèvent d'un projet de dimension industrielle. Les conclusions présentées doivent donc être revues en fonction de l'échelle des projets matures à dimension industrielle.

1.4.1 Projet de parc démonstrateur d'hydroliennes sur le site de Paimpol Bréhat (22) développée par EDF SA¹⁶

Effets généraux du projet

Phase travaux

- Travaux de très courte durée et impacts très localisés et temporaires sur les différents compartiments,
- Impacts peu significatifs en mer (gêne éventuelle de la faune ou des pêcheurs, limitée en durée et dans l'espace),
- Tranchée du câble dans l'estran de Launay : remaniement ponctuel et localisé des sédiments, herbier de zostère, perturbation de l'avifaune et gêne des activités ostréicoles,
- Impact temporaire sur le niveau sonore ambiant et sur le paysage

Phase exploitation

- Diminution locale des vitesses de courants en aval des machines,
- Champ électromagnétique (du câble) à peine perceptible,
- Faibles risques de collision des poissons, cétacés, ou oiseaux avec les machines, pas de risque de collision avec les navires,
- Augmentation du niveau sonore ambiant (rotation des turbines et fonctionnement du convertisseur),
- Réduction géographique des usages (pêche au niveau du parc hydrolien et du banc de praires).

¹⁶ Rapport relatif à l'enquête publique sur le projet d'implantation d'un parc de démonstration d'hydroliennes sur le site de Paimpol-Bréhat, août 2010.

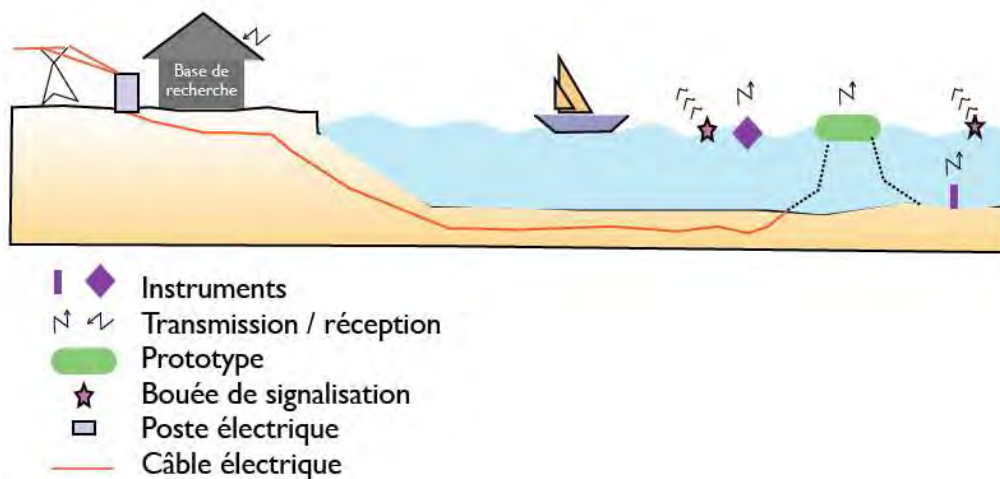
Effets sur la pêche professionnelle

Le périmètre occupé par les hydroliennes, soit 3,5 ha sur les 10 000 ha couverts par la zone de cantonnements à crustacés de la Horaine, sera interdit de pêche pendant la durée de l'exploitation du parc hydrolien.

L'impact sur la pêche professionnelle est limité car le parc est situé dans la zone de cantonnement de la Horaine (interdiction de pêche). Seuls quelques pêcheurs à la ligne et au palangre peuvent voir leurs activités perturbées sur la zone des hydroliennes. L'interdiction de draguer le long des tracés du câble dans le banc de praires concerne 2 à 3 pêcheurs sur une petite partie du banc. La profession a bénéficié de mesures compensatoires (marquage des homards).

1.4.2 Projet SEM-REV (Ecole Centrale de Nantes) d'un site d'expérimentation en mer pour la récupération de l'énergie des vagues ¹⁷

Le SEM-REV est une plateforme axée sur l'expérimentation des systèmes récupérateurs de l'énergie des vagues. Le site d'expérimentation en mer accueillera chaque prototype pour des essais de moyenne à longue durée (typiquement 6 mois à 2 ans). Le site sera équipé avec l'instrumentation de mesures océanographiques (bouées houlographes, marégraphes, bouées de mesure de vent, profileurs de courants marins, liaisons radio pour transmission des données en temps réel), l'infrastructure électrique le reliant à la côte (câble, poste de livraison, connexion réseau, instruments de mesure de la qualité du courant), et un local sur le littoral pour l'accueil des équipements de monitoring et de contrôle du système depuis la terre, ainsi que l'accueil des chercheurs, ingénieurs et techniciens en charge des mesures et du contrôle.

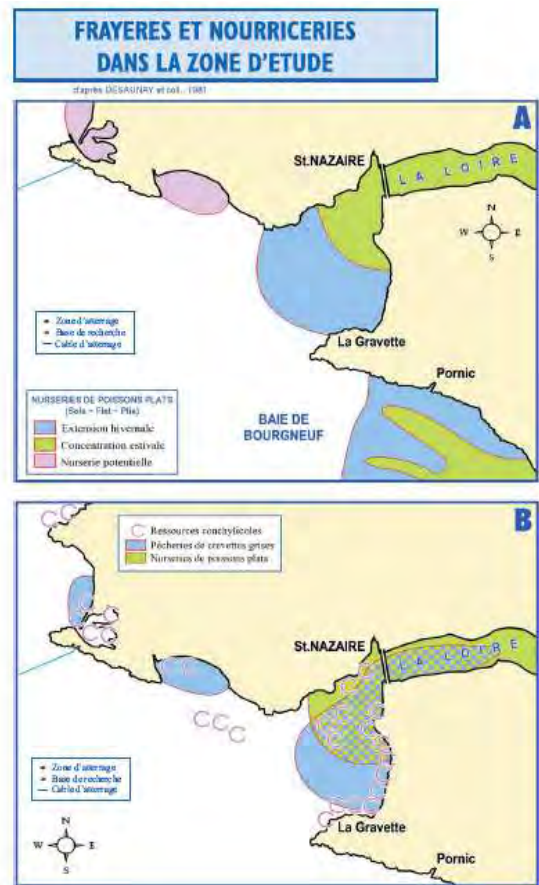


Le site disposera également d'équipement opérationnel dédié tel un navire de servitude qui servira pour le déploiement des équipements légers et pour la supervision des opérations.

¹⁷ Ecole Centrale de Nantes. Projet SEM-REV. Dossier de demande d'autorisation au titre de la loi sur l'eau. CREOCEAN, octobre 2010.

L'étude d'impact fait une description assez exhaustive de la ressource halieutique et des activités de pêche sur le secteur concerné par l'implantation du dispositif d'expérimentation.

- Ressources (poissons, crustacés),
- Frayères et nurseries identifiées,
- Ports de pêche, description de la flottille et des emplois à la mer,
- Débarquements en Loire-Atlantique par port en tonnages et en valeurs principales espèces débarquées,
- Engins utilisés et zones de pêche fréquentées,
- Saisonnalité des pêches,
- Réglementation générale et particulière à la zone concernée (chalutage de fond, chalutage pélagique, dragues à coquillages, filets, exploitation des gisements de coquilles Saint-Jacques).



L'étude d'impact évalue les effets sur la ressource et la pêche en distinguant la période de travaux (pose du câble), la période d'exploitation du dispositif et la phase de démantèlement après la fin des essais.

Pose du câble

- Le passage de l'ensouilleuse intercepte un gisement classé de coquilles Saint-Jacques (Capella). Le tracé du câble au sein de ce gisement correspond à 0,0036 km² sur les 212,4 km² qui compose le gisement de Capella, soit 0,002 % de la surface du site.
- Le passage de l'ensouilleuse conduit au dérangement physique des espèces halieutiques. Compte-tenu des dimensions de l'espace travaillé et de la très grande capacité de fuite des ressources halieutiques, l'étude d'impact conclue qu'il est très peu probable que les travaux de pose du câble en mer affectent de manière significative l'ichtyofaune et que les incidences sur les ressources halieutiques sont temporaires et négligeables.
- Les activités de pêche seront interdites pendant la durée des travaux au passage du navire câblé. Les activités halieutiques sur le secteur sont plus réduites de janvier à mars. Cette période serait donc favorable pour la réalisation des travaux, sous réserve de la faisabilité technique et des conditions météorologiques nécessaires à la réalisation de ces travaux.

Période d'exploitation

Dans l'impossibilité de connaître à l'avance les types de prototypes qui seront installés sur le SEM-REV, l'étude d'impact décrits les incidences générales en se basant, en partie, sur les informations du projet PELAMIS, système houlomoteur le plus abouti, et sur un document méthodologique de l'*U.S. Department of Energy* (US Department of Energy, 2009).

- Aucune incidence n'est attendue sur les ressources halieutiques, à l'exception d'un possible caractère attractif de la zone qui est compensé par la répulsion potentielle du fait du bruit des machines.
- La zone de 1 km² sera interdite à toute forme de navigation. Ces restrictions d'usages affectent les bateaux de pêche et les voiliers transitant sur la zone. Les routes de navires de commerce ne traversent pas, à l'heure actuelle, le site d'expérimentation en mer.
- Un ensouillage du câble à 1 m de profondeur, permet de se prémunir contre le risque d'agression sur le câble par les chaluts, les ancres de cargos moyens et des navires containers.

Démantèlement des installations

L'opération ayant le plus d'impact est le retrait du câble qui entraînera la destruction des espèces benthiques et des habitats présents sur son tracé en mer et le dérangement des espèces mobiles pendant les travaux de récupération du câble.

Mesures réductrices et compensatoires

L'étude d'impact préconise des mesures de réduction d'impact pour la phase des travaux et du démantèlement et pour le suivi des expérimentations des différents dispositifs testés pendant l'exploitation. Aucune mesure n'est proposée pour les activités halieutiques.

1.4.3 Projet houlomoteur PELAMIS à l'île de la Réunion

Le projet PELAMIS a pour objectif de produire de l'électricité à partir de la houle, sur la base d'un prototype existant.



Nom du projet	PELAMIS
Descriptif	Production électrique à partir de l'énergie de la houle, raccordée au réseau de 4 à 5 PELAMIS, 3 MW
Lieu projet	Saint-Pierre / Pointe du Diable. Ancrage sur fonds de 75 m à 100 m
Enjeu	Développer un parc de 30 machines pour 30 MW
Acteurs	Maîtrise d'ouvrage SEAWATT Partenaires financiers : ADEME, Région

Compte tenu des impacts prévisionnels des installations, la Commission « Aménagement Zone Côtière et environnement » du comité Régional des Pêches maritimes et des Elevages marins de la Réunion ¹⁸ a demandé deux mesures, l'une liée à la possibilité d'exploiter les stocks pélagiques à proximité des installations, l'autre liée à la valorisation du potentiel halieutique par la mise en place de récifs artificiels.

- Un périmètre d'exclusion à la navigation serait instauré dans et autour de la zone d'emprise des installations. La Commission a proposé que la restriction de navigation soit moins étendue pour les pêcheurs professionnels. Cette demande a pour raison l'effet de DCP (Dispositif de Concentration des Poissons) qu'entraîneront les installations. Les propositions faites portent sur une zone d'exclusion ramenée à 80 m, voire 50 m pour les pêcheurs professionnels à la traîne, 200 m pour les techniques de pêche au fond. La restriction serait de 500 m pour les autres usagers.
- La mise en place de mesures compensatoires pour compenser à la perte de zones de pêche dans le périmètre d'installation des PELAMIS. Les pêcheurs exploitent dans cette zone dite « d'accalmie » car protégée du vent pendant l'hiver austral, des crabes-girafes et des vivaneaux.

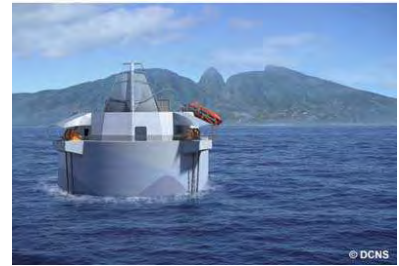
Les mesures d'accompagnement préconisées sont l'installation et la gestion d'un parc de récifs artificiels installés sous les PELAMIS et à proximité. La zone d'exclusion jouerait ainsi un rôle de réserve marine, puisqu'interdite à toute navigation (et donc à toute exploitation halieutique). Elle bénéficierait du développement d'habitats adaptés aux ressources de poissons de fond grâce aux récifs artificiels. Les zones alentours, autorisées à la pêche pour les professionnels pourraient alors être équipées avec des récifs artificiels adaptés à l'exploitation.

Il est prévu que le projet soit coordonné avec les promoteurs du projet Seawatt, qui en financeront une partie via les taxes prélevées, et bénéficie de co-financements FEP et FEDER.

1.4.4 Projet « Energie Thermique des Mers » sur l'île de la Réunion

¹⁸ Compte rendu de la réunion 12 janvier 2011

Le projet présenté par la DCNS est un démonstrateur de dimension réduite (plate-forme flottante de 30 m de diamètre x 25 m de haut, pour un tirant d'eau de 10,8 m), qui serait ancré au large de la ville du Port (à 9 milles nautiques), sur des fonds d'environ 1 000 m (rayon d'ancrage à la base d'environ 1 km, mais avec des ancres quasi verticaux).



La différence de température entre l'eau de profondeur (5°C), pompée au moyen de tuyaux d'un diamètre de 2,5 m, et l'eau de surface (entre 24 et 29°C selon les saisons), pompées à un débit chacun de 15 000 m³/h, permettrait de faire tourner une machine thermique par un procédé thermodynamique classique (détente du gaz ammoniac, et entrainement d'une turbine), afin de produire de l'énergie électrique. Celle-ci serait ensuite transportée vers l'île grâce à des câbles électriques. La puissance électrique produite serait de l'ordre de 1,5 MW, produite toute l'année (7 000 h/an). L'eau de mélange, dont la composition sera sans doute plus chargée en éléments nutritifs que l'eau de surface et d'une température de 14 à 17°C, serait ensuite réinjectée à une profondeur entre 50 et 100 m à un débit de 30 000 m³/h. Des règles strictes de navigation devront être respectées autour des installations afin de garantir la sécurité maritime et l'intégrité de la structure : un rayon d'exclusion devrait être mis en place autour du démonstrateur et certaines activités nautiques interdites dans ses abords proches.

Les impacts sur la pêche professionnels ont été décrits par le comité Régional des Pêches maritimes et des Elevages Marins de la Réunion.¹⁹

- L'impact des perturbations environnementales sur l'environnement halieutique : bruit, champs électromagnétiques, rejets d'eau de composition chimique et de température différente de celle de l'eau de surface, etc...) produites par cette structure. L'upwelling artificiel produit par cette remontée d'eau froide et chargée en éléments nutritifs profonds peut avoir des effets positifs sur la productivité du milieu, mais il risque aussi de modifier profondément les réseaux trophiques environnants, et sans doute les espèces disponibles pour la pêche, avec des risques d'impacts négatifs pour l'exploitation halieutique...
- Ce type de structure flottante peut jouer vraisemblablement un rôle de gros DCP (Dispositif Concentrateur de Poissons). Le Comité Régional demande en conséquence que les pêcheurs professionnels puissent exercer autour de la structure. Il rappelle que les embarcations de petite pêche côtière professionnelle pratiquant la pêche aux pélagiques (thons, dorades coryphènes, marlins, etc...) sont de petite taille (< 10 m), à très faible tirant d'eau, très manœuvrables et que les engins et techniques de pêche utilisées ne risquent pas de provoquer de dommages à la structure.²⁰

¹⁹ Compte rendu de la réunion du 15 septembre 2009

²⁰ Traîne et dérive = ligne en main et hameçon en subsurface ; palangre verticale = ligne dérivante sous surveillance du pêcheur.

On peut ainsi envisager des règles d'accès autour du « DCP Démonstrateur », tenant compte de ces contraintes.

- L'accès ainsi règlementé serait réservé aux pêcheurs professionnels, qui pourront assurer un suivi halieutique sous la structure par une déclaration appropriées de leurs captures. Même si le démonstrateur joue potentiellement le rôle d'un gros DCP, de nombreuses interrogations subsistent quant à son impact sur le milieu et sur le revenu des pêcheurs :
 - Quelles seront les espèces qui y seront concentrées, et de quelle manière (quantités, régularité, stabilité) ?
 - Quel impact ce démonstrateur aura t-il sur le réseau actuellement en place des DCP gérés par le Comité des Pêches ?
- Le risque de dérive des palangres de surface vers la structure semi-immersée est avancé (la pose des palangres dérivantes de surface ou *long line* est interdite dans les 12 milles nautiques autour de La Réunion, mais le respect de cette interdiction devra faire l'objet d'une plus grande vigilance de la part des organes de contrôle des pêches eu égard à ce risque).

1.5 Les mesures de réduction, de compensation et d'accompagnement

Une concertation réussie passe par des conditions d'acceptabilité techniques et financières des projets pouvant s'accompagner de mesure de réduction ou de compensation des impacts qui sont détaillées dans les pages suivantes.

Ce paragraphe présente les grandes catégories de mesures pouvant être appliquées aux activités de pêche. Elles sont inspirées de l'étude COWRIE de 2010 (Blyth-Skyrme, R.E., 2010) qui propose une batterie de mesures pour réduire ou compenser les effets négatifs des parcs éoliens offshore sur les activités de pêche maritime. Toutes ces mesures n'ont pas été reprises du fait qu'elles sont proposées dans un contexte institutionnel propre au Royaume-Uni (Angleterre) et qu'elles ne sont pas nécessairement transposables au cas français. Quatre grandes catégories de mesures peuvent être distinguées :

- **Mesures pour réduire les impacts sur la pêche,**
- **Mesures pour favoriser les stocks des espèces cibles et des habitats associés,**
- **Mesures pour accompagner les activités de pêche existantes,**
- **Mesures visant à favoriser la diversification.**

Certaines mesures techniques sont opérationnelles (choix des sites, schéma d'implantation des machines) ou en cours de développement (récifs artificiel, éco-conception des installations). D'autres mesures dépendent fortement du cadre institutionnel européen et national et des politiques publiques (énergie, aménagement du littoral...), sont mentionnées à titre indicatif.

	Mesures envisageables	Commentaires
Solutions pour réduire les impacts sur la pêche	Sélectionner des sites d'implantation de moindre impact	La concertation avec les pêcheurs professionnels permet d'éviter les sites favorables à la pêche ou présentant un intérêt halieutique (nurseries, frayères) et <i>a contrario</i> de sélectionner les sites de moindre intérêt pour la pêche. D'autres facteurs interviennent dans le choix des sites : nature des fonds, profondeur, intérêt écologique, routes de navigation, patrimoine archéologique et historique, aménités visuelles,...
	Planter le tracé des câbles de raccordement pour minimiser leur impact sur les fonds marins.	Comme dans l'item précédent, la consultation locale des pêcheurs permet de localiser les routes de pêche (traits de chalut, axe de pose de palangres), les secteurs favorables à la pêche et aux ressources halieutiques.
	Concevoir le plan d'implantation des machines de manière à éviter les zones de pêche en maintenant les accès à certaines routes ou corridors de pêche	L'espacement des turbines peut augmenter le coût de la maintenance.
Solutions pour favoriser les stocks des espèces cibles et des habitats associés	Concevoir les fondations pour être proactives à l'égard de la biodiversité marine et optimiser les enrochements de protection pour augmenter le potentiel halieutique.	Les solutions de valorisation des fondations doivent être expérimentées (programme de R et D en cours). Les espèces-cibles fréquentant les récifs artificiels doivent pouvoir être prélevés avec des engins de pêche autorisés.
	Amélioration des stocks par ensemencement à partir de stocks naturels ou en provenance d'écloseries	Du naissain de moules ou d'huitres, voire de coquilles Saint-Jacques, peut être collecté et mis en grossissement dans les parcs d'EMR (éolien posé en particulier).
Solutions pour accompagner les activités de pêche existantes	Nouveaux engins ou équipements de pêche	La pêche dans l'emprise des parcs d'EMR peut nécessiter l'adaptation des engins de pêche existants ou leur renouvellement par des engins plus petits ou plus maniables.
	Etablir un programme d'aide à l'achat de carburant pour les navires	L'augmentation des distances parcourues implique une consommation accrue de carburant pouvant mettre en péril la rentabilité des entreprises de pêche.
	Etablir une filière locale de production de biodiesel	Cette production locale à base d'huile de poissons ou d'huile végétale permettrait de réduire le poste « carburant » des navires de pêche (adaptation nécessaire des moteurs).
	Remplacement des moteurs par des unités modernes	Les avantages sont la réduction des consommations et des émissions polluantes (CO ₂ , oxydes d'azote, SO ₂).

	Aide à la maintenance et ou à l'amélioration des navires	Cette aide va dans le sens d'une meilleure sécurité des navires (refit, meilleure sécurité et ergonomie des engins de pêche, modernisation des appareils d'aide à la navigation et à la pêche embarquée).
	Aide à l'équipement de sécurité des navires et de l'équipage	Il s'agit d'une demande des équipages par rapport aux risques potentiels de l'exercice de la pêche dans une zone contrainte par la présence des machines.
	Aide pour compenser le surcoût des assurances	Les pêcheurs ont exprimé leur craintes de voir leur assurance augmenter au regard des risques accrus de l'exercice de la pêche dans les périmètres ou à proximité des parcs éoliens.
	Amélioration des conditions d'accueil dans les ports maritimes	Dépend de la politique des collectivités locales (gestion des ports par les Régions et les départements).
Mesures visant à favoriser la diversification	Report ou diversification sur d'autres filières	<p>La limitation des arts trainants dans l'emprise des parcs éoliens peut amener à une reconversion vers les arts dormants dans les mêmes emprises, sous réserve de la disponibilité des autorisations et des droits à produire (licences de pêche, quotas de capture et d'effort, etc.) pour les espèces nouvellement ciblées.</p> <p>Le report dans d'autres zones extérieures aux champs éoliens doit être examiné en termes de pression supplémentaire sur une zone existante, des difficultés potentielles de cohabitation entre métiers, ainsi que de disponibilité des autorisations et des droits à produire (licences de pêche, quotas de capture et d'effort, etc.) pour les espèces nouvellement ciblées.</p>
	Développer des techniques de cultures marines adaptées aux parcs éoliens	Cette proposition porte sur l'introduction de la conchyliculture ou de l'élevage des algues sur des supports artificiels adaptés.
	Valoriser les parcs au plan touristique et des loisirs	Les parcs d'EMR peuvent être une opportunité pour la diversification ou la reconversion de certains pêcheurs vers une assistance technique pour la maintenance, le tourisme industriel (visite des parcs en bateaux) ou la plongée de loisir (exploration des fondations, enrochements et récifs artificiels).

Modalités d'affectation de la taxe annuelle sur l'éolien en mer

La loi de modernisation de l'agriculture et de la pêche (LMAP) précise les modalités d'affectation du produit de la taxe annuelle sur l'éolien en mer (12 000 euros / MW installé) à laquelle sont soumises les installations éoliennes situées dans les eaux intérieures ou la mer territoriale (article 1519 B et C du Code général des impôts).

Alors que cette taxe était initialement instituée au profit exclusif des communes, la LMAP a permis aux usagers de la mer d'en bénéficier directement. Il est à noter que cette modification permet une adéquation avec la directive européenne sur l'évaluation des incidences sur l'environnement de certains projets publics et privés.

Les mesures ainsi financées permettent d'accompagner les professionnels de la pêche pour compenser les éventuels préjudices écologiques et économiques subis. Le produit de la taxe est réparti de la manière suivante :

- 50 % affectés aux communes littorales d'où les installations sont visibles,
- 35 % affectées au CNPMEM pour le financement de projets concourant à l'exploitation durable des ressources halieutiques,
- 15 % affectés à l'échelle de la façade maritime au financement de projets concourant au développement durable des autres activités maritimes.

Cette taxe n'est versée qu'à partir de la première année après la mise en service de l'unité de production électrique et son produit ne peut être utilisé que dans le cadre de projets collectifs répondant à un cahier de charges précis.

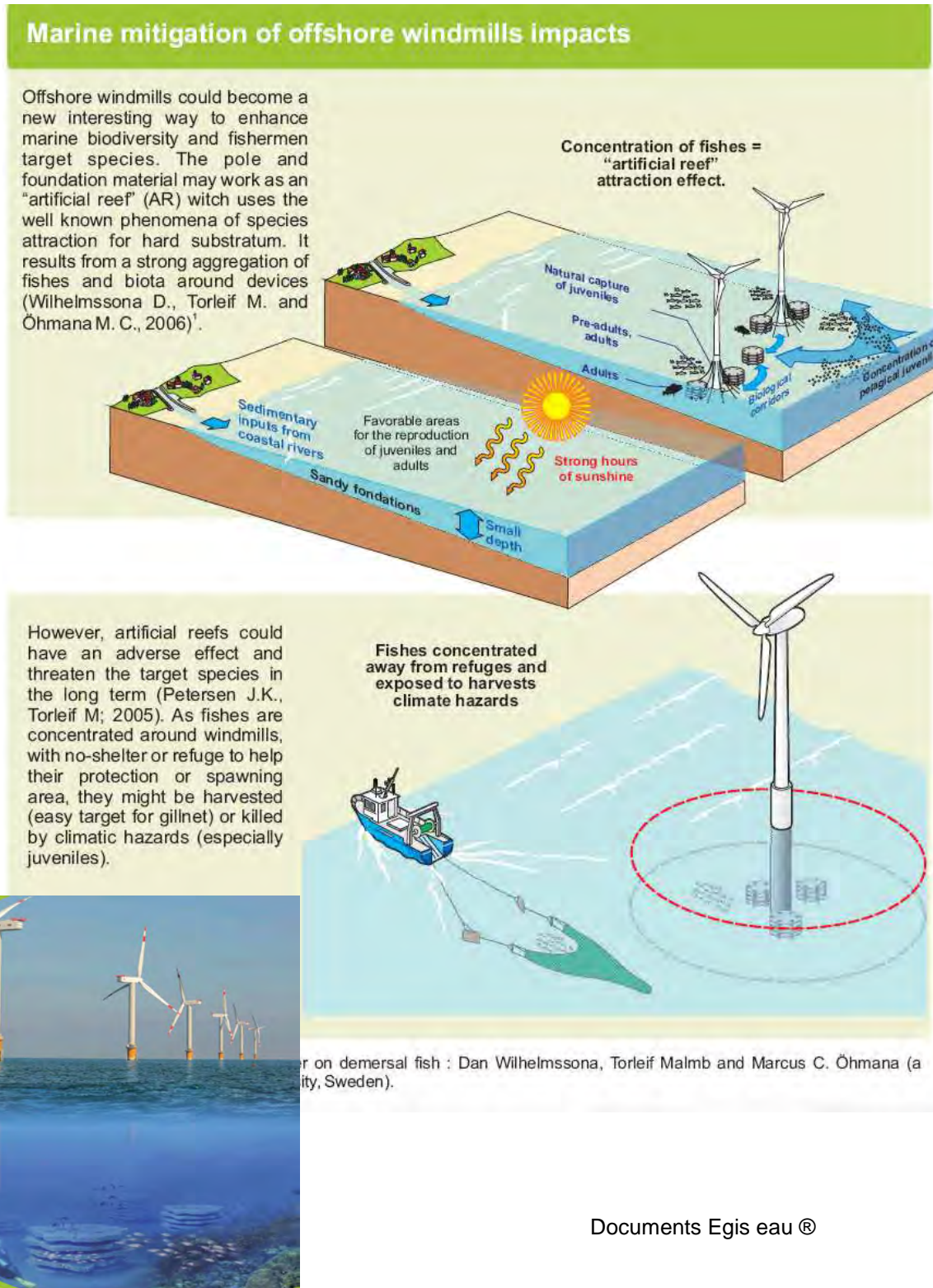


Figure 45 : Valorisation halieutique des parcs d'EMR par récifs artificiels et éco-conception des parcs d'éoliennes offshore

1.6 EMR : quelles opportunités pour la pêche ?

Au-delà des conflits d'usage du milieu maritime et des incidences potentielles sur la ressource, l'implantation de projets d'EMR peut représenter un certain nombre d'opportunités pour l'activité de pêche. Les potentiels effets récifs et réserves sont des pistes à exploiter, et sont traités dans la partie relative aux impacts environnementaux liés à la présence physique des installations.

Concernant les opportunités d'usages et d'infrastructures, le Pôle Mer PACA vient de lancer une étude prospective pour déterminer les conditions d'utilisation des champs d'EMR, ici les projets d'éoliennes offshore flottantes²¹ en Méditerranée, dans l'objectif d'une exploitation raisonnée des ressources biologiques par la pêche et l'aquaculture.

S'agissant des éoliennes flottantes implantées dans les eaux du large, on peut envisager des effets directs sur la pêche du fait de leur emprise sur des zones de pêche hauturière (gêne à la navigation et aux manœuvres des engins de pêche) même si le fond ne subit pas la pression des fondations (l'impact des systèmes d'ancrage et ses lignes de mouillage est cependant à considérer). Indirectement, ces installations flottantes peuvent jouer le rôle de gigantesques DCP (Dispositifs de Concentration des Poissons) dont on connaît les bénéfices créés par des structures plus petites (concentration des poissons, notamment des grands pélagiques). Dans le cas présent (éoliennes flottantes en Méditerranée), les études préalables devront évaluer la ressource en tenant compte de l'effet DCP (espèces, flux, saisonnalité), définir les types de navires pouvant pêcher en toute sécurité, les engins de pêche adaptés (type, modes et règles d'utilisation et limitations d'usage) ainsi que les conditions d'une pêche durable.

1.7 Conclusions

Le développement des EMR entraîne nécessairement un nouvel arbitrage dans l'attribution de l'espace maritime. Cette modification peut entraîner l'amputation de secteurs de pêche et gêner l'accès à la ressource, obligeant parfois au contournement des parcs d'EMR avec pour conséquence une augmentation de la consommation en carburants et une perte de la rentabilité pour les pêcheurs. Afin d'optimiser les synergies entre les projets et les intérêts des pêcheurs, il est nécessaire qu'une concertation préalable avec les pêcheurs professionnels soit organisée.

L'évaluation des retombées négatives et positives des EMR sur la pêche professionnelle n'est pas aisée. Au plan méthodologique, les données collectées sont parfois agrégées à des échelles qui peuvent être mal adaptées à une analyse fine des impacts sur les activités de pêche concernées par un projet d'EMR.

Dans ce contexte, il peut s'avérer nécessaire de compléter ces données par des informations directement recueillies auprès des organisations professionnelles concernées - un certain

²¹ Il s'agit d'éoliennes entre 2,5 MW et 5 MW, d'une hauteur de 100 m à 150 m dont les flotteurs ont un tirant d'eau de l'ordre de 10 m, mais pouvant mesurer jusqu'à 100 m pour une technologie particulière. Elles sont ancrées par le fond à l'aide de chaînes et d'ancres. Les champs éoliens flottants pourront se situer entre 10 et 20 km de la côte et comporter entre 50 et 100 éoliennes. La profondeur de la mer dans la zone d'installation se situera entre 50 et 300 m. Ces éoliennes seront raccordées électriquement à un transformateur offshore, lui-même raccordé à la terre par un câble électrique.

nombre de comités des pêches possèdent leur propre système d'information sur les activités de leurs adhérents, à l'image des CRPMEM de Bretagne et des Pays de Loire - ou par le biais d'enquêtes auprès des professionnels concernés, en relation étroite avec leurs organisations professionnelles.

Il est à noter, par ailleurs, que le cahier des charges de l'appel d'offres pour l'éolien en mer, paru en juillet 2011, prévoit la constitution, pour chaque projet, d'une instance de concertation et de suivi, chargée notamment de formuler des propositions pour l'évaluation des impacts du parc éolien sur les activités maritimes.

L'évaluation des impacts négatifs et positifs des EMR sur la pêche professionnelle implique :

- la réalisation d'états des lieux complets, tenant compte de la saisonnalité annuelle et interannuelle des pêcheries (quantification de chaque type de pêche selon un pas de temps trimestriel).
- le recours à des méthodes adaptées pour estimer les pertes générées par la présence d'une installation d'EMR sur les différentes pêcheries considérant l'augmentation des distances, la réduction du temps de pêche et l'augmentation des consommations en carburant.
- la prise en considération des activités de pêche concernées dans et en dehors de la zone du projet, en particulier le report éventuel de l'effort de pêche et des impacts indirects en dehors de la zone pour les flottilles dont les espèces cibles pourraient être perturbées par l'implantation du projet.
- la prise en compte des impacts sur la filière aval associée.

Sur la base d'études expertisées conjointement par les scientifiques et les pêcheurs, les mesures réductrices et d'accompagnement pourront être proportionnées en fonction de la nature et de l'ampleur des pertes subies, le cas échéant.

2 Impacts sur les activités aquacoles : pisciculture marine et conchyliculture

2.1 Les impacts potentiels

Le développement des EMR peut avoir plusieurs conséquences sur les activités aquacoles :

- Des impacts directs lorsque des secteurs exploités par des activités aquacoles, en zone terrestre (bassins à terre alimentés par des prises d'eau de mer), côtière (élevage intensif en cages flottantes, mytiliculture ou conchyliculture sur l'estran) ou en mer ouverte (filières conchylicoles), peuvent subir les effets de l'implantation physique des EMR, notamment par le tracé des câbles de raccordement électrique entre les parcs et les postes de transformation à terre.
- Des conflits d'usages potentiels lorsque des zones potentiellement favorables aux activités aquacoles sont convoitées par des installations d'EMR.
- Des impacts pendant la période de travaux, notamment lors de l'implantation des fondations des machines (éolien posé) du fait de la remise en suspension des sédiments et de l'augmentation de la turbidité des eaux pouvant nuire à la qualité des eaux nécessaire au bon fonctionnement des activités aquacoles. A une moindre échelle, le remaniement des fonds, lors des opérations d'ensouillage des câbles peut entraîner la formation d'un nuage turbide et une diminution de la quantité d'oxygène disponible.
- Des impacts indirects sur la qualité de l'eau du fait des risques de pollution chronique (peintures antisalissures, produits d'entretien) ou accidentelle (fréquentation accrue des sites par des navires de maintenance, pollution par des hydrocarbures).

Projet de parc démonstrateur d'hydroliennes sur le site de Paimpol Bréhat²² : impact de l'implantation du câble de raccordement sur l'ostréculture

Au niveau de l'estran de Launay, le câble de raccordement traverse un banc de praires exploité, une parcelle ostréicole exploitée sur tables, un mouillage organisé et des zones fréquentées par les pêcheurs à pied. Les travaux d'enfouissement du câble auront un impact temporaire sur l'exploitation ostréicole située sur l'emprise du projet avec l'enlèvement et le déplacement des tables. Pour réduire ce dérangement, les travaux seront réalisés en période d'activité minimale sur le parc. Des mesures de dédommagement sont également prévues.

L'interdiction de draguer le long du tracé du câble influence le mode d'exploitation de certains ostréiculteurs situés sur le passage du câble. L'impact global est faible car cela concerne seulement 2 ostréiculteurs et 2 ha non exploités actuellement d'une concession de 7 ha. Des mesures compensatoires sont proposées pour changer le mode d'exploitation (mise en place de tables). En période d'exploitation, les activités ostréicoles dans l'anse de Launay tant pour les parcs sur table que pour les parcs au sol, ne subiront aucune gêne, le câble de liaison étant enfoui à plus d'un mètre de profondeur.

²² Rapport relatif à l'enquête publique sur le projet d'implantation d'un parc de démonstration d'hydroliennes sur le site de Paimpol-Bréhat, août 2010.

Afin de prévenir d'éventuels conflits d'usages, une démarche de concertation avec les différents usagers des fonds marins (pêcheurs, aquaculteurs et conchyliculteurs...) est recommandée pour définir les zones d'implantation des EMR et le tracé des câbles de raccordement électrique. Concernant les zones conchyloles, cette concertation peut s'appuyer sur l'atlas des zones conchyloles françaises et sur la consultation et l'expertise des sections régionales conchyloles.

2.2 EMR : quelles opportunités pour les cultures marines ?

La possibilité d'associer des cultures marines au sein de champs éoliens offshore est explorée sur les côtes allemandes (Buck, B., et al. 2004). Les réflexions portent sur le développement de cultures marines extensives comme la conchyliculture (*Mytilus edulis*), l'ostréiculture (*Ostrea edulis*, *Crassostrea gigas*) ou encore l'algoculture (*Laminaria saccharina* et *Palmaria palmata*).

L'avantage mis en avant est l'utilisation des infrastructures créées par les EMR en mer ouverte, au profit des activités conchyloles qui, sans ce support, ne pourraient atteindre l'équilibre économique garant de leur pérennité. Les difficultés soulevées sont d'ordre réglementaire au regard de la gestion d'un double usage au sein d'une même zone (production d'énergie et cultures marines).

Des propositions sont faites pour instituer un co-management de ces secteurs multi-usages : mise en commun de navires de services adaptés à la maintenance des éoliennes mais aussi à la collecte des produits d'élevage, mutualisation des marins, utilisation des infrastructures pour stocker du matériel nécessaires aux élevages marins, régulation du trafic maritime, etc...

Dans le même ordre d'idées, l'étude prospective du pôle mer PACA citée dans le chapitre 1.5., a pour objectif de définir dans quelles conditions les activités d'aquaculture (algoculture, macro et microalgues, conchyliculture et pisciculture). Celles-ci, contraintes par la réglementation et la faible disponibilité des espaces littoraux pour s'installer, pourraient profiter des structures mises en place par les champs éoliens flottants offshore pour se développer en mer ouverte.

La co-ingénierie des systèmes d'exploitation de l'énergie et des ressources biologiques de la mer devrait permettre d'optimiser l'intégration des systèmes tout en préservant leurs exigences respectives :

- L'éolienne constitue une plate-forme potentielle permettant de stocker des matériels et des aliments ;
- Une partie de l'énergie produite pourrait être utilisée pour alimenter des équipements électriques (puissance, acquisition et transmission de données), ou automatiser certaines actions (alimentation des poissons par exemple) ;
- Les accès à la plateforme peuvent être partagés entre les opérateurs de maintenance, les pêcheurs et les aquaculteurs ;
- Ce système implique, en complément des installations offshore, de disposer d'infrastructures à terre (zones d'accueil et de transit, stockage des aliments et des poissons, production de glace, bureaux, parkings, espaces de vente, éventuellement espaces de transformation...) et de moyens de transport (utilisations des bateaux actuels aménagés ou non, besoin de navires spécifiques) pour assurer la liaison terre - champ d'éoliennes ;
- Compte tenu de l'éloignement et des conditions d'accès, l'instrumentalisation du site (capteurs, sonars, systèmes optiques,...) est à envisager pour surveiller le comportement des poissons, leur état sanitaire et leur alimentation, pour alerter l'exploitant en cas d'échappée de poissons ou d'événement accidentel.

3 Impacts sur le paysage maritime

3.1 Caractérisation des impacts

Les interactions des énergies marines renouvelables avec le paysage littoral et maritime peuvent être un frein à l'acceptation et au développement de la nouvelle génération de technologies.

A priori l'impact visuel dépendra de la nature des équipements et des technologies :

- Eolien offshore : les grandes machines (150 m) vont être très visibles au dessus de la ligne d'horizon et en fonction de la distance d'observation. Les systèmes de balisage lumineux (maritimes et destinés à prévenir les collisions aériennes) contribuent aussi à marquer leur présence de jour comme de nuit ;
- Les hydroliennes et les énergies houlomotrices en pleine mer, du fait de leur compacité et de leur immersion totale ou partielle, vont être moins perceptibles et donc moins sujettes à critique au regard de leur impact sur les paysages marins ;
- Les dispositifs concentrateurs de houle à la côte peuvent constituer des équipements particulièrement visibles dans certains paysages littoraux ;
- Les dispositifs entièrement immergés n'auront pas d'impact sur le paysage maritime, mais il faut aussi se poser la question de l'impact de ces structures sur les paysages sous-marins au moins dans le domaine d'évolution de la plongée sportive (entre 0 m et 60 m).

L'évaluation des impacts sur le paysage est généralement abordée par deux voies complémentaires :

- Les méthodes d'étude traditionnelles du paysage maritime et d'insertion des parcs éoliens dans le paysage (diagnostic du paysage, évaluation des impacts des projets et des impacts cumulatifs, recommandations pour l'aménagement du paysage). Ces méthodes sont explicitées par plusieurs guides.
- Les enquêtes sociologiques et économétriques dont l'objectif est de mesurer l'acceptation des EMR notamment au regard de leurs atteintes aux aménités paysagères et concomitamment des retombées économiques. Les études économétriques font appel classiquement à des méthodes de type préférences révélées ou déclarées (évaluation contingente). Ces enquêtes sont souvent menées *ex ante* pour mesurer l'acceptation du public aux énergies renouvelables ou avant la réalisation d'un programme. Plus rarement elles sont réalisées *ex post* et permettent donc d'évaluer les effets d'un projet déjà réalisé et/ou faisant l'objet d'une extension. Les exemples donnés dans les paragraphes suivants pour évaluer les pertes d'aménités paysagères en liaison avec le développement des EMR, s'appuient sur ces méthodes sociologiques et économétriques.

3.2 Acceptation des EMR, réactions à la perte d'aménités paysagères

3.2.1 Le cas des parcs éoliens offshore de Horns Rev et de Nysted au Danemark

Au Danemark, les parcs éoliens de Horns Rev et de Nysted font l'objet d'un suivi environnemental (DONG Energy, Vattenfall, The Danish Energy Authority and The Danish Forest and Nature Agency, 2006) qui a débuté avant la construction des parcs et se poursuit pendant leur exploitation. Le suivi est porté par un « Green Group » constitué de l'Agence de l'Energie du Danemark, l'Agence danoise de la Forêt et de la Nature et DONG energy. Le budget de ce suivi est de l'ordre de 84 millions DKK (11 millions d'euros).

Le suivi des parcs éoliens d'Horns Rev et de Nysted

Le parc éolien d'Horns Rev a été construit pendant l'été 2002. Il est localisé entre 14 km et 20 km de la côte de la Mer du Nord à l'Ouest de Blåvands Huk. Le parc comprend 80 machines de 160 MW équivalent à la consommation d'électricité de 150 000 foyers.

Le parc éolien de Nysted a été construit par EnergiE2, DONG et E.ON Sweden entre 2002 et 2003. Il comprend 72 turbines implantées en 8 rangées de 9 machines à environ 10 km de la côte. La capacité installée est de 165,5 MW.

Le programme du suivi comprend :

- La faune et flore benthique, les nouveaux habitats (substrats durs constitués par les fondations et la protection contre l'érosion),
- La distribution des poissons dans le parc éolien et les effets des champs électromagnétiques,
- L'évaluation des populations d'oiseaux et de leur comportement (nourrissage, repos) ; l'étude des oiseaux migrateurs et des risques de collision,
- Le comportement des mammifères marins (marsouins et phoques),
- La morphologie côtière,
- **Les études sociologiques et économétriques.**

Méthodologie des approches sociologiques et économétriques

L'étude sociologique est fondée sur des entretiens détaillés avec 46 personnes pour connaître leurs ressentis sur les deux parcs éoliens. L'étude inclut deux échantillons de population locale et intègre des entretiens faits avant et après la construction des parcs. On notera, au vu de la faible taille de l'échantillon, que les résultats doivent être considérés avec précaution.

L'étude économétrique utilise un modèle d'expérimentation des choix pour révéler les préférences des personnes interrogées selon les différentes localisations des parcs. Le modèle est testé aux deux niveaux local (350 questionnaires à Rev Horns et 350 à Nysted) et national (700 personnes représentant la population danoise). Au total 672 questionnaires exploitables ont été renvoyés (respectivement 362, 140 et 170 pour le niveau national, Horns Rev et Nysted).

Attitude au regard de l'énergie éolienne

Les deux études montrent une attitude favorable pour l'énergie éolienne. Sur les 46 individus interrogés, 2 seulement ont manifesté une attitude négative au développement de l'éolien offshore comme alternative aux autres types d'énergies renouvelables et non renouvelables. De la même manière, les réponses de l'échantillon local et national mettent l'énergie éolienne en premier choix, pour réduire les émissions de gaz à effet de serre, après l'énergie solaire, alors que l'énergie nucléaire et les quotas de CO₂ font partie des alternatives les plus rejetées.

Attitude à l'encontre des parcs éoliens existants

Les habitants de Horns Rev, interrogés sur leur ressenti au regard des parcs éoliens existants et futurs, ont une attitude plus positive que leurs homologues de Nysted. Les premiers répondent très positivement à 60 % alors qu'une part prédominante des avis négatifs émane des habitants de Nysted (Figure 44).

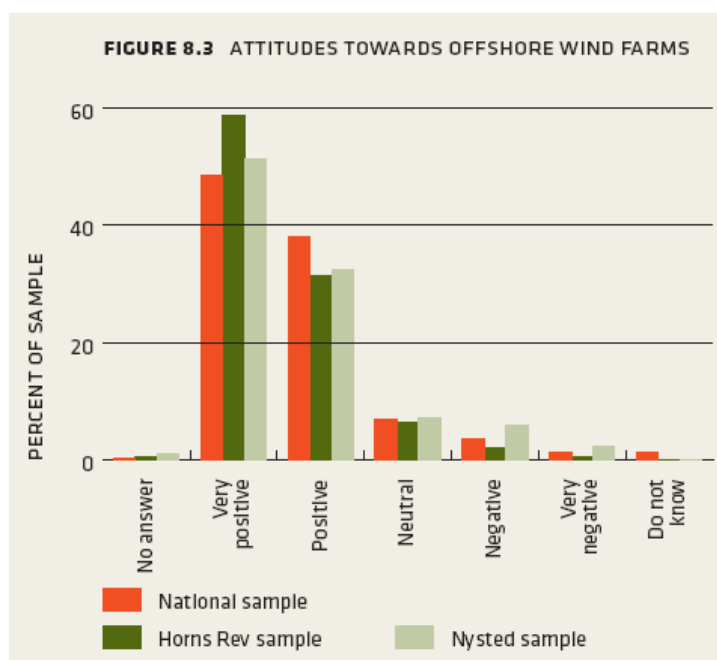


Figure 46 : Attitude à l'encontre des parcs éoliens existants selon trois échantillons de population

Les catégories les plus sceptiques sont généralement les personnes d'âge moyen ou les plus âgées (> 56 ans), ainsi que les pêcheurs professionnels de Horns Rev. Pendant l'enquête sociologique, les pêcheurs ont fait savoir que leurs préférences allaient vers un autre emplacement du parc offshore pour éviter d'affecter des secteurs de pêche favorables, sous-entendant que des négociations en matière de compensation devaient être engagées avec le développeur.

Attitude envers les nouveaux parcs

L'enquête sociologique pose la question de la préférence pour la localisation des nouveaux parcs. Les personnes interrogées qui ont déjà un *a priori* négatif, souhaitent que les nouveaux parcs soient localisés en extension des parcs existants afin d'éviter l'impact sur de nouvelles zones. Les autres personnes enquêtées suggèrent que les parcs soient au contraire implantés dans d'autres zones. Un autre groupe souhaite que les machines soient implantées à une distance où elles sont le moins visibles.

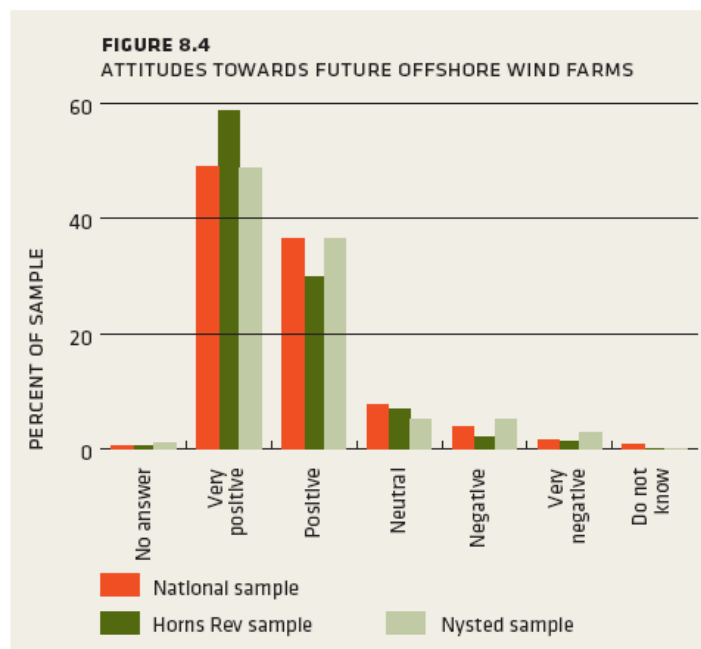


Figure 47 : Attitude envers les nouveaux parcs selon trois échantillons de population

Les motivations à l'origine des réponses

Quel que soit l'échantillon, les attitudes positives reposent sur des motivations environnementales (diminution des gaz à effet de serre) et les retombées économiques attendues (emplois, exportation de la technologie). Les groupes favorables émettent l'opinion que les impacts locaux négatifs d'un parc doivent être contrebalancés par les effets attendus sur les emplois et la consolidation de la filière (position leader du Danemark en énergies marines renouvelables). La conclusion est qu'une décision prise à un niveau national rentre souvent en conflit avec des intérêts locaux.

Les opinions négatives mettent en avant d'abord l'impact paysager des parcs, ensuite les effets possibles sur les ressources naturelles. L'enjeu majeur est celui du maintien d'un littoral et d'un espace maritime « naturel » sans obstacle visuel. L'autre source de nuisance évoquée concerne les balises lumineuses destinées à sécuriser le trafic aérien et considérées comme un facteur important de dégradation de la qualité du paysage.

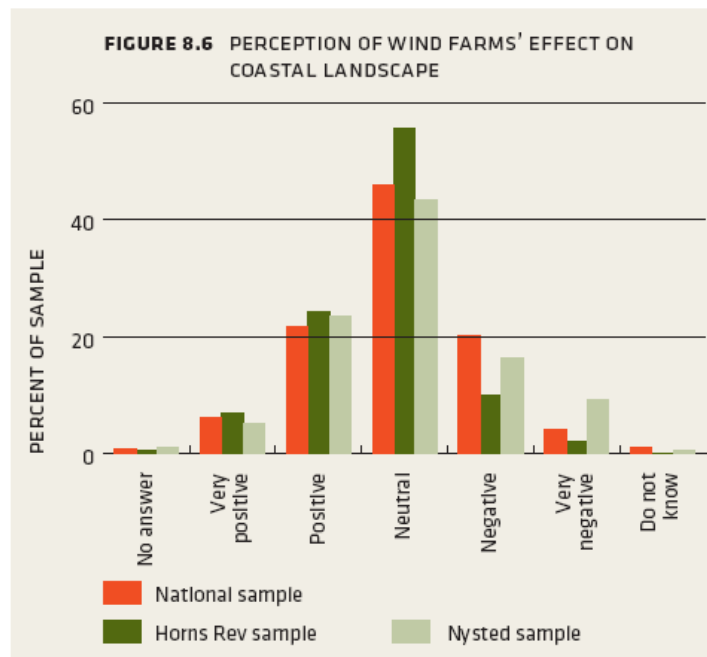


Figure 48 : Perception des effets sur le paysage littoral selon trois échantillons de population

Perception de l'impact sur l'écologie marine

Une question de l'enquête était de connaître le ressenti de la population au regard des dangers potentiels des parcs éoliens sur les oiseaux et la faune marines. L'attitude dominante des trois entités, le groupe national et les deux groupes locaux, est que l'impact sur la vie sauvage est neutre. Cependant, 22 % et 29 % des personnes interrogées pensent que les éoliennes ont un impact négatif ou très négatif sur les oiseaux. Concernant les effets négatifs ou très négatifs sur la vie marine, la proportion tombe de 12 à 19 %. Une forte proportion de personnes interrogées ne « savent pas » répondre à cette question. Cette réponse suggère que, pour donner une réponse, il est nécessaire d'avoir des connaissances dans ce domaine. Le pourcentage de personnes qui déclarent qu'elles ne peuvent se prononcer par manque de connaissances, est inférieur dans la population locale, traduisant le fait que cette population pense avoir une meilleure connaissance locale du sujet.

Evolution des attitudes avant et après mise en service des parcs

L'un des objectifs de l'étude sociologique était d'identifier si les habitants de Horns Rev et de Nysted avaient modifié leur opinion avant et après la réalisation des parcs.

Les réponses témoignent d'une très forte opposition au parc avant la construction. En 2004, les opinions traduisent une attitude plus neutre ou très légèrement positive. Les interviews permettent de déceler deux causes majeures d'opposition initiales.

- D'abord, le processus de décision considéré comme très centralisé et n'ayant pas mobilisé la population locale dans un processus de co-décision ;
- Ensuite, les oppositions se fondaient sur la crainte d'une forte intrusion visuelle des machines dans le paysage maritime, avec pour corollaire, une diminution des visites et des revenus touristiques. Cette baisse n'a pas été observée, ce qui explique en partie la réversibilité des opinions.

Par contre, l'enquête menée à Nysted n'a pas révélé les mêmes changements d'attitude. Ceci s'explique par le fait que l'opposition à Nysted est essentiellement motivée par les nuisances visuelles ressenties. Les éoliennes à Nysted sont en effet plus proches du rivage et plus visibles des zones résidentielles. Le balisage nocturne est également une raison pour lesquelles les opinions ont peu changé à Nysted.

Consentement à payer

L'étude économétrique visait à déterminer combien les personnes interrogées consentiraient à payer, sur la base du coût supplémentaire en électricité par foyer et par an, pour voir augmenter la distance à la côte des éoliennes (à partir d'une distance minimale de 8 km) et donc de moins subir les nuisances visuelles.

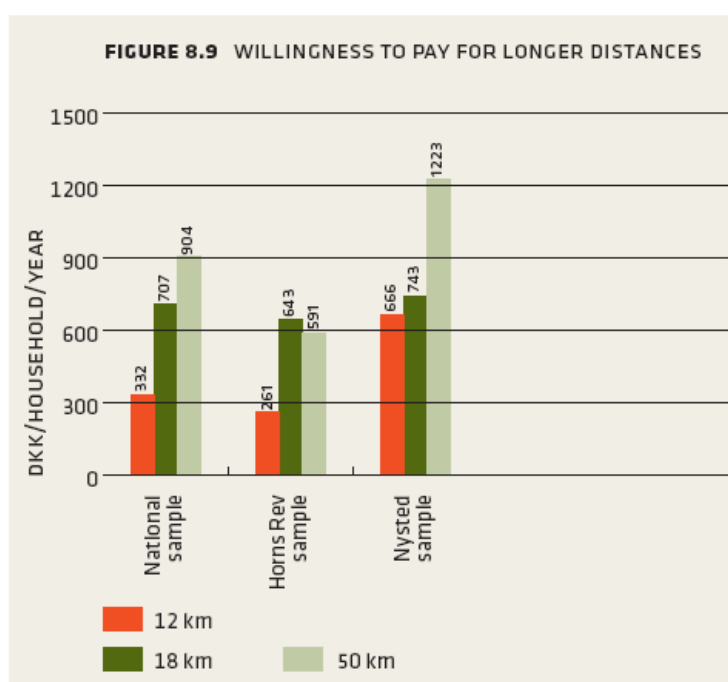


Figure 49 : Consentement à payer pour établir les parcs éoliens à des distances supérieures à 8 km de la côte

Considérant l'échantillon national comme le cas standard, la figure ci-dessus montre que le consentement à payer pour augmenter la distance entre 8 et 12 km est de 330 DKK/foyer²³ et par an. Le consentement à payer augmente de plus de 100 % pour passer de 12 à 18 km, distance à laquelle les aménités visuelles sont considérées comme garanties et de 30 % pour une distance étendue entre 18 et 50 km, soit une distance où les éoliennes offshore ne sont plus perçues depuis le rivage.

Il n'y a pas de préférence déclarée – en termes de consentement à payer – pour le scénario où les éoliennes seraient implantées à plus de 50 km de la côte où elles deviennent invisibles.

²³ 44 €

Au regard des deux échantillons locaux, la figure montre un mode de consentement à payer différent. Les habitants de Horns Rev consentent à payer seulement 262 DKK/foyer/an²⁴ pour que les éoliennes soient localisées entre 8 et 12 km. Cette valeur augmente de 150 % pour une distance de 12 à 18 km, mais de manière surprenante, il n'y a pas de consentement à payer plus fort pour atteindre une distance de 18 à 50 km (la diminution du CAP de 643 à 591 DKK²⁵ n'est pas significative statistiquement).

S'agissant de Nysted, les habitants sont prêts à payer près de deux fois la somme consentie par l'échantillon national pour passer de 8 km à 12 km. Le CAP n'est pas significativement différent pour localiser le parc à 18 km. Par contre il augmente de 160 % dans l'hypothèse où le parc d'éoliennes serait en dehors du champ de vision à plus de 50 km.

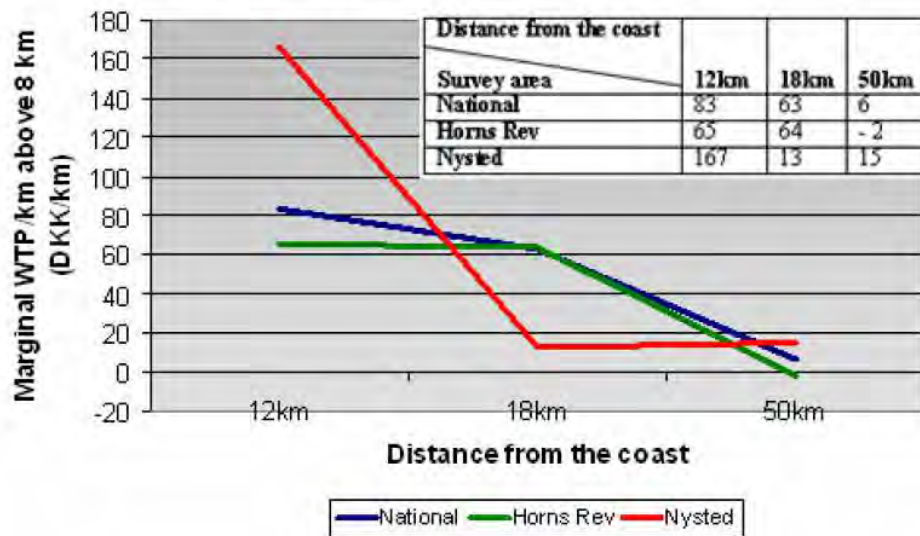


Figure 50 : Evolution du consentement à payer en fonction de la distance des parcs éolien à la côte, au-delà de la distance-seuil de 8 km

Plusieurs explications peuvent être apportées au regard des différences des CAP entre les trois groupes de population. Le parc de Horns Rev est situé entre 14 km et 20 km de la côte, une distance où l'impact sur les aménités visuelles est suffisamment réduit. *A contrario*, le parc de Nysted n'est localisé qu'à 9-10 km de la côte, distance à laquelle l'impact visuel est perçu comme significatif.

Comme noté précédemment, le groupe de Nysted ne comportait pas une proportion forte de personnes exprimant une attitude négative envers les éoliennes. Cependant si l'on isole les réponses des personnes qui défendent la solution d'implanter les éoliennes à une distance qui les met hors de vue depuis la côte, ce sous-groupe a de très fortes préférences pour cette solution dans l'échantillon de Nysted. L'enquête sociologique de Nysted montre un schéma similaire.

²⁴ 35 €

²⁵ 86 à 79 €

3.2.2 L'évaluation de la perte d'aménités paysagères dans l'hypothèse de l'implantation d'éoliennes sur le littoral du Languedoc-Roussillon²⁶

Cette étude évalue le consentement à payer de la population du Languedoc Roussillon pour différentes solutions d'implantation d'un parc éolien offshore à différentes distances de la côte. Elle examine comment les pertes d'aménité du paysage pourraient être compensées par des mesures d'accompagnement (visite des éoliennes en bateau, plongées sur les fondations ou des récifs artificiels).

Acceptation des parcs éoliens

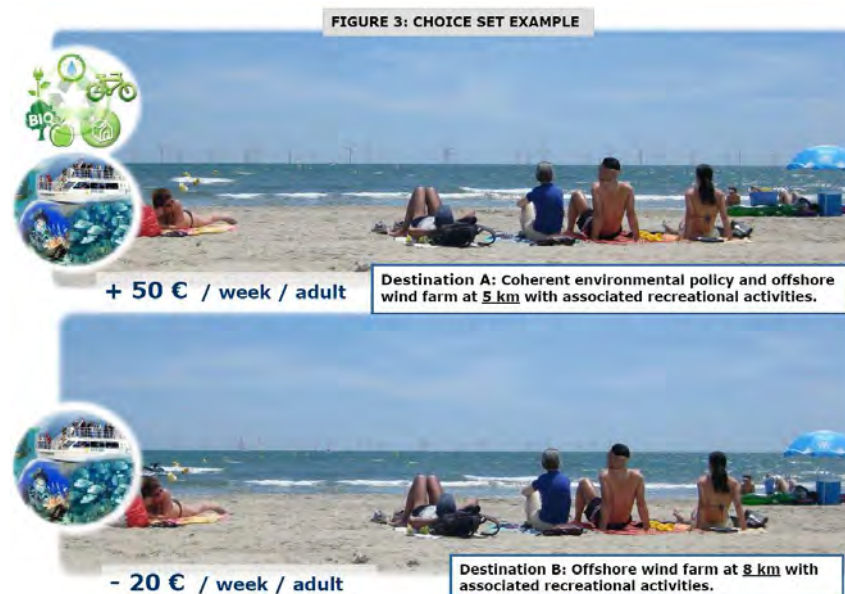
L'étude se réfère à trois groupes de touristes échantillonnés dont les réactions sont assez différentes.

- Le premier groupe (Français, touristes et excursionnistes locaux,) et le deuxième groupe (touristes de l'Europe du Nord, touristes pratiquant des activités culturelles, jeunes et adultes) qui représentent 65 % des personnes interrogées, n'émettent pas d'opinion négative sur les nuisances visuelles due à la présence des parcs éoliens en comparaison de leur valorisation touristique.
- Le troisième groupe (touristes français et retraités, amateurs de paysages et peu intéressés par les activités culturelles) représentant 35 % de l'échantillon, considère les parcs éoliens comme un facteur de dégradation du paysage maritime.

Pour les deux premiers groupes, une politique environnementale bien conduite par la station touristique peut compenser la perte d'aménités visuelles quel que soit la distance à la côte (6 ou 12 km).

Le deuxième groupe constitué d'une population jeune est plus sensible à une politique environnementale et met en avant les effets positifs du parc lorsqu'ils sont localisés à 12 km alors que le premier groupe positionne le parc éolien à 8 km.

²⁶ Vanja Westerberga, Jette Bredahl Jacobsen, Robert Lifrana, 2011. Offshore wind farms in the Mediterranean Seascape- A tourist appeal or a tourist repellent?



Consentement à payer pour réduire l'impact des éoliennes offshore sur le paysage

S'agissant du consentement à payer, le premier groupe réclamerait une baisse de 22 euros par semaine sur l'hébergement s'il devait fréquenter un site touristique où un parc éolien serait implanté à moins de 5 km. Ce groupe accepterait de payer 24 € de plus par semaine pour que le parc éolien soit situé à au moins 8 km. A 12 km, ils sont indifférents à leur présence.

Pour le deuxième groupe, le « seuil zéro » de nuisance se situe entre 8 km et 12 km. Ils sont prêts à payer un extra de 43 € en présence d'un parc éolien situé à 12 km. Il est remarquable que ce groupe puisse consentir à payer 159 € de plus par semaine pour être hébergé dans une station ayant une politique en faveur de l'environnement.

Enfin, le troisième groupe, plutôt hostile à la présence d'éoliennes offshore lorsqu'elles sont proches du rivage (5 à 8 km), peut consentir à payer jusqu'à 265 € (par semaine et par adulte) pour ne pas avoir la présence du parc offshore. Dans ce cas, même si l'hébergement leur était offert, ils préféreraient résider dans une station touristique sans parc éolien.

En conclusion, les résultats mettent en avant la nature subjective de l'appréciation de paysages et la relation entre les ressentis et le profil social et culturel des touristes, comme l'ont montré Gee et Burkhard, 2010.

Les retombées touristiques issues par le modèle économétrique sont synthétisées sur le tableau 12.

Tableau 13 : Estimations des retombées économiques appréciées ou dépréciées pour un touriste adulte et pour une semaine en fonction de 4 scénarios (consentement à payer, valeurs en €)

	Aucune politique en faveur de l'environnement ; aucune activité liée aux parcs éoliens	Politique affichée en faveur de l'environnement	Activités récréatives subaquatiques ou en lien avec le parc éolien	Politique affichée en faveur de l'environnement et activités récréatives subaquatiques ou en lien avec le parc éolien
Aucun parc	0	101,4	40,0	141,5
Parc à 5 km du rivage	- 116,3	- 14,9	- 76,3	25,1
Parc à 8 km du rivage	- 81,3	20,1	- 41 ,3	60,1
Parc à 12 km du rivage	3,0	104,4	42,9	144,4

	Retombées positives
	Retombées neutres
	Retombées négatives

Plusieurs résultats sont mis en avant :

- Un léger accroissement de revenus de 3 euros / semaine / adulte si le parc éolien est situé à 12 km du rivage (colonne 1). Lorsque la distance à la côte se réduit, le touriste demande une compensation équivalente pendant la période où il est en vacances et pendant celle où il est absent ;
- Si le parc est à seulement 5 km, la compensation peut aller jusqu'à 116 €. En d'autres termes, sur la base d'une dépense hebdomadaire de 202 € par adulte, le consentement à payer de 116 € implique que l'offre d'hébergement soit diminuée de 50 % si la commune d'accueil souhaite conserver le touriste comme client ;
- Une autre tendance est que l'application d'une politique en faveur de l'environnement peut compenser la perte d'aménités visuelles provoquée par la présence d'un parc implanté à 8 km (colonne 2) ;
- Dans le cas d'une politique en faveur de l'environnement et d'activités récréatives accompagnant le parc éolien, la présence d'un parc à moins de 5 km ne représenterait pas un facteur défavorable pour l'activité touristique (colonne 4). Cela est d'autant valable que le parc est plus éloigné (à partir de 8 km).

Synthèse

L'enquête faite auprès d'un échantillon de touristes du Languedoc-Roussillon permet d'avancer que de manière générale, plus un parc est proche du rivage, plus une approche intégrée avec un renforcement de la politique environnementale et/ou des activités de loisir en lien avec le parc est importante. A noter que pour des distances supérieures à 12 km, l'impact visuel du parc apparaît comme négligeable au regard de l'étude menée sur le littoral du Languedoc-Roussillon.

En outre, les préférences révélées par les touristes dépendent de plusieurs facteurs dont la nationalité, l'âge et la recherche d'une station balnéaire menant une politique en faveur de l'environnement ; ce dernier point est plébiscité par l'ensemble des touristes.

3.3 Conclusion

Les interactions avec le paysage littoral constituent un élément majeur d'attention lors de la mise en place d'un parc EMR, notamment l'éolien offshore. Alors que les coûts de construction, d'exploitation et de maintenance augmentent avec la distance à la côte, les pertes d'aménités (visuelles, touristiques) diminuent quand les parcs éoliens sont situés à une certaine distance de la ligne de rivage.

Les études économétriques et sociologiques menées sur plusieurs sites où sont implantées des éoliennes offshore, indiquent les tendances suivantes :

- Pour les opinions négatives qui mettent en avant l'impact paysager des parcs, l'enjeu majeur est celui du maintien d'un littoral et d'un espace maritime « naturel » sans obstacle visuel. L'autre source de nuisance évoquée concerne les balises lumineuses destinées à sécuriser le trafic aérien et considérées comme un facteur important de dégradation de la qualité du paysage.
- Les réponses témoignent d'une très forte opposition au parc avant la construction, se fondant sur la crainte d'une forte intrusion visuelle des machines dans le paysage maritime, avec pour corollaire, une diminution des visites et des revenus touristiques. Après construction du parc, les opinions sont beaucoup plus favorables lorsque cette baisse n'est pas observée, ce qui explique en partie la réversibilité des opinions.
- le consentement à payer des personnes subissant la vue d'un parc éolien est relativement important à condition de voir augmenter la distance des éoliennes à la côte entre 12 et 18 km, distance à laquelle les aménités visuelles sont considérées comme garanties.
- De manière générale, plus un parc est proche du rivage, plus une approche intégrée avec un renforcement de la politique environnementale et/ou des activités de loisir en lien avec le parc est importante. A noter que pour des distances supérieures à 12 km, l'impact visuel du parc apparaît comme négligeable au regard de l'étude menée sur le littoral du Languedoc-Roussillon.
- Les préférences révélées par les touristes dépendent de plusieurs facteurs dont la nationalité, l'âge et la recherche d'une station balnéaire menant une politique en faveur de l'environnement.

4 Impacts sur les activités touristiques

4.1 Retour d'expériences

Les opérateurs touristiques utilisent le littoral et la mer comme support de leurs activités alors que les résidents et touristes apprécient le littoral au regard des aménités qu'il apporte (Gee et Burkhard, 2010). L'opposition aux parcs éoliens est souvent motivée par les effets négatifs attendus sur l'activité touristique (BRL, 2003, Dimitropoulos et Kontoleon, 2009, Wolsink, 2010) corrélés à la perte potentielle d'attractivité du paysage dégradé visuellement (Gordon 2001).

La littérature ne met pas en évidence d'effets significatifs du changement du comportement des touristes sur les sites où sont construits les parcs éoliens offshore.

- Une année de suivi sur les parcs éoliens de Horns Rev, ne montre pas de baisse de la fréquentation touristique, ni de baisse des loyers des résidences secondaires (Kuehn, 2005).

Retombées sur le tourisme à Horns Rev

Une première approche des retombées des deux parcs éoliens sur le tourisme, a été effectuée par une enquête auprès de l'Office de tourisme de Nysted et de Blavandshuk près de Horns Rev.

Il ressort de cette enquête préliminaire qu'il y aurait peu d'effets sur la fréquentation touristique. A titre d'exemple, le camping de Nysted situé en bord de mer avec une vue sur le parc éolien a vu sa fréquentation augmenté depuis 10 ans. La fréquentation annuelle de touristes est d'environ 85 000 visiteurs sans variation significative d'une année sur l'autre.

Il existe des visites en bateau du parc éolien qui rencontrent un grand succès depuis 2003. La visite se fait également à bord de voiliers. La forte fréquentation des visites en mer pendant la période de construction s'est prolongée par une demande importante pour voir les parcs en exploitation. L'office de tourisme considère les parcs comme un motif d'attraction complémentaire permettant de consolider son offre touristique. Les 171 machines des deux parcs d'Horns Rev seraient devenues la dix-huitième curiosité touristique du pays.

- Des conclusions similaires sont tirées de l'observation du tourisme à Nysted Svendsen (2010).
- Au Royaume-Uni, l'office de tourisme de Scroby Sands où se trouve un parc éolien offshore a reçu la visite de 30 000 visiteurs pendant les six premiers mois après la mise en exploitation (BWEA 2006).
- La première ferme éolienne offshore de forte puissance de Bangui Bay aux Philippines (20 turbines) a permis de revitaliser la province grâce au tourisme industriel (Jimeno 2007, Linao 2007).
- A Smola en Norvège, un parc éolien de 68 machines implanté à quelques centaines de mètres du rivage, a eu des retombées locales sur les emplois (35 emplois induits dans les commerces et services) et sur l'offre en hôtellerie (la capacité d'accueil est passée de 50 à 600 lits). Les routes locales sont utilisées par les touristes en excursion pour voir le champ d'éoliennes (Gaudestad, 2010).

- Une enquête menée par la région Languedoc-Roussillon auprès d'un échantillon de 1 033 touristes visait à connaître leurs réactions à l'annonce de la construction d'un parc éolien à moins de 10 km de leur lieu de villégiature. Les réponses montrent que 37 % d'entre eux iraient les voir, 6 % essaieraient de les éviter et 55 % ne changeraient pas leur comportement (CSA 2003).
- Lilley et *al.* (2010) utilisent une méthode contingente pour évaluer les réponses à la fréquentation des plages par les touristes sans l'Etat du Delaware (US) en présence d'éoliennes offshore. Les résultats sont que le consentement à payer augmente avec la distance à la côte des éoliennes offshore. A une distance de 1,5 km, 55 % des personnes interrogées répondent qu'ils continueraient à fréquenter les plages, une valeur qui monte à 73 % si le parc est à 10 km et 93 % s'il est implanté à 22 km au large.

4.2 Etude de l'impact des parcs éoliens terrestres sur le tourisme en Ecosse ²⁷

Objectif de l'étude

L'étude menée par le gouvernement écossais vise à évaluer l'impact du développement des parcs éoliens terrestres sur le tourisme en évaluant :

- Le nombre potentiel de touristes affectés,
- La réaction de ces touristes à la présence de parc éoliens (400 interviews directs et par internet),
- L'impact économique résultant de deux sources : la diminution possible de la fréquentation touristique (estimation des pertes liées aux frais de séjour ou de voyage) et l'impact de la perte d'aménités (paysage) sur la base du consentement à payer.

L'étude prend en compte les parcs terrestres comptabilisés à 38 unités regroupant 1 022 machines et représentant 23,4 % de la capacité de production écossaise. Le périmètre d'étude couvre 12 % des activités touristiques et 24 % des parcs exploités ou en cours d'autorisation.

Nombre de touristes concernés

La méthode mise en œuvre utilise un SIG pour déterminer le nombre de touristes qui, lors de leur séjour ou de leurs déplacements, peuvent être en contact avec des parcs éoliens en exploitation ou en cours d'autorisation. Le nombre de lits en termes de capacité d'hébergement en est déduit.

27 - The Economic Impacts of Wind Farms on Scottish Tourism. A report for the Scottish Government. March 2008.

Tableau 14 : Part du tourisme et de la capacité d'hébergement affectés par les parcs éoliens

Périmètre	Touristes		Hébergement	
	%	Trafic (Véhicules x 1000)	%	Nombre de lits
Caithness and Sutherland	81	64	9,8	643
Stirling, Perth et Kinross	85	1 088	13,2	1 515
Scottish Borders	92	287	13,4	932
Dumfries and Galloway	98	1 887	32,4	2 946

Les résultats de l'enquête sont les suivants :

- Les trois quarts des personnes interrogées pensent que les parcs éoliens ont un impact positif ou neutre sur le paysage (39 % très positif, 36 % sans opinion et 25 % très négatif, dont 10 % extrêmement négatif) ;
- Comparées à 10 autres infrastructures marquantes du paysage (pylônes, antenne de réception des téléphones mobiles, fermes aquacoles), les réponses « sans impact » sont les plus faibles pour les parcs éoliens. Le taux de réponses négatives (25 %) pour les parcs éoliens se situe en quatrième position comparativement aux autres infrastructures évoquées ;
- Les touristes étrangers semblent plus positifs que les touristes nationaux ;
- 68 % des touristes émettent un avis positif à l'assertion « un parc éolien bien localisé n'est pas dégradant pour le paysage » ;
- 48 % des visiteurs acquiescent qu'ils « aiment voir un parc éolien » ;
- Les touristes qui ont déjà vu un parc éolien, sont moins hostiles que ceux qui n'ont pas cette expérience ;
- Une minorité significative (20 à 30 %) de touristes préfèrent les paysages sans parcs éoliens. Cependant une très petite proportion remettrait en cause leur intention de revisiter l'Ecosse.

Effets sur les intentions de revisiter l'Ecosse

Les intentions de revisiter les sites touristiques ont été sondées sur la base de trois situations différentes :

- La personne a déjà vu les parcs éoliens ;
- La personne a vu un photomontage avant et après la construction du parc ;
- La personne a vu une photo d'un parc existant et un photomontage d'une extension de ce parc de l'ordre de 40 à 50 % en surface.

93 à 99 % des personnes qui n'ont pas encore vu un parc, déclarent que cela n'aura aucun effet sur leur intention de revisiter l'Ecosse. Dans le cas de l'extension du parc, les personnes interrogées sont plus négatives, leur intention de revisiter l'Ecosse baissant en conséquence.

La baisse d'intention de revisiter les sites peut être exprimée par le biais des pertes en dépenses touristiques.

Tableau 15 : Réduction des dépenses touristiques estimées dans chaque périmètre d'étude

Périmètre	Touristes affectés (%)	Réduction des dépenses touristiques (%)	Dépenses touristiques £m	Réduction des dépenses £m
Caithness and Sutherland	60,75	1,54	37,35	0,58
Stirling, Perth et Kinross	51,00	1,30	657	8,54
Scottish Borders	62,29	1,58	175	2,77
Dumfries and Galloway	67,62	1,72	359	6,17

L'étude chiffre également les pertes possibles des dépenses d'hébergement (hôtels, *bed and breakfast*) dans l'hypothèse où les clients de ces établissements subissent la vue d'un parc éolien. La méthode est celle du consentement à payer (dépréciation de l'offre d'hébergement si celui-ci est soumis à la vue d'un parc éolien).

Tableau 16 : Pourcentage de réduction des dépenses touristiques

Périmètres	Hébergement affecté (%)	Réduction des dépenses (%)
Caithness and Sutherland	4,90	0,48
Stirling, Perth et Kinross	6,60	0,65
Scottish Borders	6,70	0,66
Dumfries and Galloway	16,20	1,59

L'impact économique est donné dans le tableau 16. Il tient compte des parcs éoliens existants, de ceux en construction et en cours d'autorisation.

Tableau 17 : Estimation des impacts sur l'économie et les emplois des parcs éoliens en Ecosse (Valeur Ajoutée Brute en £m)

	Coût estimés VAB totale		Réduction potentielle des visites touristiques en 2015		Réduction potentielle des dépenses d'hébergement		Réduction totale due aux effets négatifs sur le tourisme en 2015 (maximum)	
	1	2	3	4	5	6	7=3+5	8=4+6
	VAB £m	Emplois	VAB £m	Emplois	VAB £m	Emplois	VAB totale £m	Emplois totaux
Caithness and Sutherland	466	1 590	0.6	27	0.1	3	0.7	30
Stirling, Perth et Kinross	2 961	10 600	5.2	279	1.1	60	6.3	339
Scottish Borders	1 150	3 600	1.5	75	0.2	6	1.7	81
Dumfries and Galloway	1 661	4 800	3.0	200	1.1	77	4.1	277

L'hypothèse est fondée sur la proportion de touristes non domiciliés en Ecosse, qui ont répondu qu'ils ne retourneraient pas en Ecosse. Les effets directs, indirects et induits sur le tourisme, sont évalués, dans l'hypothèse la plus pessimiste, à 211 emplois ETP (équivalent à 0,1 % de l'emploi touristique en Ecosse) ou encore à 4,7 millions de livres sterling (2007).

En conclusion, les résultats montrent que dans le scénario le plus pessimiste, l'impact touristique serait très faible et difficilement décelable dans 3 des 4 sites étudiés.

4.3 Conclusions

L'opposition aux parcs éoliens est souvent motivée par les effets négatifs attendus sur l'activité touristique corrélés à la perte potentielle d'attractivité du paysage dégradé visuellement. Les études consacrées à l'impact touristique de l'implantation de parcs éoliens offshore montrent que l'impact est souvent positif, voire très positif, en relation avec le tourisme industriel qui perdure après les opérations d'implantation.

Les méthodes utilisées dans certaines études sont intéressantes et à recommander. Elles combinent :

- des SIG pour évaluer les zones de soumission à la vue des parcs éoliens et le nombre de personnes concernées ;
- des enquêtes d'opinion pour établir le consentement à payer pour conserver les aménités paysagères ;
- des modèles économiques pour estimer les variations de revenus touristiques selon les hypothèses d'implantation des parcs d'éoliennes.

En France, la montée en puissance des énergies marines renouvelables constitue un terrain propice à la mise en application de ces différentes méthodes en vue d'analyser dans le contexte local, les incidences éventuelles de ces nouvelles activités sur le tourisme.

5 Les servitudes

5.1 Les servitudes militaires

Il s'agit principalement de servitudes liées aux champs de tir et aux polygones d'isolement, aux aéronefs, aux postes électro-sémaphoriques, aux amers, feux et phares, à la défense des côtes et aux fortifications. Ces servitudes ne sont cependant pas toutes strictement militaires, mais dans tous les cas elles nécessitent au minimum la consultation d'une autorité militaire compétente.

5.1.1 Les servitudes liées aux champs de tir et aux polygones d'isolement

L'existence de champs de tir en mer autorise l'Armée à interdire l'accès de la dite zone de tir pendant la durée des exercices, ainsi que l'érection de tout bâtiment pouvant gêner ces tirs. La consultation du Préfet maritime est obligatoire avant tout projet d'implantation pour savoir s'il y a ou non contrariété avec un éventuel champ de tir.

Les dispositions de l'article R. 421-38-12 du Code de l'urbanisme soumettent à autorisation du Ministre de la Défense toute construction à l'intérieur d'un polygone d'isolement, l'accord étant réputé donné faute de réponse dans un délai d'un mois suivant la transmission de la demande de permis de construire par l'autorité en charge de son instruction.

5.1.2 Les servitudes liées aux aéronefs

Dans certains cas, les aéronefs de l'Aéronavale effectuent des missions à très basse altitude et les fermes éoliennes peuvent alors constituer des obstacles non négligeables. Il est dans tous les cas indispensable de demander une autorisation aux autorités de la Marine Nationale, et notamment au Commandement des Forces Aéronavales (définition de zones d'interdiction de vol, des zones de dégagement, balisage lumineux spécifique).

Le Ministère de la Défense doit être consulté dans tous les cas, celui-ci pouvant émettre un avis négatif à l'implantation d'éoliennes en mer, car d'autres impératifs que ceux de l'Aéronavale peuvent exister du fait de l'existence de zones militaires de survol aérien (zones R, D et P) qui peuvent toutes interdire la construction d'obstacles en mer.

5.1.3 Les servitudes liées aux postes électro sémaphoriques

Le décret n° 61-614 du 12 juin 1961, détermine les postes électro-sémaphoriques relevant de l'autorité militaire, délimitant le champ de vue de ces ouvrages et énonçant les prohibitions liées à ces ouvrages. Parmi ces prohibitions figure l'interdiction d'élever des constructions dans l'étendue des champs de vue des sémaphores sans l'autorisation du Ministre de la Défense.

Il est donc nécessaire de s'assurer :

- des décrets existant en la matière et fixant l'étendue des zones spéciales de dégagement et les servitudes de protection contre les obstacles applicables sur le parcours du faisceau hertzien et les vues des sémaphores.
- de l'éventuelle inscription de ces servitudes dans les PLU (article R. 126-1 du Code de l'urbanisme)

Il est obligatoire de consulter le Préfet maritime ainsi que la Direction centrale du Génie militaire. En cas de contradiction entre les décrets créant les servitudes et l'ouvrage envisagé, ce dernier ne pourra être élevé, sauf autorisation spéciale imposant certaines contraintes ou adoption d'un décret spécifique par le Ministre de la Défense.

5.1.4 Les servitudes liées aux amers, aux feux et aux phares

Aux termes de la loi n° 87-954 relative à la visibilité des amers, des feux et des phares, et aux champs de vue des centres de surveillance de la navigation maritime, des zones de servitudes peuvent être créées par décret au cas par cas. Il est dans ce cas interdit d'y édifier une construction sans l'autorisation du Ministre en charge de l'Équipement et des Transports.

À noter qu'une éolienne en mer, du fait de sa durée et de sa fixité, ainsi que de son lien au sol – ce qui exclut le cas des éoliennes flottantes, – pourrait dans un premier temps être considérée comme des bouées fixes, puis dans un second temps comme un amer, au même titre qu'un phare en mer par exemple.

5.1.5 Les servitudes liées à la défense des côtes

La loi du 11 juillet 1933, modifiée par l'ordonnance n° 58-997 du 23 octobre 1958, institue des champs de vue en faveur des postes militaires en charge de cette défense et de la surveillance maritime. Toute construction située dans ces champs est ainsi soumise à une autorisation préalable du Ministre de la Défense, la servitude de « champs de vue » devant être annexée au PLU.

5.1.6 Les servitudes autour des fortifications

L'article 5 du décret du 10 août 1853 prévoit des servitudes défensives autour des places et des postes militaires, variables en fonction de la distance de l'installation par rapport à ces places et postes.

Il est interdit de procéder à toute construction dans cette zone sans une concertation avec les officiers du Génie et autorisation préalable par décret du Ministre de la Défense déterminant les conditions dans lesquelles les travaux seront effectués.

5.2 Les servitudes aéronautiques

De multiples servitudes aéronautiques existent pour des raisons de sécurité aérienne. Ces servitudes se traduisent soit par des impératifs de balisage, soit par des interdictions ou des restrictions à la construction, soit enfin par la définition de zones réglementées (zones terminales de terrain, zones de contrôle de terrain, zones d'exclusion,...). Ces servitudes peuvent être tant civiles que militaires (zones R, D et P). Il faudra dans tous les cas tenir compte de ces diverses servitudes, leur non respect impliquant le refus d'implantation, voire, en cours d'exploitation, le retrait de la concession et la destruction des installations.

5.2.1 Les servitudes de dégagement

Les servitudes de dégagement comportent l'interdiction de créer ou l'obligation de supprimer les obstacles susceptibles de créer un danger pour la circulation aérienne ou nuisibles au fonctionnement des dispositifs de sécurité établis dans l'intérêt de la navigation aérienne. Elles sont complétées par des servitudes de balisage. Ces servitudes sont prévues par l'article R.

421-38-13 du Code de l'urbanisme. Les installations susceptibles d'être grevées d'une telle servitude sont soumises à autorisation au titre de l'arrêté du 25 juillet 1990.

Les éoliennes off-shore sont soumises à de telles servitudes puisque celles-ci sont obligatoires pour les installations situées hors des agglomérations dont la hauteur en un point quelconque est supérieure à 50 m au dessus du niveau de l'eau – sauf zones particulières –, et ce qu'elles soient fixes ou mobiles.

Un avis sur la situation spécifique de chaque zone concernée par un projet d'implantation d'éoliennes en mer devra être demandé à la section « Environnement aéronautique » de la région militaire aérienne compétente, ainsi qu'auprès de la division « Planification-environnement sûreté » de la direction régionale de l'aviation civile. Il est enfin évident qu'un même avis doit être demandé au Préfet maritime compétent.

5.2.2 Les servitudes de balisage

Sont soumises à un balisage diurne et nocturne les installations dont la hauteur en un point quelconque, en dehors des agglomérations, donc au-dessus du niveau de l'eau est supérieur à 80 m en mer, voire à 50 m dans certaines zones ou sous certains itinéraires où les besoins de la circulation aérienne le justifient, notamment les zones d'évolution liées aux aérodromes et les zones dont le survol à très basse hauteur est autorisé (hélicoptères, avions de secours en mer).

5.3 Les servitudes maritimes

5.3.1 Les servitudes liées à la navigation et autres servitudes maritimes

Ces servitudes sont principalement celles découlant:

- de l'existence de zones réglementées: zones interdites, périmètres de sécurité autour d'installations industrielles ou militaires, zones de dépôt de dragages, zones d'attente, zones de dégagement de navires, zones de pêche, zones concernées par l'aquaculture, câbles sous-marins, câbles d'écoute, gazoducs, émissaires en mer,... ;
- de l'existence de vestiges: épaves, vestiges archéologiques, mines, débris divers,... ;
- des impératifs du pilotage à proximité des ports ;
- de l'usage de radars : radars portuaires, radars du CROSS, radars militaires,...

5.3.2 Le balisage

L'arrêté du 13 novembre 2011 définit les modalités de balisage des éoliennes situées en dehors des zones grevées de servitudes aéronautiques. Il est applicable dans sa totalité, mais précise que le balisage aérien ne doit pas interférer avec le balisage maritime. Toutes les éoliennes doivent être balisées (diurne et nocturne).

La couleur blanche doit être apposée uniformément sur le fût, la nacelle et les pales des éoliennes. Un dispositif supplémentaire de balisage nocturne doit être installé sur les éoliennes de plus de 150 m de hauteur (pale à la verticale).

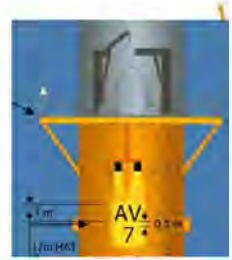
Balises maritime des éoliennes offshore (source : CETMEF)

Toutes les éoliennes sont peintes à la base en jaune (principe de la marque spéciale), du niveau des plus hautes mers jusqu'à une hauteur de 15 mètres au-dessus de ce niveau (ou au niveau du feu d'aide à la navigation, si celui-ci est plus haut).



Balises des champs d'éoliennes

Les éoliennes aux coins du champ et situées sur le périmètre sont munies d'un feu de navigation maritime, visible sur l'horizon (ce qui signifie que sur un fût d'éolienne, il faut trois feux, dans le même plan, mais disposés à 120°). Ce feu est à implanter sur le fût à une hauteur supérieure à 6 mètres et inférieure à 15 mètres au-dessus des plus hautes mers de vives eaux, et dans tous les cas en-dessous du plan de rotation des pales.



Balises des champs d'éoliennes

Les feux sont jaunes, **synchronisés** entre eux, montrant un des rythmes caractéristiques de la marque spéciale

- 1 éclat,
- (2+1) éclats,
- 4 éclats,
- 5 éclats,
- feux à signaux morse sauf A et U,
- éventuellement à occultation (si énergie suffisante),

à l'exclusion des autres rythmes.

-La portée du feu est supérieure à **5 milles**

Balises des champs d'éoliennes

Si les feux aux coins de la périphérie sont espacés de plus de 2 milles, prévoir une éolienne signalée de la même manière, en intermédiaire, avec un feu d'un rythme différent des premières et **synchronisé** avec les feux des autres éoliennes intermédiaires. La portée nominale des feux des intermédiaires doit être supérieure à 2 milles.

Structure isolée (mat de mesure, poste énergie, éolienne unique)

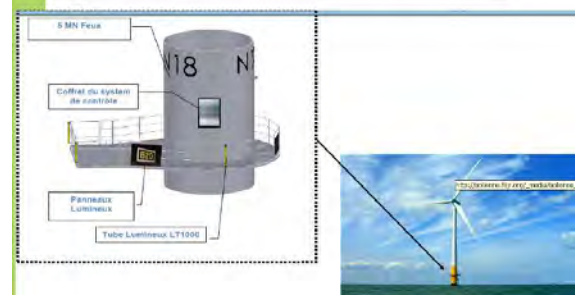
Pour la signalisation d'une structure individuelle, se référer au §2.3.2 de la recommandation O-139 :

-Signalisation jaune de jour, du niveau de PM jusqu'à 15 m au-dessus de ce niveau (ou au niveau du feu d'aide à la navigation, si celui-ci est plus haut).



-Feu **blanc** de rythme Morse U, feu à 6 mètres au moins au-dessus des pleines mer de vives eaux, portée supérieure à 5 M.

Balises des champs d'éoliennes



5.4 Les servitudes radioélectriques

La question des servitudes radioélectriques devra être réglée au coup par coup avec le Préfet maritime, ainsi que par prise de contact au moment de la procédure d'agrément préalable avec les responsables de Télédiffusion de France– TDF – et de la commission « sites et servitudes » de l'Agence nationale des fréquences. Il est également fortement conseillé de demander un avis à la cellule « Servitudes radioélectriques » du Commandement Air des systèmes de surveillance, d'information et de communications– CASSIC – ou encore à la Marine nationale pour ce qui est de certaines servitudes « radars ». Des plans de situation et des profils verticaux devront être obligatoirement joints aux demandes d'avis.

D'une manière générale, les installations électriques sont soumises aux prescriptions réglementaires relatives à la protection des réceptions de radiodiffusion contre les parasites radioélectriques – GTE 1094 –. De même, il faudra tenir compte des dispositions de l'article L. 112-12 du Code de la construction et de l'habitation, dispositions relatives aux éventuelles gênes occasionnées par les supports à la réception de la radiodiffusion ou de la télévision.

Une carte des servitudes radioélectriques devra être établie et soumise au Bureau central interministériel de documentation sur les servitudes radioélectriques– BCIDSR – pour validation et compléments. Les remarques de ce bureau devront être suivies de manière impérative.

En effet, un plan de protection contre les perturbations radioélectriques existe pour chaque station d'émission ou de réception, chacun de ces plans imposant des servitudes (de type PT1 ou PT2) et définissant un périmètre de protection entre le centre radioélectrique et les autres constructions, imposant ainsi une zone de servitude qui peut aller jusqu'à 5 km. Il faudra donc bien avoir un accord préalable pour connaître la hauteur maximale possible des éoliennes à implanter.

6 Impacts sur la navigation maritime

6.1 Enjeux et impacts attendus

L'activité accrue à l'intérieur des eaux marines de l'Europe a mené inévitablement à une concurrence croissante pour l'espace maritime. Les revendications rivales dans tout un éventail d'activités, incluant la pêche, la navigation de plaisance, les emplacements alloués pour des exercices militaires, les dépôts d'anciennes munitions, les secteurs de navigation et de mouillage, les champs pétroliers et gaziers, l'extraction de sable et les systèmes de récupération d'énergies de vent et des vagues s'accompagnent d'une pression accrue sur des écosystèmes marins et des habitats vitaux.

La mise en place d'éléments de coordination pour l'attribution de l'espace maritime aux différents secteurs constitue ainsi un préalable indispensable pour éviter les problèmes de chevauchement et de conflits entre les parties prenantes. Il y a aussi des questions transfrontalières comme le fait que des développements dans la zone maritime d'un pays puissent avoir des impacts pour un autre.

Les installations d'énergies marines renouvelables peuvent représenter un obstacle à la navigation maritime. Les risques encourus sont variables en fonction d'une part du type d'installations, de leur localisation et de leur densité, d'autre part du trafic maritime concerné et de sa densité (navigation de commerce et de pêche, navigation de plaisance, exercices militaires, navires de servitude des champs pétroliers et de gaz, navires de servitudes des EMR). Les conditions environnementales et météorologiques sont également un facteur pouvant dégrader les risques.

6.2 Impacts potentiels et facteurs à considérer

Les impacts potentiels sont :

- la modification des routes maritimes principales impliquant un allongement des distances du fait de la nécessité de contourner les installations d'EMR et le report éventuel du trafic sur d'autres routes entraînant leur densification ;
- Les changements de pratiques de certains usagers (pêche professionnelle, navigation de plaisance) dans le but d'éviter les EMR (structures immergées ou semi-immersées) ou au contraire de s'en rapprocher (opportunités de pêche) ;
- Les effets indirects sur les systèmes de navigation et de communication (radars, aide à la navigation) → voir le paragraphe 9 ;
- le risque de collision des navires avec les installations EMR.

Une publication de l'UK Maritime and Coastguard Agency (Offshore Renewable Energy) présente les risques et précautions à prendre à l'intention du personnel naviguant à proximité des EMR et notamment des parcs éoliens offshore.

Espacement	Les turbines sont généralement espacées de 500 m ou plus selon la taille de la turbine. L'espacement entre deux turbines est lié à la taille des pales. Les petits navires peuvent naviguer en toute sécurité dans le périmètre du parc alors que les navires de grande taille doivent le contourner.
Profondeur	Actuellement, les éoliennes posées sont limitées par la profondeur. Il est envisagé que les éoliennes de nouvelle génération puissent être implantées à des profondeurs supérieures (éolien posé et surtout flottant qui peut s'affranchir de la profondeur). Leur implantation devra tenir compte des routes de navigation et des chenaux d'accès aux ports.
Géomorphologie	Toute modification des conditions hydrodynamiques et géomorphologiques des fonds sous l'influence des installations est à considérer au regard de la sécurité de la navigation (changements bathymétriques, modification locale de la profondeur du fait des fondations ou de la pose d'enrochements).
Courant de marée	Les zones de turbulence autour des mâts des turbines peuvent constituer une contrainte pour les petits navires.
Risque de collision avec d'autres navires	Les navigateurs doivent prendre en considération la fréquentation des parcs par les navires de maintenance ou des navires en action de pêche à proximité et dont les évolutions peuvent être en partie masquées par les infrastructures.
Opérations de sauvetage	Les exploitants doivent pouvoir arrêter les pales des éoliennes à tout moment et les positionner à 90° du vent afin de permettre le sauvetage et l'hélicoptère en toute sécurité pour l'hélicoptère dans son vol stationnaire.
Balisage en mer	Les navires à l'atterrissage peuvent avoir des difficultés à percevoir les amers et marques de balisage à terre, et les feux et phares en navigation nocturne, s'ils sont masqués partiellement par les parcs éoliens
Câbles de liaison entre les éoliennes et câbles de raccordement électrique	Les manœuvres d'ancrage sont à prohiber dans le voisinage du parc et de la station de transfert, sauf pour des raisons de sécurité du navire.
Effets sur les systèmes de navigation et de communication	Les turbines des aérogénérateurs sont susceptibles d'affecter les radars, les balises radar (racon), le GPS, le DGPS, le Loran-C, l'AIS et les communications VHF.

<p>Effets de la rotation des pales</p>	<p>Au Royaume-Uni, la réglementation fixe à 22 m au dessus du niveau moyen des plus hautes eaux, le point bas des pales. Cette hauteur est suffisante pour permettre l'évolution des plus petits navires à proximité. Les navires à fort tirant d'air doivent respecter une distance d'éloignement appropriée.</p> <p>Les turbines créent un effet de « déventement » pouvant entraîner une réduction de 10 % de la vitesse du vent sous le vent des éoliennes et jusqu'à une hauteur de 15 m. Les effets résultant sur les navires sont fonction de la surface de fardage du navire et de la hauteur du mât pour un voilier.</p>
---	---

L'espace suffisant pour manœuvrer et la distance minimale vont dépendre de situations et critères variés comme (AIPCN, MarCom GT 161) :

- La densité de trafic,
- Les systèmes de gestion du trafic / secteurs de vigilance,
- Les radars et services de trafic maritime (VTS),
- La taille de navires incluant les caractéristiques pour manœuvrer,
- Les activités de loisirs,
- Les activités de pêche,
- Les croisements de trafic venant de tribord devant un parc éolien,
- Les croisements de trafic venant d'un parc éolien,
- Les croisements de trafic venant de tribord derrière un parc éolien,
- la possibilité pour les navires de pêche ou d'autres petites embarcations d'être présents dans le secteur entre les parcs éoliens et les voies de navigation,
- les conditions météorologiques (vent et vagues),
- les courants de marée,
- la position des zones de mouillage,
- les zones d'embarquement/débarquement des pilotes,
- les effets des parcs éoliens sur l'affichage radar du navire.

6.3 Impacts pendant la construction et le démantèlement

6.3.1 Chantier de construction maritime

Les phases de construction et de démantèlement nécessitent des navires spécialisés (barges, navires de transport des mâts et pales, très grosses grue de levage, navires de servitude). Une augmentation du trafic maritime est attendue en liaison avec l'utilisation renforcée des ports à proximité des champs d'EMR (amenée et montage du matériel sur des terre-pleins spécialisés existants ou à créer). Une augmentation locale du trafic est prévisible entre ces ports et les champs d'EMR proches pendant la phase de construction et de démantèlement. Une enquête réalisée sur la ferme éolienne Thanet (300 MW) au Royaume-Uni prévoit, pendant la phase de démantèlement, une augmentation du trafic de 20 à 30 navires en période de pointe.

Pendant la construction, l'interdiction temporaire ou permanente d'accès au chantier peut être prononcée à l'intention de tous les types de navires autres que ceux opérant pour l'installation des EMR. Cette restriction entraînera le contournement du site, une augmentation du temps de trajet et des consommations en énergie primaire des navires. Pour la pêche, les conséquences induites peuvent être une perte économique significative (allongement des routes de pêche, diminution du temps de pêche).

6.3.2 Pose des câbles

L'installation du câblage doit être envisagée à part. Lors d'opérations de pose, de maintenance, et de dépose des câbles sous-marins, la présence d'un navire à capacité de manœuvre restreinte remorquant divers équipements sur le fond et progressant à vitesse réduite est susceptible d'entraîner des perturbations sur la navigation de commerce, de plaisance, et de pêche (Créocéan, 2007). Lors des travaux de pose, l'impact est plus important à l'approche de la côte (petits fonds, navigation côtière). Dans le cas des câbliers, la gêne est minime car le câble est déroulé à une vitesse moyenne de quelques nœuds (2 à 4 nœuds) et le navire-câblier ne reste pas longtemps sur la même zone.

En ce qui concerne la navigation de plaisance, la gêne peut être considérée comme moindre car contrairement à la navigation de commerce ou de pêche qui répondent à des routes particulières, les bateaux de plaisance peuvent naviguer dans d'autres zones plus facilement.

Les impacts pendant la dépose sont assimilables à ceux engendrés par la pose d'un câble (Créocéan, 2007).

6.4 Exploitation

6.4.1 Les gênes à la navigation

L'interdiction de passage dans les parcs offshore (éoliens, installations houlomotrices) implique le changement et l'allongement des routes des navires avec pour corollaire l'augmentation de la consommation en énergie primaire et les coûts d'usage. De plus, les manœuvres d'évitement peuvent avoir pour conséquence un report des navires sur d'autres routes, d'où un accroissement de trafic et des risques liés (collisions). Une enquête sur le site hollandais Egmond aan Zee estime que l'effet sur la navigation en dehors du parc est négligeable. Une enquête réalisée à Nysted conclut que le trafic commercial est peu affecté par la présence des parcs, bien que le trafic général soit chiffré à 48 000 navires au Sud du parc (Elsam Engineering and ENERGI E2 2005).

Il faut aussi signaler que la navigation des navires à grand tirant d'eau peut être affectée à proximité des parcs si des protections anti-affouillement sont installées réduisant de fait la profondeur d'eau dans certains secteurs.

6.4.2 Les câbles sous-marins

Les tracés des câbles sont signalés. Cependant, en phase d'exploitation, les navires de pêche professionnelle utilisant des arts trainants (chaluts) sont exposés à des risques de croche si les câbles ne sont pas ensouillés, ou s'ils sont ensouillés à une profondeur insuffisante (CETMEF, 2010). On considère que l'ensouillage à 1,20 m sous la surface des fonds meubles est suffisante pour éviter des croches (sous réserve qu'il n'y ait pas érosion de la couche de sédiment dans la tranchée).

Lorsqu'ils sont ensouillés, les câbles ne présentent pas de danger. Cependant, dans les zones rocheuses ou les secteurs à fort courant, ils peuvent réapparaître sur le fond et ils ne sont pas détectables au sondeur. Par ailleurs, les boucles de réparations des câbles constituent également un risque de croche important (Ifremer, 2005). Les câbles côtiers sont protégés par une armure de fils d'acier résistants ayant de fortes charges de rupture, supérieures à 70 tonnes, et peuvent être fortement endommagés avant d'être libérés de la croche. De plus, la plupart des câbles sous-marins ont de hautes tensions (90 000, 225 000 ou 400 000 volts), ce qui peut entraîner des dommages mortels si on tente de les couper (Ifremer, 2005).

La majorité des navires est équipée d'un système de navigation électronique qui intègre le tracé des câbles sous-marins dans les plans de pêche. Les autres peuvent se référer à la carte «K» du SHOM ou peuvent être avertis, s'ils en sont équipés par leur système avertisseur de proximité (SAP). Ce moyen, mis à disposition par France-Télécom, consiste en une antenne et un boîtier contenant un GPS, donnant la position du navire. Les trajets des câbles à protéger sont enregistrés dans des mémoires, non modifiables par l'utilisateur. Un système d'alarme sonore ou visuel se déclenche quand on approche à une certaine distance d'un câble (Ifremer 2005).

Dans le cas d'une interdiction d'accès aux navires de pêche sur une partie du trajet du câble ou de la canalisation, ceux-ci doivent contourner le site et interrompre leur trait de pêche (une traîne de chalutage devient inexploitable si elle est coupée par un secteur interdit)

6.4.3 Les risques d'accidents maritimes

Les risques d'accident maritimes peuvent survenir pendant la période de travaux ou pendant l'exploitation. Il peut s'agir de :

- collisions entre navires et installations et entre navires eux-mêmes à l'intérieur ou à proximité des parcs d'installations d'EMR ;
- Naufrages et chavirements sur des hauts fonds ou des enrochements anti-affouillements ;
- Incendie des générateurs ;
- Explosion (pendant la phase de travaux, en cas de découverte d'engins explosifs en mer datant de conflits armés passés) ;
- Accidents de fonctionnement des machines (bris de pale, projection de morceaux de pales sur un navire) ;
- Accidents concernant le personnel de maintenance (marins, pilotes d'hélicoptères, techniciens de maintenance) ;
- Accident d'aéronefs ;
- Pollution accidentelle par fuite d'hydrocarbures ou des substances dangereuses selon la cargaison des navires.

Une analyse de risque est recommandée selon la méthode suivante :

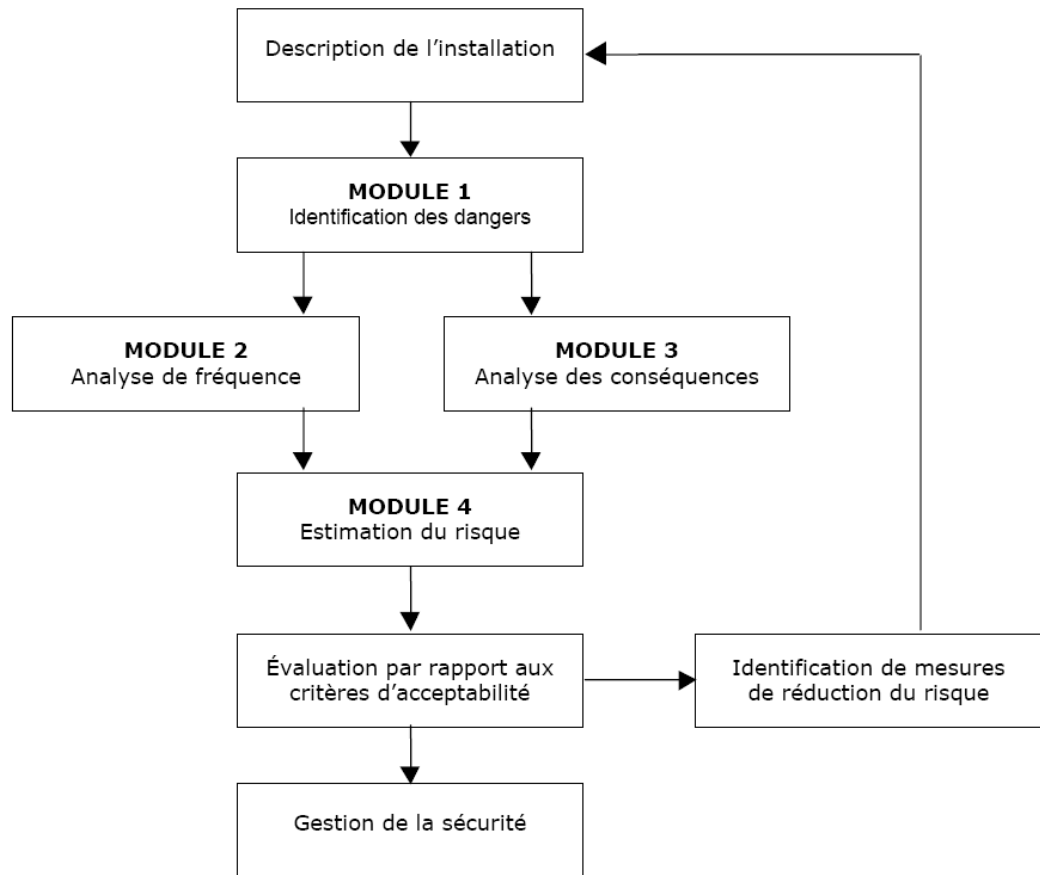
- **Etape 1** : L'identification des dangers et définition des scénarios d'accident ayant un risque potentiel pour les usagers de la mer et le public ;
- **Etape 2** : Ces scénarios sont ensuite soumis à une évaluation de leur probabilité d'occurrence. Cette évaluation repose sur l'utilisation de bases de données reconnues et sur la prise en compte des caractéristiques spécifiques du parc d'EMR et de ses conditions d'exploitation ;
- **Etape 3** : Les conséquences de ces scénarios sont évaluées à l'aide d'outils logiciels adaptés et reconnus ;
- **Etape 4** : Les résultats de l'évaluation de la fréquence et des conséquences sont combinés afin d'estimer le niveau de risque. Si nécessaire, des mesures de réduction du risque sont définies jusqu'à rendre le niveau de risque acceptable.

Tableau 18. Chaînes d'événements pouvant conduire à des accidents (extraits)²⁸

Description			
Ref	Description of Casual Chain (Event Sequence) (Accident Sequence)		
1	General Navigation Safety		
1	2		Collision
1	2	01	a Vessel navigating near a wind farm collides with another vessel that is navigating near a wind farm
1	2	01	b Vessel navigating near a wind farm collides with another vessel navigating around a wind farm.
1	2	01	c Vessel navigating around a wind farm collides with another vessel that is navigating around a wind farm.
1	2	01	d Vessel navigating around a wind farm collides with another vessel that is navigating through a wind farm.
1	2	01	e Vessel navigating through a wind farm collides with another vessel that is navigating through a wind farm.
1	2	02	a Fishing vessel collides with another navigating vessel navigating near, around or through a wind farm
1	2	02	b Presence of fishing vessels causes collision between other navigating vessels.
1	2	03	a Recreational vessel collides with another navigating vessel navigating near, around or through a wind farm
1	2	03	b Presence of recreational vessels causes collision between other navigating vessels.
1	2	04	a Anchored vessel collides with another navigating vessel navigating near, around or through a wind farm
1	2	04	b Presence of anchored vessels causes collision between other navigating vessels.
1	2	05	a Vessel engaged in operations collides with another navigating vessel navigating near, around or through a wind farm
1	2	05	b Presence of vessels engaged in operations causes collision between other navigating vessels.
1	2	06	a Vessels engaged in servicing a wind turbine (e.g. a mother and daughter vessel arrangement) collide with each other
1	2	06	b Vessels engaged in servicing a wind turbine (e.g. a mother and daughter vessel arrangement) collide with another navigating vessel navigating near, around or through a wind farm
1	2	06	c Presence of vessels engaged in servicing a wind turbine (e.g. a mother and daughter vessel arrangement) causes collision with other navigating vessels.
1	2	07	a Vessel engaged in a special event collides with another navigating vessel navigating near, around or through a wind farm
1	2	07	b Presence of vessels engaged in a special event causes collision between other vessels.
1	3		Contact
1	3	01	a Vessel under control makes contact with a wind turbine
1	3	01	b Vessel servicing a wind turbine makes contact with a wind turbine. (Special case of 3.01a)
1	3	01	c Vessel not under command makes contact with a wind turbine
1	3	01	d Drifting vessel makes contact with a wind turbine.
1	3	02	a Vessel under control makes contact with an offshore sub-station
1	3	02	b Vessel not under command makes contact with an offshore sub-station
1	3	02	c Drifting vessel makes contact with an offshore sub-station.
1	3	03	a Vessel under control makes contact with an offshore service base
1	3	03	b Vessel not under command makes contact with an offshore service base
1	3	03	c Drifting vessel makes contact with an offshore service base
1	3	04	a Vessel under control makes contact with an offshore accommodation platform
1	3	04	b Vessel not under command makes contact with an offshore accommodation platform
1	3	04	c Drifting vessel makes contact with an offshore accommodation platform
1	3	05	a Vessel under control makes contact with a wind turbine blade.
1	3	05	b Vessel servicing a wind turbine makes contact with a wind turbine blade. (Special case of 3.02a)
1	3	06	a Vessel not under command makes contact with a wind turbine blade
1	3	06	b Drifting vessel makes contact with a wind turbine blade (Special case of above)
1	3	07	a Vessel under control makes contact with a fixed structure associated with a wind farm (e.g. transformer platform)
1	3	07	b Vessel servicing a wind farm makes contact with a fixed structure associated with a wind farm
1	3	07	a Vessel not under command makes contact with a fixed structure associated with a wind farm
1	3	07	b Drifting vessel makes contact with a fixed structure associated with a wind farm (Special case of above)
1	8		Grounding and Stranding
1	8	01	a Vessel under control grounds or becomes stranded on a foundation structure and/or anti scour material.
1	8	01	b Vessel servicing a wind turbine grounds on a foundation structure and/or anti scour material. (Special case of the above)
1	8	02	Vessel under control grounds or becomes stranded on a collapsed wind turbine

²⁸ UK Department of Trade and Industry. Guidance on the assessment of the impact of offshore windfarms. Methodology for Assessing the Marine Navigational Safety Risks of Offshore Wind Farms, in association with MCA and Department of Transport.

Schéma 7.1 **Processus d'évaluation du risque et d'itération pour la mise en œuvre des mesures de réduction des risques**



Exemple d'une analyse du risque d'un accident maritime dans un parc éolien

Le tableau suivant évoque les principaux scénarios accidentogènes susceptibles de survenir dans un parc éolien offshore et met en perspective l'analyse du risque encouru (La Compagnie du Vent / GDF Suez, 2010).

Principaux scénarios d'accident envisagés	Analyse du risque
Rupture d'un fût d'éolienne ou d'une pale impactant un navire situé à proximité,	<p>Le risque de rupture d'un élément de structure a déjà été évalué pour les éoliennes terrestres lorsque celles-ci sont considérées suffisamment proches des habitations. L'ensemble de ces études réalisées démontre un risque extrêmement faible de rupture.</p> <p>De plus ce type de rupture ne se produirait vraisemblablement qu'en cas de mauvaises conditions météorologiques, ce qui réduit la possibilité de présence de navire à proximité.</p> <p>Le dimensionnement des installations et leur entretien permettra de limiter le risque de rupture d'un élément de l'éolienne.</p>
Heurt d'un navire par un élément d'éolienne à la dérive, flottant à la surface ou entre deux eaux, dans ou hors du parc,	En cas de rupture d'un élément d'une éolienne (tel qu'une partie de pale) susceptible de flotter à la surface ou entre deux eaux, des moyens sont mis en place pour localiser et récupérer l'élément en cause et des avis aux navigateurs seront diffusés qui préciseront la zone concernée. Ces mesures permettent de limiter le risque d'accident suite à un heurt d'un navire par un élément d'éolienne à la dérive.
Heurt d'une éolienne par un moyen de secours (canot de sauvetage ou hélicoptère de la sécurité civile) lors d'une intervention dans le parc éolien	<p>Pour ce qui concerne le risque de heurt d'une éolienne par un canot ou une vedette de sauvetage, en cas d'intervention à proximité ou à l'intérieur du champ d'éoliennes, l'acquisition d'une bonne connaissance des lieux lors d'entraînements réguliers dans la zone du parc permet de limiter ce risque.</p> <p>Pour ce qui concerne les risques de heurt d'éolienne par un hélicoptère, la mise en place du balisage aérien réglementaire et la définition de zones interdites de vol autour des éoliennes permettront de limiter ces risques. D'autres solutions complémentaires sont également à l'étude, notamment la possibilité de stopper les éoliennes à distance, depuis la côte, sur instruction des autorités compétentes et plus particulièrement celle du CROSS avant intervention sur site.</p>
Heurt d'une éolienne (ou une sous-station) par container ou un navire à la dérive suite à une avarie de propulsion ou d'appareil à gouverner,	Pour ce qui concerne le risque de choc potentiel entre un conteneur et une éolienne, la structure sera dimensionnée pour résister dans ce cas de figure.
Heurt d'une éolienne (ou une sous-station) par un navire suivant une route erronée.	Les risques de heurt d'une éolienne, que ce soit par un navire à la dérive ou sur défaut de pilotage, ont fait l'objet d'évaluations probabilistes (voir l'exemple qui suit).

L'analyse probabiliste permet de calculer la probabilité d'un événement, ici le heurt d'une éolienne par un navire, pour trois configurations du parc éolien. Les probabilités sont calculées en fonction de trois principaux paramètres : l'existence de routes maritime à proximité, leur éloignement par rapport aux implantations envisagées et la densité de trafic sur ces routes.

Capacité du champ (MW)	Probabilité calculée	Equivalence : 1 accident tous les
350	$5,8.10^{-4}/\text{an}$	1 720 ans
700	$8,6.10^{-3}/\text{an}$	115 ans
1 400	$1,4.10^{-1}/\text{an}$	4 ans

6.5 Les mesures de balisage réglementaire et de restriction de navigation

La présence d'installations EMR est signalée par des balisages diurnes et nocturnes reportés sur les cartes marines en usage. En France, la circulation maritime dans un parc d'EMR est réglementée par un arrêté du préfet maritime. Celui-ci s'appuie sur les recommandations d'une Grande Commission Nautique.

Une zone d'exclusion de la navigation peut être établie pour éviter la collision des navires avec les installations d'EMR. La zone d'exclusion peut réglementer la navigation de certains types de navires ou n'autoriser aucune navigation. Elle doit être adaptée aux pratiques locales de navigation et aux conditions météorologiques les plus défavorables, comme décrit dans les exemples qui suivent :

- L'exclusion autour des parcs éoliens est fixée de 500 m autour d'un dispositif en phase de construction et en phase d'opération de 50 m (BERR, 2007) ;
- Le projet PELAMIS, 30 houlomotrices du type « flotteur en surface » sur l'île de la Réunion, prévoit une zone d'exclusion ramenée à 80 m voire 50 m pour les pêcheurs professionnels pour la traîne, 200 m pour les techniques de pêche au fond, contre 500 m pour les autres usagers ;
- Le projet *SeaGen* est une hydrolienne qui exploite dans une profondeur de 20 à 26 m, les courants des marées (5 à 9 nœuds) sur le site de Strangford Lough en Irlande. Du fait des conditions difficiles de navigation dans ce secteur (brume fréquente), une zone d'évitement de 50 m est réglementée autour des installations ;
- Le site des hydroliennes de Paimpol-Bréhat en Bretagne ne constitue pas une zone d'exclusion des navires. Les turbines sont implantées à une profondeur comprise entre 35 m et 38 m et leur hauteur mesure 21 m à partir du fond. Le tirant d'eau critique est respecté y compris en période de forte houle. La collision avec une quille de navire est très limitée.

Exemple de l'avis de la grande commission nautique sur le projet d'un champ d'éoliennes au large de Veulettes-sur-Mer.

- Signalisation des parcs selon les recommandations de l'Association Internationale de Signalisation Maritime (AISM),
- Demande de validation des résultats d'une étude sur l'impact des éoliennes sur les systèmes de radionavigation,
- Définition d'une profondeur d'ensouillage des câbles fixée à 1,20 m sous le niveau des fonds marins, compte tenu des activités de pêche,
- Mise en place d'une signalisation sonore pour les petits bâtiments et les voiliers en particulier,
- Interdiction de la navigation des bâtiments de plus de 30 m,
- Navigation des usagers autorisée de jour comme de nuit (navires < 30 m) et mise en place d'une signalisation lumineuse (1 éclat en 4 s pour les éoliennes de coin),
- Dispositions à prendre pendant la phase transitoire des travaux,
- Transmission au SHOM des caractéristiques nautiques et installations ainsi que des restrictions de la navigation pour la mise à jour de la documentation nautique (carte marine, instruction nautiques).

7 Impacts sur la navigation et la pêche de plaisance, la plongée sous-marine

7.1 Navigation et pêche de plaisance

La présence de dispositifs de production d'énergie EMR peut avoir un effet ambivalent sur les pratiques nautiques des plaisanciers. Certains plaisanciers s'inquiètent de l'artificialisation du paysage maritime, ce qui peut les conduire à changer leur bassin de navigation. *A contrario* d'autres plaisanciers y voient l'opportunité d'un but de navigation, notamment dans les secteurs côtiers où il n'existe pas d'îles dans le bassin de navigation. Le champ éolien peut aussi constituer un point de parcours à contourner dans le cadre d'une course côtière ou d'une régata.

The *European Boating Association (EBA)* admet qu'il n'existe aucun risque de navigation à l'intérieur d'une ferme éolienne pour des navires d'une longueur de moins de 24 m. 75 % des navigateurs estiment naviguer en sécurité lorsque les turbines se trouvent à 500-700 m de distance (RYA, 2004). Les enquêtes faites auprès de plaisanciers anglais concluent que ces derniers continuent à naviguer dans leur bassin de navigation et adaptent leur navigation à la présence des EMR plutôt que de changer leurs pratiques en allant exercer leurs loisirs dans un autre bassin de navigation (Price, 2011).

Les pêcheurs-plaisanciers peuvent trouver de nouveaux sites de pêche à proximité des installations, du fait de la présence d'enrochements anti-affouillement ou de récifs artificiels d'accompagnement. La fréquentation des abords des parcs peut cependant être limitée par l'éloignement à la côte (consommation de carburant).

7.2 Plongée

Les enjeux sont importants pour les plongeurs de loisirs car les zones les plus favorables pour l'installation des installations d'EMR, les éoliennes offshore notamment, se situent au cœur de l'espace concerné par la plongée de loisir, puisque la profondeur pour l'implantation des éoliennes en mer doit en effet être inférieure à 40 m. Dans une logique de préservation des sites naturels et culturels les plus riches, les sites de plongée existants sont à considérer comme des secteurs de l'espace maritime à forte contrainte pour l'implantation d'éoliennes.

Les sites d'implantation de certaines EMR peuvent constituer des sites de plongées complémentaires de sites « naturels » ou des épaves fréquentées par les plongeurs. Cette diversification des sites de plongée peut être facilitée par l'implantation de récifs artificiels favorables à la colonisation animale et végétale, et ouverts à la plongée de loisir (FFESSM, 2011). On peut estimer que seules les éoliennes posées et leurs fondations et récifs d'accompagnement pourront exercer un attrait potentiel pour un plongeur, à condition que la sécurité de la plongée soit assurée. *A priori*, est exclue la plongée de loisirs à proximité d'hydroliennes installées par définition dans des zones de courants très forts et où il existe un risque mécanique pour le plongeur (blessures par les pales immergées). Des EMR éloignées du rivage et ancrées au large dans des zones de fort hydrodynamisme, ne peuvent être propices à l'activité de la plongée de loisirs. Cependant il faut envisager qu'elles puissent être fréquentées par des chasseurs sous-marins expérimentés compte tenu de l'effet potentiels de DCP (Dispositifs de concentration de poissons) des EMR en mer ouverte, notamment au regard de l'attraction des grands pélagiques par les structures immergées.

Trois facteurs sont à considérer :

- La question de l'accessibilité des sites d'implantation des éoliennes à la plongée, liée aux caractéristiques techniques des installations. Les réponses sont à apporter par les opérateurs, au cas par cas, pour chaque installation ;
- La sécurité spécifique à mettre en place sur ces sites particuliers : distance d'approche des installations, conditions courantologiques modifiées, difficulté ou interdiction de l'ancrage du bateau de plongée, modalités de surveillance des plongeurs (dérive), sécurité des plongeurs au regard de la circulation des navires de servitudes ;
- L'acceptation par la clientèle de plongeurs de délaisser des sites naturels ayant un intérêt fort pour la plongée (substrats rocheux, qualité du paysage sous-marin) pour un site artificiel implanté dans des fonds *a priori* d'intérêt plus limité pour un plongeur (fonds sablo-vaseux). A ces considérations qualitatives, s'ajoutent les contraintes liées au déplacement sur site (jusqu'à 10 ou 12 km de la côte) ayant une incidence directe sur le coût de la plongée.

8 Impacts sur la navigation aérienne

8.1 Enjeux et impacts potentiels

Avec une hauteur de jusqu'à 150-160 m pour une puissance de 3-5 MW (DTI SEA report, 2003) et un diamètre de rotor de 80 à 130 m (2010), les éoliennes offshore présentent un obstacle potentiel au trafic aérien civil et militaire.

Les vols pouvant poser des contraintes aéronautiques sont les vols à basse altitude qu'ils soient militaires ou civils (hélicoptères soutenant l'industrie du pétrole et du gaz). Les hélicoptères de servitude suivent des routes prédéterminées et volent normalement à une hauteur supérieure à celle de la turbine mais, par conditions météorologiques difficiles, ils peuvent être forcés de voler plus bas pour éviter le givrage du rotor, ou sans référence visuelle à la surface de la mer. Dans ces deux cas, la présence d'une ferme offshore pourra constituer un obstacle²⁹.

Les exercices militaires à basse altitude ont lieu à une hauteur moyenne de 250 pieds (75 m) ce qui est plus bas que la hauteur des certaines éoliennes installées. Les vols à basse altitude peuvent aussi concerner les vols de surveillance des activités de pêche ainsi que les opérations de recherche et de sauvetage.

8.2 Information aéronautique³⁰

Afin d'éviter une collision avec un obstacle artificiel, les équipages consultent les publications aéronautiques et prennent connaissance de ses caractéristiques sur une trajectoire donnée ou dans une zone d'évolution. Cet obstacle doit donc faire l'objet d'une information auprès des usagers aéronautiques. Dans le domaine de l'éolien, l'information aéronautique consiste à porter à la connaissance des usagers aéronautiques, de manière rapide et précise, la création de tout nouvel obstacle à la navigation aérienne d'une hauteur hors-sol égale ou supérieure à 50 m tel qu'un mât de mesures de vent, une éolienne isolée ou un parc éolien.

8.3 Servitudes radioélectriques

La régularité du trafic aérien ne pourrait être assurée sans le concours de divers équipements radioélectriques de communication, de navigation et de surveillance. Leur bon fonctionnement est indispensable à la sécurité des vols et à la régularité du trafic.

Le rôle principal de ces équipements consiste à émettre ou à recevoir des ondes radioélectriques. Ces ondes présentent la particularité de pouvoir être déviées de leur trajectoire par des obstacles de toutes sortes (constructions, arbres, lignes électriques, éoliennes ...). La sécurité des vols risque donc d'être gravement affectée lorsque des obstacles viennent perturber le rayonnement émis ou reçu par ces stations radioélectriques, au sol ou à bord des aéronefs.

²⁹ <http://www.bwea.com/pdf/European-Experience-and-Practice.pdf>

³⁰ Source des paragraphes 8.2. à 8.5. : <http://www.dsac-ne.aviation-civile.gouv.fr/index.php/eolien>

8.3.1 Servitudes radioélectriques de protection contre les obstacles

Il est donc indispensable de les protéger des obstacles gênants qui pourraient être érigés à proximité, en créant des zones de dégagement dans lesquelles leur présence est réglementée ou interdite. Les zones concernées sont appelées servitudes radioélectriques de protection contre les obstacles.

8.3.2 Servitudes radioélectriques de protection contre les perturbations électromagnétiques

En outre, il est nécessaire de se prémunir contre les brouillages pouvant être provoqués par des appareils électriques ou des émetteurs radioélectriques. A cette fin, les réceptions radioélectriques de l'Aviation civile sont protégées par des servitudes et des obligations à respecter dans un rayon de 1 000 m autour des équipements. Les zones de garde et de protection qui sont concernées sont appelées servitudes radioélectriques de protection contre les perturbations électromagnétiques.

8.4 Altitude minimale de secteur

Certains aérodromes sont équipés d'une ou plusieurs procédures d'atterrissage et de décollage aux instruments. Les trajectoires de ces procédures sont protégées par des aires qui déterminent des altitudes au-delà desquelles un obstacle nouveau peut générer un risque de collision. Ces altitudes assurent une marge de franchissement d'obstacles (MFO) spécifiée au-dessus de tous les obstacles situés dans un secteur circulaire de 25 Nm de rayon + 5 Nm (zone tampon), soit une distance de 55 560 m, centré sur une installation de radionavigation.

Lorsqu'une demande de sujétions aéronautiques est adressée à l'Aviation civile, celle-ci peut être amenée à recommander de limiter la hauteur des éoliennes en raison de la présence, à la verticale de votre projet, d'une altitude minimale de secteur (MSA). Le respect de cette recommandation permettra de maintenir le niveau de sécurité des procédures concernées.

8.5 Manœuvres à vue

Une manœuvre à vue s'inscrit dans la phase de l'approche finale. Elle est publiée lorsque l'approche finale ne peut être exécutée en approche directe ou lorsque des contraintes opérationnelles peuvent imposer de ne pas se poser directement sur une piste. On distingue deux types de manœuvres à vue :

- MVL (manœuvre à vue libre) : manœuvre effectuée à l'issue d'une procédure d'approche aux instruments et pour laquelle le pilote n'a pas de trajectoire à respecter scrupuleusement mais est supposé rester à l'intérieur des limites de l'aire de protection associée à sa catégorie d'aéronef ;
- MVI (manœuvre à vue imposée) : manœuvre effectuée à l'issue d'une procédure d'approche aux instruments et suivant une trajectoire définie à l'aide de repères visuels ou radioélectriques.

Les trajectoires des MVL et MVI s'inscrivent dans un volume de protection pour lequel il est défini une altitude de sécurité permettant le survol des obstacles avec la marge de franchissement d'obstacles réglementaire. Compte tenu de la proximité de la piste cette altitude de sécurité est très basse et la création d'obstacles artificiels de grande hauteur tels que des éoliennes peut être très contraignante pour les procédures aux instruments en vigueur.

La règle des 5 kilomètres

Lorsqu'une demande de sujétions aéronautiques est effectué, le Bureau Etudes Eoliennes émet un avis favorable avec ou sans restriction ou un avis défavorable. Cet avis peut également être assorti de recommandations de manière à faciliter la cohabitation des parcs éoliens avec l'aéronautique et à ne pas dégrader la sécurité des vols.

Une de ces recommandations peut porter sur le respect d'une distance de 5 000 m entre un parc éolien et un aéroport. En effet, maintenir une telle distance permettra d'une part, de respecter les surfaces de dégagement d'un aéroport d'aviation générale et, d'autre part, de garantir la sécurité des aéronefs en phase d'intégration du tour de piste, d'approche, d'atterrissage et de décollage. Un parc éolien situé à l'intérieur de ce périmètre peut réduire considérablement l'accessibilité d'un aéroport. Bien que participant évidemment à la sécurité des vols, cette contrainte des 5 km ne constitue pas une servitude.

9 Impact des EMR sur les systèmes de radars et de radionavigation maritime

Des inquiétudes ont été exprimées quant aux effets possibles des champs d'éoliennes sur les systèmes de radionavigation maritime et de communication. Plusieurs études expérimentales ont été menées au Royaume-Uni pour tenter de répondre à ces questions, notamment l'étude menée par BWEA en 2007 et par QINETIQ and the Maritime and Coastguard Agency en 2004.

9.1 Approche théorique

QINETIQ and the Maritime and Coastguard Agency ont mené une étude pour déterminer s'il était possible que les turbines des aérogénérateurs provoquent des parasites susceptibles d'affecter les radars, les balises radar (racon), le GPS, le DGPS, le Loran-C, l'AIS et les communications VHF. Cette étude résumée sur le tableau suivant conclut que généralement, les interférences ne sont pas significatives. Les conclusions ont été ensuite vérifiées par des expérimentations sur le terrain (cf paragraphe 9.2.).

Systèmes de détection ou de communication	Définition	Effets des EMR (éolien offshore)
Radar	Le radar (<i>Radio Detection And Ranging</i>) est un système qui utilise les ondes radio pour détecter et déterminer la distance et/ou la vitesse d'objets tels que les avions, les bateaux, ou encore la pluie. Un émetteur envoie des ondes radio, qui sont réfléchies par la cible et détectées par un récepteur, souvent situé au même endroit que l'émetteur. La position est estimée grâce au temps de retour du signal, ce qui indique la distance, et la position angulaire de l'antenne. La vitesse est mesurée à partir du changement de fréquence du signal par effet Doppler.	a)
RACON	Un racon est un type de transpondeur radar utilisé communément pour marquer les dangers de la navigation maritime, et pour aider à différencier les échos radars si le trafic est dense. Le mot est un acronyme de <i>Radar beaCON</i> (balise radar). Lorsque le racon reçoit une impulsion radar, il répond en émettant sur la même fréquence un signal qui, sur l'écran radar, laisse une image. Les racon peuvent être montés sur des phares, bouées, plates-formes pétrolières, etc.	b)
ARPA	L'ARPA (acronyme anglais signifiant <i>Automatic Radar Plotting Aid</i>) ou aide de pointage radar automatique, est un équipement associé au radar de navigation pour assurer le suivi des échos afin d'aider le navigateur dans le choix d'une manœuvre pour éviter la collision.	

GNSS	Le système de positionnement par satellites, appelé sous le nom plus complet de système de positionnement et de datation par satellites ou sous son acronyme anglais GNSS (<i>Global Navigation Satellite System</i>), est le nom général des systèmes de navigation satellitaires fournissant une couverture globale de géopositionnement à usage civil. Les GNSS utilisent les constellations existantes de satellite de navigation, et des systèmes satellitaires complémentaires d'amélioration de performance, comme EGNOS, ou des compléments au sol, comme le DGPS.	c)
Loran-C	Le LORAN (<i>L</i> ong <i>R</i> ange <i>N</i> avigation) est un système de radionavigation utilisant les ondes d'émetteurs terrestres fixes pour établir une position. Il s'agit du seul système hauturier à base terrestre restant en service car utilisé en secours des systèmes de positionnement par satellite et notamment du GPS, quoique moins précis. La version actuelle, le LORAN-C couvre une large partie de l'hémisphère Nord. Une version plus performante est en projet dans le même but (E-LORAN).	d)
AIS	Le Système d'identification automatique (SIA) ou <i>Automatic Identification System</i> (AIS) en anglais est un système d'échanges automatisés de messages entre navires par radio VHF qui permet aux navires et aux systèmes de surveillance de trafic (CROSS en France) de connaître l'identité, le statut, la position et la route des navires se situant dans la zone de navigation.	e)
ASN (DSC)	L'Appel sélectif numérique, (ou DSC : Digital Selective Calling), est un mode de communication utilisant une technique de transmission automatique des appels codés en format numérique. L'ASN permet d'appeler sélectivement une station de navire ou une station terrestre et, par une simple pression sur un bouton, lancer une alerte de détresse automatique à toute station. L'ASN est un système synchrone utilisant les caractères composés d'un code de dix éléments avec une détection d'erreur.	
VHF	La bande des très hautes fréquences (<i>very high frequency</i> ou VHF) est la partie du spectre radioélectrique s'étendant de 30 MHz à 300 MHz, soit respectivement, de 10 à 1 m de longueur d'onde électromagnétique. La bande des VHF est partagée entre de nombreuses utilisations, la diffusion de télévision terrestre et la radiodiffusion FM occupant la moitié du spectre, le reste est alloué en Europe aux liaisons satellitaires, maritimes, radioamateur, aéronautiques, privées ou militaires.	

a) Il est noté que toute structure ayant une SER importante pouvait être détectée par le lobe secondaire de l'antenne d'un radar et donner une position erronée de l'objet. En pratique, cela n'arrive que lorsque la cible est très proche du radar et possède une importante SER. Les turbines sont détectées par tous les radars maritimes, sauf s'ils sont situés à une grande distance du radar (> 40 km). Les navires évoluant à l'intérieur du parc éolien sont détectés comme des cibles à part à des distances supérieures à 40 km.

- b) Les éoliennes peuvent produire de fausses alertes des balises radar ou racon³¹ à des distances inférieures à 1,7 km quand la SER³² est maximale dans la direction de la balise. En pratique, cela ne se produit pas, la SER des radars modernes étant faible réduisant la distance en dessous de laquelle les racons peuvent déclencher une fausse alerte.
- c) Les GNSS ne sont pas affectés par les éoliennes dans la mesure où le calcul de positionnement précis se fait par trilatération à partir d'un minimum de quatre satellites.
- d) La faible bande de fréquence des Loran-C les met à l'abri de perturbations des éoliennes sauf si le récepteur est à proximité immédiate de l'obstacle.
- e) Les interférences électromagnétiques des systèmes AIS équipant les turbines sont considérées comme faibles et peuvent être contrecarrées par des isolations électriques.

9.2 Etude expérimentale

Des essais de mesure ont été menés aux alentours du champ de North Hoyle (au large de la côte galloise nord à proximité du port de Liverpool) et ont permis la vérification des prédictions théoriques. Les résultats indiquent qu'en général celles-ci étaient correctes et que les systèmes n'étaient pas affectés de façon significative. En particulier aucun écho parasite n'a été observé de la part des radars et il a été possible de suivre une petite cible à l'intérieur et à l'extérieur du champ d'éoliennes. Des essais ultérieurs ont montré que les structures des éoliennes affectent les systèmes radar embarqués et terrestres. Le passage à proximité ou à l'intérieur d'un champ d'éoliennes peut affecter la capacité du navire à se conformer aux règles internationales pour la prévention des abordages en mer.

9.2.1 Compas magnétique

Les aérogénérateurs et leurs réseaux de câbles entre turbines de raccordement avec la terre, ne causent pas de déviation magnétique. S'agissant de structures en métal ferreux, des précautions sont cependant à prendre à proximité immédiate des turbines.

³¹ Un racon est un type de transpondeur radar utilisé communément pour marquer les dangers de la navigation maritime, et pour aider à différencier les échos radars si le trafic est dense. Le mot est un acronyme de *RAdar beaCON* (balise radar). Lorsque le racon reçoit une impulsion radar, il répond en émettant sur la même fréquence un signal qui, sur l'écran radar, laisse une image. Les racons peuvent équiper sur des phares, bouées, plates-formes pétrolières, etc.

³² La surface équivalente radar (SER ou RCS pour *radar cross section* en anglais), ou surface efficace radar, est une propriété physique inhérente des objets indiquant l'importance relative de la surface de réflexion d'un faisceau électromagnétique qu'ils provoquent. La surface équivalente radar est fonction de la forme de l'objet, de la nature de ses matériaux constitutifs ainsi que de la longueur d'onde, des angles d'incidence et de réflexion du rayonnement.

9.2.2 DGPS

Des mesures du bruit de fond³³ ont été faites dans la bande des 300 Hz à l'approche du parc éolien et à proximité. Aucune différence n'a été constatée. Des signaux exploitables étaient reçus en continu aux deux stations DGPS de Point Linas et de Wormleighton. Aucune corrélation n'a été établie entre le rapport signal sur bruit³⁴ et la présence du parc éolien.

9.2.3 GPS

Le GPS a été testé à partir d'un appareil manuel à bord d'une embarcation à moteur sans dysfonctionnement apparent. Un test a été effectué à proximité des turbines, l'acquisition des données de 9 satellites s'est faite en moins de 30 s.

9.2.4 AIS

Les observations ont été faites sur des systèmes embarqués qui ont apparemment fonctionné et capté les signaux des turbines. Les communications VHF entre navires utilisant le canal 30 ont été satisfaisantes y compris quand le navire cible évoluait à l'intérieur du parc.

9.2.5 Loran-C

Les mesures du bruit de fond étaient réalisées à 100 kHz avant d'approcher le parc éolien. Aucune différence n'a été observée à proximité immédiate.

9.2.6 VHF et autres systèmes de transmission

Le parc éolien n'a pas d'effets notables sur les transmissions par VHF entre navire et station à terre et de navire à navire, ni sur les communications par téléphones mobiles. L'ASN a été également testé avec satisfaction. Les systèmes radiogoniométriques équipant les embarcations de secours ne fonctionnaient pas correctement à moins de 50 m des turbines. Les radios à onde courte équipant les radeaux de survie gonflables ont connu des interruptions de transmission à proximité de machines.

³³ Dans la théorie du signal, le bruit de fond (*noise floor en Anglais*) est la mesure du signal issue de la somme de toutes les sources de bruit ainsi que des signaux indésirables au sein d'un système de mesure

³⁴ Le rapport signal sur bruit désigne la qualité de la transmission d'une information par rapport aux parasites. Ce concept est utilisé pour caractériser un équipement électronique, ce rapport s'obtient alors en comparant le signal d'entrée avec le signal de sortie pour mesurer le niveau du bruit (signal parasite) ajouté par l'équipement.

9.2.7 Radars

Performance Radar équipant les petits navires

- Les générateurs des turbines provoquent des zones d'ombre dans lesquelles les autres turbines et les navires ne sont pas détectés (sauf lorsque le navire est en mouvement).
- La détection des cibles est réduite à l'intérieur du parc éolien en fonction de la surface équivalente radar des installations, paramètre spécifique influant grandement sur sa susceptibilité d'être détecté par un radar. Les générateurs des turbines limitent le pouvoir séparateur en distance et en gisement des radars.
- Les grands échos affichés à l'écran sont dus à la hauteur des turbines.
- Bien que les échos parasites sont réductibles en diminuant l'amplification du récepteur (gain), cela a pour effet de réduire également l'amplification des autres cibles en deçà de leurs valeurs-seuil de détection.
- L'état de la mer et les retours de pluie amplifient les difficultés de détection des cibles à l'intérieur et à proximité des parcs éoliens.

Performance des radars basés à terre

Type de radars	Résultats
1. Radars à courte portée (inférieurs à 6 nm)	<ul style="list-style-type: none"> • Les performances des radars équipés d'une antenne d'une hauteur de 6 m au-dessus du niveau de la mer, les performances sont équivalentes à celles des systèmes embarqués en termes de distance et de gisement des cibles perçues à l'intérieur du parc éolien. • A 200 m au-dessus du niveau de la mer, la performance du radar augmente en termes de gisement des cibles. • L'utilisation d'un radar plus puissant et à faisceau plus étroit permet une meilleure perception des cibles à l'intérieur et au-delà des parcs éoliens.
2. Détection d'un navire de grande taille	Un navire de plus grande taille est facilement détectable dans le périmètre du parc et au-delà. Cependant alors qu'il était détecté par un radar situé à terre, de multiples échos sont constatés en provenance des turbines lorsque le navire est dans le travers de la direction principale du radar. Lorsque l'angle du radar est plus oblique par rapport au navire, les échos multiples ne sont plus perçus, mais quelques échos sont observés.
3. Radar à longue portée (supérieur à 12 nm)	Les navires sont très bien détectés et suivis.

Radar système d'aide au pointage radar automatique (APRA), équipant les grands navires

- A l'instar des radars équipant les petits navires, les effets sont identiques sur le pouvoir séparateur en distance et en gisement des radars.
- La définition est moindre sur la bande S que sur la bande X³⁵.
- De nombreux échos parasites et réflexions des lobes secondaires ont été constatés sur l'un des navires à une distance d'environ 1,5 mille nautique. L'APRA du navire a eu des difficultés à suivre un navire-cible à l'intérieur du parc éolien

Conclusions

A l'exception des dysfonctionnements notés plus bas, sur la base de ces expérimentations, les auteurs considèrent que les parcs éoliens offshore sur les systèmes de radar maritime, les communications et les systèmes de navigation ne modifient pas significativement la sécurité maritime des navires.

L'une des questions principales concerne les interférences que peuvent provoquer les parcs éoliens d'une part entre radars situés à terre et radars embarqués et d'autre part, de navire à navire (échos multiples, mise en difficulté des systèmes d'aide au pointage radar automatique).

Ces effets peuvent être supprimés en maintenant une distance suffisante du périmètre des EMR ou, lorsque la navigation est restreinte, en prévoyant l'installation des parcs à une distance suffisante des principales routes maritimes et chenaux d'accès aux ports. Les auteurs recommandent une concertation préalable avec des autorités donnant les autorisations, les usagers de l'espace maritime et littoral ainsi que l'établissement de règles générales de sécurité.

9.3 Principes pour éviter la perturbation des radars³⁶

9.3.1 Introduction

Au vu des perspectives de développement de l'énergie éolienne et compte tenu de leurs missions de service public et de sécurité des biens et des personnes, les opérateurs radars ont saisi l'Agence nationale des fréquences (ANFR) pour étudier le risque de perturbation du fonctionnement de leurs radars fixes par les aérogénérateurs. Celle-ci a rédigé des rapports techniques mettant en évidence des risques de perturbations et proposant des solutions afin d'y remédier.

³⁵ La bande X est une plage de fréquences aux alentours de 8 GHz utilisée pour les télécommunications et la radio. Elle est attribuée à l'armée. On la retrouve également dans certains radars météorologiques mais la forte atténuation par les précipitations ne permet de l'utiliser que sur de courtes portées.

La bande S est une bande de fréquences définie sur la partie du spectre électromagnétique allant de 2 à 4 GHz. La bande S est surtout utilisée par les radars météorologiques et quelques satellites de communication, spécialement ceux que la NASA emploie pour communiquer avec leurs navettes spatiales et la Station spatiale internationale.

³⁶ Agence Nationale des Fréquences, 2007. Guide sur la problématique de la perturbation du fonctionnement des radars par les éoliennes.

Il ressort des rapports de l'ANFR que la réglementation actuelle sur les servitudes relatives aux obstacles ne permet pas de prendre en compte les spécificités des aérogénérateurs en termes d'impact sur les radars et nécessitent des recommandations particulières dans l'attente d'évolutions de la réglementation. En effet, les surfaces équivalentes radars (SER), importantes et variables dans le temps, présentées par ces machines, ainsi que le mouvement de leurs pales, sont des paramètres pénalisants pour le traitement des données radars. Les rapports de l'ANFR ont permis d'établir des recommandations adaptées à ces nouveaux paramètres pour en limiter les effets sur les radars. Ces recommandations portent sur la définition de zones de protection (5 km) et de zones de coordination (de 5 à 30 km).

Ainsi, tout projet d'implantation d'un aérogénérateur dans une zone de protection et qui serait en covisibilité avec un radar d'un des opérateurs radars cités précédemment fera l'objet d'un avis défavorable de la part des opérateurs radars. En outre, tout projet d'éolienne située dans une zone de coordination fera l'objet d'une concertation particulière pouvant aboutir à un avis favorable ou défavorable.

9.3.2 Contraintes des opérateurs radars

Les opérateurs radars se prononcent sur le risque de perturbation de leurs équipements notamment au vu :

- des enjeux de sécurité tels que le besoin de surveillance de l'espace aérien national pour la Défense,
- des servitudes radioélectriques, domaniales et aéronautiques de dégagement,
- des contraintes liées aux circulations aérienne et maritime,
- de la prévision des catastrophes météorologiques.

Le seul fait qu'une procédure aéronautique ou une portion d'espace soit touchée par un projet éolien ne suffit pas à fonder l'avis défavorable.

9.3.3 Zones de servitudes

Des servitudes aéronautiques de dégagement sont instituées pour protéger l'évolution des aéronefs aux abords des aérodromes, la visibilité des aides visuelles et le fonctionnement des stations ou installations météorologiques des aérodromes.

Les servitudes radioélectriques définissent des zones et des secteurs de dégagement vis-à-vis des obstacles et des perturbations électromagnétiques, autour des stations radioélectriques.

Ces servitudes peuvent être connues en consultant les plans locaux d'urbanisme disponibles. Une base de données nationale réservée aux professionnels est également accessible sur le site internet de l'ANFR.

Aucun parc éolien ne peut être implanté dans une zone soumise à de telles servitudes réglementaires.

9.3.4 Analyse de la covisibilité d'un aérogénérateur avec un radar

En l'absence de covisibilité des radars avec les éoliennes le risque de perturbation des radars est nul. En cas de covisibilité d'un radar avec une éolienne, il importe de déterminer si la machine électrique est située dans une zone de protection ou de coordination. Dans le cas d'une zone de protection, le risque de perturbation est trop élevé pour permettre l'implantation de la machine. Dans le cas d'une zone de coordination, il importe de mener une étude particulière pour évaluer le risque.

Les opérateurs radars étudient la covisibilité en menant une simulation avec une numérisation du terrain. L'étendue du périmètre des zones de protection et de coordination dépend de la technologie des équipements radars.

a) Un projet est autorisé si toutes les conditions suivantes sont remplies :

- aucune des éoliennes ne se situe dans la zone de protection du radar ;
- l'occultation du faisceau radar par tout groupe d'éoliennes est inférieure à 10 % ;
- les éoliennes ne sont pas alignées selon la direction des vents dominants ;
- la taille de la zone Doppler du parc n'excède pas 10 km dans sa dimension la plus grande. Le critère attaché à la notion de Zone d'Exclusion Mutuelle de 10 km (ZEM) est respecté.

b) Cas des sites sensibles

Un site sensible est une zone géographique définie par le préfet :

- qui est sensible au risque météorologique, notamment particulièrement exposée aux risques de vent fort,
- qui présente un enjeu socio-économique important, telle qu'une zone industrielle ou une zone à forte concentration urbaine,
- et dont le temps de réactivité demandé à Météo-France est compatible avec les capacités d'alerte en matière de prévision immédiate.

Ainsi, les entreprises pour lesquelles un plan particulier d'intervention (PPI) est élaboré et les aérodromes sont considérés comme sites sensibles.

La zone Doppler d'un parc éolien doit être éloignée d'au moins 10 km d'un site sensible.

9.3.5 Analyse en cas de covisibilité dans une zone de coordination

En cas de covisibilité dans une zone de coordination, la surface équivalente radar (SER) est utilisée dans l'analyse d'impact entre un radar et une éolienne. Les SER maximales de l'éolienne complète et de son rotor peuvent être soit calculées, soit mesurées et ce sous tous les angles de 0 à 360°. Elles peuvent être données par le fabricant des aérogénérateurs ou par un bureau d'étude spécialisé. A défaut, les opérateurs radars instruisent l'impact avec des valeurs de SER de 200 m².

10 Impacts sur le patrimoine historique et archéologique subaquatique

10.1 Enjeux

Les milieux subaquatiques et sous-marins recèlent au moins autant d'objets archéologiques que le milieu terrestre et l'étude et la collecte de ces vestiges présentent le même intérêt scientifique et patrimonial qu'en matière d'archéologie terrestre (Y. Gaillard, 2010). Les milieux subaquatiques et sous-marins sont d'abord de grands pourvoyeurs d'information sur les échanges commerciaux, à travers les cargaisons retrouvées ou l'étude des ports, ainsi que sur l'architecture navale telle que révélée par les épaves. Compte tenu de la modification du niveau des eaux, le milieu subaquatique peut également faire progresser les connaissances scientifiques sur les habitats autrefois terrestres, et peu à peu submergés par la montée des eaux naturelle ou artificielle. Le milieu immergé recèle, de surcroît, des objets dont le degré de conservation est souvent supérieur à celui des objets enterrés, soit en raison de leur profondeur, qui les met à l'abri des perturbations liées à l'activité humaine, soit parce que les milieux anaérobies permettent une conservation spectaculaire de matériaux organiques, tels que les bois, cuirs, textiles ou fibres végétales.

Le repérage des épaves contemporaines répond aussi à des enjeux de sécurité et protection de l'environnement. Des bases de données des épaves contenant des carburants fossiles, des produits chimiques, toxiques, fissiles ou explosifs sont ainsi constituées depuis les années 1980.

Quelque 5 000 épaves sont actuellement dénombrées dans les eaux françaises et le gisement des seules eaux métropolitaines est estimé entre 15 000 et 20 000. Selon le Département des recherches archéologiques subaquatiques et sous-marines (DRASSM), l'aire de compétence sur laquelle s'exerce la législation française en matière d'épaves et de biens culturels maritimes s'étend aujourd'hui à la mer territoriale et, par délégation, à la zone contiguë, soit 550 000 km² d'espaces maritimes. Néanmoins, la ratification par la France de la convention UNESCO du 2 novembre 2001 sur la protection du patrimoine culturel subaquatique pourrait étendre cette aire à la zone économique exclusive, soit 11 millions de kilomètres carrés, ce qui porterait le nombre d'épaves sous juridiction française à 100 000, voire 150 000.

10.2 Le cadre réglementaire³⁷

10.2.1 Le régime des épaves

Trois textes déterminent le régime des épaves, régime strictement distinct de celui de la protection des biens culturels maritimes :

- la loi n°61-1262 du 24 novembre 1961 modifiée, relative à la police des épaves maritimes;
- le décret n°61-1547 du 26 décembre 1961 modifié fixant le régime des épaves maritimes;
- l'arrêté du 4 février 1965 modifié.

Le découvreur d'une épave doit, dans la mesure du possible, la mettre en sûreté, et notamment hors des atteintes de la mer. Il doit de plus en faire la déclaration à la DRIM dans les quarante

³⁷ Bonnefoi S., Bonnefoi C. et C. Huet, 2002. Eoliennes en mer et maîtrise foncière : Eléments juridiques. ADEME.

huit heures. Le but est ici de prévenir un danger en mer et non de sauvegarder un bien culturel maritime.

La principale difficulté entre ce régime, finalement assez souple, et celui de la protection des biens culturels maritimes tient au fait que des objets d'origine antique tirés du fond des mers et ramenés dans les eaux territoriales ou sur le DPM sont considérés comme des épaves. Il faudra donc être très prudent en la matière et bien distinguer le cas où l'objet ou le bien est retiré du fond de la mer accidentellement ou volontairement.

Il est donc conseillé, dès qu'un objet ancien est retiré du fond ou trouvé sur le sol ou dans le sous-sol de la mer, de contacter le plus rapidement possible la DRIM qui sera alors responsable de la définition du bien en question. De même, il est conseillé d'interrompre tout travail sur la zone dans l'attente de la réponse de cette administration.

10.3 La protection des biens culturels maritimes

La protection des biens culturels maritimes est régie par deux textes:

- la loi n°89-874 du 1^{er} décembre 1989 modifiée, relative aux biens culturels maritimes;
- la loi n°2001-44 du 17 janvier 2001 relative à l'archéologie préventive, modifiée par les lois du 1^{er} août 2003 et du 9 août 2004, à présent codifiée au livre V du code du patrimoine, et précisée par le décret d'application du 3 juin 2004.

Les biens culturels maritimes sont constitués par les gisements, épaves, vestiges ou généralement tout bien qui, présentant un intérêt préhistorique, archéologique ou historique, sont situés dans le domaine public maritime ou au fond de la mer dans la zone contiguë. Il est d'ores et déjà important de retenir que la réglementation française en la matière s'applique tant au DPM, qu'à la mer territoriale, qu'à la zone contiguë.

La découverte de tels biens entraîne un arrêt immédiat des travaux et imposera, aux termes de l'article 2de la loi de 1989, de les laisser en place sans qu'il y soit porté atteinte, de quelque manière que ce soit.

De plus, cette découverte devra être déclarée dans les quarante-huit heures au plus auprès de l'administration compétente en la matière, c'est-à-dire de l'administrateur de la DRIM dont dépend le lieu de la découverte ou du premier port d'arrivée.

Tout prélèvement ou déplacement, toute recherche et/ou toute reprise des travaux est soumise à autorisation préalable de la DRIM. Celle-ci pourra imposer un certain nombre de mesures conservatoires, ainsi que des fouilles de sauvegarde pouvant retarder d'autant les travaux d'implantation des éoliennes en mer.

Des cartes des sites archéologiques sous-marins connus sont disponibles, et il est indispensable de consulter au préalable l'administration locale des Affaires maritimes, ainsi que celle des Affaires culturelles et le Département des recherches archéologiques subaquatiques et sous-marines (DRASSM), afin de savoir si un projet ne se situe pas dans une zone répertoriée. Si le projet se trouve dans une telle zone, ce sera à ces services de définir les servitudes éventuelles ou encore de demander l'interdiction de toute autorisation d'occupation ou d'exploitation.

Il faudra en fait tenir compte systématiquement de cette contrainte possible dès la phase d'études préliminaires en vue de l'implantation d'installation d'EMR.

10.4 Analyse des impacts

Les effets sur le patrimoine historique et archéologique ont pour source :

- Les constructions des fondations pour les turbines, hydroliennes et autres EMR fondées,
- Les ancrages des dispositifs flottants ou semi-immergés,
- Le remaniement des fonds pour l'installation des câbles de raccordements au sein des parcs et le raccordement à terre au poste de distribution,
- Les ancrages de navires des services.

Les **effets directs** de l'implantation d'EMR sur des sites archéologiques subaquatiques concernent d'une part, les dommages irréversibles par destruction de structures, dépôts et objets manufacturés et d'autre part, la perturbation des relations entre les vestiges et leur environnement (Wessex Archeology Ltd, 2007).

Les **effets indirects** relèvent des changements courantologiques et sédimentaires (érosion ou au contraire accréation) autour des fondations et des protections par encochement ou des tranchées d'installations de câbles qui peuvent avoir des effets à distance sur des sites voisins.

Les effets secondaires ont trait à l'action répétée des ancrages des navires de service ou des installations elles-mêmes.

Ces effets sont considérés comme négatifs. Cependant les actions menées pour récupérer les vestiges, les sauvegarder, les enregistrer, les conserver et les valoriser sont à mettre au compte des effets positifs des projets bien qu'il soit nécessaire de les évaluer au regard du principe de conservation in situ qui doit être préféré.

A terre ou dans la zone d'atterrissage, les effets à rechercher sont liés à la destruction de sites du fait de la construction de pistes d'accès, de chambres de raccordement ou de tranchées pour le passage des câbles à terre, de la construction des postes de distribution.

Les effets potentiels peuvent être analysés au regard d'une part, de la typologie des sites et des vestiges et d'autre part, de l'environnement physique affecté par les EMR, comme le suggère le tableau 18.

Tableau 19. Effets potentiels sur le patrimoine archéologique en fonction de la localisation des installations set de leur raccordement électrique

Zone	Matériel archéologique ou historique concerné	Sources d'impact
offshore	Epaves, sites de mouillage, routes de navigation, sites de bataille navale, vestiges dispersés	Fondation des installations, câbles de raccordement du parc Ancrage des installations par grands fonds
côtière	Epaves, sites de mouillage, routes de navigation, sites de bataille navale, vestiges dispersés	Câbles de raccordement des parcs avec la terre
intertidale	Matériel paléolithique dans les sédiments redéposés par les rivières en fonction des changements de niveaux de la mer Matériel préhistorique jusqu'à l'âge de fer et la période romaine	Emprise des installations (énergie houlomotrice) Câble de raccordement
atterrage	Matériaux préhistoriques jusqu'à l'âge de fer et la période romaine notamment dans les secteurs remaniés pendant la période médiévale et postérieurement	Câbles et chambres de raccordement
terrestre	Toutes périodes depuis le paléolithique jusqu'aux périodes modernes.	Câble de raccordement Emprise du poste de distribution et des fondations des pylônes (lignes électriques aériennes)

Les auteurs du guide précité soulignent que les impacts cumulatifs sont très difficiles à évaluer, en arguant d'une part le manque de connaissance du patrimoine historique et d'autre part, la difficulté d'appréhender l'évolution de la programmation et de la capacité du parc des EMR (extension de parcs existants, nouvelles technologies). L'analyse des impacts cumulatifs relève en particulier de l'évaluation environnementale stratégique qui vient en amont de l'évaluation de projets (étude d'impact).

10.5 Mesures pour éviter ou réduire les effets sur le patrimoine historique

La loi n° 2001-44 du 17 janvier 2001 sur l'archéologie préventive reconnaît le patrimoine archéologique comme devant être soit conservé en tant que tel, soit sauvegardé par l'étude scientifique. Elle impose d'accomplir des mesures de détection et, si besoin, de conservation et/ou de sauvegarde du patrimoine archéologique, même si celles-ci dépendent en fait de leur localisation, de leur nature, de leur intérêt scientifique ou historique et de l'importance des travaux d'aménagement projetés. Dans tous les cas, sont concernés les travaux soumis à déclaration préalable, ainsi que ceux dispensés d'autorisation d'urbanisme mais devant être précédés d'une étude d'impact. Dans toutes les hypothèses, les EMR relèvent de cette loi.

La loi rappelle que l'archéologie préventive relève de missions de service public, et fixe les prérogatives de l'État : prescripteurs des opérations archéologiques, ses services désignent le responsable scientifique et assument le contrôle et l'évaluation scientifique des opérations. Ils dressent la carte archéologique nationale.

La loi a créé le 1^{er} février 2002 un établissement public national à caractère administratif, chargé de la recherche en archéologie préventive : l'Institut national de recherches archéologiques préventives. Doté de droits exclusifs en la matière, cet établissement assure les diagnostics et fouilles préalables aux opérations d'aménagement. Pour la réalisation des opérations de terrain et des études, l'établissement public s'appuie notamment sur les services archéologiques des collectivités territoriales, ainsi que sur les établissements publics de recherche ou d'enseignement supérieur et sur les associations et autres structures de droit privé qualifiées.

Ce dispositif s'accompagne d'un double système de financement :

- d'une part, une redevance pour la réalisation de diagnostics par les personnes publiques ou privées projetant d'exécuter des travaux soumis à autorisation préalable en application du code de l'urbanisme ou donnant lieu à étude d'impact en application du code de l'environnement,
- d'autre part, un paiement direct par les aménageurs des fouilles prescrites sur l'emprise des travaux qu'ils réalisent.

Les opérations d'archéologie préventive sont prescrites par le préfet de région et leur mise en œuvre est assurée par l'INRAP ainsi que par les services archéologiques des collectivités locales ou d'autres organismes agréés.

La mise en place d'un processus progressif permet de convenir, à des moments définis, d'options claires et de prévoir le plus tôt possible les dispositions nécessaires à la bonne mise en œuvre du dispositif d'archéologie préventive.

Les questions d'archéologie doivent être, à chaque étape du projet, traitées avec le degré de finesse adapté à leur échelle³⁸.

³⁸ Sources : Circulaire n° 2004/025 du 24 novembre 2004 relative à la concertation entre services aménageurs et services régionaux de l'archéologie et à la perception de la redevance au titre de la réalisation d'infrastructures linéaires de transports.

Instruction jointe à la circulaire n°2004/025 du 24 novembre 2004 relative à la concertation entre services aménageurs et services régionaux de l'archéologie et à la perception de la redevance au titre de la réalisation d'infrastructures linéaires de transports.

	Phases du projet	Prise en compte de l'archéologie
Concertation	Planification	Evitement des grands sites connus
	Etudes Préliminaires Premières études sur le projet.	<ul style="list-style-type: none"> ● Recensement des sites et indices de sites archéologiques connus ● Délimitation des secteurs de sensibilité archéologique et des sites à éviter ● Méthode : documents existants, sondages complémentaires facultatifs ● Point de consultation obligatoire de la DRAC
	Etudes d'avant-projet Elles précisent la conception et la justification des opérations définies à l'étude préliminaire.	<ul style="list-style-type: none"> ● Recensement, localisation et hiérarchisation des contraintes archéologiques ● Identification des secteurs sensibles dans les périmètres (machines) et fuseaux (câblages) retenus ● Méthode : documents existants, sondages complémentaires facultatifs ● Point de consultation obligatoire de la DRAC
	Dossier d'enquête publique. Etude d'impact	Prise en compte des éléments ci-dessus pour la partie archéologie du volet patrimoine
Archéologie préventive	Concertation interadministrative	Vérification de la conformité des éléments du dossier proposé par le maître d'ouvrage avec les éléments actés lors de la phase de coopération
	Mise au point du projet Saisine du préfet	<ul style="list-style-type: none"> ● Saisine du préfet de région au titre de l'archéologie ● Prescription du diagnostic par le préfet de région ● Prescription des fouilles par le préfet de région ● Cahier des charges de la consultation et choix du prestataire en concertation DRAC / maître d'ouvrage
	Phase chantier	<ul style="list-style-type: none"> ● Concertation et mesures conservatoires en cas de découvertes imprévues ● Information à la fin des travaux

Chapitre 4 - Choix du site

Dans la recherche de sites marins favorables à l'implantation d'EMR, le maître d'ouvrage doit considérer les enjeux d'environnement et d'usage au même titre que les paramètres technico-économiques.

Pour ce faire, la réalisation d'un pré-diagnostic des usages et de l'environnement est nécessaire dès la phase de recherche de sites et dès les premières étapes de conception du projet. Il permet de repérer les principaux enjeux et d'affiner la délimitation de zones de moindre impact, potentiellement favorables à l'accueil de cette nouvelle activité.

Il ne s'agit pas d'étudier en détail l'ensemble des contraintes environnementales et socio-économiques, étape néanmoins indispensable à un stade ultérieur du projet, mais bien de s'interroger sur la compatibilité des grandes lignes du projet avec les enjeux environnementaux et socio-économiques majeurs du milieu.

A ce stade de réflexion, aucune investigation de terrain n'est engagée, et la sélection du site peut se faire sur la base d'un ensemble d'informations relativement accessibles : bibliographie, consultation d'experts, échanges avec les services déconcentrés de l'état.

Dans le cadre de la planification des énergies marines renouvelables en mer décidée par la circulaire du 5 mars 2009, le préfet maritime de l'Atlantique, le préfet de la région Haute Normandie et le préfet de région Provence Alpes Côtes d'Azur ont confié au Centre d'Études Techniques Maritime Et Fluvial, avec l'appui technique du Centre d'Études Techniques de l'Équipement Normandie Centre et Méditerranée et d'Ifremer, ont décidé de la mise en œuvre d'un Système d'Information Géographique visualisable en ligne sur les trois côtes françaises (Manche Mer du Nord, Atlantique, Méditerranée).

Cet outil qui reprend en partie une étude similaire réalisée par l'ADEME-Ifremer en 2007 a pour but de recenser l'ensemble des données techniques et des contraintes d'usage et environnementales sur une zone allant jusque 50 km des côtes et/ou 200 m de profondeur. Il a pour but de mettre à disposition de tous les acteurs la visualisation de l'ensemble des données recensées sur une zone donnée et d'apporter ainsi une aide aux réunions de concertation pour la détermination de zones propices au développement des énergies marines.

Les différentes réunions de concertation portant sur le développement de l'éolien offshore ont abouti à la détermination de zones propices le long des différentes façades maritimes métropolitaines (Manche, Bretagne, Pays de Loire, Aquitaine, Méditerranée).

L'ensemble des données est hébergé sur le serveur SEXTANT d'Ifremer³⁹. Une grille de sensibilité (voir annexe 1) permet de classer les données identifiées sur chaque site. En outre, certaines adaptations semblent possibles quant à la sensibilité des critères proposés vis-à-vis des technologies émergentes amenées à se développer sur les côtes françaises. Dans le cadre du développement des énergies marines renouvelables dans les DOM-COM, l'application d'une méthodologie similaire permettrait de cibler les zones les plus adaptées aux énergies susceptibles de s'y développer dans l'avenir.

³⁹ <http://www.geolittoral.equipement.gouv.fr/energies-marines-renouvelables-emr-r153.html>

Chapitre 5 - Analyse de l'état initial

Toute démarche d'évaluation environnementale et socio-économique repose sur la réalisation d'un état initial des milieux qui a pour objectifs de :

- Valider, et le cas échéant, préciser le champ d'investigation (aires d'étude, composantes de l'environnement au sens large) identifié par le pré-diagnostic environnemental socio-économique et transcrit de manière formelle dans le cadrage préalable ;
- Regrouper, pour chaque composante de l'environnement et des activités socio-économiques, les données nécessaires à l'évaluation environnementale et socio-économique du projet ;
- Identifier les enjeux environnementaux et socio-économiques du territoire qui pourront subir des effets directs ou indirects du projet ;
- Affiner la définition du périmètre de projet ;
- Proposer une hiérarchisation des enjeux environnementaux et socio-économiques qui risquent d'être concernés par le projet.

L'analyse de l'état initial du site et de son environnement au sens large doit se fonder non seulement sur des données documentaires et bibliographiques, mais également s'appuyer sur des investigations de terrain qui pourront être approfondies progressivement en même temps que le projet technique sera affiné. L'évaluation environnementale et socio-économique des projets avant (étude d'impact) et après (suivis) leur réalisation suppose de disposer d'une connaissance suffisamment précise de l'environnement et des usages sur les sites directement ou indirectement influençables par les opérations de chantier et les aménagements. La pertinence des sources d'information est la garantie d'une bonne évaluation environnementale et socio-économique.

Les composantes à analyser sont celles qui sont susceptibles d'être prioritairement affectées par les travaux et les installations EMR. Ce sont les enjeux environnementaux et socio-économiques propres à chaque territoire de projet qui déterminent si le champ de l'analyse doit être élargi ou au contraire réduit. L'analyse de l'état initial porte sur le compartiment physique, le compartiment biologique, le paysage et le patrimoine, et les activités socio-économiques.

Au vu des pressions et impacts à considérer pour chaque type de technologie, ce chapitre vise à spécifier les composantes de l'environnement et des activités à étudier, les critères d'évaluation adéquats, les échelles d'études appropriées et les méthodes disponibles de renseignement des connaissances. Par rapport à ce dernier objectif, il s'agit de faire le point sur les données bibliographiques traditionnellement disponibles et des investigations terrains nécessaires à l'évaluation des impacts.

Etant donné le stade de développement peu avancé de certaines technologies, les retours d'expériences disponibles ne permettent pas nécessairement de conclure sur tous les besoins d'études en « routine » de l'état initial. En effet, certaines incertitudes sur des effets pressentis de ces technologies sur l'environnement doivent d'abord être clarifiées.

Il s'agit d'appréhender avec suffisamment de recul scientifique les enjeux potentiellement associés à ces effets pour pouvoir dans un second temps mettre en œuvre les moyens appropriés pour conduire l'évaluation environnementale et socio-économique de projet.

S'il est clair que les projets pilotes doivent jouer un rôle central dans cette démarche d'approfondissement des connaissances, il est important de faire une distinction entre ce qui relève d'avantage de la recherche et ce qui relève d'un cadre d'évaluation environnementale et socio-économique plus classique. Dans un contexte de foisonnement de technologies émergentes, ces deux approches restent néanmoins étroitement liées, et ce point particulier est traité plus en détail dans le chapitre consacré aux suivis environnementaux et socio-économiques (voir p. 306).

La réalisation de l'état initial doit enfin répondre aux principes d'efficacité et de proportionnalité. Il s'agit de cibler les informations nécessaires et suffisantes à l'évaluation des impacts du projet tout en fixant des moyens d'investigation adaptés à l'importance des enjeux considérés et à la taille du projet.

Notons enfin que pour un maximum d'efficacité, les investigations d'état initial peuvent anticiper sur les suivis qui s'avèreront nécessaires dans le cadre du projet. A ce titre, les points de référence de l'état initial pourront être choisis de sorte à constituer les bases de comparaison des investigations de suivi à condition que les précautions nécessaires pour choisir les sites aient été prises (cf. Chapitre 8 -).

Tableau 20 synthétise les préconisations d'études en termes d'états initiaux pour les différentes technologies considérées. Les besoins relatifs aux câbles de transport d'électricité font l'objet d'un traitement à part entière. Le détail de chaque composante est présenté dans les sous-chapitres suivants.

Tableau 20 : Synthèse des préconisations d'étude de l'état initial des sites de projets d'EMR

Compartiment	Composante	Technologie				Transport (Câbles)
		Eolienne	Hydrolienne	Houlomotrice	ETM / PAC	
Milieu physique	Conditions océanographiques	X	X	X	X	-
	Nature et structure des fonds	X	X	X	X	X
	Topographie et géomorphologie terrestre	-	-	X Installations à la côte uniquement	X Installations à la côte uniquement	X / Atterrage
	Qualité physico-chimique du substrat	X	X	X	X	X
	Qualité physico-chimique des eaux	X	X	X	X	X
	Ambiance sonore	X	X	X	X	
Milieu biologique	Biocénoses et macrofaune benthique	X	X	X	X	X
	Habitats terrestres	X / Installations à la côte uniquement				X / Atterrage
	Faune pélagique et ressources halieutiques	X	X	X	X	X
	Phytoplancton	-	-	-	X	-
	Mammifères marins	X	X	X	X	X
	Avifaune	X*	X*	X*	X*	X / Atterrage
	Chiroptères	X / Structures émergées uniquement				
Paysage et patrimoine	Paysages	X**	X**	X**	X**	X / Atterrage
	Patrimoine naturel et archéologique marin	X	X	X	X	X
Activités et usages	Pêche	X	X	X	X	X
	Navigation commerciale	X	X	X	X	X
	Extractions de granulats	X	X	X	X	X
	Activités de loisir	X	X	X	X	X
	Tourisme	X	X	X	X	X
	Réglementation et servitudes	X	X	X	X	X
	Organisation du territoire et des ressources	X	X	X	X	X

*: l'état initial de l'avifaune ciblera principalement les structures émergées. Néanmoins, une attention sera à porter aux oiseaux plongeurs pour les dispositifs immergés.

** : l'état initial paysager ciblera principalement les structures émergées visibles depuis la côte. Néanmoins, l'étude des paysages sous-marins ne devra pas être négligée pour les installations immergées sur des fonds fréquentés par la plongée.

1 Analyse du milieu physique

Un certain nombre de données physiques est indispensable à la définition des ressources en énergie d'une part et à la conception technique des projets d'autre part. La connaissance des conditions océanographiques renseigne ainsi sur le potentiel en vent, en houle ou encore en courant d'une zone. Elle contribue au dimensionnement des structures et au calcul des contraintes de résistance et de stabilité des dispositifs. La connaissance de la nature des fonds est nécessaire pour définir le type de fondations ou d'ancrages à privilégier. La plupart de ces données sont directement valorisables dans le cadre des démarches d'évaluation environnementale. Dans ce cadre, une optimisation de certaines campagnes d'investigation de terrain peut permettre de satisfaire des objectifs de connaissance complémentaires.

Nota : les préconisations d'état initial faites dans ce chapitre ne visent que des objectifs d'évaluation environnementale.

1.1 Conditions océanographiques

Le terme *conditions océanographiques* concerne ici la courantologie, l'agitation, les mouvements de marée et les vents.

Objectifs

Pour les énergies éoliennes, hydroliennes et houlomotrices, la présence des installations et la soustraction d'énergie du champ aquatique est susceptible de modifier l'hydrodynamisme sur une étendue plus ou moins vaste autour des installations. L'analyse des conditions océanographiques avant projet permet, au travers d'un exercice de modélisation de prédire les perturbations localement induites par le projet sur les différents régimes hydrodynamiques et sédimentaires. Ces données peuvent également alimenter une réflexion sur les perturbations à plus grande échelle et notamment sur l'influence potentielle du projet sur le trait de côte.

Pour les ETM ou les PAC, l'enjeu est différent. L'objectif se limite essentiellement à la connaissance de la courantologie pour la modélisation de la dispersion des rejets. A noter que pour certaines installations côtières (par opposition aux installations offshore) ces données peuvent s'avérer nécessaires à l'évaluation des impacts de la présence des installations sur le transit sédimentaire et les habitats côtiers.

La connaissance de la courantologie peut enfin alimenter l'évaluation de la dispersion des panaches turbides induits par certaines opérations de travaux. A l'exception d'enjeux particulièrement forts à proximité, cette évaluation ne nécessite pour autant pas en soit un exercice de modélisation spécifique.

Critères

Courantologie : direction et vitesse

Houle : direction, hauteur, période

Vents : direction, vitesse

Marées : amplitude

Sources et méthodes d'étude

Pour la **courantologie**, à l'échelle de précision nécessitée pour la réalisation de modélisations, il est généralement nécessaire de procéder à des acquisitions de données *in situ*. Les mesures peuvent être soit des mesures ponctuelles mesurées par une série de courantomètres classiques soit des mesures de profils réalisées à l'aide d'ADCP (*Acoustic Doppler Current Profiler*). A noter que pour d'avantage de précisions des modèles, des données d'entrée complémentaires aux mesures de courantologie sont souhaitables (bathymétrie, houles et vents).

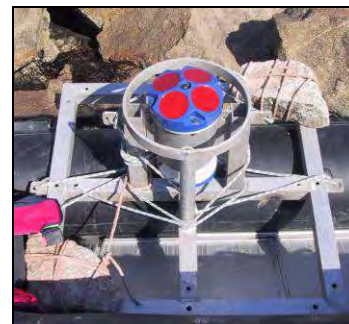


Figure 51 : ADCP

(Source : Astérie)



Figure 52 : houlographe

(Source : L.X. Grima)

Pour la **houle**, des mesures peuvent être obtenues par satellites (IFREMER – CERSAT et Météo France), par modélisation numérique ou par mesures *in situ* par le biais de houlographes.

L'acquisition de données de marées peut se faire auprès du SHOM ou par le biais de mesures *in situ* par marégraphe si la technologie et les enjeux considérés nécessitent un tel niveau de précision.

Des données de vent sont disponibles auprès de Météo France, mais des mesures peuvent également être acquises sur site.

Echelle d'observation

L'échelle d'analyse de l'état initial devra permettre de couvrir les zones où l'opération crée un risque de perturbations significatives des conditions océanographiques. Si ces zones sont susceptibles de s'étendre au delà du strict périmètre de projet, les besoins en termes d'acquisition *in situ* se limitent cependant le plus souvent à ce périmètre de projet. Les données nécessaires sur une étendue plus vastes peuvent être obtenues par modélisations ou à partir de sources existantes.

1.2 Nature et structure des fonds et des sols

Le terme *nature et structure* regroupe ici la géologie, la morpho-bathymétrie et la morpho-sédimentologie.

1.2.1 Nature et structure des fonds marins

Objectifs

Quel que soit le type d'installation considérée, la connaissance de la nature des fonds marins est un préalable indispensable à une évaluation adaptée des impacts du projet sur ces fonds. Elle permet en premier lieu de sélectionner les zones de moindre impact pour la localisation des ouvrages, en évitant les fonds de plus forte sensibilité. Elle permet en second lieu d'évaluer les impacts directs associés aux interactions mécaniques et les impacts potentiels indirects liés à la modification des composantes physico-chimiques ou biologiques de l'environnement.

La connaissance de la morphologie permet ensuite de suivre cette évolution dans le temps. Les variations observées peuvent être corrélées avec le transport des matériaux : érosion / dispersion ou accrétion / accumulation.

On notera que la cartographie géomorphologique des fonds marins renseigne également sur leur sollicitation par d'autres actions anthropiques mécaniques telles que la pêche aux arts traînants. Ces connaissances permettent d'appréhender les effets du parc sur les fonds au regard de ces autres activités.

Critères

- **Géologie** : nature géologique des fonds et caractéristiques granulométriques des profils,
- **Morpho-bathymétrie** : altimétrie des fonds,
- **Morpho-sédimentologie** : faciès et lithologie des fonds.

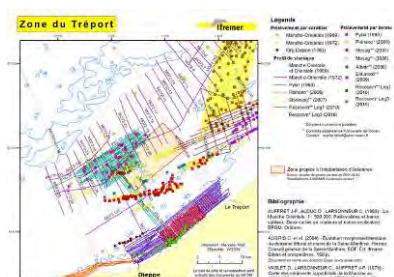
Sources et méthodes d'étude

La connaissance de ces différents éléments suppose la réalisation d'investigations spécifiques de terrain. A noter que la réalisation de ces différentes campagnes est conseillée par l'Ifremer pour la définition des états initiaux des projets d'EMR. Les protocoles recommandés sont disponibles au lien suivant :

http://wwz.ifremer.fr/drogm_eng/Cartography/Continental-Shelf/Implantation-d-eoliennes/Protocole .

La **nature géologique** des fonds est déterminée par la réalisation de campagnes sismiques et de prélèvements de sédiments par carottier ou benne.

A noter que l'Ifremer a réalisé l'inventaire des données géologiques sur un périmètre large autour des cinq sites retenus pour l'appel d'offres du 11 juillet 2011 relatif à l'implantation de 3 000 MW d'éolien offshore au large des côtes françaises.



La cartographie **morpho-bathymétrique** des sites est réalisée au moyen d'un sondeur mono ou multi-faisceau. L'objectif de comparaison différentielle des levés avant, pendant et après projet nécessite des mesures précises. L'Ifremer préconise une échelle de 1/5 000 pour la réalisation de trois types de cartes : carte des sondes, carte en isobathes et carte des différentiels (dans le cadre du suivi).

Sources et méthodes d'étude

La cartographie **morpho-sédimentaire** des sites est réalisée au moyen d'un sonar à balayage latéral, dont la fréquence est choisie de sorte à obtenir une définition optimale des différents faciès sédimentaires. Des prélèvements à la benne (substrats meubles) permettent d'associer chaque faciès acoustique à une nature lithologique et une classe granulométrique. L'Ifremer préconise une échelle de 1/5 000 pour la réalisation de deux types de cartes : carte morpho-sédimentaire et carte des différentiels (dans le cadre du suivi).

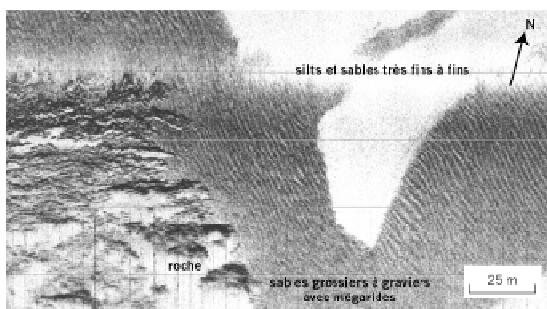


Figure 53 : Sonogramme extrait de l'Atlas thématique de l'environnement marin de la baie de Douarnenez – Finistère – (Augris et al., 2005).

Nota : le levé morpho-sédimentaire est réalisé simultanément au levé bathymétrique. La reconnaissance des habitats, également réalisée en partie par sonar latéral peut être réalisée pendant cette campagne.

Echelle d'observation

Réalisées en amont de la définition précise du site, les observations doivent couvrir l'ensemble de la zone retenue pour la mise en œuvre des installations et des câbles.

A noter que la connaissance de la dynamique sédimentaire peut s'avérer intéressante pour évaluer les perturbations causées par la présence des installations sur le transit sédimentaire et les processus d'érosion ou d'accrétion. Pour ce type de projet, cette dynamique est généralement appréciée à partir des données hydrodynamiques acquises et des caractéristiques du substrat. Les images des fonds acquises par sonar fournissent également des indications sur le déplacement des matériaux sur les fonds.

1.2.2 Topographie et géomorphologie terrestre

Objectifs	La connaissance des caractéristiques du milieu terrestre permet d'une part, de préciser les modalités de projet (faisabilité et moindre impact de l'atterrissage des câbles, choix des sites d'installations à terre) et d'autre part d'évaluer les effets et impacts sur les sites retenus.
Critères	Le milieu terrestre sera caractérisé par rapport à sa géologie, pédologie et topographie.
Sources et méthodes d'étude	Les données peuvent être acquises par consultation des bases cartographiques existantes (IGN, BRGM). Des vérifications terrains et des prélèvements sur site pourront s'avérer nécessaires pour affiner les résultats à l'échelle des sites.
Echelle d'observation	Dans une logique de sélection des sites de projet, les diagnostics préalables sont souvent réalisés sur une aire d'étude volontairement large. Les vérifications de terrain sont à réaliser sur les sites de projet retenus.

1.3 Qualité physico-chimique du milieu

1.3.1 Qualité physico-chimique du substrat

Objectifs	<p>La connaissance de la qualité physico-chimique du substrat fournit un état zéro qui doit permettre de définir les effets des installations sur cette qualité par comparaison avec les résultats des campagnes de suivi (enrichissement en matière organique lié au fouling des installations, diffusion de micropolluants contenu dans les peintures antisalissures, etc.).</p> <p>Elle permet également d'évaluer les risques associés à la remobilisation des sédiments meubles dans la colonne d'eau lors d'opérations spécifiques de travaux. On notera néanmoins que pour les installations offshore, la contamination des sédiments est généralement très limitée⁴⁰.</p>
------------------	--

⁴⁰ Pour l'offshore profond, la présence potentielle d'hydrates de gaz dans les sédiments doit être considérée.

Critères

La circulaire du 14 juin 2000⁴¹ et l'arrêté du 09 août 2006⁴² complété par l'arrêté du 23 décembre 2009, fixe les critères usuels d'évaluation de la qualité des sédiments marins :

Paramètres descriptifs : granulométrie, carbone organique total, % de matières sèches, densité, teneur en Al.

Nutriments : azote, phosphore.

Métaux : As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn.

Organiques polychlorobiphényles (PCB)

Hydrocarbures PolyAromatiques (HAP)

Organostanniques

Sources et méthodes d'étude

L'analyse de la qualité des matériaux implique la réalisation d'investigations de terrain. Des prélèvements de substrats sont réalisés à l'aide de bennes preneuses dont le fonctionnement permet de limiter, voire de supprimer, le lessivage à la remontée.

Nota : une mutualisation des prélèvements peut être réalisée avec les campagnes géotechniques et morpho-sédimentaires et les prélèvements de benthos.

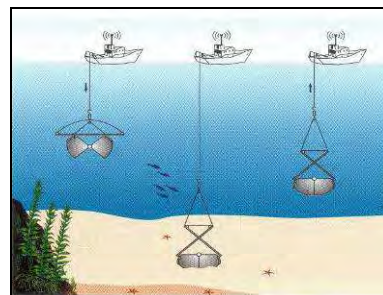


Figure 54 : Prélèvements par benne

(Source : Astérie)

Echelle d'observation

Les prélèvements sédimentaires viennent en appui de la reconnaissance sonar des différents faciès. L'analyse détaillée de la qualité physico-chimique des matériaux n'est cependant pas nécessaire sur l'ensemble de l'aire prospectée. Elle doit être concentrée sur les zones où le substrat est susceptible d'être impacté.

⁴¹ Circulaire no 2000-62 du 14 juin 2000 relative aux conditions d'utilisation du référentiel de qualité des sédiments marins ou estuariens présents en milieu naturel ou portuaire défini par l'arrêté interministériel.

⁴² Arrêté du 09/08/06 relatif aux niveaux à prendre en compte lors d'une analyse de rejets dans les eaux de surface ou de sédiments marins, estuariens ou extraits de cours d'eau ou canaux relevant respectivement des rubriques 2.2.3.0, 4.1.3.0 et 3.2.1.0 de la nomenclature annexée au décret n°93-743 du 29 mars 1993

1.3.2 Qualité physico-chimique des eaux

Objectifs

La connaissance de la qualité physico-chimique des eaux doit être principalement recherchée dans le cadre de l'exploitation de l'énergie thermique des mers (ETM et PAC). La connaissance des gradients de température et de salinité est nécessaire à la modélisation des rejets et la détermination des points de rejets préférentiels compte-tenu des risques de stimulation de la production primaire. La charge en nutriments des eaux profondes exploitées est également un paramètre utile à l'évaluation des effets des rejets sur la production primaire.

Hormis en phase travaux, les autres technologies sont peu susceptibles de modifier la qualité des eaux. Dans le cadre d'enjeux particulièrement importants (proximité immédiate d'espèces sensibles par exemple) la réalisation d'un état de référence doit permettre de préciser la sensibilité des habitats et des espèces à une remobilisation de matériaux dans la colonne d'eau en phase travaux.

Critères

L'arrêté du 9 août 2006⁴³ fixe les critères usuels d'évaluation de la qualité physico-chimique des eaux marines : matières en suspension (MES), matières inhibitrices, azote total, phosphore total, composés organohalogénés absorbables sur charbon actif, métaux et métalloïdes, hydrocarbures, carbone organique total (COT).

La majorité de ces paramètres nécessite un dosage en laboratoire et n'est pas mesurable *in situ*. Ceci doit notamment être considéré dans le cadre de la détermination du programme de suivi afin de juger de l'opérationnalité des opérations de suivi mises en œuvre. Ces problématiques sont traitées plus en détail dans le chapitre méthodologique consacré aux suivis (voir p.306).

Au-delà des paramètres indiqués par la réglementation, il convient de manière générale de cibler en priorité les paramètres qui pourront être interprétés de manière pertinente. Pour les ETM et les PAC, ces profils sont les teneurs en nutriments, la salinité et les profils de température. A noter que pour les PAC de petite dimension dont les rejets se font en eau peu profonde, la connaissance de ces paramètres n'est pas forcément nécessaire à la réalisation d'une modélisation pertinente des rejets.

⁴³ Arrêté du 09/08/06 relatif aux niveaux à prendre en compte lors d'une analyse de rejets dans les eaux de surface ou de sédiments marins, estuariens ou extraits de cours d'eau ou canaux relevant respectivement des rubriques 2.2.3.0, 4.1.3.0 et 3.2.1.0 de la nomenclature annexée au décret n°93-743 du 29 mars 1993.

Sources et méthodes d'étude

L'analyse de la qualité physico-chimique des eaux implique la réalisation d'investigations de terrain. Les prélèvements d'eaux sont réalisés avec les moyens nécessaires et suffisants pour disposer d'un échantillon représentatif. Des sondes autonomes peuvent également permettre d'enregistrer en continu certains paramètres dont la turbidité et d'assurer ainsi une intégration plus fiable des variations de la qualité des eaux.

Nota : une mutualisation des prélèvements peut être réalisée avec les campagnes géotechniques et morpho-sédimentaires.

Echelle d'observation

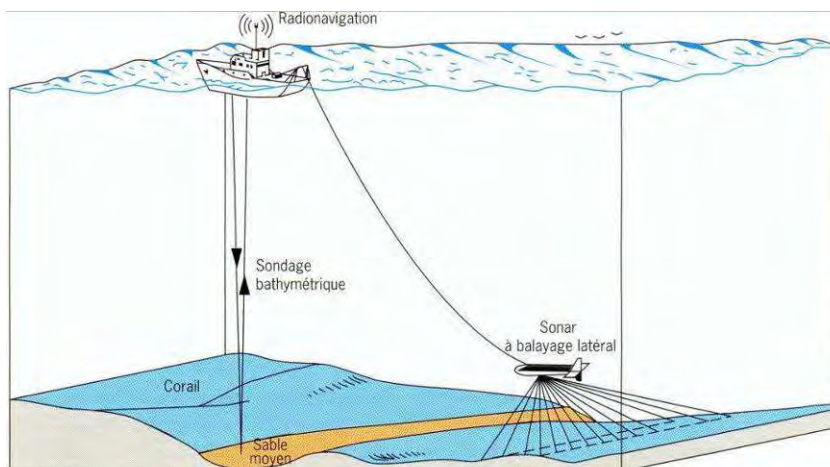
Les observations doivent être centrées sur les zones dont la qualité des eaux est susceptible d'être perturbée par le projet. Ces zones peuvent être appréciées notamment au travers des connaissances acquises sur l'hydrodynamisme, la qualité des matériaux et les spécifications techniques du projet.

2 Analyse du milieu biologique

2.1 Biocénoses et macrofaune benthique

Objectifs	L'objectif est d'identifier la nature des habitats et communautés benthiques présents, leur degré de sensibilité et leur état écologique (bon, déjà dégradé, etc) au regard des interactions mécaniques directes du projet avec le milieu, des remises en suspension éventuelles de matériaux, et des modifications potentielles des caractéristiques physiques et chimiques des milieux.
Critères	<p>Biocénoses : nature, distribution géographique.</p> <p>Macrofaune benthique :</p> <p>La DCE et la DCSMM recommandent de caractériser les biocénoses (ou peuplements ou communautés benthiques) concernées, en analysant leur composition faunistique par des paramètres « classiques » tels que le nombre d'espèces (richesse taxonomique), l'abondance et la biomasse de chaque espèce. De nombreux indicateurs, intégrant plus ou moins de paramètres, peuvent être utilisés pour décrire la richesse des communautés (indice de Shannon, indice de Clarke & Warwick, etc.).</p>
Sources et méthodes d'étude	<p>La cartographie des biocénoses marines nécessite la réalisation d'interventions en mer et peut être directement associée aux opérations de repérage sonar.⁴⁴</p> <p>Des observations vidéos complémentaires aux reconnaissances morpho-sédimentaires décrites précédemment permettent de recenser la macrofaune et la macroflore épibenthiques, notamment pour les substrats rocheux, et ainsi de définir une cartographie des habitats majeurs présents sur le site.</p>

⁴⁴ Les protocoles recommandés par l'Ifremer sont disponibles sur http://wwz.ifremer.fr/drogm_eng/Cartography/Continental-Shelf/Implantation-d-eoliennes/Protocole



Les prélèvements pour la macrofaune en zone subtidale sont effectués par benne ou carottier. Des prélèvements en plongée sont possibles pour les structures trop grossières. Les échantillons obtenus sont tamisés et analysés : tri biologique, comptage, détermination des espèces jusqu'au plus bas niveau taxonomique possible (particulièrement pour les espèces caractéristiques des peuplements, les espèces remarquables, et les espèces d'intérêt commercial).

Les résultats sont présentés sous forme d'une cartographie de la morphologie des fonds marins, du type de substrat, des principales unités biosédimentaires et de la distribution des espèces dominantes.

Des ateliers scientifiques de façade sont organisés en mars 2012 sur le programme Cartham (cartographie des habitats naturels des sites Natura 2000). Une synthèse de ces ateliers sera réalisée. Elle fournira une analyse critique des techniques employées par les bureaux d'études dans le cadre de ce marché.

Nota : la caractérisation de la flore et de son état se limite généralement à une appréciation visuelle d'expert. Un état initial plus complet basé sur le renseignement de paramètres complémentaires (taux de recouvrement, densité, dynamique, activité photosynthétique...) est envisageable dans les situations à fort enjeu pour lesquelles de telles données seraient valorisables dans une démarche pertinente de suivi de l'évolution des peuplements. Pour la cartographie des habitats Natura 2000, se référer au guide du MNHN sur l'évaluation de l'état de conservation dont l'objet et de rechercher à objectiver le dire d'expert (cf. Chapitre 7 -).

Echelle d'observation

Réalisées en amont de la définition précise du site, les reconnaissances doivent couvrir l'ensemble de la zone retenue pour la mise en œuvre des installations et des câbles.

Les reconnaissances plus fines et les prélèvements de macrofaune benthique peuvent par contre être mis en œuvre sur les périmètres plus ciblés des installations, une fois ceux-ci définis à partir notamment des cartographies générales.

2.2 Cas des habitats terrestres

Une analyse des habitats naturels terrestres doit être réalisée sur les zones d'intervention et plus spécifiquement sur les zones d'atterrage des câbles. Cette reconnaissance peut se faire par le biais d'inventaires naturalistes portant sur la faune et la flore locale.

2.3 Faune pélagique et ressources halieutiques

Objectifs

En l'état actuel des connaissances, certains compartiments ou habitats halieutiques apparaissent comme prioritaires pour l'évaluation de leur état initial au regard de l'évaluation des impacts éventuels des projets : les juvéniles et adultes de la communauté benthodémersale, les frayères, les nourriceries, les voies de migration. A ce titre la connaissance des peuplements doit être corrélée à la connaissance des habitats. La connaissance des ressources halieutiques et de leurs interactions avec le milieu permet de mieux appréhender les impacts positifs potentiels associés aux effets récifs et réserve, mais également les impacts négatifs potentiels associés à la dégradation mécanique des habitats, aux bruits, aux champs électromagnétiques, à la présence physique des machines ou encore aux variations de température (ETM et SWAC uniquement).

Critères

Richesse spécifique et diversité spécifique.

Abondance : nombre, biomasse.

Structure des peuplements : fréquence de distribution.

Sources et méthodes d'étude

L'inventaire des espèces, sédentaires ou mobiles, peut être réalisé à partir des données issues de la pêche professionnelle et des campagnes scientifiques déjà disponibles sur le site. La limite de données disponibles à une échelle satisfaisante peut néanmoins imposer de compléter cette analyse bibliographique par des investigations de terrain.

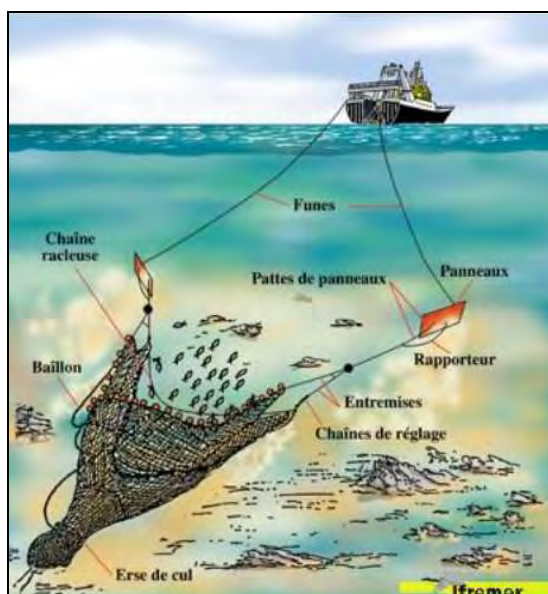


Figure 55 : Illustration de la pêche au chalut de fond

(Source Ifremer)

Sources et méthodes d'étude

A ce titre, l'Ifremer préconise dans le cadre des activités d'extraction de granulats marins, un protocole de l'état initial de suivi des ressources halieutiques. L'utilisation de ce protocole dépasse⁴⁵ néanmoins le domaine des granulats, et peut s'appliquer, dans ses principes généraux, à l'implantation d'installations EMR, sous réserve que les enjeux le justifient.

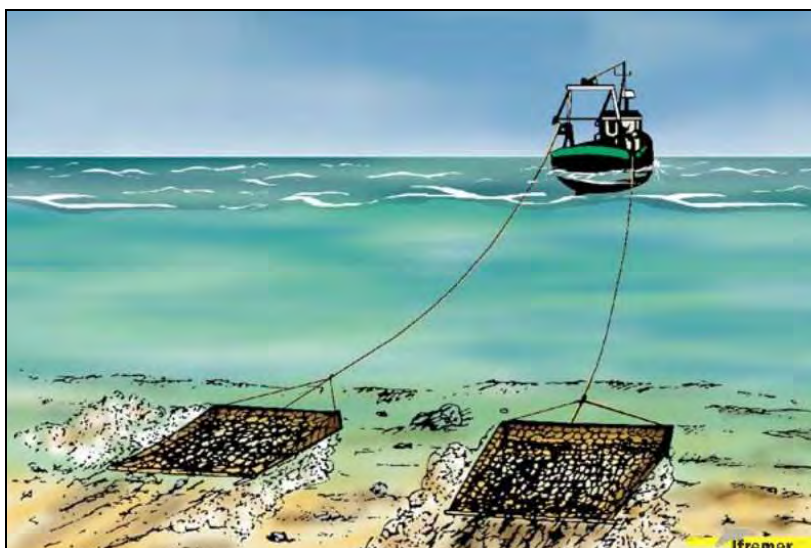


Figure 56 : Illustration de la pêche par drague à coquilles

(Source : Ifremer)

Nota : pour que les résultats soient pertinents et exploitables, les campagnes d'inventaires halieutiques doivent être réalisées sur une période suffisamment longue pour pouvoir intégrer la variabilité temporelle à la fois saisonnière et inter-annuelle.

⁴⁵ <http://wwz.ifremer.fr/drogm/Ressources-minerales/Materiaux-marins/Protocoles/Ressources-halieutiques>

2.4 Mammifères marins

Objectifs	<p>L'objectif d'une analyse des mammifères marins est de pouvoir appréhender avec suffisamment de recul, la sensibilité des différentes populations aux principales modifications induites par l'implantation d'EMR :</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ les pressions potentielles telles que le bruit et l'effet de « barrière » provoqué par la présence des installations et des moyens nautiques d'intervention ; ▪ les stimulations potentielles associées par exemple à une ressource alimentaire accrue et/ou à une perturbation moindre par d'autres activités.
Critères	<p>Diversité : espèces présentes.</p> <p>Abondance : nombre d'individus présents par espèce.</p> <p>Utilisation de l'habitat : fréquentation, fidélisation, comportement.</p>
Sources et méthodes d'acquisition	<p>L'inventaire des espèces, sédentaires ou mobiles, peut être principalement réalisé à partir de données bibliographiques. Certains organismes spécialisés assurent la collecte des différentes données disponibles relatives à la présence des mammifères marins sur les côtes françaises, et notamment les observations d'échouage : Centre de Recherche sur les Mammifères Marins, Groupe de Recherche sur les Cétacés, Groupe Mammalogique Normand, etc (liste non exhaustive).</p> <p>Le Programme d'Acquisition de Connaissances sur les Oiseaux et les Mammifères Marins (PACOMM) lancé par l'AAMP doit constituer à termes, une source d'information complémentaire sur cette thématique. Ayant notamment pour objectif la réalisation d'un état initial du patrimoine ornithologique et cétologique et de définition de son état de conservation sur les sites Natura 2000, ce programme repose sur la réalisation de campagnes aériennes d'observation des oiseaux et mammifères marins sur l'espace maritime français et zones limitrophes et la réalisation de campagnes sur des plateformes d'opportunités. Le déploiement d'un réseau d'hydrophones pour la détection acoustique des marsouins communs doit également mener à un dispositif opérationnel courant 2012.</p> <p>Des observations complémentaires de terrain peuvent permettre de renforcer les connaissances sur un périmètre plus précis, à condition d'effectuer un nombre suffisant de sorties (3 à 5 par saison garantissant une bonne appréhension des variabilités intra et inter saisons)⁴⁶.</p>

⁴⁶ Guide de l'étude d'impact sur l'environnement des parc éoliens, actualisation 2010, MEDDM 2010

Deux méthodes sont principalement utilisées : les relevés visuels par bateau ou avion, ou les relevés par utilisation d'hydrophones (tractés par bateau ou déposés sur le fond).

L'étude de l'utilisation de l'habitat impose l'utilisation de moyens lourds et coûteux (mobilisation de détecteurs acoustiques) et ne doit être envisagée que sur les zones révélées à fort enjeu par les études bibliographiques et les éventuelles observations complémentaires *in situ*.

**Echelle
d'observation**

Etant donnée l'amplitude de déplacement des populations de mammifères marins, l'échelle d'observation proposée est une zone élargie autour du périmètre de projet. Son étendue pourra être de quelques kilomètres à plusieurs dizaines de kilomètres de rayon⁴⁷, à définir en fonction des espèces et de leurs caractéristiques de déplacement, de l'étendue des perturbations prévisibles (caractéristiques de projet et sensibilité des espèces), et des modalités de suivi envisagées.

⁴⁷ CRMM, Com. Pers. 2011

2.5 Phytoplancton

Objectifs	<p>L'analyse des concentrations en plancton des eaux marines concerne essentiellement les projets majeurs d'exploitation de l'énergie thermique des mers (ETM et PAC).</p> <p>Dans le cadre de rejets en mer ouverte, l'objectif est de caractériser les profils de production phytoplanctonique afin notamment de déterminer la profondeur limite de production et les zones de plus fortes sensibilité aux rejets.</p> <p>Dans les cas où des rejets en eaux peu profondes et relativement confinées seraient envisagés afin de tirer parti d'un apport en substances nutritives pour la stimulation de la production primaire (pour des projets aquacoles par exemple), la réalisation d'un état de référence plus robuste paraît nécessaire (notamment vis-à-vis d'une valorisation dans le cadre du suivi environnemental).</p> <p>A noter que les retours d'expériences sur cette technologie sont extrêmement limités et que l'acquisition de connaissances sur les projets pionniers permettra de réorienter la pertinence de ces préconisations.</p>
Critères	<p>La chlorophylle reflète la biomasse phytoplanctonique. L'analyse complète repose également sur l'intégration des paramètres physico-chimiques suivants : turbidité et teneurs en sels nutritifs.</p>
Sources et méthodes d'acquisition	<p>L'analyse de la qualité phytoplanctonique des eaux implique la réalisation de prélèvements <i>in situ</i> à différentes profondeurs.</p>
Echelle d'observation	<p>Les observations doivent être centrées sur les zones dont la qualité des eaux est susceptible d'être perturbée par le projet. Ces zones peuvent être appréciées notamment au travers des connaissances acquises sur l'hydrodynamisme et des spécifications techniques du projet.</p>

2.6 Avifaune

Objectifs	L'étude de l'avifaune a pour objectif de caractériser les zones utilisées par les oiseaux sur le site projeté et son entourage, à savoir les zones d'alimentation, de reproduction et/ou de mue, les zones de repos des migrateurs, les couloirs de déplacements et de migrations. Cette étude doit permettre de mettre en évidence les liens fonctionnels entre le site projeté en mer et les sites terrestres environnants dont dépend l'avifaune, afin de pouvoir appréhender la manière selon laquelle ces liens peuvent être perturbés par la présence des installations.
Critères	<p>Diversité : espèces présentes.</p> <p>Abondance : nombre d'individus présents par espèce.</p> <p>Utilisation de l'habitat : fréquentation, comportement.</p>
Sources et méthodes d'étude	<p>L'étude de l'avifaune peut être réalisée en deux temps : une étude de cadrage préalable essentiellement bibliographique complétée dans un second temps par des observations terrains.</p> <p>Le cadrage préalable doit permettre de définir le fonctionnement écologique de la zone pour l'avifaune et la localisation des grandes zones stratégiques (couloirs majeurs de déplacement local ou de migration, zones de repos, zones d'abris, etc.). Il est réalisé par une analyse bibliographique du site et de son environnement large, par consultation de l'ensemble des organismes susceptibles de détenir des données naturalistes.</p> <p>Le programme PACOMM (voir p. 233) constituera également une source d'information à utiliser. Des projets nationaux spécifiques tels que le balisage électronique des puffins yelkouan et cendrés en Méditerranée et des puffins des anglais en Bretagne, ou des projets locaux tels que l'équipement électronique des macreuses dans le golfe normand breton ou l'équipement électronique des cormorans huppés en Iroise et dans le Mor Braz fourniront des informations précises sur ces espèces patrimoniales à une échelle intéressante.</p> <p>Les principales techniques d'observation terrain sont de deux types :</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Observations depuis la côte : elles permettent de détecter les oiseaux situés à moins de 2 km de la côte et de caractériser la dynamique de l'avifaune entre la terre et la mer ; ▪ Observations par bateau : elles permettent d'étudier plus en détail la fréquentation et le comportement des individus en pleine mer et notamment sur le site projeté (pour les installations offshore). <p>Ces techniques peuvent être complétées par des observations au radar ornithologique, des relevés par avion (observateurs ou prises de vue HD), etc.</p>

**Echelles
d'observation**

Les observations les plus poussées doivent être centrées sur le périmètre immédiat du site de projet. Des observations plus larges, sur une aire d'étude intermédiaire, centrée sur la zone de projet et de rayon égal à la distance du site de projet à la côte permet de cerner les relations entre le site et le littoral.

Enfin, une aire d'étude éloignée peut être définie en fonction de la localisation des points stratégiques pour l'avifaune. Elle s'inscrit notamment dans une logique des effets cumulatifs de l'aménagement avec d'autres activités. Etant donné son étendue potentiellement vaste, cette aire d'étude éloignée peut être traitée à partir de données bibliographiques. Une zone de référence présentant des facteurs écologiques comparables à ceux de l'aire d'étude immédiate peut utilement être identifiée sur l'aire d'étude éloignée.

2.7 Chiroptères

Objectifs	<p>Dans un milieu aérien uniforme, la structure isolée que représente un parc éolien offshore peut constituer une zone attractive pour les chiroptères. L'étude des chauves-souris en mer concerne à la fois les mouvements migratoires entre deux zones terrestres et l'activité au large des espèces résidant sur le littoral. L'étude est rendue délicate par les difficultés d'observation, l'ampleur des aires d'étude, les lacunes documentaires et le manque de références sur les risques de mortalité.</p>
Critères	<p>Diversité : espèces présentes.</p> <p>Abondance : nombre d'individus présents par espèce.</p> <p>Utilisation de l'habitat : fréquentation, comportement.</p>
Sources et méthodes d'acquisition	<p>Comme pour l'étude de l'avifaune, l'étude des chiroptères peut être réalisée en deux temps : une étude de cadrage préalable essentiellement bibliographique complétée dans un second temps par des observations terrains.</p> <p>A la base du pré-diagnostic, une étude bibliographique reposant sur la consultation d'experts mammalogistes et d'organismes spécialisés doit permettre d'identifier les espèces présentes et la localisation des grandes zones stratégiques (couloirs majeurs de déplacement local ou de migration, zones de repos, zones d'abris, etc.).</p> <p>Les investigations terrains réalisées par la suite doivent être ciblées sur le périmètre immédiat et intermédiaire du site. Des observations réalisées par détecteur à ultrasons à la fois sur terre et en mer permettent de recueillir un ensemble de données complémentaires : espèces, direction de vol, comportement. Des moyens techniques complémentaires peuvent être déployés : torches lumineuses, optiques nocturnes, caméra à image thermique. Le radar s'avère enfin efficace pour suivre les espèces de plus grande taille, localiser les voies de passage et repérer les directions de vol.</p>
Echelle d'observation	<p>Les observations les plus poussées doivent être centrées sur le périmètre immédiat du site de projet. Des observations plus larges, sur une aire d'étude intermédiaire centrée sur la zone de projet et de rayon égal à la distance du site de projet à la côte permet de cerner les relations entre le site et le littoral.</p>

3 Analyse du patrimoine écologique

Objectifs

L'identification de l'ensemble des zones présentant une richesse écologique particulière et inventoriée est une étape indispensable qui intervient dès le stade du pré-diagnostic environnemental et du choix du site. Elle permet à ce stade d'identifier les localisations possibles du projet et les grandes sensibilités environnementales à l'échelle des territoires. Au stade de l'état initial, une analyse approfondie de la richesse de ces sites et de leurs grands enjeux de conservation permet de regrouper l'ensemble des données environnementales nécessaires à l'évaluation des incidences spécifiques sur ces sites et la détermination de mesures d'évitement, de réduction ou de compensation adéquates.

La loi n° 2006-436 du 14 avril 2006 relative aux parcs nationaux, aux parcs naturels marins et aux parcs naturels régionaux et l'arrêté du 3 juin 2011 portant identification des catégories d'aires marines protégées entrant dans le champ de compétence de l'Agence des aires marines protégées, liste les catégories d'aires marines protégées. Une attention particulière doit être portée sur les sites suivant :

- les zones d'inventaires (ZNIEFF, ZICO, zones humides d'importance nationale) ;
- les parcs nationaux (cœur de parc, aire d'adhésion, aire marine adjacente) ;
- les sites Natura 2000 en mer ou à terre (sites d'atterrissage et installations onshore) (ZPS, ZSC, SIC, pSIC) ;
- les parcs naturels marins ;
- les réserves naturelles ;
- les zones d'arrêté de protection de biotope ;
- les sites du conservatoire du littoral
- les autres catégories d'aires marines protégées reconnues par l'arrêté du 3 juin 2011 portant identification des catégories d'aires marines protégées entrant dans le champ de compétence de l'Agence des aires marines protégées. (statuts internationaux notamment).

Au-delà des aires marines spécifiquement protégées, la richesse du patrimoine naturel marin s'apprécie également au travers des espèces bénéficiant d'un statut de protection en dehors de ces aires, sur l'ensemble du territoire national, à l'échelle régionale ou départementale (tels que les mammifères marins par l'arrêté du 27 juillet 1995 fixant la liste des mammifères marins protégés sur le territoire national par exemple). Le statut de protection spécifique éventuel des espèces inventoriées sur la zone d'étude devra être identifié afin de mettre en place les procédures adaptées d'évaluation environnementale qui les concernent.

Critères

Pour chacun de ces sites, il s'agira de décrire leur **localisation**, leur **richesse** (habitats et espèces présentes et statuts de protection éventuels), leurs **fonctionnalités** et leurs **enjeux de conservation**.

Sources et méthodes d'acquisition

Les DREAL, l'AAMP, les DDTM, les DIRM et les organismes gestionnaires de ces sites - à l'exception des ZNIEFF qui ne sont que des zones d'inventaire et qui ne présentent pas de mesures de gestion particulières - sont les organismes de référence à consulter pour avoir accès à ces données. Le plus souvent, elles font l'objet de rapports annuels ou pluriannuels de surveillance ou sont recueillies dans les documents de gestion des sites. Le Muséum National d'Histoire Naturelle (MNHN) constitue également une source clé d'informations sur les caractéristiques écologiques des différents milieux marins.

Pour les sites Natura 2000, le portail Natura 2000⁴⁸ permet d'identifier les sites et d'obtenir les informations de base les concernant (code, localisation, habitats et espèces pour lesquels ils ont été désignés). Un important travail de cartographie et d'évaluation de l'état de conservation des sites Natura 2000 en mer est en cours de réalisation dans le cadre du programme CARTHAM porté par l'Agence des aires marines protégées sous la responsabilité scientifique du Muséum National d'Histoire Naturelle (fin prévue mi 2012). La cartographie des habitats est d'ores et déjà disponible pour les sites possédant un DOCOB. Les DREAL sont les organismes de référence à consulter pour avoir accès à ces données.

Une cartographie des sites littoraux de France Métropolitaine est par ailleurs jointe en annexe.

Le Chapitre 7 - précise les modalités d'évaluation des incidences sur les sites Natura 2000.

Echelle d'observation

Ces données doivent être recueillies sur une étendue suffisamment vaste pour couvrir les champs éventuels des perturbations les plus étendues : bruit, hydrodynamisme et sédimentologie, etc.

⁴⁸ <http://www.developpement-durable.gouv.fr/-Natura-2000,2414-.html>

4 Analyse du paysage et du patrimoine culturel

4.1 Analyse paysagère

Les préconisations d'analyse du paysage présentées ici s'appliquent uniquement aux installations présentant une partie émergée et visible depuis la côte. A ce titre, et au vu de l'état de développement actuel des technologies EMR, ce chapitre concerne essentiellement les champs d'éoliennes offshore et, les parties émergées des autres types d'EMR (centrales ETM flottantes, les postes de transformation offshore, etc.).

Les préconisations d'analyse paysagère présentée ici constituent ainsi une synthèse des préconisations fournies dans le guide sur les études d'impacts des parcs éoliens.

Objectif	<p>L'objectif de l'analyse de l'état initial du paysage est de répondre aux questions suivantes :</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Quelles sont les spécificités et les qualités du paysage étudié ? ▪ Quelles sont ses principales sensibilités paysagères et patrimoniales vis-à-vis du projet EMR considéré ? ▪ Quelle est la capacité du paysage étudié à accueillir les installations EMR prévues ?
Aires et objets d'étude	<p>Le paysage immédiat au pied des éoliennes est constitué d'un seul élément de paysage : la mer. C'est depuis le littoral, et plus précisément le long du trait de côte que les installations en mer seront les plus proches des observateurs situés sur terre. Les aires de l'étude d'un parc éolien en mer sont ainsi définies en fonction de la distance à laquelle les installations seront perceptibles, puis affinées sur le terrain. Ces aires ne sont pas strictement concentriques, mais s'adaptent plutôt aux particularités des paysages étudiés, en tenant compte des limites visuelles et des ruptures géographiques.</p> <p>L'aire d'étude éloignée correspond à la zone d'impact potentielle du projet. Elle localise le projet dans son environnement large, entre terre et mer, et s'étend ainsi au-delà de l'avant-scène littorale jusqu'à l'arrière pays. Elle comprend des éléments d'importance nationale ou régionale, comme par exemple des sites et monuments. Il peut parfois être nécessaire de compléter cette aire par des points ponctuels, en zone montagneuse proche du littoral par exemple, là où l'influence du projet en mer peut s'étendre ponctuellement au-delà du périmètre initial.</p> <p>A cette échelle, l'étude permet d'appréhender l'insertion du projet dans un territoire. Elle porte sur les « inter-visibilités » importantes avec les éléments de patrimoine terrestres ou maritimes, les lieux de fréquentation, les grands axes de déplacement et les autres parcs éventuels.</p>

Aires et objets d'étude

L'aire « rétro-littorale », large de plusieurs centaines de mètres à plusieurs kilomètres suivant les sites, est l'espace où se situent les communes littorales et où se concentrent toutes les activités liées à la proximité de la mer : tourisme, pêche, nautisme, etc.

A cette échelle sont étudiées aussi les structures paysagères de l'espace « rétro littoral », et les relations (visuelles et physiques) qu'elles entretiennent avec la mer. C'est dans cette aire qu'est réalisée la plus grande partie du travail de composition paysagère.

L'aire d'étude intermédiaire couvre l'espace qui sépare la zone d'implantation du parc éolien du trait de côte et du rivage (c'est-à dire le bord de mer). Cette aire d'étude présente la caractéristique d'être composée presque uniquement d'eau. Elle peut atteindre plus d'une dizaine de kilomètres de rayon, suivant l'éloignement du projet.

Dans ce périmètre d'étude, seront étudiés les effets visuels du parc éolien depuis le rivage, mais aussi certains effets visuels depuis la mer (détaillés dans l'analyse des perceptions visuelles et sociales).

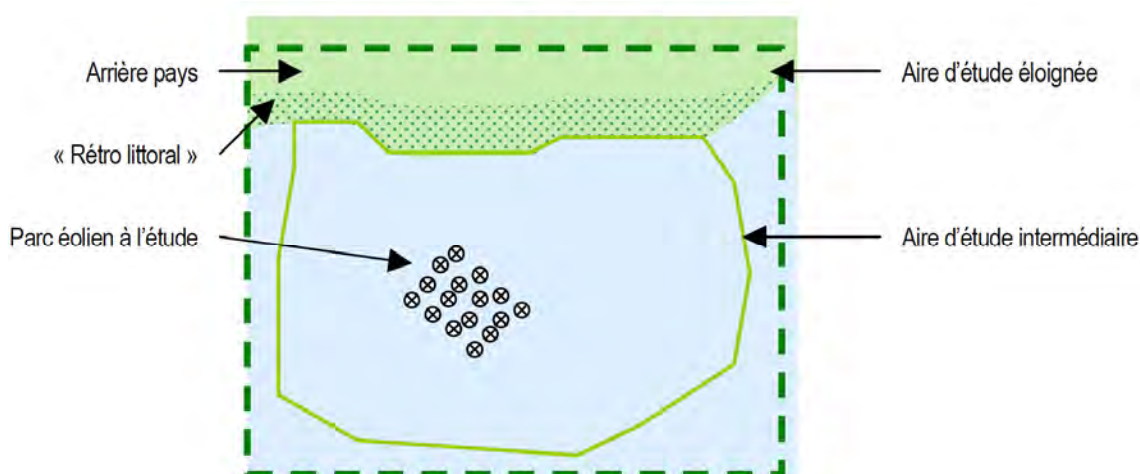


Figure 57 : Aires d'étude paysagères

(Source : Guide de l'étude d'impact sur l'environnement des parcs éoliens)

Les perceptions visuelles

L'étude des perceptions visuelles regroupe celle des vues, des champs de visibilité, des bassins de vision. Elle est généralement réalisée depuis les parties terrestres de l'aire d'étude. Les sensibilités paysagères vis-à-vis des éoliennes en mer s'analysent du point de vue :

- **des lieux de vie et de villégiature**, pour tenir compte des perceptions du paysage quotidien de l'ensemble des résidents.
- **des représentations littéraires, artistiques ou touristiques du territoire** étudié, étroitement liées aux lieux de vie et de villégiature. La comparaison des représentations est utile afin de caractériser l'attachement des populations au paysage maritime et terrestre. Cette analyse est d'autant plus importante que les zones littorales en général bénéficient d'un capital d'image souvent très positif.
- **des activités touristiques et de loisirs**, afin d'identifier les télescopages possibles entre les activités traditionnelles et la nouvelle activité projetée.

Dans le cas d'un espace maritime très fréquenté par les plaisanciers, les pêcheurs, les ferries ou encore le transport maritime, une étude des perceptions du parc éolien depuis la mer sur fond de côte s'avère parfois intéressante.

Tous les points de repère existant au large et perceptibles à plusieurs kilomètres de distance (phares, îles, îlots, ligne de côte, balises) sont importants car ils permettent de s'orienter par rapport à l'horizon.

Les modifications du paysage littoral dues aux marées doivent être prises en compte. En effet, certains paysages littoraux, plages, ou archipels subissent de réelles transformations entre la marée haute et la marée basse. Les perceptions des premiers plans visibles, des autres plans puis de la ligne d'horizon s'en trouvent modifiées plus ou moins fortement.

Critères d'analyse des grands ensembles géographiques et paysagers

Le relief, l'eau et le végétal

Le **relief** du littoral est à la base de l'organisation du territoire. Il est par conséquent à la base de l'organisation des perceptions et des activités.

L'**eau** fait souvent le lien entre terre et mer jusqu'à l'arrière-pays, en créant des lignes particulièrement fortes et des espaces ouverts propices à l'installation d'activités. Les typologies de bâti et les différents modes d'occupation du sol liés à l'hydrographie complètent ainsi l'analyse du relief. L'ensemble de ces informations peut être cartographié et représenté sur le bloc paysager.

Le **végétal** s'étudie dans chaque aire d'étude terrestre en tant que marqueur du paysage, par sa présence ou son absence, par son organisation et sa structure. Les structures végétales jouent un rôle important dans la perception du paysage, de part les masques, cadrages, fenêtres qu'elles créent depuis la terre vers la mer et l'horizon.



Figure 58 : Bloc paysager des Grandes Dalles sur le littoral normand

(Source : Atelier des Paysages)

L'organisation du territoire et de ses usages

En matière d'organisation du territoire et de ses usages, l'attention doit se porter sur les diverses activités qui se pratiquent à proximité du littoral. L'ensemble des activités (agriculture, pêche, plaisance, industrie) sont listées et cartographiées. Ce traitement de l'information est utile pour l'analyse des perceptions visuelles et sociales du paysage, et des « intervisibilités » liées au projet éolien en mer.

L'analyse se penche également sur l'urbanisation et l'artificialisation du littoral, l'occupation privilégiée des fronts littoraux et plus largement de qualité du paysage littoral vis-à-vis du futur parc éolien en mer.

Le patrimoine

Comme pour l'étude terrestre, le paysagiste doit inventorier de façon exhaustive tous les éléments de patrimoine protégés ou non, et les cartographier jusqu'à l'échelle de l'aire d'étude éloignée. L'ensemble de ces sites et monuments est répertorié dans un tableau en fonction de leur degré de protection et de reconnaissance, de leur proximité avec le projet éolien en mer, et si elle existe, de leur aire de mise en scène depuis la mer ou depuis la terre.

4.2 Identification du patrimoine archéologique

Objectifs	Il s'agit d'identifier la présence potentielle de vestiges archéologiques (épaves, mines) sur la zone de projet afin de ne pas les détériorer lors la mise en œuvre des installations et de garantir la sécurité des équipes de projet. Ces reconnaissances peuvent également appuyer la démarche d'évaluation des effets et impacts des projets sur l'activité de plongée sous-marine.
Critères	Localisation Nature
Sources et méthodes d'acquisition	La localisation des épaves peut être réalisée à partir de cartes marines, de la base de données du SHOM et par consultation du Département des Recherches Archéologiques Subaquatiques et Sous-Marines (DRASSM). Des études terrains spécifiques de localisation magnétique des épaves et des mines pourront s'avérer nécessaire selon l'historique de la zone maritime prospectée.
Echelle d'observation	Périmètre de projet

5 Analyse des activités socio-économiques et des usages

5.1 Activités maritimes professionnelles

5.1.1 Pêche

Objectifs	En mobilisant un périmètre en mer et du fait de leurs impacts potentiels sur les ressources halieutiques, les projets EMR ont des impacts incontournables sur l'activité de pêche, qu'ils soient positifs ou négatifs. La connaissance de l'organisation de cette activité en mer est un préalable indispensable à une conception adéquate et harmonieuse du projet avec les pratiques de pêche locales, à une évaluation pertinente de ses impacts et à la définition de mesures adaptées aux enjeux ainsi révélés.
Critères	<p>Organisation et pratiques de l'activité sur le territoire : ports de pêche, zones de pêche, criées, trajets de navigation, flottilles, métiers de pêche pratiqués (arts traïnants, arts dormants, pêche à pied, ...), saisons d'activité, emplois, etc.</p> <p>Ressources : espèces cibles, quotas, gisements coquillers, captures, etc. (voir chapitre sur les ressources halieutiques).</p>
Sources et méthodes d'acquisition	<p>De nombreuses données sur les usages halieutiques sont collectées dans un cadre réglementaire communautaire ou national (voir encadré ci-après). A ce titre, leur mise à disposition est souvent complexe et seules des données agrégées à des échelles le plus souvent inadaptées à une analyse d'état initial de projet sont généralement consultables. Néanmoins, elles fournissent des informations qui permettent de cadrer l'analyse. Dans ce contexte, trois démarches complémentaires peuvent être privilégiées :</p> <ul style="list-style-type: none"> • la sollicitation des informations détenues par les organisations professionnelles de pêche (plusieurs CRPMEM possèdent des systèmes d'information permettant de caractériser de manière fine l'activité de leurs adhérents : zone de pêche, stratégies de pêche, etc.) • la réalisation d'enquêtes ad hoc auprès des professionnels de la pêche en lien étroit avec leurs organisations professionnelles ; • des observations sur site qui permettent d'observer directement depuis la côte ou à l'aide de moyens nautiques, l'activité professionnelle et récréative exercée sur le site. <p>L'enquête auprès des pêcheurs constitue la principale démarche à mettre en œuvre, d'autant qu'elle participe par ailleurs au processus de concertation. Il peut néanmoins être estimé que les réponses à des questions ciblées sur le futur projet pourraient être biaisées par le contexte. Les sources à privilégier sont les professionnels et leurs instances représentatives (comités de pêche régionaux et départementaux ou interdépartementaux, prud'homies en Méditerranée, criées, syndicat de gestion des ports, etc.).</p>

Echelle d'observation

Les observations sur site ne fournissent par ailleurs que des informations qualitatives des usages correspondant aux situations instantanées des observations.

L'observation de l'organisation de l'activité doit être réalisée à une échelle suffisante pour intégrer l'ensemble des pêcheurs pêchant sur la zone de projet envisagée ou dont les trajets de navigation recoupent cette zone. Il est également nécessaire de pouvoir appréhender les possibles conséquences d'un redéploiement de l'effort de pêche en dehors de la zone (problèmes de cohabitation), donc d'analyser les stratégies de pêche.

Concernant les investigations plus spécifiques sur la ressource, elles doivent se tenir sur la zone de projet, là où ce dernier est susceptible d'avoir un impact significatif sur cette composante, tout en tenant compte des effets de la dégradation potentielle de l'habitat de certaines ressources dans la zone du projet, pouvant avoir un impact sur les ressources alentour. Par ailleurs, les investigations doivent également porter sur la zone de passage des câbles.

Données existantes sur les usages halieutiques

L'Ifremer préconise dans le cadre des activités d'extraction de granulats marins, un protocole de l'état initial de suivi des usages halieutiques. L'utilisation de ce protocole dépasse néanmoins le domaine des granulats, et peut s'appliquer, dans ses principes généraux, à l'implantation d'installations EMR. Les informations fournies sur les données existantes sur les usages halieutiques sont synthétisées ici ⁴⁹.

Plusieurs types de données existent aujourd'hui pour l'analyse des usages halieutiques :

- Les **fichiers « Flotte de pêche communautaire »** (FPC) et « **Armateurs** » référencent l'ensemble des navires de pêche professionnelle de la flotte française et leurs caractéristiques techniques. [Source : Ministère de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la Pêche (MAAP) - Direction des Pêches Maritimes et de l'Aquaculture (DPMA)].
- Les **données de déclaration de captures et d'effort de pêche** renseignées par les professionnels résultent d'obligations réglementaires communautaires pour les navires de 10 m et plus (journaux de bord) et nationales pour les navires de moins de 10 m (fiches de pêche). Les déclarations des navires sont enregistrées par marée, engin, secteur de pêche et espèce [Source : MAAP –DPMA].
- Les **données de ventes**, qui sont essentiellement relatives aux ventes en criée, renseignent les ventes de chacun des navires en poids et en valeur par espèce et par lieu de vente [Source : France Agrimer].

⁴⁹ Les indications complètes sont consultables à l'adresse suivante : <http://wwz.ifremer.fr/drogm/Ressources-minerales/Materiaux-marins/Protocoles/Usages-halieutiques>

Données existantes sur les usages halieutiques

- les **données d'enquêtes « Activité »** réalisées chaque année par le réseau des observateurs du Système d'Information Halieutique (SIH) de l'Ifremer pour l'ensemble des navires de Mer du Nord – Manche – Atlantique, de Méditerranée (hors Corse) et des départements d'Outre-Mer, inscrits au fichier « Flotte nationale » visent à reconstituer le calendrier des activités annuelles des navires de l'année passée, à partir des données déclaratives et de ventes, quand elles existent, et au moyen d'enquêtes directes auprès des armateurs de ces navires et de leurs représentants professionnels. [Source : Ifremer – SIH].
- les **données du système de surveillance** des navires par satellite (VMS : Vessel Monitoring System) s'appliquent à tous les navires de plus de 15 m (et de plus de 12 m depuis le 1^{er} janvier 2012), dans le cadre réglementaire communautaire. Ce système enregistre et transmet la position de tous les navires équipés d'un dispositif de localisation par satellite avec une résolution temporelle d'une heure. [Source : DPMA qui exerce la maîtrise d'ouvrage du dispositif, la Direction des Affaires Maritimes (DAM) en assurant la maîtrise d'œuvre)].
- On notera que pour la pêche à pied, une base de données nationale des pêcheurs à pied est en cours de constitution.

La mise à disposition des données collectées dans un cadre réglementaire requière l'accord de la DPMA et ne peuvent l'être que sous format agrégé (rectangles de 1/2° de latitude, 1° de longitude, soit 6 000 km²) à l'échelle de rectangles afin de respecter la confidentialité individuelle. La diffusion de données VMS, sous quelle forme que ce soit (donnée brute ou agrégée, carte) n'est actuellement pas autorisée par l'administration française des pêches.

Une exploitation des données agrégées est néanmoins réalisée par l'Ifremer, qui fournit des synthèses annuelles⁵⁰ par rectangle statistique portant une série d'indicateurs descriptifs de la flotte et de l'activité de pêche s'exerçant dans le rectangle :

- les caractéristiques techniques et port de provenance des navires actifs dans le rectangle statistique ;
- le rayon d'action annuel et flottilles d'appartenance des navires concernés ;
- les engins de pêche utilisés dans le rectangle statistique ;
- la saisonnalité de l'activité par engin dans le rectangle statistique ;
- l'indicateur de fréquentation et « dépendance » des navires au rectangle statistique ;
- les captures par espèce issues du rectangle statistique.

⁵⁰ Ces synthèses sont en libre accès sur le site Internet du SIH (www.ifremer.fr/sih Rubrique « Les Produits »).

5.1.2 Cultures marines

Objectifs	La connaissance de la présence des espaces de culture marine sur les zones de projet est tout d'abord indispensable à la sélection du périmètre de projet. L'exercice d'inventaire doit être réalisé dès le stade de pré-diagnostic. La connaissance de l'activité est ensuite nécessaire à l'évaluation de sa sensibilité à des opérations proches, notamment aux ensouillages de câbles ou à la mise en œuvre d'installations à la côte.
Critères	Organisation et pratiques de l'activité sur le territoire : localisation des installations (parcs ou prises d'eau), nature des cultures, production, etc.
Sources et méthodes d'acquisition	Des données sur cette activité peuvent être obtenues au travers de deux démarches complémentaires : <ul style="list-style-type: none"> • la sollicitation des informations détenues par les organisations professionnelles : les comités régionaux de conchyliculture, les comités régionaux et départementaux des pêches maritimes et des élevages marins possèdent des systèmes d'information permettant de caractériser de manière fine l'activité de leurs adhérents) • la réalisation d'enquêtes ad hoc auprès des professionnels en lien étroit avec leurs organisations professionnelles.
Echelle d'observation	L'observation de l'organisation de l'activité doit être réalisée sur le périmètre de projet (incluant les câbles et les installations à terre) et sur un périmètre environnant tenant compte des éventuelles incidences propagées au-delà du strict périmètre de projet (notamment et surtout celles affectant la qualité des eaux).

5.1.3 Navigation commerciale

Objectifs	En mobilisant un périmètre en mer, les projets EMR sont susceptibles d'affecter la navigation. La connaissance de l'organisation de cette activité est nécessaire pour définir la localisation des installations, concevoir des règles adéquates de sécurité maritime, et évaluer les impacts potentiels du projet sur le trafic existant. La connaissance de ces activités est également essentielle pour évaluer les impacts cumulatifs du projet sur l'environnement.
Critères	L'étude doit être ciblée sur l'organisation en mer des activités de transports : ports reliés, voies de navigation privilégiées, répartition journalière et annuelle de la fréquentation, type de flotte, etc. Cette étude doit également reposer sur un inventaire exhaustif des servitudes maritimes existantes (voir p. 253).

Sources et méthodes d'acquisition	<p>L'essentiel des données disponibles à une échelle de précision adaptée à l'évaluation des impacts du projet, est à récupérer auprès des capitaineries et sémaphores et des centres régionaux opérationnels de surveillance et de sauvetage (CROSS). Ils renseignent sur la fréquentation et le type d'unités présentes. La consultation de cartes géographique et de cartes maritimes (SHOM) permet d'identifier les ports et les principales voies de navigation.</p> <p>Pour les unités équipées de dispositifs AIS (<i>Automatic Identification System</i>) – obligatoire pour les unités d'un tonnage supérieur à 300 tonneaux et tous les navires de transport de passagers par <i>l'International Convention for the Safety of Life at Sea (SOLAS)</i> -, des données en temps réel sur internet sur la localisation, la direction et d'autres informations statistiques sont disponibles au travers du site internet ⁵¹.</p> <p>En Méditerranée, le programme MEDOBS (observatoire aérien en Méditerranée) permet l'interrogation d'une base de données gérée par l'Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée et Corse.</p>
Echelle d'observation	<p>L'observation du trafic maritime doit être réalisée à une échelle adaptée pour intégrer l'ensemble des mouvements de navire dont les trajets de navigation recoupent la zone de projet envisagée.</p>

5.1.4 Extraction de granulats

Objectifs	<p>Dans le cadre d'une optimisation de l'exploitation des ressources marines, le choix de la localisation précise des installations de projet doit tenir compte des exploitations existantes de granulats marins mais également des ressources exploitables à l'avenir. La connaissance des activités passées ou existantes alimente aussi la réflexion sur les impacts cumulatifs sur l'environnement.</p>
Critères	<p>L'étude doit être ciblée sur :</p> <ul style="list-style-type: none"> • l'organisation en mer de l'activité existante : sites d'extraction existants et ressources exploitables identifiées, ports d'attache des dragues et voies de navigation privilégiée, historique et perspective d'exploitation, etc. • la localisation des ressources identifiées comme exploitables dans l'avenir.

⁵¹ <http://www.marinetraffic.com/ais/fr/default.aspx>.

Sources et méthodes d'acquisition

La localisation des exploitations en cours, des demandes d'exploitation en cours d'instruction, des explorations et des zones d'arrêt de travaux sont recensées dans le serveur de données SEXTANT.⁵²

La base de données fournit des informations techniques complémentaires sur chaque site telles que la surface et la quantité exploitée de granulats exploités. Pour plus d'informations, il est nécessaire de se rapprocher directement des filières professionnelles d'exploitation.



L'actuel MEDDE a confié en 2004 à l'Ifremer une étude globale⁵³ visant à identifier des zones de moindre contrainte pour l'exploitation des granulats marins au regard des ressources et activités halieutiques et de l'environnement biologique. L'étude a concerné les façades maritimes « Manche-Est » et « Loire-Gironde » au large de 11 départements côtiers.

Une nouvelle étude démarrée en 2010, vise à compléter les informations sur les deux façades Manche et Atlantique par l'intégration de la Bretagne et de la façade Sud Gascogne⁵⁴.

En Méditerranée, les extractions de matériaux visent essentiellement le rechargement des plages. Une des problématiques majeures est le manque de gisements disponibles. Etant donnée leur proximité à la côte, les zones d'exploitation actuelles sont *a priori* peu concernées par des projets éventuels d'EMR (sédiments de dragage de port, zones d'accrétion en mer, zones d'accrétion dans les étangs ou en embouchure de fleuve, plages émergées en accrétion, carrières à terre). A noter néanmoins qu'un travail d'identification de gisements profonds dans le Golfe du Lion est en cours. La reconnaissance des ressources en sables marins du plateau insulaire martiniquais a été entreprise par l'Ifremer. Les résultats de cette reconnaissance sont consultables sur le site internet des Géosciences marines de l'Ifremer (voir lien ci-dessus).

Echelle d'observation

L'étude doit être réalisée à une échelle permettant d'intégrer à la fois les conflits d'usages en termes de superposition de sites d'exploitation, existants ou futurs potentiels, ainsi que l'ensemble des mouvements de navires dont les trajets de navigation se recoupent avec la zone de projet.

⁵² <http://www.ifremer.fr/sextant/fr> (mots clés de recherche: exploitation granulats marins).

⁵³ <http://www.ifremer.fr/sextant/fr/web/granulats-marins>

⁵⁴ <http://www.ifremer.fr/drogm/Ressources-minerales/Materiaux-marins>

5.2 Activités de loisirs en mer

5.2.1 Plaisance

La démarche d'étude de l'activité de plaisance est similaire à celle décrite pour la navigation commerciale. L'étude doit être ciblée sur l'identification des ports de plaisance, des itinéraires majeurs de navigation et des zones de mouillage. Au-delà des cartes maritimes, les capitaineries et les sémaphores constituent des sources précieuses d'information, tout comme les associations et fédérations de plaisanciers.

5.2.2 Plongée

Objectifs	L'objectif est d'étudier la compatibilité du projet avec les usages récréatifs existants et les impacts potentiels sur ces usages d'une part et sur l'attractivité touristique du site lié à ces usages, d'autre part.
Critères	L'étude doit cibler en priorité l'organisation de l'activité en mer : sites de plongée, ports d'attache des embarcations et voies de navigation privilégiée. Cette étude est également étroitement liée à l'étude du patrimoine marin .
Sources et méthodes d'acquisition	Un inventaire des sites remarquables de récif et des principales épaves permet de couvrir en premier lieu l'ensemble des sites à intérêt potentiel (cartes marines, base de données du SHOM). A noter que la prospection peut se limiter aux fonds d'une profondeur maximale de 50 m - 60 m au-delà de laquelle l'activité de plongée sportive est limitée. L'acquisition de données plus détaillées se fait ensuite principalement au travers d'enquêtes auprès des principaux clubs de plongée sous-marine.
Echelle d'observation	L'étude doit être réalisée à l'échelle du site d'implantation des installations pour intégrer à la fois les conflits d'usages en termes de superposition de sites, ainsi que l'ensemble des mouvements de navires dont les itinéraires de navigation recoupent la zone de projet.

5.3 Tourisme

Objectifs	Les impacts des installations EMR sur le tourisme peuvent trouver leur origine dans la modification des paysages (pour les technologies émergées et perceptibles depuis les principales zones touristiques) et la modification des usages maritimes. Une analyse pertinente de l'organisation de l'activité touristique du territoire permet d'appréhender ces impacts et de mettre en œuvre des mesures d'accompagnement adaptées.
Critères	L'étude doit cibler la nature de l'activité touristique du territoire, et l'organisation spatiale et temporelle de la fréquentation (qualification et quantification). Une analyse de l'économie touristique est également préconisée (emplois, chiffres d'affaires et retombées socio-économiques). Pour les technologies émergées cette étude est étroitement liée aux études paysagères et de patrimoine en s'appuyant sur une analyse des diverses sensibilités sociales du territoire. Pour l'ensemble des technologies, elle repose directement sur les études sur la plaisance et les activités de loisirs.
Sources et méthodes d'acquisition	Les documents ressources sont les études programmatiques et de fréquentation, les données statistiques de l'INSEE et certains plans départementaux spécifiques éventuels (Schéma départemental du tourisme, plan départemental des itinéraires de promenade et de randonnée (PDIPR) Plan Départemental des Espaces, Sites et Itinéraires (PDESI) relatifs aux sports de nature. La consultation des services compétents tels que les Directions Régionales et Départementales du tourisme, les offices du tourisme, les fédérations sportives et de loisirs, ainsi que les Conseils Généraux est préconisée. Les données peuvent être affinées sur le terrain par la réalisation d'enquête auprès des touristes.
Echelle d'observation	L'étude doit être réalisée à une échelle suffisante pour appréhender l'ensemble des interactions avec les différentes composantes du tourisme. Cette échelle est celle de l'étude paysagère pour l'évaluation de l'influence de la perception visuelle des installations sur l'activité. Cette échelle est celle de l'étude des activités pour évaluer la compatibilité avec les activités touristiques maritimes et balnéaires.

5.4 Réglementation et servitudes

Un inventaire des réglementations et servitudes locales doit être réalisé afin d'assurer la compatibilité du choix du site de projet et des tracés de câble avec les vocations d'usage des fonds marins et des espaces côtiers. Il doit mener à des cartes thématiques représentant ces principales zones de contraintes. Le tableau ci-dessous récapitule les principales informations à rechercher et les sources d'informations associées.

Catégorie	Composante	Source	Technologies concernées
Activités de pêche et d'aquaculture	Cadastre conchylicole / Cantonnement de pêche / Réserves de pêche / Champs de récifs artificiels/ gisements coquillers / réglementations particulières pour la pêche professionnelle	Directions Départementales ou Régionales des Affaires Maritimes (DDAM & DRAM)	Toutes
Navigaton maritime	Chenaux portuaires (hors défense) / Epaves / Câbles et canalisations / Etablissement de la signalisation maritime : phare, bouée, tourelle, etc. / Zone de mouillage pour les bâtiments de commerce / Zones d'attente	Marine Nationale Préfecture maritime DDTM	Toutes
Défense marine	Zones de tirs / Zones de sous-marins / Zones de munitions / Zones d'abri – échouage / Zone d'essai / Zone de plageage / Zones de mouillages des bâtiments militaires / Zones de sécurisation d'accès au port	PREMAR Manche PREMAR Atlantique CECMED (Méditerranée)	Toutes
Autres activités maritimes	Granulats	Ifremer DREAL DDTM	Toutes
Défense aérienne	Zones de vols d'essais et d'activités spécifiques de défense (dont tirs) / Aéroport militaire / Zone interdite (zones interdites temporaires - ZIT, Zone réglementée temporaire - ZRT, zones interdites associées a des sites industriels nucléaires ou pétrochimiques - P) / Zones air	-	Toutes
Navigaton aérienne civile	Plans de servitudes aéronautiques / Procédures Instrument Flight Rules - IFR et volume de protection / Plan de dégagement / Tractage de banderoles (< 0,6 NM des côtes) / Zones d'écopage	ZAD Direction de l'aviation civile (carte OACI)	Technologies à structures émergées
Radars	Sémaphores : zone de protection / zone de coordination / servitudes hertziennes PT 2 et PT 1	PREMAR Manche PREMAR Atlantique CECMED (Méditerranée)	-
	CROSS : zone de protection (< 5 km) / zone de coordination (< 20 km)	CETMEF	-
	Portuaires : zone de protection (< 10 km) / zone de coordination (< 20 km)	CETMEF	-
	Météo France bande C : zone de protection (< 5 km) / zone de coordination (< 20 km) Météo France bande C : zone de protection (< 10 km) / zone de coordination (< 30 km)	Météo France	-
	Aviation civile : zone de protection (< 5 km) / zone de coordination (< 30 km)	-	-
	Militaires : zone de protection (< 5 km) / zone de coordination (< 30 km)	-	-

Catégorie	Composante	Source	Technologies concernées
Réseaux	Réseaux radioélectriques et télécommunication	Agence Nationale des Fréquences Télédiffusion de France	Toutes
	Transports de fluides (pipeline, gazoducs, conduites d'eau – émissaire, rejet de centrale nucléaire) ou d'énergie	PREMAR DDTM DRAM	Toutes
Aires protégées	Aires marines protégées	Site internet de l'AAMP	Toutes
Paysage & patrimoine	Sites classés ou inscrits, monuments historiques, ZPPAUP, sites inscrits au patrimoine mondial de l'UNESCO.	CAUE DDTM DRAC DREAL Service Départemental de l'Architecture et du Patrimoine (SDAP)	Toutes
Sports et loisirs en mer	Zones d'activités de sports et de loisirs	Fédérations sportives et ligues	Toutes

A noter que les résultats du travail de collecte de ces informations réalisé dans le cadre de la planification des énergies marines renouvelables sont hébergés sur le serveur SEXTANT d'Ifremer et peuvent être visualisées sur le serveur géolittoral.⁵⁵

5.5 Organisation du territoire et des ressources

5.5.1 Urbanisme

Objectifs

L'objectif est d'assurer la compatibilité du projet avec les documents d'urbanisme existant et d'identifier les procédures réglementaires à mettre en œuvre en cas de non compatibilité (par exemple, révision simplifiée du PLU). Ceci concerne principalement la thématique du transport d'électricité et de l'atterrage. La connaissance de ces éléments participe à la définition technique du projet (choix du tracé et du point d'atterrage notamment).

Critères

L'étude doit cibler les documents d'urbanisme locaux, textes et servitudes applicables au territoire concerné : Schéma de cohérence territoriale (SCoT), Plan local d'urbanisme (PLU), carte communale, Règlement national d'urbanisme Loi littoral, Loi Montagne, Plan de prévention des risques, etc.

⁵⁵ <http://www.geolittoral.equipement.gouv.fr>.

Sources et méthodes d'acquisition	Ces documents sont consultables auprès des communes, des Directions Départementales des Territoires et de la Mer (DDTM) et des Préfectures.
Echelle d'observation	L'étude doit être menée sur les communes sur lesquelles des travaux sont envisagés.

5.5.2 Documents de planification et de gestion des ressources en eau, en air et en énergie du territoire

Objectifs	L'objectif est de vérifier que le projet est cohérent avec les orientations fixées par les documents de planification du territoire et de s'assurer de la compatibilité du projet avec les orientations de gestion.
Critères	L'étude doit cibler les documents de planification et de gestion pertinents : Schéma régional du climat de l'air et de l'énergie (SRCAE), Plan climat énergie territorial (PCET), Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE), Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SAGE), Contrat de baie, Schéma de mise en valeur de la mer (SMVM) ou volet littoral d'un SCoT, etc.
Sources et méthodes d'acquisition	Ces documents sont consultables auprès de l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME), des Agences de l'Eau, des Conseils Régionaux, des Directions Départementales des territoires et de la mer (DDTM), des Directions Régionales de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement (DREAL), etc.

6 Affinage des périmètres de projet

Les informations recueillies dans le cadre de l'état initial permettent d'affiner l'analyse de la sensibilité de l'aire de projet et, le cas échéant, de définir avec plus de précision les différents périmètres à privilégier ou éviter pour les interventions des travaux et l'installation des machines. Le travail de pré-diagnostic environnemental et socio-économique réalisé en amont permet déjà d'identifier les principales contraintes du territoire telles que les zones de servitudes, les zones de protection réglementaire, etc. On considère ainsi que le choix de la zone de projet répond à une intégration harmonieuse du projet tenant compte des grandes contraintes.

Le tableau 20 précise, pour chaque composante pertinente étudiée dans le cadre de l'état initial, les possibilités d'affinage des périmètres d'intervention au sein des zones de projet retenues en amont.

Tableau 21 : Critères d'affinage du périmètre de projet

Composante	Critères de choix du périmètre de moindre sensibilité	Technologie concernée
Qualité physico-chimique du substrat	Choix des sites de moindre contamination pour les opérations de travaux de susceptibles de remobiliser des matières en suspension de la colonne d'eau	Toute technologie
Qualité physico-chimique de l'eau	Choix du point de rejet de meilleure dilution et de plus forte stabilité du panache thermique et nutritif dans le cas de pompages profonds	ETM et PAC
Biocénoses et macrofaune benthique	Evitement des biocénoses riches et vulnérables type herbier, maërl, coralligène, algues...	Toute technologie
Faune pélagique et ressources halieutiques	Evitement des gisements de ressources halieutiques principaux et des zones fonctionnelles halieutiques	Toute technologie
Mammifères marins	Evitement des zones clés de reproduction et d'hivernage ainsi que des voies spécifiques de migration lorsque celles-ci sont définies à une échelle suffisamment fines pour qu'un raisonnement à l'échelle du périmètre de projet soi pertinent.	Toute technologie
Phytoplancton	Choix du point de meilleure dilution et de plus forte stabilité du panache thermique et nutritif dans le cas de pompages profonds	ETM et PAC
Avifaune	Evitement des zones clés de reproduction, hivernage et migration	Toute technologie
Chiroptères	Evitement des zones clés de reproduction, hivernage et migration	Technologie émergée
Pêche	Evitement des zones de plus forte fréquentation par la pêche et des zones clés de ressources halieutiques	Toute technologie

Chapitre 6 - Analyse prévisionnelle des impacts et proposition de mesures

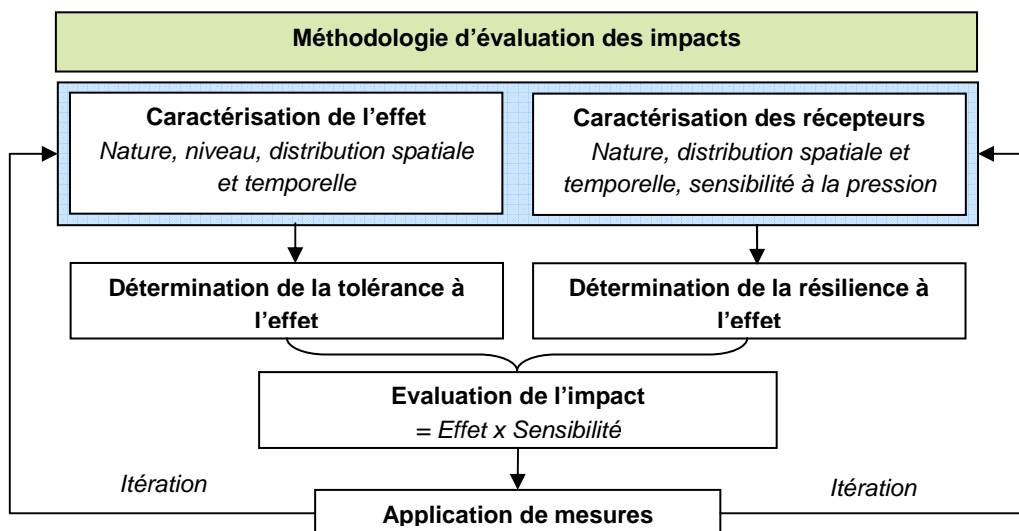
1 Principes méthodologiques et clés de lecture

L'analyse prévisionnelle des impacts d'un projet est une étape essentielle de sa conception. En étudiant les conséquences potentielles du projet sur son environnement (ici au sens large) et en les hiérarchisant, elle aide le maître d'ouvrage à concevoir le meilleur projet possible pour l'environnement. Les informations fournies permettent de faire évoluer le projet par ajustements successifs, du choix du périmètre définitif au choix des installations, de sorte à supprimer certains effets négatifs à la source, et de prévoir les mesures pour réduire les effets résiduels ou, à défaut, les compenser, notamment par renforcement des effets positifs éventuels.

Le présent chapitre vise à fournir des éléments de méthode pour l'évaluation prévisionnelle des impacts potentiels des projets d'EMR, de la phase de travaux au démantèlement. Les mesures d'évitement, réduction ou compensation pouvant être associées aux impacts négatifs sont présentées, ainsi que les mesures existantes pour renforcer les impacts positifs.

1.1 Effets et impacts : éléments de distinction et de caractérisation

Au cours de ses différentes phases de vie, un projet **interagit** inévitablement avec son environnement et **modifie** de fait certains paramètres environnementaux. L'**effet** décrit la conséquence objective de cette interaction sur l'environnement. Par exemple, une éolienne aura pour effet d'émettre une onde acoustique sous-marine de 80 à 110 dB re 1 μ Pa à la source. L'**impact** est la transposition de cette conséquence sur les différents compartiments de l'environnement (écosystème, paysage et patrimoine, usages) selon une échelle de **sensibilité**. Par exemple, le bruit sous-marin émis par une éolienne en phase travaux aura un impact nul sur les activités nautiques.



1.1.1 Les différents types d'effets

Au-delà de leurs caractéristiques techniques, les effets peuvent être qualifiés selon plusieurs critères.

Effets directs et indirects	L'analyse prévisionnelle des impacts ne doit pas se limiter aux seuls effets directement attribuables aux travaux et aux aménagements projetés. Elle doit aussi tenir compte des effets indirects, notamment liés aux modifications en « cascade » des caractéristiques du milieu.
Effets temporaires et permanents	<p>Les effets temporaires disparaissent dans le temps et sont pour leur plus grande part liés aux phases de réalisation de travaux de construction et de démantèlement.</p> <p>Les effets permanents ne disparaissent pas tout au long de la vie du projet. Ils englobent également les effets susceptibles de persister au-delà de la vie du projet.</p>
Effets uniques ou récurrents	Pour les effets temporaires, la notion d'occurrence est également centrale dans la réflexion sur l'analyse prévisionnelle des impacts. A un niveau donné, un effet unique n'induit pas les mêmes perturbations qu'un effet récurrent.
Effets cumulés	<p>Ces effets sont définis par la Commission européenne (<i>cumulative effects</i>) comme des « <i>changements subis par l'environnement en raison d'une action combinée avec d'autres actions humaines passées, présentes et futures</i> ».</p> <p>Le terme « cumulé » fait donc référence à l'évaluation de la somme des effets d'au moins deux projets différents. Il est ainsi nécessaire de distinguer les effets d'un même projet qui peuvent s'ajouter et les effets cumulés liés à l'interaction entre deux projets distincts.</p> <p>On notera que la réforme des études d'impact précise le champ d'investigation réglementaire associé à l'analyse des effets cumulés. Cette étude doit porter sur les autres projets connus, à savoir les projets de travaux, d'ouvrages ou d'aménagements qui se situent dans la zone susceptible d'être affectée par le projet, et qui ont fait l'objet d'une étude d'impact et sont autorisés ou en cours d'instruction.</p>
Effets transfrontaliers	L'environnement d'un projet n'a pas de frontière. Les effets du projet doivent donc aussi être analysés sur les territoires frontaliers, qu'il s'agisse d'effets sur le paysage, le milieu naturel ou humain. Il revient aux autorités françaises l'initiative de saisir le pays frontalier concerné et de lui fournir, si celui-ci le souhaite, tous les éléments lui permettant de consulter son public sur les impacts du projet. D'une manière générale, les éléments de dossier fournis aux autorités doivent être suffisants pour apprécier si l'impact est notable et le cas échéant pour assurer l'organisation de l'enquête publique.

1.1.2 La caractérisation des impacts

Suite à la détermination des effets, les impacts doivent être hiérarchisés sur la base d'une appréciation de la **sensibilité** des composantes de l'environnement atteintes. Qu'il s'agisse d'un élément d'un écosystème, de patrimoine ou d'un usage, cette notion de sensibilité est un élément central de l'évaluation d'un impact. De manière générale, elle peut être définie à partir de la **tolérance** à l'effet considéré, et de la **résilience** à cet effet. Ces deux qualificatifs intègrent les questions clés à se poser pour la hiérarchisation des impacts.

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.

La réflexion portant sur cette tolérance se pose nécessairement à l'échelle de l'individu ou de l'unité mais doit également être replacée dans son caractère global :

- L'espèce benthique considérée est susceptible d'être détruite par la pose des fondations, mais quelle est la conséquence sur le peuplement ? S'agit-il d'une espèce rare ou au contraire abondamment représentée sur ce territoire ?
- La présence des installations entrave la navigation mais que représente les trafics propres de cette zone au regard des flux régionaux et quelle est la dépendance à ces flux de l'activité du territoire ?

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.

La réflexion portant sur cette résilience soulève des notions de réversibilité, d'occurrence, d'adaptabilité...

- L'état prévalant avant effet peut-il être retrouvé ?
- Quelle résilience espérer par rapport à un effet permanent ou un effet temporaire mais d'occurrence régulière ?

A noter enfin que les conséquences d'un effet peuvent être positives ou négatives et qu'à ce titre, un impact peut être défini comme positif ou négatif. La viabilité d'un écosystème ou d'une activité peut être réduite mais également améliorée par un effet, tout comme ses capacités de résilience. La perception d'éoliennes en mer peut être perçue négativement si on considère qu'elle dénature un paysage sauvage et préservé, ou positivement si on leur confère le symbole d'une meilleure intégration de l'homme dans son environnement.

1.2 Limites d'évaluation

Qu'il s'agisse d'impacts positifs ou négatifs, temporaires ou permanents, affectant les milieux physiques ou les milieux biologiques, les processus naturels ou les activités humaines, nos capacités à prédire ces impacts avec précision sont limitées. L'amélioration de nos connaissances des écosystèmes marins et les retours d'expérience fournis par les projets EMR déjà mis en œuvre, nous permettent d'affiner notre analyse des pressions, des effets et de la sensibilité de leurs récepteurs. Néanmoins, chaque projet se distingue par une intervention technique spécifique et **un environnement naturel et socio-économique unique**. La réaction d'un écosystème et d'un socio-écosystème à la mise en œuvre d'un projet est ainsi unique, et doit être évaluée **au cas par cas**. Le présent chapitre fournit des **éléments de méthode** pour accompagner cette réflexion au cas par cas.

Dans ce contexte, une distinction doit néanmoins être faite entre l'analyse **prévisionnelle** des impacts réalisée en **amont** du projet et de sa mise en place, et l'affinement voire la correction de cette analyse d'impacts **a posteriori** sur la base des suivis scientifiques réalisés. Le présent chapitre fournit des éléments relatifs à l'analyse prévisionnelle des impacts. Les suivis font l'objet d'un chapitre spécifique.

Face aux lacunes de connaissances existantes sur les impacts des technologies émergentes, l'exercice d'analyse prévisionnel de certains impacts est limité. Une meilleure maîtrise des liens de causes à effets est nécessaire et une distinction doit être faite entre ce qui relève d'avantage de la recherche et de ce qui relève d'un cadre d'évaluation environnementale plus classique. Dans un contexte maritime et technique où les marges d'approfondissement des connaissances restent importantes, la limite de cette distinction n'est pas toujours évidente à trouver. En tout état de cause, les projets pilotes ont un rôle central à jouer dans cette démarche d'acquisition des connaissances, et ce point particulier est traité plus en détail dans le chapitre consacré aux suivis environnementaux.

2 Méthodologie d'analyse prévisionnelle des impacts sur les écosystèmes et les usages en mer

2.1 Structure et contenu de l'outil

L'outil se décline sous la forme de **fiches méthodologiques**. Une fiche est élaborée pour chaque type d'effet.

Technologie concernée : chaque fiche rappelle le type de technologie concernée par l'effet considéré

Caractérisation de l'effet

Critères de caractérisation - Cet élément de la fiche précise les **critères clés** nécessaires à la caractérisation de l'effet en vue de l'évaluation de ses impacts potentiels. Il s'agit de disposer d'une **information suffisante** sur l'effet pour pouvoir définir correctement son interaction avec les récepteurs environnementaux ou socio-économiques du milieu.

Exemple : les bruits émis doivent être caractérisés en termes de fréquence, de niveau de pression acoustique, d'étendue et de durée.

Méthodes et faisabilité - La connaissance de ces critères clés répond à une **évaluation optimale** des impacts. Si le but de ces fiches est bien de rappeler les bases théoriques d'une telle évaluation, cela ne doit pas occulter la **difficulté** voire l'impossibilité de caractériser certains critères pourtant nécessaires à une évaluation pertinente des impacts. Cet élément de la fiche fait succinctement état des **méthodes disponibles** pour renseigner les critères proposés, ainsi que des **limites scientifiques ou techniques** qui s'y posent. Des pistes d'approfondissement sont proposées.

Caractérisation des récepteurs

Éléments de caractérisation des récepteurs - Cet élément de la fiche précise les critères clés nécessaires à la caractérisation des récepteurs en vue de l'évaluation des impacts des effets qu'ils sont susceptibles de subir. Il s'agit de disposer d'une information suffisante sur le récepteur pour pouvoir définir correctement son interaction avec la pression, ainsi que sa sensibilité à cette pression.

Exemple : les espèces marines sensibles aux ondes acoustiques doivent être caractérisées en termes d'audition, de modalités de fréquentation vis-à-vis de la source, de capacité de fuite et de sensibilité aux ondes acoustiques.

Méthodes et faisabilité – Comme pour la caractérisation des effets, cet élément de la fiche fait succinctement état des **méthodes disponibles** pour renseigner les critères proposés, ainsi que des **limites scientifiques ou techniques** qui s'y posent. Des pistes d'approfondissement sont proposées.

Évaluation des impacts

Des méthodes d'évaluation des impacts sont proposées sur la base des éléments de caractérisation des effets et des récepteurs définis au préalable. Les limites associées à l'évaluation prévisionnelle des impacts sont posées et les liens vers les suivis scientifiques sont établis.

Une méthode proposée ci-après permet de définir le degré d'impact sur les espèces et les habitats en croisant les tolérances et résiliences aux effets.

Définition des mesures (éviter, réduire, compenser ou améliorer, stimuler)

Cette partie de la fiche propose des mesures d'évitement, réduction ou compensation d'impacts négatifs ou d'amélioration ou stimulation d'impacts positifs. Ces propositions ne sont pas exhaustives.

2.2 Proposition de méthodes de hiérarchisation des impacts

La caractérisation des impacts sur l'environnement ou les usages selon une échelle de valeur est une étape nécessaire de l'évaluation environnementale. Elle permet d'apprécier les résultats de cette évaluation selon des critères objectifs et de hiérarchiser les enjeux du projet. Les priorités d'action peuvent alors être définies afin d'assurer une intégration environnementale et socio-économique satisfaisante.

De nombreuses méthodes de hiérarchisation existent, présentant chacune ses avantages et ses inconvénients. Qu'il s'agisse de méthodes partagées ou de méthodes spécifiquement conçues pour un projet donné, l'essentiel est de retenir une méthode qui permette d'apprécier avec pertinence les enjeux de perturbation des milieux naturels et humains associés au projet.

Les méthodes de classification proposées ci-dessous doivent avant tout être considérées comme des exemples visant à illustrer l'exercice de hiérarchisation des impacts selon des critères prédéfinis. Développés par le *Marine Life Information Network (MarLIN)* pour les impacts environnementaux et par l'EMEC pour les impacts d'usages, ces méthodes semblent adaptées à l'évaluation des impacts des projets d'EMR et ont à ce titre déjà été employées en ce sens à l'international et notamment par le *Scottish Natural Heritage* en Ecosse. Leur présentation dans cette étude ne doit pas pour autant être considérée comme un frein à l'utilisation d'autres méthodes existantes ou à définir, peut être tout aussi adaptées. L'exercice de prospection méthodologique réalisé dans le cadre de cette étude n'est en effet pas exhaustif.

On notera que dans le cadre d'un travail en cours et demandé par la DPMA sur l'évaluation des sensibilités des habitats marins communautaires aux activités de pêche, le MNHN emploie la méthode de hiérarchisation MarLIN. Des échanges avec les équipes du MNHN sur la pertinence scientifique de cette méthode ont permis d'établir que cette méthode était adaptée à l'évaluation environnementale des projets d'EMR.

Enfin, d'autres méthodologies spécifiquement développées pour certaines composantes environnementales ou socio-économiques et plus adaptées à ces composantes sont proposées dans certaines des fiches suivantes (par exemple pour l'évaluation du degré d'impact de l'effet barrière sur la migration des oiseaux).

2.2.1 Hiérarchisation des impacts sur les espèces et les habitats marins

La méthode de hiérarchisation proposée repose sur une méthode de classification définie par la *Marine Life Information Network (MarLIN)*. Elle consiste à définir la sensibilité d'une espèce ou d'un habitat à un effet par combinaison de sa tolérance et de sa résilience à cet effet selon des échelles de valeur prédéfinies⁵⁶.

Echelles de sensibilité des espèces

Principes : 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. Les échelles de résistance et de résilience présentées ici sont directement inspirées de la méthodologie *MarLIN*.

Tableau 22 : Echelle de tolérance des espèces à un effet (Source : Egis d'après MarLIN)

Tolérance	Description
Aucune	Le peuplement de l'espèce est susceptible d'être détruit par la pression considérée.
Faible	Certains individus de l'espèce sont susceptibles d'être détruits par la pression considérée et la viabilité du peuplement peut être réduite.
Modérée	Aucun individu n'est susceptible d'être détruit par la pression mais la viabilité du peuplement est réduite.
Forte	La pression n'a pas d'effet sur la survie ou la viabilité de l'espèce.
Améliorée	La viabilité du peuplement peut être améliorée.
Information insuffisante	Les informations disponibles ne permettent pas de conclure

L'échelon « Tolérance améliorée » a été ajouté pour pouvoir tenir compte des effets positifs pouvant résulter de la mise en place des EMR sur les espèces.

⁵⁶ Pour plus d'information ou pour un approfondissement des principes, consulter <http://www.marlin.ac.uk>.

Tableau 23 : Echelle de résilience des espèces à un effet (Source : Egis d'après MarLIN)

Résilience	Description
Nulle	Le rétablissement est impossible
Très faible	Un rétablissement partiel n'est envisageable qu'après au moins 10 ans et le temps de rétablissement complet peut s'étendre au-delà de 25 ans, voire ne jamais être atteint.
Faible	Un rétablissement partiel est envisageable sous 10 ans et le temps de rétablissement complet peut s'étendre jusqu'à 25 ans.
Modérée	Un rétablissement partiel est envisageable sous 5 ans et le temps de rétablissement complet peut s'étendre jusqu'à 10 ans.
Forte	Un rétablissement complet est attendu sous un délai maximal de 5 ans.
Très forte	Le rétablissement complet est attendu sous un délai de quelques semaines s'étendant au maximum à 6 mois.
Immédiate	Le rétablissement a lieu dans un délai maximal de quelques jours.
Non pertinent	A définir lorsque la résistance n'est pas pertinente ou peut ne pas être déterminée.
Information insuffisante	Les informations disponibles ne permettent pas de conclure.

Tableau 24 : Evaluation du sens et de l'amplitude des impacts en fonction des échelles de résilience et de tolérance des espèces (Source : Egis d'après MarLIN)

IIMPACT		Résilience						
		Nulle	Très faible (>25ans)	Faible (>10/25 ans)	Modérée (>5/10 ans)	Forte (< 5 ans)	Très forte (< 6 mois)	Immédiate (< 1 semaine)
Tolérance	Nulle	Très fort	Très fort	Fort	Modéré	Modéré	Faible	Très faible
	Faible	Très fort	Fort	Fort	Modéré	Faible	Faible	Très faible
	Modérée	Fort	Modéré	Modéré	Faible	Faible	Très faible	Nul
	Forte	Nul	Nul	Nul	Nul	Nul	Nul	Nul
	Améliorée	Positif	Positif	Positif	Positif	Positif	Positif	Positif

Nota : la méthode MarLIN définit la **sensibilité** des espèces par croisement de leur tolérance et de leur résilience. Dans la méthode proposée ici, la résistance et la résilience étant directement définies par rapport à l'effet, l'impact peut être directement défini par croisement de ces deux données.

I

Impact	Description
Très fort	<p>La sensibilité très forte est décrite par le scénario suivant :</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ L'habitat ou l'espèce est très gravement affecté par la pression (mort ou destruction) et son rétablissement n'est attendu qu'après une période de temps prolongée (> 25 ans) voire non envisagé ; ▪ L'habitat ou l'espèce est gravement affecté par la pression (blessure ou dégradation) et son rétablissement n'est pas envisagé.
Fort	<p>La sensibilité forte est décrite par le scénario suivant :</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ L'habitat ou l'espèce est très gravement affecté par la pression (mort ou destruction) et son rétablissement n'est attendu qu'après une longue période de temps (10 à 25 ans) ; ▪ L'habitat ou l'espèce est gravement affecté par la pression (blessure ou dégradation) et son rétablissement n'est attendu qu'après une longue période de temps (10 à 25 ans) ; ▪ L'habitat ou l'espèce est affecté par la pression (viabilité réduite) mais son rétablissement n'est pas attendu et l'habitat ou l'espèce demeure vulnérable à des perturbations ultérieures.
Modéré	<p>La sensibilité modérée est décrite par le scénario suivant :</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ L'habitat ou l'espèce est très gravement affecté par la pression (mort ou destruction) et son rétablissement est attendu dans un délai de 1 à 10 ans ; ▪ L'habitat ou l'espèce est gravement affecté par la pression (blessure ou dégradation) et son rétablissement est attendu dans un délai de 5 à 10 ans ; ▪ L'habitat ou l'espèce est affecté par la pression (viabilité réduite) et son rétablissement n'est attendu qu'après une longue période de temps (> 10 ans) au cours de laquelle l'habitat ou l'espèce demeure vulnérable à une nouvelle perturbation.
Faible	<p>La sensibilité faible est décrite par le scénario suivant ;</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ L'habitat ou l'espèce est très gravement affecté par la pression (mort ou destruction) mais son rétablissement est attendu rapidement, dans un délai inférieur à 1 an ; ▪ L'habitat ou l'espèce est gravement affecté par la pression (blessure ou dégradation) et son rétablissement est attendu dans un délai relativement court compris entre 1 et 5 ans ; ▪ L'habitat ou l'espèce est affecté par la pression (viabilité réduite) et son rétablissement n'est attendu que dans un délai de 1 à 10 ans.
Très faible	<p>La sensibilité très faible est décrite par le scénario suivant :</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ L'habitat ou l'espèce est très gravement affecté par la pression (mort ou destruction) mais son rétablissement est attendu immédiatement (< 1 semaine) ; ▪ L'habitat ou l'espèce est gravement affecté par la pression (blessure ou dégradation) mais son rétablissement est attendu immédiatement (< 1 semaine) ; ▪ L'habitat ou l'espèce est affecté par la pression (viabilité réduite) et son rétablissement est attendu dans un délai de 1 an maximum.
Aucun	<p>L'absence de sensibilité est décrite par le scénario suivant :</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ L'habitat ou l'espèce est affecté par la pression (viabilité réduite) et son rétablissement est attendu immédiatement (< 1 semaine) ; ▪ L'habitat ou l'espèce n'est pas affecté par la pression.
Positif	<p>L'habitat ou l'espèce est susceptible de bénéficier de la pression par exemple par une amélioration de sa viabilité.</p>
Non pertinent	<p>L'habitat ou l'espèce est protégé de la pression ou a la capacité d'éviter cette pression.</p>

Echelle de sensibilité des habitats

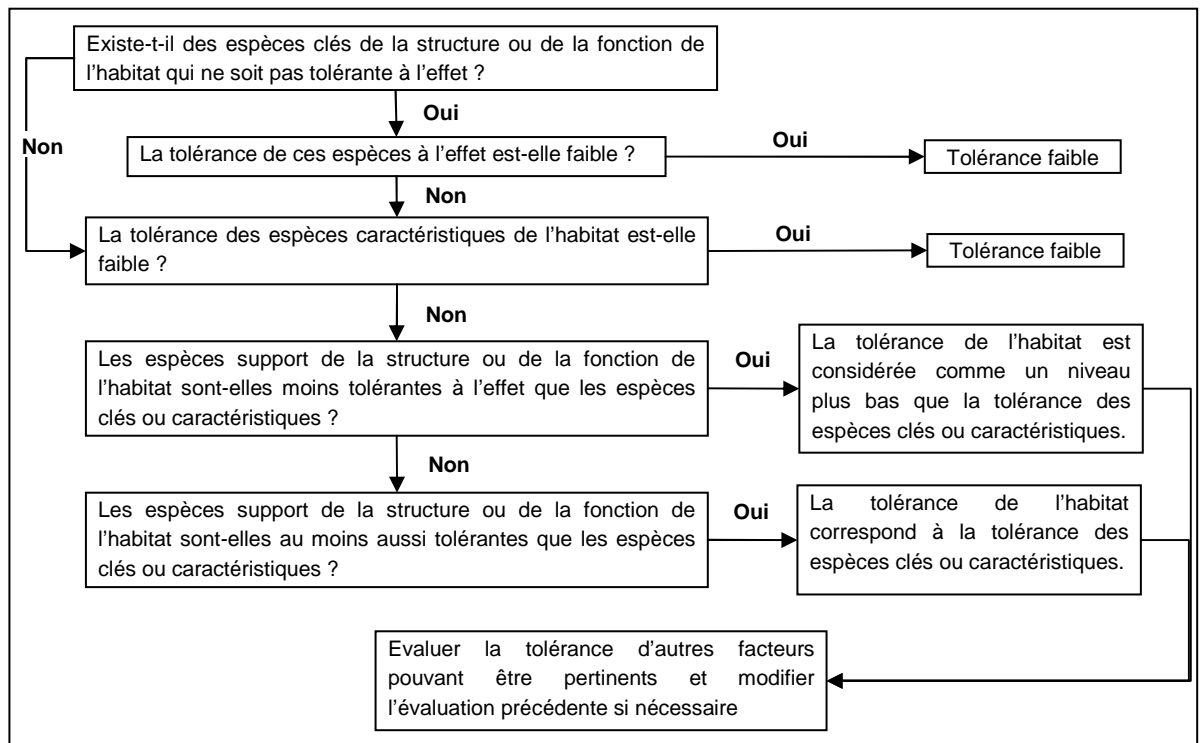
La *Marine Life Information Network (MarLIN)* propose une méthode de classification de la sensibilité des habitats marins à diverses perturbations dont les principes sont représentés ici⁵⁷.

Principes : la sensibilité d'un habitat est dépendante de la sensibilité des espèces qui le constituent. Les espèces indiquant la sensibilité d'un habitat sont les espèces qui influencent l'écologie de l'habitat de manière significative.

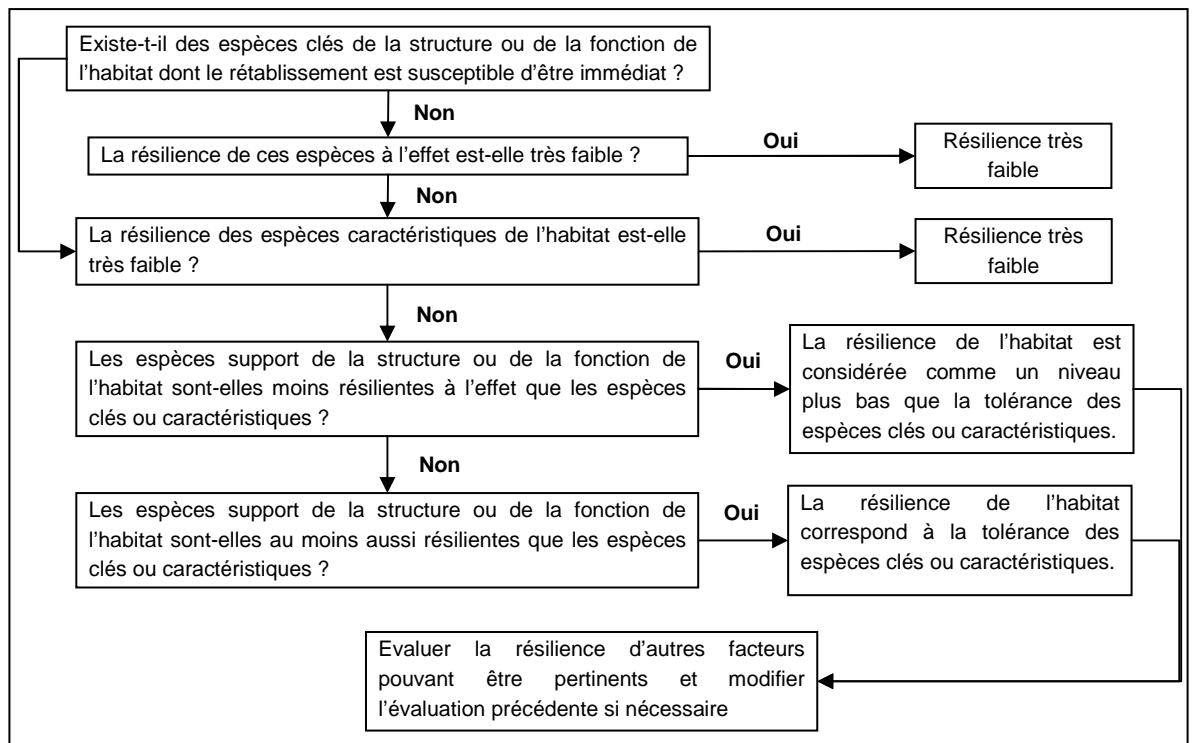
Espèce clé structurelle	L'espèce constitue un habitat spécifique qui abrite une communauté d'espèces dépendante de cet habitat. La perte ou l'altération du peuplement de cette espèce entraîne inévitablement la perte ou l'altération de la communauté d'espèces associée.
Espèce clé fonctionnelle	L'espèce maintient la structure et la fonction de l'habitat au travers d'interactions spécifiques avec d'autres espèces de l'habitat (prédation, broutage, compétition, etc.).
Espèce caractéristique	L'espèce est caractéristique de l'habitat est importante pour sa classification. La perte du peuplement de cette espèce est susceptible d'entraîner la perte de l'habitat.
Espèce support structurelle	L'espèce interagit positivement avec les espèces clés ou caractéristiques et constitue un élément important de leur viabilité. La perte ou la dégradation de ce peuplement d'espèce est susceptible de réduire cette viabilité.
Espèce support fonctionnelle	L'espèce est la source dominante de matière organique ou de production primaire au sein de l'écosystème. La perte ou l'altération de cette espèce est susceptible de modifier la structure et la fonction de l'habitat.
Espèce support autre	Espèce ne rentrant pas dans les critères présentés ci-dessus mais dont l'importance pour la stabilité de l'écosystème est suggérée par les connaissances disponibles sur l'habitat en question.

⁵⁷ Pour plus d'information ou pour un approfondissement des principes, consulter <http://www.marlin.ac.uk>.

Arbre décisionnel pour la définition de la tolérance d'un habitat à un effet (Source : MarLIN)



Arbre décisionnel pour la définition de la résilience d'un habitat à un effet (Source :MarLIN)



2.2.2 Echelle de sensibilité des activités socio-économiques

Pour les activités socio-économiques, l'*European Marine Energy Center* propose l'échelle de hiérarchisation suivante.

Tableau 25 : Echelle d'impact des activités socio-économiques en fonction de l'amplitude de l'effet
(Source : EMEC)

Fort	L'activité est perturbée à un niveau entraînant une perte de revenus ou d'opportunité supérieure à ce que pourrait induire la variabilité ou les risques normalement associés à l'activité. Conséquences potentielles immédiate sur la santé publique ou le bien-être.
Modéré	L'activité est perturbée à un niveau entraînant une perte de revenus ou d'opportunité d'un ordre de grandeur similaire à la variabilité ou les risques normalement associés à l'activité. Conséquences possibles mais peu probables sur la santé publique ou le bien-être.
Faible	Nuisances potentielles sur certaines activités ayant une conséquence mineure sur les revenus ou les opportunités. Nuisances non préjudiciables sur le public.
Négligeable	Effet ressenti mais n'entraînant aucune nuisance sur les activités ou les personnes.
Sans interaction	Aucune.
Positif	Bénéfices aux activités ou aux personnes.

Dans la même logique que la définition de la sensibilité sur les espèces ou les habitats, une dimension de résilience pourrait être ajoutée à cette réflexion. Il s'agirait de définir en quoi l'activité ou l'usage a la capacité à surmonter la perturbation ou en d'autres termes à utiliser les ressources disponibles pour anticiper ou réagir à l'effet.

2.3 Analyse prévisionnelle des impacts liés aux interactions mécaniques avec les fonds

2.3.1 Analyse prévisionnelle des impacts du remaniement du substrat

Caractérisation du remaniement du substrat

Éléments de caractérisation - Localisation, surface et profondeur remaniée, fréquence des remaniements, vocation du fond remanié (laissé nu ou couvert par un ouvrage).

Méthodes et faisabilité -

Ces éléments sont définis directement à partir des prescriptions techniques du projet. A noter que cet effet englobe également le recouvrement des fonds par des installations (caisson, ancrage) sans remaniement préalable.

Caractérisation de la sensibilité des récepteurs

Éléments de caractérisation - Les récepteurs directement concernés par les actions mécaniques de remaniement des fonds sont les organismes benthiques (faune enfouie, épifaune, flore) et les habitats qu'ils constituent.

La tolérance de ces éléments à un travail des fonds peut être définie sur la base de leur **mobilité** (sessile, capacité de fuite si mobile) et de leur **dépendance** aux habitats visés et autres espèces sensibles. Si les effets sur les espèces pélagiques et la chaîne trophique sont indirects et résultent a priori dans des impacts faibles, la tolérance de ces espèces peut également être évaluée sur la base de leur dépendance aux habitats et espèces visés par les actions mécaniques sur les fonds.

La résilience des récepteurs peut être évaluée sur la base de leur **cycle biologique** et des **conditions édaphiques** dont ils dépendent.

Méthodes et faisabilité - Le renseignement de ces éléments peut se baser sur la bibliographie scientifique relative à la biologie des espèces, les résultats scientifiques d'opérations similaires et les dires d'expert. Le site internet *Marine Life Information Network (MarLIN)* propose une base de données de la sensibilité des espèces et des habitats marins des côtes britanniques à différentes pressions. La sensibilité aux remaniements de substrat est traitée. Cette base de données peut constituer une information pertinente pour les espèces marines de Manche et d'Atlantique.

Evaluation des impacts

L'appréciation des impacts peut être réalisée par réalisation de cartographies de sensibilité du milieu et par superposition de cartographies des opérations de travail du fond prévues dans le cadre des travaux. Ce type de représentation permet notamment d'apprécier les surfaces mises en jeu au regard de la distribution globale des espèces et des habitats sur la zone.

Mesures (évitement, réduction, compensation)

Choix d'une autre zone d'implantation - Face au caractère inévitable de la destruction des espèces non ou peu mobiles et des habitats liés au remaniement des sédiments, l'unique mesure disponible pour supprimer l'effet est le déplacement de l'opération sur une autre zone. Ceci peut être envisagé pour toute espèce ou tout habitat protégé (résilience nulle ou faible, par exemple : herbiers, coralligène, champ d'algues).

Adaptation des techniques de travaux - Concernant les câbles, parmi les différentes techniques d'ensouillage existantes, l'utilisation d'une charrue a le moindre effet sur le sédiment. Il soulève le sédiment, place le câble et permet au sédiment de remplir le tracé naturellement. D'autres techniques telles que la trancheuse et le jetting, coupent le sédiment et limitent son remplacement à un état naturel.

On notera que chacune de ces techniques n'est pas applicable sur tout type de fond et que c'est ainsi la nature des fonds qui détermine en grande partie le type de technologie utilisée. Pour les tranchées réalisées sur des fonds à grosse granulométrie dont le remplissage naturel est limité, un remplissage artificiel peut être envisagé pour faciliter la recolonisation. Le forage dirigé horizontal constitue par ailleurs une technologie efficace pour éviter les dommages en milieu terrestre. On consigne son utilisation aux habitats sensibles tels que les zones intertidales et côtières dont les dunes, les falaises de craie ou encore les salines. Dans le cas de la ferme offshore de Thanet par exemple, le forage horizontal était proposé du fait de la présence d'une végétation saline sur le tracé retenu (Thanet Offshore Wind, 2005).

Enfin, la stabilisation des navires et des barges impliquent des ancrages fréquents. Afin de limiter les impacts de ces ancrages sur les fonds, des zones d'exclusion d'ancrage peuvent être définies au niveau des habitats les plus sensibles. L'utilisation d'annexes qui soulèvent les ancres limite le raclement des ancres sur les fonds.

2.3.2 Analyse prévisionnelle des impacts de la remise en suspension de matériaux

Caractérisation de la remise en suspension de matériaux

Éléments de caractérisation - La remise en suspension doit être caractérisée en termes **d'étendue géographique, de persistance, d'occurrence et de qualité**.

Méthodes et faisabilité - Ces éléments peuvent être appréciés à partir des connaissances physiques du milieu (caractéristiques physico-chimiques des matériaux, hydrodynamisme) et des spécifications techniques du projet (période de travaux). Une appréciation précise de la dispersion des particules peut être réalisée par modélisation en cas d'enjeux forts à proximité (habitats sensibles, zones de cultures marines, etc.). Les données d'entrée de ce type de modèles sont les données hydrodynamiques et les caractéristiques granulométriques des matériaux.

Caractérisation de la sensibilité des récepteurs

Les récepteurs directement concernés par les remises en suspension de matériaux sont les **organismes benthiques** (faune enfouie, épifaune, flore), les **habitats** qu'ils constituent et les **usages** dépendants de la qualité des eaux (aquaculture et baignade dans une moindre mesure).

⇒ Organismes benthiques et habitats

Éléments de caractérisation - La tolérance des organismes benthiques à une remise en suspension de matériaux peut être définie sur la base de leur **mobilité** (sessile, capacité de fuite si mobile), de leur **physiologie** (processus d'alimentation, de respiration ou de photosynthèse et capacité d'évacuation des particules) et de leur **dépendance** aux habitats visés et aux autres espèces sensibles. Si les effets sur les espèces pélagiques et la chaîne trophique sont indirects et résultent a priori dans des impacts faibles, la tolérance de ces espèces peut également être évaluée sur la base de leur dépendance aux habitats et espèces visés par les remises en suspension sur les fonds. La définition des impacts directs étant déjà complexe, les possibilités d'évaluation et même d'étude de ces impacts indirects sont très limitées. La résilience de ces organismes peut être évaluée sur la base de leur **cycle biologique** et des **conditions édaphiques** dont ils dépendent.

Méthodes et faisabilité - Le renseignement de ces éléments peut se baser sur la bibliographie scientifique relative à la biologie des espèces, les résultats scientifiques d'opérations similaires et les dires d'expert. Le site internet *Marine Life Information Network (MarLIN)* propose une base de données de la sensibilité des espèces et des habitats marins des côtes britanniques à différentes pressions. La sensibilité à la remise en suspension et l'augmentation de la turbidité est traitée. Cette base de données peut constituer une information pertinente pour les espèces marines de Manche et d'Atlantique.

➔ Usages

Pour les cultures marines, les indications fournies ci-avant sur l'évaluation des impacts sur les organismes benthiques peuvent être repris. Les principales productions visées sont les productions conchylicoles et il s'agit d'évaluer comment ces productions peuvent être affectées par une exposition à une eau chargée en matières en suspension à des niveaux plus importants que ceux dans lesquels elle évolue habituellement.

Les seuils de qualité des eaux de baignade sont définis par la réglementation européenne, retranscrite en droit français (Directive 2006/7/CE du Parlement européen et du Conseil du 15 février 2006).

Evaluation des impacts

L'appréciation des impacts peut être réalisée à l'aide de cartographies de sensibilité du milieu et par superposition des modélisations de dispersion réalisées. Ce type de représentation permet notamment d'apprécier les surfaces mises en jeu au regard de la distribution globale des espèces et des habitats, et des usages sensibles sur la zone.

Mesures (éviter, réduire, compenser)

Choix de techniques d'intervention de moindre impact - Au-delà d'un choix approprié de la localisation des ouvrages ou du tracé des câbles, le choix d'outils appropriés peut permettre de réduire les sédiments remis en suspension et les effets associés.

Choix de périodes d'intervention de moindre impact - Le choix des périodes d'intervention les plus adaptées peut permettre de réduire les effets de la remise en suspension de matériaux. Il est recommandé de choisir les périodes pour lesquelles les conditions océanographiques sont les plus favorables : faible hydrodynamisme conditionnant une faible portée des matériaux, courants favorables à l'évitement des enjeux majeurs, période d'absence ou de faible activité des espèces ou des usages sensibles, etc.

2.4 Analyse prévisionnelle des impacts du bruit

Caractérisation du bruit

Éléments de caractérisation – Le bruit doit être caractérisé en termes de **propriétés acoustiques à la source** (gamme de fréquence, niveaux de pression acoustique) et de **modalité d'émission** (durée, fréquence et période annuelle d'émission).

Méthodes et faisabilité – Les données sur les propriétés acoustiques à la source peuvent être obtenues à partir de retours d'expériences d'opérations similaires. Pour les technologies émergentes, les signatures acoustiques en phase opérationnelle ne pourront être connues que par simulation et surtout par suivi des premiers projets. Les modalités d'émission sont définies à partir des spécifications techniques du projet.

Caractérisation de la sensibilité des récepteurs

Éléments de caractérisation – Les récepteurs à considérer en milieu marin, sont les mammifères marins, les poissons et certains invertébrés. En milieu aérien, les récepteurs à considérer sont les oiseaux et les hommes, dans la mesure où les projets sont suffisamment proches du rivage pour émettre des bruits audibles à la côte. Dans la limite des données existantes, il sera utile de décrire pour ces récepteurs, la **gamme fréquentielle d'audition**, les **seuils de sensibilité aux pressions acoustiques**, et la **mobilité**.

Méthodes et faisabilité – Comme cela est décrit dans l'analyse bibliographique, ces données sont relativement limitées et doivent être recherchées dans la bibliographie. Pour les mammifères marins, les gammes de sensibilité fréquentielles sont décrites pour un grand nombre d'espèces de nos côtes. Les données portant sur la sensibilité aux pressions acoustiques sont par contre plus limitées, et disponibles pour certaines espèces uniquement.

Des interpolations aux autres espèces d'un même groupe sont souvent réalisées. Pour les poissons, les données sont encore plus limitées, mais une recherche croissante sur cette thématique apporte régulièrement de nouvelles connaissances. Les connaissances sur les invertébrés et les oiseaux sont enfin quasi-inexistantes. L'audition de l'homme est par contre complètement maîtrisée.

Evaluation des impacts

L'analyse prévisionnelle des impacts se déroule en deux temps. Une première analyse des **contenus fréquentiels des bruits** attendus du projet et des **gammes d'audition des espèces** identifiées sur le territoire permet d'identifier les espèces susceptibles d'être affectées par les différentes opérations. Ensuite, une **modélisation de la décroissance des pressions acoustiques** par rapport à la source permet d'identifier les risques de perturbation des espèces retenues au regard de leur localisation. A noter que cet exercice peut être réservé aux enjeux acoustiques les plus importants (opérations de travaux bruyantes et bruits continus en phase opérationnelle).

Mesures (éviter, réduire, compenser)

Choix des techniques d'intervention – Une première mesure consiste à choisir des moyens d'intervention adaptés aux enjeux identifiés. Des techniques trop bruyantes seront proscrites au profit de techniques d'intervention plus adaptées (pression acoustique moindre, gamme fréquentielle différente, etc.).

Des protocoles standardisés existent pour minimiser les impacts des bruits de travaux les plus bruyants. Une mesure de routine consiste par exemple à accroître progressivement l'intensité des opérations et donc la production de bruit pour permettre aux espèces les plus mobiles de s'éloigner à une distance suffisante. Pour le battage de pieux par exemple, l'application de ce principe peut conduire à appliquer le marteau avec une intensité croissante. Sur le site de Béatrice par exemple, l'installation des pieux commençait par 5 battages à faible énergie séparés par des intervalles de 5 mn, 3 mn, 2 mn et 1 mn. Ensuite, l'énergie du battage était régulièrement augmentée sur 20 minutes jusqu'à atteindre la puissance normale, maintenue jusqu'à la fin de la mise en place du pieu.

Pour les mammifères marins, la localisation des individus en période de travaux permet de moduler les activités. Le *Joint Nature Conservation Committee* propose ainsi une observation d'une zone d'exclusion de 500 m pendant 30 mn avant le commencement des travaux. Si des mammifères sont perçus dans cette zone, les travaux seront retardés jusqu'à ce qu'ils se soient éloignés.

Un réglage optimal de la vitesse d'enfoncement permet ensuite de limiter le bruit émis. Elmer (2007) constate que la multiplication par deux du temps d'enfoncement permet d'atteindre une réduction de la pression acoustique d'environ 10 à 13 dB.

Enfin, on constate qu'avec une réduction du diamètre du pieu, le bruit émis par l'enfoncement peut être réduit. Si l'on envisage l'enfoncement d'un nombre plus important de pieux d'un diamètre inférieur, il faut considérer un prolongement éventuel de la durée des travaux et de l'impact associé. Pendant le démantèlement, la technique de cutting évite par ailleurs le forage, plus bruyant, pour l'enlèvement des structures plantées.

Des solutions de réduction des bruits émis sont étudiées mais elles nécessitent encore des recherches approfondies et des tests supplémentaires :

- La conception de marteaux de formes particulières pour réduire les niveaux acoustiques reste complexe (MENCK) ;
- Des amortisseurs en nylon et d'autres matériaux sont déjà utilisés à terre pour réduire les émissions aériennes. Ils absorbent cependant de l'énergie qui est difficile à dissiper dans les enceintes fermées normalement mises en œuvre pendant les travaux en mer.

Choix des périodes d'intervention – La détermination des périodes annuelles de plus forte sensibilité (migration, reproduction,...) permet de définir des « fenêtres environnementales » de moindre impact. Ceci est essentiellement applicable aux mammifères marins.

Dispositifs acoustiques répulsifs - ces dispositifs génèrent des bruits ayant pour objectif de faire fuir les animaux présents sur le site avant le démarrage des opérations. Il est établi que les animaux réagissent à un éventail considérable de bruit. Néanmoins tous ne sont pas adaptés à la répulsion en posant eux-mêmes certains risques pour les individus (bruit haute fréquence, canons à air générant des ondes à forte pression acoustique, etc.). Aujourd'hui les dispositifs les plus adaptés semblent être ceux qui génèrent des bruits naturellement présents en milieu naturel et entraînant une réaction d'alarme chez les animaux (bruits de prédateurs par exemple). Une considération majeure reste l'habituation des individus aux signaux émis. La modulation des signaux et leur application sur de courtes durées doivent être préconisées pour limiter ce phénomène.

Rideaux de bulle – Dans le cas de battage de pieux, la mise en place d'un rideau de bulles autour de la zone de battage circonscrit le bruit et réduit sa propagation. Une bague autour du pieu génère des bulles d'air dans l'eau qui remontent à la surface et absorbent la pression acoustique par un mécanisme de diffusion du son dans l'eau et d'écho par les bulles oscillantes. La fréquence d'écho dépend du diamètre de la bulle et l'efficacité du dispositif peut être améliorée par modulation de ce diamètre en fonction du spectre sonore des travaux. Certains retours d'expériences semblent ainsi indiquer que des grandes bulles sont plus efficaces que des petites bulles (1 mm) plus nombreuses. Par exemple, à 1 kHz une bulle d'un diamètre de 10 mm absorbe la même quantité de bruit qu'environ 7 000 bulles d'un diamètre de 2 mm.

Pour garantir une bonne absorption, il est important que le rideau de bulles subisse le moins de perturbations possibles. Par exemple un rideau initié à 20 m de profondeur dans un environnement présentant une courantologie moyenne de 1 m/s se déplace de 70 m avant d'atteindre la surface de l'eau. Pour garantir l'entourage du pieu, il faudrait envisager un rideau d'une largeur de 200 m ce qui représenterait un investissement considérable. Il est ainsi nécessaire de développer d'autres solutions techniques pour maintenir les bulles sur place. Une solution consiste à placer un écran autour du rideau de bulles sans que l'écran ne vienne se plaquer sur le pieu. Une étude d'Illingsworth et al. (2001) mesure ainsi une réduction des niveaux de pression acoustique de 2 dB à 10 dB selon le rideau ou l'écran utilisé. Un dispositif testé en 2003 composé de deux écrans concentriques espacées de 5 m permet de réduire les niveaux de pressions acoustiques entre 3 et 10 dB jusqu'à un maximum de 30 dB à 5 kHz.

On notera que les rideaux de bulles sont des dispositifs dont la performance reste encore à démontrer. Ils ne pourront être utilisés qu'à partir du moment où leur efficacité en condition réelle (et notamment en milieu agité) aura été démontrée.

2.5 Analyse prévisionnelle des impacts de l'électromagnétisme

Caractérisation de l'électromagnétisme

Éléments de caractérisation – Les champs électromagnétiques doivent être caractérisés en termes d'intensité et d'étendue spatiale (verticale et horizontale).

Méthodes et faisabilité – Ces éléments sont obtenus par modélisation à partir des données de projet (taille et matériaux des câbles, intensité et type de courant, profondeur d'ensouillage, etc.) et, dans la mesure du possible, par des mesures in situ bien qu'elles soient compliquées à mettre en œuvre.

Caractérisation de la sensibilité des récepteurs

Éléments de caractérisation – Les composantes de l'environnement à considérer ici sont la faune marine. Il s'agit de caractériser le rapport à l'électromagnétisme des espèces présentes sur le site (utilisation pour la prédation, la migration, etc.) et d'identifier les seuils de sensibilité éventuellement disponibles.

Méthodes et faisabilité – Les données de sensibilité à l'électromagnétisme sont rares et si certains groupes taxonomiques clés ont fait l'objet d'une focalisation particulière (élastomobranches par exemple), d'autres restent très peu ou pas étudiés. Les informations existantes sont à rechercher dans la bibliographie spécialisée et dans les grandes études bibliographiques menées récemment à l'étranger ou en France spécifiquement sur cette thématique (COWRIE EMF, *US Department of the Interior and Normandeau Associates*, 2011 ; Carlier et Delpech, 2011).

Evaluation des impacts

Tant que les connaissances sur la sensibilité des espèces à l'électromagnétisme restent limitées ou inexistantes, il est difficile d'établir une analyse prévisionnelle des impacts véritablement pertinente. Compte-tenu de ce manque de connaissances, la mise en œuvre de suivis adaptés est essentiel tout comme la mise en œuvre de programmes de recherche spécifiquement axés sur cette thématique.

L'appréciation des impacts doit cibler en particulier les effets sur le comportement (déplacements, migration) en tenant compte des différences de stade de développement des individus.

Mesures (évitement, réduction, compensation)

Au vu du manque actuel de connaissances sur les impacts de l'électromagnétisme sur les espèces concernées, les mesures présentées ci-après doivent être considérées comme des éléments de réflexion, devant être ajustées en fonction des enjeux attendus du projet, sur la base d'études bibliographiques ou à dire d'expert.

Ensouillage des câbles - L'ensouillage des câbles reste la première mesure de réduction des impacts associés aux champs électromagnétiques. Etant donné la conductibilité plus importante de l'eau, le champ électrique induit s'étend plus largement dans cet élément que dans le sol. On notera que la nature du substrat n'a aucune influence sur la puissance du champ magnétique, tant qu'il ne contient pas de composants magnétiques. Bien qu'il ne réduise pas le champ électrique généré par le magnétisme, l'ensouillage protège les espèces électrosensitives de la plus grande puissance du champ, répartie directement à l'extérieure de la gaine du câble. Une profondeur d'ensouillage d'un mètre semble efficace (CMACS, 2003).

Choix du système de transmission - Les champs électromagnétiques induits par les câbles électriques peuvent être limités par le choix d'un système de transmission approprié : un système de transmission de courant alternatif (triphase en particulier) est préférable à un système de transmission de courant continu - un système de transmission bipolaire de courant continu est préférable à un système monopolaire (OSPAR, 2008a).

Choix de la tension – A puissance égale, une augmentation de la tension conduit à réduire le courant et donc les champs électromagnétiques induits. Une transmission à une tension de 132 kV plutôt qu'à 32 kV permet ainsi de réduire le champ magnétique d'un facteur 4. L'installation d'une sous-station de conversion de la tension offshore peut donc réduire l'effet électromagnétique sur l'environnement mais le coût d'une telle solution doit être confronté aux bénéfices environnementaux pouvant être tirés.

Choix des matériaux - Certains matériaux pouvant être utilisés pour l'armement des câbles ou dans les gaines ont la propriété de réduire l'émission des champs électromagnétiques (OSPAR, 2008a). L'efficacité de l'armement dépend de la perméabilité et de la conductibilité du matériel utilisé. Une augmentation de la perméabilité permet ainsi de réduire la puissance du champ autour du câble.

2.6 Analyse prévisionnelle des impacts des variations de température

Caractérisation de la variation de température

Eléments de caractérisation – Les variations de température sont essentiellement provoquées par les câbles et les rejets d'ETM et de SWAC. Dans ces deux cas, il s'agit de décrire l'**amplitude** et l'**étendue** de cette variation avec le milieu récepteur.

Méthodes et faisabilité – Dans le cas des rejets d'ETM ou de SWAC, cette caractérisation se fait par modélisation, à partir de données de caractérisation des eaux rejetées et réceptrices (température, densité), des modalités physiques du rejet (profondeur, débit, orientation, etc.) et de certaines caractéristiques physiques du milieu récepteur (courantologie, bathymétrie). Plusieurs configurations de rejet peuvent être testées, l'exercice ainsi réalisé en amont participant à la détermination du point de rejet de moindre impact, l'optimisation du point de rejet étant également recherchée d'un point de vue technique (disponibilité d'une ressource en eau homogène, technique et dimensionnement des ouvrages de pompage et de rejet, etc.) et financier.

Pour les câbles, la hausse de température associée au transport d'électricité est un paramètre dimensionnant pour la conception du projet (technologie du câble notamment). Les modélisations d'échauffement des câbles et du milieu sont ainsi réalisées par le maître d'ouvrage avec un premier objectif technique.

Caractérisation de la sensibilité des récepteurs

Eléments de caractérisation – Les principales cibles des variations de température dépendent de la localisation du point de rejet et de la diffusion du panache thermique généré. Un rejet en mer ouverte ciblera ainsi essentiellement le plancton et la faune pélagique tandis que des rejets à la côte ou des panaches repris par des courants de fond seront également susceptibles d'affecter les peuplements benthiques. En tout état de cause il s'agit de définir la **sensibilité des espèces** potentiellement exposées au panache **aux variations de température**, et leur **mobilité**. Pour les rejets d'ETM ou de PAC, on s'intéressera également à la **qualité des eaux** et aux **conditions hydrodynamiques** du milieu récepteur afin d'apprécier les risques d'eutrophisation.

Les **usages locaux dépendants en eau de mer** sont susceptibles de bénéficier des ressources pompées dans le cadre des projets d'ETM ou de PAC si des synergies sont recherchées. Ces impacts positifs sont traités dans la partie relative aux mesures de réduction ou de suppression d'impacts.

Méthodes et faisabilité – Pour rappel, l'état initial doit fournir une description des espèces et des habitats présents sur la zone de projet, la qualité des eaux et les caractéristiques physiques du milieu. L'étude de la sensibilité des espèces et des habitats aux variations de température se basera essentiellement sur des études bibliographiques ainsi que sur des dires d'expert.

Evaluation des impacts

L'évaluation de la **tolérance** des espèces en place aux variations thermiques pourra se dérouler en deux temps. Une première étape pourra consister à superposer les modélisations de variations thermiques à la cartographie de la distribution des espèces, en se posant la question de la mobilité de ces dernières.

Pour les rejets d'ETM ou de PAC en mer ouverte, cet exercice conduit à considérer principalement les peuplements planctoniques et un tel exercice cartographique n'est *a priori* pas nécessaire. Dans les cas de figure où une modification des températures est attendue sur les fonds cependant, cet exercice permet d'identifier les espèces benthiques qui seront soumises à ces variations. La tolérance doit ensuite être évaluée sur la base d'une connaissance bibliographique des besoins édaphiques des espèces et de leur capacité d'adaptation. A noter que pour les espèces à mobilité passive de la colonne d'eau, les mouvements des masses d'eau sous l'influence des différences de densité sont susceptibles d'entraîner et donc de déplacer les individus.

Concernant la **résilience**, il faut considérer que si l'amplitude et la distribution des variations de température peuvent varier en fonction des conditions de milieu ou de l'activité des installations, ces variations sont néanmoins imposées pendant toute la durée d'activité de l'installation.

L'évaluation des impacts thermiques des rejets d'ETM ou de SWAC doit par ailleurs considérer les effets des apports en nutriments et en matière organique associés à ces rejets.

Mesures de suppression et de réduction pour les impacts des câbles

Disposition des câbles – une optimisation des raccordements des installations et des modalités de transport d'électricité à la côte permet de réduire le nombre de câbles installés.

Ensouillage des câbles – l'ensouillage des câbles permet de réduire la variation de température à la surface des fonds. Les autorités allemandes préconisent ainsi par exemple une augmentation maximale de la température de 2°C à 20 cm de profondeur.

Technologie des câbles – la technologie du câble influence directement la hausse de température associée au transport d'électricité. Le choix de matériaux spécifiques, notamment pour la gaine et l'armature du câble, permet de réduire la température à la surface du câble.

Mesures de suppression et de réduction pour les impacts des ETM & PAC

Choix du point de rejet – La localisation du point de rejet est un des principaux paramètres pour limiter voire supprimer certains effets indésirables des variations thermiques sur l'environnement. On cherchera en général à rejeter à une profondeur où l'écart de température avec le milieu naturel sera le plus faible possible. La dilution sera favorisée pour un rejet en milieu à fort hydrodynamisme.

Technique de rejet – La dilution du rejet dans le milieu également pourra être optimisée par le biais des modalités techniques de rejet (débit, orientation, structure).

Valorisation secondaire des eaux de pompage – La valorisation secondaire des eaux pompées peut constituer une mesure de réduction ou de suppression des impacts sur le milieu naturel dès lors qu'elle permet de limiter les rejets et d'économiser la ressource en eau en tirant pleinement partie des pompages réalisés à l'échelle locale. Elle peut également favoriser les impacts positifs sur l'emploi et les activités locales dépendantes de la ressource en eau marine. Peuvent ainsi être envisagés les couplages suivants :

- **Centrales thermiques** : les usines thermiques utilisent habituellement de l'eau pour leurs refroidissements. Ces eaux ont une température supérieure à celle de l'eau de la mer de surface et pourraient être utilisées pour l'exploitation des centrales ETM si leur débit est suffisant. Un écart plus important de température, même de quelques degrés, entraîne un gain important d'efficacité.
- **ETM et PAC** : il peut être envisagé de réutiliser les eaux froides profondes pompées pour l'exploitation de centrales ETM dans des installations de type PAC à condition que la proximité des installations permette de tels transferts d'eau (problématique pour les installations ETM offshore par exemple).

2.7 Analyse prévisionnelle des impacts associés à la présence physique des installations

2.7.1 Analyse prévisionnelle des impacts de l'effet récif

Caractérisation de l'effet de récif

Éléments de caractérisation – L'effet récif désigne le processus par lequel une structure à substrat dur conçue par l'homme et immergée en mer peut assurer des fonctions écologiques similaires aux récifs marins naturels. Cet effet peut en fait être subdivisé en trois sous-effets majeurs, l'importance de chacun dépendant directement de la conception de la structure considérée : l'attraction, la concentration et la production. Cet effet peut être atteint de manière passive, du fait du simple contraste de matériaux entre les installations et les fonds environnants, ou recherché de manière active, par une conception spécifique des installations. La caractérisation de l'effet de récif repose donc sur l'analyse de la capacité des installations, ou du moins de certaines parties des installations (le plus souvent les fondations et les embases gravitaires), à constituer des habitats de type récifaux. La caractérisation de l'effet devra donc porter sur l'analyse de la **structure des installations** et de leur **matériaux constitutifs** ainsi que sur la **surface d'habitat artificiel mis en œuvre**, notamment au regard des habitats naturels présents sur le site et dans l'environnement proche.

Méthodes et faisabilité – L'ensemble de ces éléments sont disponibles directement à partir des spécifications techniques du projet et de l'analyse de l'état initial des fonds marins.

Caractérisation de la sensibilité des récepteurs

Éléments de caractérisation – L'effet de récif vise l'ensemble des composantes d'un écosystème, dans le sens où il conduit, dans la mesure de son efficacité, à recréer un habitat complet. Il s'agit donc dans l'idéal d'identifier l'ensemble des **espèces locales ayant une affinité avec les zones récifales**, de décrire leur **relation à ces zones** (substrat support, zone d'abri, zone d'alimentation, zone de reproduction, etc.). Pour les espèces sessiles, la caractérisation pourra également porter sur leur **dynamique de colonisation**. L'Ifremer préconise dans le cadre de l'évaluation précédent un aménagement par des récifs, l'identification de l'écosystème, la description des populations et sous-populations concernées, ainsi que l'analyse des usages marchands et non marchands des ressources. Pour plus de détail sur ces éléments de méthodologie spécifiques à l'effet récif : <http://archimer.ifremer.fr/doc/2008/rapport-6533.pdf> .

La **pêche** peut également être considérée comme une activité bénéficiant d'un impact potentiel de l'effet récif dès lors que celui-ci participe au soutien et au développement des stocks halieutiques. On rappellera que ce soutien n'est pas systématique et dépend étroitement de l'efficacité des récifs, des mesures de gestion mis en œuvre sur le site et des impacts causés par ailleurs par les installations sur les milieux.

Méthodes et faisabilité – L'identification des espèces récifales pourra se faire sur la base d'une analyse des peuplements en place sur les zones de récifs naturels les plus proches. Si une démarche d'éco-conception spécifique est mise en œuvre, les espèces cibles sont déterminées dans le cadre même de la démarche. La dynamique de colonisation des espèces sessiles pourra être évaluée sur la base de données bibliographiques ou à dire d'experts.

Evaluation des impacts

En réalité, il est très complexe de prédire avec précision les cortèges d'espèces qui seront amenés à s'établir sur les installations une fois immergées, et le ciblage d'espèces spécifiques au travers d'une éco-conception des infrastructures demande une véritable maîtrise des processus écologiques marins. Les conclusions qui pourront être tirées d'une évaluation prévisionnelle des impacts sont ainsi limitées et seul un suivi spécifique peut permettre d'identifier la réalité des conséquences de cet effet récif.

Néanmoins, l'évaluation prévisionnelle des impacts peut permettre d'établir une première appréciation des

espèces pionnières qui coloniseront les ouvrages et du rôle que ces derniers pourront jouer dans le développement de ces espèces.

L'évaluation prévisionnelle des impacts consistera à évaluer le potentiel de colonisation des ouvrages au regard de leurs caractéristiques physiques (structure, matériaux) et de leur localisation, et au regard des besoins édaphiques des espèces récifales présentes localement et de leur pouvoir de dispersion depuis ces zones.

Présentant les mêmes difficultés, l'évaluation prévisionnelle des impacts de l'effet récif sur la pêche doit considérer la nature des espèces susceptibles de se développer autour des installations, la viabilité des stocks présents, les modalités d'exploitation autorisées à l'intérieur du périmètre de projet et la capacité des espèces à se déplacer en dehors du périmètre de projet si l'accès à celui-ci est restreint.

Mesures d'amélioration et de stimulation

Eco-conception des ouvrages : la stimulation de l'effet récif peut être recherchée au travers d'une conception spécifique des ouvrages : l'éco-conception. Il s'agit de définir des structures et des matériaux qui permettent à l'ouvrage d'assurer des fonctionnalités spécifiques en mimant le milieu naturel. On cherche par ce biais à assurer le développement d'un écosystème complet sur la structure artificielle. Afin de retirer le maximum de bénéfices de ce type de démarche, il est possible de cibler certaines espèces spécifiques. Ce type de démarche peut ainsi éventuellement permettre de soutenir les stocks halieutiques ou de participer à la préservation d'espèces à intérêt particulier.

A noter que sur certaines installations dynamiques, une lutte contre le fouling des installations est nécessaire pour garantir l'efficacité des dispositifs. Dans ce cadre, une stimulation de l'effet récif ne peut être recherchée.

Liaisons avec les zones de récifs naturels et création de trames écologiques : une distance trop importante à des zones de récifs naturels peut s'avérer être une limite à la colonisation par certaines espèces cibles ou structurantes. On pourra ainsi chercher à créer ou renforcer cette liaison avec les zones naturelles par mise en œuvre de structures intermédiaires, assurant le rôle de ponts vers les installations.

Cette démarche de connexion des milieux entre eux peut également servir de support au renforcement de la trame bleue marine.

2.7.2 Analyse prévisionnelle des impacts de l'effet réserve

Caractérisation de l'effet réserve

Éléments de caractérisation – L'effet réserve désigne le processus par lequel l'homme décide de maîtriser les perturbations anthropiques d'un milieu naturel en restreignant les activités qui s'y exercent. Ces restrictions sont désignées sur un périmètre spécifique qui constitue les limites de la dite réserve. L'effet doit donc être caractérisé en termes de **périmètre** et **d'activités autorisées**. Dans le cadre de projets d'EMR, le périmètre correspond directement aux zones du projet sur lesquelles sont émises des restrictions d'usage.

Méthodes et faisabilité – Le renseignement de ces éléments peut être réalisé directement à partir des spécifications techniques du projet (règles de sécurité maritime retenues, résultats du travail de concertation sur les usages autorisés) et de l'analyse de l'état initial des usages.

Caractérisation de la sensibilité des récepteurs

Éléments de caractérisation – Il s'agit d'identifier l'ensemble des éléments de l'écosystème qui sera affecté par la modification des usages existants ainsi que leur sensibilité à ces usages.

Méthodes et faisabilité – Ces informations peuvent être définies à partir de l'analyse de l'état initial des usages et des écosystèmes du site de projet, ainsi qu'à partir de données bibliographiques traitant des impacts de ces activités sur ces écosystèmes. A ce titre, on notera l'existence de plusieurs sources d'information sur les impacts des activités marines sur les habitats et les espèces marines.

L'Agence des Aires Marines protégées a par exemple établi plusieurs référentiels de gestion d'activités dans le cadre du dispositif Natura 2000 décrivant notamment les interactions entre ces activités et les milieux marins (Voir les référentiels sur la pêche professionnelle, les cultures marines et les sports et loisirs nautiques : <http://www.aires-marines.fr/gestion-activites-humaines-sites-marins.html>). Le Muséum National d'Histoire Naturelle travaille par ailleurs sur une étude pour le compte de la DPMA développant une méthodologie d'évaluation des risques des activités de pêche pour les habitats Natura 2000, qui inclut des notions de sensibilité s'inspirant notamment des travaux réalisés par la *Marine Life Information Network (MarLIN)* pour les écosystèmes des côtes britanniques.

Evaluation des impacts

Comme pour l'effet récif, la pertinence d'un exercice d'analyse prévisionnelle des impacts de l'effet réserve est limitée. La complexité des processus écologiques en jeu ne permet généralement pas d'aller au-delà d'un rappel des principaux effets attendus et seul un suivi spécifique peut permettre de préciser la réalité des évolutions de l'écosystème. Néanmoins, l'analyse prévisionnelle des impacts pourra permettre de fournir une première appréciation des pressions supprimées sur les écosystèmes et de l'évolution attendue de ces écosystèmes étant donné leur résilience à ces pressions.

Mesures d'amélioration et de stimulation

Choix des modalités de gestion – Au-delà des caractéristiques écologiques de la zone, les modalités de gestion d'une zone naturelle sont à la base de l'efficacité de sa mise en réserve. On cherche avant tout à limiter les interventions les plus destructrices sur l'environnement tout en assurant la compatibilité avec une exploitation durable des ressources. Dans le cadre des projets d'EMR, la définition des modalités d'usage doit également intégrer les risques sur la navigation et la sécurité des installations.

2.7.3 Analyse prévisionnelle des risques de collision et de l'effet barrière

Caractérisation des contraintes au déplacement

Éléments de caractérisation – Pour les installations, il s'agit de décrire la **localisation** des ouvrages et leur **configuration statique** et **dynamique** dans l'espace. Pour les moyens nautiques à la mer, il s'agit de décrire les **routes de navigation** qui seront empruntées.

Méthodes et faisabilité – Ces informations peuvent être obtenues directement à partir des spécifications techniques du projet.

Caractérisation de la sensibilité des récepteurs

Éléments de caractérisation – Deux compartiments doivent être distingués : le **compartiment pélagique** et le **compartiment aérien**. Pour le compartiment pélagique, on considère que les risques de collision aux parties statiques des ouvrages sont limités, à l'exception de certaines espèces de mammifères marins vivant au large pour les installations offshore en eau profonde. Pour ces cas spécifiques, il s'agit de déterminer la **capacité de détection d'obstacles** des espèces considérées ainsi que leur **sensibilité à une collision** avec un élément statique en fonction de leur vitesse de déplacement. Dans le cas des hydroliennes, il s'agit d'identifier les espèces susceptibles d'entrer en contact avec les pales et leur **sensibilité à une collision** avec ces pales, en tenant compte de leurs capacités de vision, d'audition et de leur réactivité.

Pour les oiseaux, les risques de collision et l'effet barrière concernent essentiellement les installations éoliennes. L'état initial décrit normalement les habitudes de vol des différentes espèces identifiées sur la zone (période, hauteur) ainsi que les voies de déplacement privilégiées des individus (couloirs migratoires, voies de déplacements entre sites supports, etc.). Il s'agit ici d'identifier la capacité des oiseaux à éviter les pales des éoliennes et à supporter les efforts supplémentaires associés à des évitements de parcs éventuellement nécessaires.

Méthodes et faisabilité – Les données relatives à la répartition des espèces et leurs voies de déplacement privilégiées sont définies sur la base de données bibliographiques ou d'observations *in situ*. La sensibilité des espèces à la collision reste complexe à déterminer étant donné le manque de littérature traitant de ce sujet. La consultation d'experts sera possiblement nécessaire.

Evaluation des impacts

Une première étape de l'évaluation consiste à étudier les risques de rencontre entre les installations et les espèces au regard de la localisation du site de projet et des principales voies de déplacement des espèces sensibles identifiées sur le site. L'analyse de l'état initial doit cependant permettre de positionner le projet de telle sorte à ce que cette superposition soit limitée. Il s'agit d'évaluer la capacité d'évitement des espèces par rapport à leurs caractéristiques physiologiques, à la vitesse de rotation et de l'envergure des installations et des conditions de milieu dans lesquelles elles sont localisées. Les retours d'expérience encore limités rendent cette deuxième partie de l'évaluation complexe.

Pour les oiseaux, les connaissances croissantes acquises sur les parcs existants et les études méthodologiques réalisées notamment en Grande-Bretagne permettent d'appréhender cette problématique avec un peu plus de recul. Au-delà des risques de collision assez largement susceptibles d'entraîner la mort des individus, les détours potentiels réalisés par les oiseaux pour évoluer entre leurs différents sites de vie doivent être évalués.

Le Collaborative Offshore Wind Research Into The Environment propose dans sa revue des méthodes d'évaluation d'impacts des éoliennes sur l'avifaune une échelle d'impact spécifique à l'effet barrière pour les oiseaux.

Tableau 26 : Echelle de hiérarchisation d'impacts pour les oiseaux de l'effet barrière (COWRIE 2009)

Très Fort	(i) Le parc éolien est localisé entre un site de nidification et des zones clés d'alimentation pour des espèces volant au travers du site lors de déplacements nationaux ou internationaux et en nombre important (ii) Le parc éolien est localisé à proximité d'une zone clé de repos, de nidification ou d'hivernage pour des espèces volant au travers du site lors de déplacements internationaux et en nombre important (iii) Le site est localisé le long d'une voie migratoire pour des espèces volant au travers du site lors de déplacements internationaux et en nombre important
Fort	(i) Le parc éolien est localisé à proximité d'une zone clé de repos, de nidification ou d'hivernage pour des espèces volant au travers du site lors de déplacements nationaux et en nombre important (iii) Le site est localisé le long d'une voie migratoire pour des espèces volant au travers du site lors de déplacements nationaux et en nombre important
Modéré	(i) Le parc éolien est localisé entre un site de nidification et des zones clés d'alimentation pour des espèces volant au travers du site lors de déplacements régionaux et en nombre important (ii) Le parc éolien est localisé à proximité d'une zone clé de repos, de nidification ou d'hivernage pour des espèces volant au travers du site lors de déplacements régionaux et en nombre important (iii) Le site est localisé le long d'une voie migratoire pour des espèces volant au travers du site lors de déplacements régionaux et en nombre important
Faible	(i) Le parc éolien est localisé entre un site de nidification et des zones clés d'alimentation pour d'autres types d'espèces (ii) Le parc éolien est localisé à proximité d'une zone clé de repos, de nidification ou d'hivernage pour d'autres espèces
Négligeable	Autres cas

Mesures (éviterment, réduction, compensation)

Choix des sites d'implantation – Le choix des sites d'implantation est la première mesure de réduction des risques de collision. Pour les oiseaux, il est ainsi préférable d'éviter les voies de migration des oiseaux migrateurs ainsi que les voies de déplacement entre les différents sites de vie des espèces sédentaires. Pour les mammifères marins, les mêmes préconisations peuvent être émises dans la mesure où les informations sur les voies de déplacement des animaux sont identifiées.

Alignement des dispositifs et création de couloirs de déplacement – L'alignement des dispositifs et la création de couloirs de déplacement peuvent être préconisés pour faciliter le passage des individus sur les sites présentant un important nombre de machines ou sur les territoires où plusieurs sites sont attendus.

Signalisation des dispositifs – Une signalisation appropriée des dispositifs doit faciliter leur identification par les animaux et limiter les risques de collision. Cette signalisation peut être sonore pour certaines espèces aquatiques. Elle doit cependant être considérée avec prudence, les animaux étant susceptibles de s'habituer aux bruits. Sur certains sites aquacoles par exemple, les phoques se seraient habitués aux répulsifs sonores au point d'associer ces bruits à une ressource alimentaire.

Arrêt des machines - En Allemagne, l'autorité réglementaire a la permission d'arrêter un parc éolien en cas de migration aviaire importante. Le risque d'une collision importante avec les pales en mouvement est ainsi éliminé. Cette solution doit néanmoins être considérée au regard de sa faisabilité technique et financière et de ses conséquences potentielles sur les activités dépendantes de cet approvisionnement en électricité.

2.7.4 Analyse prévisionnelle des impacts de la présence des installations sur les usages

La plupart des impacts majeurs sur les usages à attendre des projets d'EMR sont liés à la présence physique des installations et aux contraintes qu'elle impose aux déplacements sur le domaine public maritime, aux déplacements aériens pour les dispositifs émergés suffisamment hauts et aux transferts de radiocommunications et de signaux radars.

La prise en compte et le respect des principales servitudes sont obligatoires pour éviter tout impact sur les usages associés. L'éviterment des principales voies de navigation permet également de réduire les impacts sur le trafic maritime.

Dans cette optique, les impacts réels à considérer sur les usages associés à la présence physique des installations sont essentiellement les impacts indirects sur la ressource pour la pêche, les impacts résiduels sur la navigation et les impacts directs et indirects sur les loisirs et le tourisme.

Analyse prévisionnelle des impacts sur la pêche

Caractérisation de la présence des installations

Éléments de caractérisation – Pour les installations, il s'agit de décrire la **localisation** des ouvrages et leur **configuration statique et dynamique** dans l'espace. Pour les moyens nautiques à la mer, il s'agit de décrire les **routes de navigation** qui seront empruntés. On cherchera également à définir les **contraintes d'usages** qui se posent à l'intérieur des parcs en termes de **sécurité de navigation** et de **sécurité des installations**.

Méthodes et faisabilité – Le renseignement de ces éléments peut être réalisé directement à partir des spécifications techniques du projet (règles de sécurité maritime retenues, résultats du travail de concertation sur les usages autorisés) et de l'analyse de l'état initial des usages.

Caractérisation de la sensibilité de l'activité

L'état initial doit fournir une analyse relativement fine de l'activité de pêche sur la zone de projet : voies de navigation, zones de pêches, type de pêche, etc. L'ensemble de ces éléments constituent une première appréciation de la sensibilité de l'activité.

Evaluation des impacts

Dans la même logique que les démarches d'évaluation environnementale citées précédemment, l'analyse porte sur les éléments descriptifs de l'activité au regard de la position du projet et des modalités de gestion envisagées afin de déterminer la tolérance et la résilience de l'activité à une restriction plus ou moins complète d'accès à la zone.

Il s'agit de s'interroger sur les possibilités de persistance de l'activité et sur ses capacités à utiliser les ressources disponibles pour anticiper ou réagir à l'effet sur la base des questions suivantes :

- Les modalités de gestion du parc autorise-t-elle un accès à la ressource ?
- Ces modalités impliquent-elles de changer les engins de pêche et les pratiques et à quel coût ?
- Existe-t-il des possibilités de repli sur d'autres ressources et à quel coût ?
- Les retombées associées au projet sont-elles susceptibles de se répercuter sur l'activité de pêche ?

A noter que les réflexions sur les impacts potentiels de l'effet réserve et de l'effet récif peuvent être intégrées dans cette réflexion. Néanmoins, la difficulté de prévoir l'ampleur et l'efficacité de ces impacts positifs sur la ressource rend cet exercice difficile. Les retours croissants d'expérience à ce sujet pourront permettre de mieux appréhender ces impacts.

Mesures (éviter, réduire, compenser)

Se reporter au paragraphe 1.5.2.

Analyse prévisionnelle des risques sur la navigation

Caractérisation de la présence des installations

Éléments de caractérisation – voir item correspondant pour le thème « pêche » (page précédente)

Méthodes et faisabilité – voir item correspondant pour le thème « pêche » (page précédente)

Caractérisation de la sensibilité de l'activité

L'état initial doit fournir une cartographie détaillée des routes et voies de navigation (commerce, pêche, plaisance), la nature et l'intensité des trafics, les types de cargaisons en particulier les matières dangereuses, les balisages, règles de navigation et servitudes liées à la navigation maritime, les moyens de secours mobilisables. L'ensemble de ces éléments constituent une première appréciation de la sensibilité de l'activité.

Evaluation des impacts

L'évaluation prévisionnelle des risques sur la navigation résulte d'une démarche complexe qui dépasse le cadre d'une évaluation environnementale traditionnelle. Elle intervient en amont du projet pour définir les règles de navigation à mettre en œuvre aux abords des installations. Le *Department of Trade and Industry* de Grande-Bretagne a produit un guide méthodologique spécialement dédié à l'évaluation des risques associés au développement de parcs éoliens : « *Methodology for Assessing the Marine Navigational Safety Risks of Offshore Wind Farms* ».

La méthodologie proposée se base sur la définition du risque présent et futur compte tenu du trafic maritime existant et envisageable. Le risque est déterminé au travers de coefficients de risque et de coefficient de maîtrise des risques visant à atteindre un niveau de risque acceptable et partagé.

Les méthodes d'analyse des risques sont nombreuses et doivent être adaptées à l'envergure du projet et à l'ampleur du risque associé. Ces outils se basent entre autre sur des dires d'experts, des appréciations qualitatives et quantitatives, des modélisations et des analyses de retour d'expérience. Ces outils peuvent alors supporter différentes approches de détermination des risques telles que des études HAZOP (*Hazard and Operability*), des études FMEA (*Failure modes and effects analysis*) ou encore la création de profils de risques.

Les étapes méthodologiques suivent la logique suivante :

- Validation de la méthode d'évaluation des risques par les autorités compétentes ;
- Analyse du trafic présent et futur (trajectoires et densité) ;
- Analyse des risques de navigation à partir d'une évaluation de l'environnement marin, des facteurs de risques traditionnels et spécifiques à la navigation ;
- Définition des coefficients de risque ;
- Définition des mesures de maîtrise des risques ;
- Définition des risques résiduels.

Mesures (éviterment, réduction, compensation)

Le choix du positionnement des installations (machines et câbles), le respect des servitudes existantes et la mise en œuvre de mesures de signalisation adéquates (visuelles et sonores), les dispositions à prendre pendant la phase transitoire des travaux sont les mesures principales d'évitement ou de réduction d'impact.

Pour plus de détails, se reporter au paragraphe 3.6.5.

Analyse prévisionnelle des impacts sur le tourisme

Caractérisation de la présence des installations

Éléments de caractérisation – Les ouvrages seront localisés par rapport à leur distance à la côte et leur situation au regard des zones touristiques littorales et maritimes (proximité de plages, de stations balnéaires, de ports de plaisance, de paysages emblématiques et de monuments ou sites historiques, lieux de plongée et de pêche plaisancière, bassin de navigation pour la plaisance). Les contraintes d'usages à l'intérieur des parcs seront définies en termes de sécurité pour la navigation de plaisance et les activités de loisirs en mer (pêche plaisancière, plongée).

Méthodes et faisabilité – Ces éléments seront renseignés directement à partir des spécifications techniques du projet (règles de sécurité maritime retenues, résultats de la concertation sur les usages autorisés) et de l'analyse de l'état initial des activités touristiques.

Caractérisation de la sensibilité de l'activité

L'état initial doit mettre en avant le poids économique du tourisme en dressant un bilan de la fréquentation saisonnière des hébergements, des dépenses touristiques (restauration, loisirs, activités sur place), des emplois directs, indirects et induits dans la branche du tourisme. Elle doit évaluer la valeur des aménités liées au tourisme qui pourront subir l'influence des EMR : paysages institutionnalisés ou emblématiques, patrimoine culturel et historique, image de notoriété du site touristique.

Evaluation des impacts

L'analyse prévisionnelle des impacts sur le tourisme doit pouvoir évaluer :

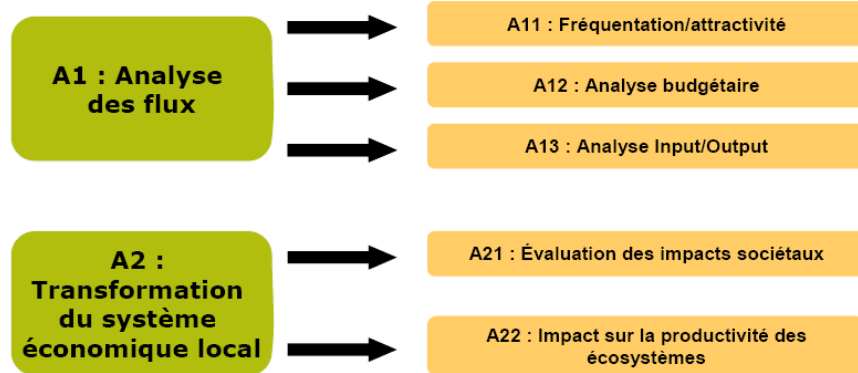
- les pertes ou gains par secteurs d'activités touristiques qui pourront être influencés par les EMR,
- les pertes d'aménités, notamment paysagères, du fait de la proximité d'installations d'EMR,
- le bilan des emplois créés et éventuellement supprimés.

Les méthodes d'évaluation pourront faire appel à plusieurs méthodes (CREDOC, 2008), selon la gradation suivante (figure 57) :

- les méthodes d'analyse des retombées directes et indirectes sur le tourisme (Classe A).
- l'analyse de la valeur des services et aménités liés au tourisme (Classe B).
- les méthodologies d'évaluation globales (Classe C).

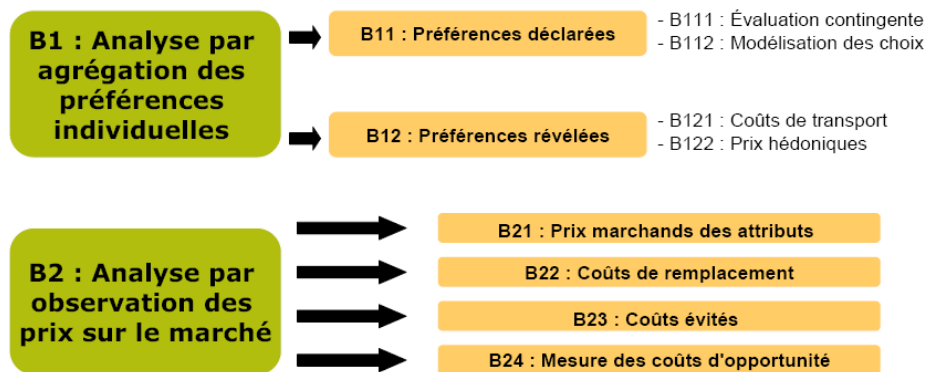
Figure 59. Méthodes d'évaluation des impacts sur le tourisme et sur les activités économiques

Graphique 2 : Analyse des retombées économiques (Classe A)



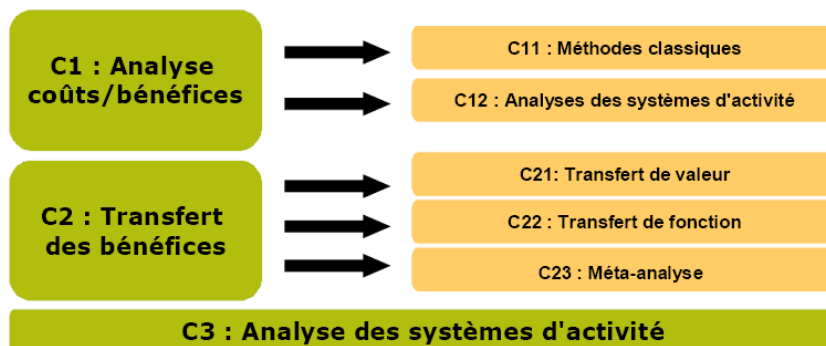
Source : CREDOC, 2008

Graphique 3 : Analyse de la valeur des services et aménités (Classe B)



Source : CREDOC, 2008

Graphique 4 : Méthodologies complexes (Classe C)



Source : CREDOC, 2008

2.7.5 Analyse prévisionnelle des impacts de la présence des installations sur le paysage

Caractérisation de la présence des installations dans le milieu

Éléments de caractérisation – Il s'agit de décrire la **présence physique** des installations dans le milieu en tenant compte de leur disposition, de leurs dimensions, de leurs formes, de leurs couleurs et de leur mobilité éventuelle.

Méthodes et faisabilité – L'ensemble de ces éléments peuvent être obtenus directement à partir des spécifications techniques de projet.

Caractérisation de la sensibilité paysagère

Les sensibilités paysagères sont définies à partir de l'analyse des perceptions paysagères et des grands ensembles géographiques et paysagers définis au niveau de l'état initial. Les sensibilités paysagères et patrimoniales mises en évidence dans l'état initial doivent être rassemblées sur une même carte. Les sensibilités sont récapitulées dans un tableau et classées suivant leur degré : forte, moyenne, faible.

Le paysagiste doit ainsi montrer leur réalité géographique, leur répartition par périmètre d'étude, comment elles interagissent et éventuellement se superposent. Cette analyse aboutit à proposer des orientations pour la composition paysagère et les aménagements du projet.

Les paysages sous-marins pourront éventuellement être pris en compte dans le cas de zones d'intérêt pour la plongée sous-marine.

Evaluation des impacts

Les effets sur le patrimoine sont de nature visuelle et se cumulent le cas échéant avec d'autres parcs éoliens. Ils s'évaluent sur toutes les aires d'étude et sont mis en perspective avec la description des sensibilités paysagères et patrimoniales.

L'ensemble des éléments de paysage perceptibles par les observateurs depuis des points de vue particuliers sont pris en compte, et la manière dont le parc éolien interagit avec eux est analysée. Le choix des points de vue se justifie, dans chaque périmètre d'étude, d'après les sensibilités paysagères et patrimoniales identifiées dans l'état initial.

Depuis l'aire d'étude éloignée, l'analyse des effets vise à s'assurer qu'il n'existe pas d'incompatibilité du projet à l'échelle du grand paysage. Les notions d'« inter-visibilité », de cumul, de saturation sont traitées sur la base de croquis interprétatifs ou de montages photographiques. Depuis l'aire d'étude éloignée sont étudiées les interrelations entre les structures paysagères de l'espace «rétro littoral», la mer et le projet.

C'est dans cette aire d'étude qu'est réalisée la plus grande partie du travail de composition paysagère. Dans cet espace où se concentrent la plupart des activités liées au littoral et la plupart des lieux de vie les plus proches du bord de mer, le choix des points de vue doit être représentatif de l'ensemble des types de perceptions.

Depuis l'aire d'étude intermédiaire, il existe peu, voire pas d'obstacles visuels entre l'observateur et les installations EMR émergées. Les effets visuels du projet sont étudiés depuis le rivage, mais aussi, le cas échéant, depuis la mer, en particulier pour apprécier l'« inter-visibilité » entre les éoliennes et des éléments de patrimoine, vus depuis des liaisons maritimes ou des îles par exemple.

Mesures d'insertion paysagère

Les principales mesures de réduction, voire de suppression des impacts concernent la composition d'un parc en mer et le choix de sa localisation. La distance à la côte est donc un élément majeur à considérer.

Si la distance d'éloignement et le nombre d'installations répondent à des préoccupations techniques, le maître d'ouvrage doit être en mesure de démontrer que son projet intègre dans sa conception même la prise en compte des impacts paysagers, et ce à différentes échelles.

Pour minimiser la visibilité des turbines il est également important d'analyser l'arrière plan des dispositifs par rapport aux différents points de vue possibles (ciel, mer, côte).

2.8 Analyse prévisionnelle des impacts sur l'hydrodynamisme et le compartiment sédimentaire

Caractérisation des perturbations hydrodynamiques et sédimentaires

Éléments de caractérisation – Deux types de perturbations hydrodynamiques et sédimentaires sont susceptibles d'être induites et doivent être distinguées : les perturbations locales (aux abords immédiats des installations) et les perturbations plus étendues. Dans les deux cas, il s'agit de définir ces perturbations en termes **d'étendue** (superficie perturbée) et **d'amplitude** (hauteurs, vitesses, etc.).

Méthodes et faisabilité – L'ensemble de ces perturbations peuvent être modélisées à partir des données d'état initial du site et des spécifications techniques de projet.

Caractérisation de la sensibilité des récepteurs

Éléments de caractérisation – Deux types d'ensembles récepteurs peuvent être distingués : le milieu physique d'une part (voir ci-avant), et les espèces et les habitats d'autre part. Pour ce deuxième ensemble, il s'agit de caractériser les **conditions édaphiques** dont dépendent les organismes benthiques et plus largement les habitats marins présents sur le site de projet et leur **capacité d'adaptation** à des conditions hydrodynamique ou sédimentaires variables.

Méthodes et faisabilité – Ces données peuvent être obtenues à partir de la bibliographie scientifique existante et à dire d'expert. Le site internet *Marine Life Information Network (MarLIN)* propose une base de données de la sensibilité des espèces et des habitats marins des côtes britanniques à différentes pressions. La sensibilité aux variations hydrodynamiques et sédimentaires est traitée. Cette base de données peut constituer une information pertinente pour les espèces marines de Manche et d'Atlantique.

Evaluation des impacts

L'appréciation des impacts peut être réalisée par superposition de cartographies de sensibilité du milieu et avec des cartographies des perturbations hydrodynamiques et sédimentaires prévues dans le cadre de la phase opérationnelle. Ce type de représentation permet notamment d'apprécier les surfaces mises en jeu au regard de la distribution globale des espèces et des habitats sur la zone.

A noter que l'évaluation des impacts porte également sur la modification du milieu physique, effet même de la présence des installations. Les risques d'érosion et d'accrétion notamment au niveau du trait de côte doivent être évalués sur la base des modélisations réalisables.

Mesures d'évitement, réduction et compensation

Disposition des installations – La modélisation des effets des installations sur l'hydrodynamisme et le compartiment sédimentaire permet d'optimiser le choix de la disposition des installations en amont du projet. Une attention particulière doit être portée sur les impacts à la côte.

Matériel anti-affouillement – L'érosion des fonds autour des installations peut être limitée par la mise en place de matériaux anti-affouillement sur un rayon dépendant de la taille des ouvrages, de l'hydrodynamisme et de la nature des fonds en place. Ces matériaux de granulométrie grossière peuvent être naturels (roches, fragments de roche) ou synthétiques, et sont choisis de sorte à diminuer l'érosion.

2.9 Analyse prévisionnelle des impacts des charges nutritives des rejets des ETM et des PAC

Ce type d'évaluation ne concerne que les projets d'ETM ou de SWAC impliquant l'exploitation d'une ressource présentant un fort différentiel nutritif avec le milieu recevant le rejet. A ce titre, les petites PAC côtières fonctionnant avec un pompage en eau peu profonde ne sont pas concernées.

Caractérisation des rejets nutritifs

Éléments de caractérisation – Afin d'évaluer les impacts de leurs charges nutritives, les rejets d'ETM ou de PAC doivent être décrits en termes de **localisation**, **d'étendue** et de **concentrations en nutriments**.

Méthodes et faisabilité – Cette caractérisation se fait par modélisation, à partir de données de caractérisation des eaux rejetées et réceptrices (température, densité), des modalités physiques du rejet (profondeur, débit, orientation, etc.) et de certaines caractéristiques physiques du milieu récepteur (courantologie, bathymétrie). Plusieurs configurations de rejet peuvent être testées, l'exercice ainsi réalisé en amont participant à la détermination du point de rejet de moindre impact.

Caractérisation de la sensibilité des récepteurs

Éléments de caractérisation – Les effets d'une augmentation de la charge en nutriments de la colonne d'eau concernent en premier lieu la production phytoplanctonique. A ce titre, l'évaluation des impacts doit se baser sur une connaissance du potentiel de production en fonction des teneurs en éléments nutritifs présentes dans le milieu. Cette production dépend néanmoins d'autres facteurs tels que la luminosité et la température par exemple.

Méthodes et faisabilité – Voir ci-dessous

Evaluation des impacts

L'évaluation des impacts d'une augmentation de la charge nutritive sur la chaîne trophique est une question centrale de tout projet d'ETM ou de SWAC impliquant l'exploitation d'une ressource présentant un fort différentiel nutritif avec le milieu recevant le rejet. L'ampleur de la démarche d'évaluation doit néanmoins être adaptée aux enjeux du projet et le manque de retours d'expériences ne permet pas aujourd'hui de faire de préconisations de démarches d'évaluation systématiques.

Au vu des connaissances actuelles, on peut néanmoins remarquer que pour des rejets réalisés en zone aphotique et maintenus dans cette zone (panaches stables ou plongeants), les effets directs de stimulation phytoplanctonique seront limités voire nuls⁵⁸.

L'évaluation prévisionnelle des impacts sur le réseau trophique est extrêmement complexe et seul un suivi poussé peut permettre de clarifier cet enjeu.

Mesures (éviter, réduire, compenser)

Choix du point de rejet – Le choix du point de rejet doit tenir compte de l'hydrodynamisme et de la structure de la qualité physico-chimique et biologique de la colonne d'eau (thermoclines, haloclines, productivité phytoplanctonique, etc.) et des objectifs d'impact fixés. Les effets des rejets d'eaux froides profondes chargées en nutriment sur la productivité primaire doivent en effet être définis en amont : stimulation de la productivité par rejet en zone photique dans des eaux relativement peu renouvelées ou limitation des effets par rejets en mer ouverte à des profondeurs n'interférant pas avec la production primaire.

Valorisation secondaire des eaux de pompage – La charge en éléments nutritifs des eaux pompées en zone profonde offre un certain nombre de possibilités de valorisation par le soutien d'usages connexes :

- **Aquaculture** : l'eau de mer profonde est très riche en nutriments, dénuée d'agents pathogènes et relativement stable d'un point de vue physico-chimique. Ces caractéristiques en font une ressource intéressante pour l'aquaculture d'espèces rares et difficiles à élever en aquarium.
- **Biomasse marine** : une valorisation éventuelle des rejets d'ETM serait l'appui au développement de productions de biomasse marine (micro algues).
- **Thalassothérapie** : la richesse en substances nutritives des eaux profondes peut de même être utilisée pour des soins humains tels que la thalassothérapie qui se base sur la richesse en sels minéraux et en oligoéléments de l'eau. L'eau profonde contient environ 20 fois plus de sels minéraux que l'eau de mer pompée à la surface. A Bora-Bora, l'hôtel Intercontinental utilise ainsi de l'eau profonde pour climatiser ses chambres qui par la suite sert à la thalassothérapie et des activités de spa.
- **Production d'eau douce** : la production d'eau douce (dessalée) est une conséquence technique associée aux centrales ETM à cycle ouvert. Une telle production peut également être envisagée pour les centrales à cycle fermé. Le dessalement et la reminéralisation de l'eau à partir des eaux profondes permet de produire une eau potable très nutritive. Il existe déjà plusieurs entreprises qui se sont spécialisées dans la revente d'eau minérale à forte valeur ajoutée, produite par une usine ETM à Hawaii.

⁵⁸ IFREMER, Com. Pers. 2012

2.10 Analyse prévisionnelle des impacts des pompages d'eau de mer

Caractérisation des pompages

Éléments de caractérisation – Les pompages d'eau de mer doivent être caractérisés en termes de **localisation**, de **débit** et de **vitesse d'entraînement de l'eau** (obtenue à partir de l'analyse des débits et de la configuration mécanique des prises d'eau). L'évaluation environnementale porte principalement sur les risques d'entraînement d'individus dans le système hydraulique, et sur les perturbations hydrodynamiques créées sur les fonds et de leurs conséquences potentielles sur les peuplements benthiques.

Méthodes et faisabilité – Ces éléments peuvent être facilement renseignés à partir des spécifications techniques du projet et de modélisations des flux en entrée de la prise d'eau.

Caractérisation de la sensibilité des récepteurs

Éléments de caractérisation – Les principaux récepteurs à considérer ici sont les organismes planctoniques et les espèces pélagiques pour les risques d'aspiration, et les organismes benthiques pour les perturbations hydrodynamiques sur les fonds. Au-delà des données de l'état initial sur la nature et l'abondance des organismes, les données spécifiques à rechercher sur le plancton sont assez limitées. Pour les poissons et les invertébrés pélagiques, il s'agira d'estimer leur capacité de fuite à partir de leur **vitesse de nage**. Pour les organismes benthiques enfin, l'évaluation devra porter sur leur **sensibilité à l'hydrodynamisme**.

Méthodes et faisabilité – Pour les organismes planctoniques, voir partie référente dans le chapitre portant sur la réalisation de l'état initial. Les informations relatives à la vitesse de nage et à la sensibilité à l'hydrodynamisme doivent être recherchées dans la **bibliographie** scientifique disponible ou auprès d'**experts**. Le site internet *Marine Life Information Network (MarLIN)* propose une base de données de la sensibilité des espèces et des habitats marins des côtes britanniques à différentes pressions. La sensibilité aux variations à l'hydrodynamisme est traitée. Cette base de données peut constituer une information pertinente pour les espèces marines de Manche et d'Atlantique. D'autres sources devront par contre être exploitées pour les espèces benthiques potentiellement concernées en milieu tropical pour les projets d'ETM ou de SWAC avec prise d'eau profonde.

Evaluation des impacts

Pour les individus pélagiques, on peut considérer que l'aspiration effective est susceptible d'entraîner d'importantes blessures et la mort. Dans ce contexte, la tolérance des individus à l'effet d'aspiration ne doit pas être définie par rapport à leur capacité à supporter l'aspiration au travers du dispositif mais plutôt à éviter cette aspiration. L'analyse des impacts est réalisée par comparaison de la vitesse d'aspiration et de la vitesse de nage des individus. Il est important que pour les espèces susceptibles d'être aspirées, l'évaluation des impacts permette de mettre les risques d'aspiration d'individus en perspective du risque de viabilité du peuplement.

Pour les espèces benthiques, il s'agira d'apprécier les étendues sur lesquelles l'hydrodynamisme est susceptible d'être suffisamment modifié pour perturber les espèces en place de manière significative.

Mesures

Modulation de la prise d'eau – Le risque d'entraînement des espèces mobiles peut être limité par une conception adaptée de la prise d'eau, visant à résoudre la vitesse d'absorption en entrée. Les « velocity caps » favorisent par exemple le pompage de l'eau selon un champ horizontal. Leur utilisation se base sur l'hypothèse que les poissons ont une meilleure capacité à éviter les champs horizontaux que les champs verticaux, mais leur efficacité n'est pas globalement reconnue.

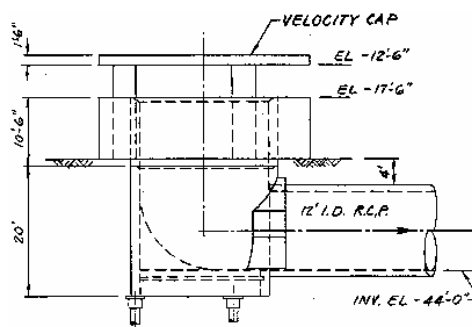


Figure 60 : Schéma d'un prototype de chape de redirection de flux de pompage
(Myers et al 1986)

2.11 Analyse prévisionnelle des risques de pollution

Caractérisation des risques de contamination

Éléments de caractérisation – Deux types de contamination doivent être distingués dans cette démarche d'évaluation d'impacts : les **contaminations prévisibles voire attendues**, associées à certaines opérations de travaux ainsi qu'au fonctionnement et à la présence des installations, et les **contaminations accidentelles** associées à des dysfonctionnements inattendus. Dans le cadre d'une analyse prévisionnelle d'impacts de pollution, il convient de s'intéresser prioritairement aux pollutions prévisibles. L'évaluation environnementale des contaminations accidentelles doit d'avantage porter sur les risques d'occurrence de ces événements et sur les mesures à mettre en place pour les maîtriser.

Les contaminations prévisibles doivent être caractérisées en termes de **nature** (quels contaminants ?), de **source** (localisation), de **quantité** et de **dynamique de dispersion** (dispersion / accumulation, progressive / soudaine, etc.).

Les risques de contamination accidentelle doivent être caractérisés en termes de **nature** (quels contaminants ?), **d'origine** et **d'éléments favorisants**.

Méthodes et faisabilité – Ces données sont issues des spécifications techniques du projet. On cherchera ainsi à identifier la nature des matériaux des différentes structures, des peintures antifouling et des anodes sacrificielles éventuellement utilisées. Pour les opérations de maintenance impliquant un entretien et un nettoyage des installations, on identifiera également la nature des produits éventuellement employés pour cet entretien.

Pour les risques de contamination accidentelle on cherchera à identifier toute les sources potentielles de déversement de fluides polluants dans le milieu naturel : moyens nautiques d'intervention en mer, fluides de travail des dispositifs, etc.

Caractérisation de la sensibilité des récepteurs

Les récepteurs sensibles à la contamination du milieu marin sont les organismes vivants composant la flore et la faune. Etant donné la complexité des processus de contamination du milieu marin et d'évaluation de la toxicité des polluants, et étant donné la faible contamination prévisible associée aux opérations d'EMR, il ne semble pas pertinent de préconiser une démarche lourde d'évaluation de la sensibilité des espèces aux contaminants éventuellement associés à la présence des installations EMR.

Evaluation des impacts

Dans ce contexte, la démarche d'évaluation environnementale doit d'avantage se tourner vers l'analyse des risques de contamination et l'identification des mesures adaptées à la maîtrise de ces risques.

Mesures

Choix du site – La caractérisation de la qualité physico-chimique des fonds lors de l'état initial permet de définir les zones potentiellement contaminées. Lorsque de telles zones existent et que les enjeux de contamination sont forts, il est impératif d'éviter d'y réaliser des interventions de travaux susceptibles de remobiliser les contaminants. L'opportunité de modifier le projet doit tenir compte d'un arbitrage entre les bénéfices environnementaux et les contraintes technico-économiques imposées par de telles modifications.

Sécurisation des circuits contenant des fluides de travail – La sécurisation des circuits contenant les fluides de travail doit être recherchée sur chaque installation dès la phase de conception des machines. Les transformateurs électriques peuvent par exemple contenir plusieurs milliers de litres d'huile frigorifique. Pour empêcher l'huile de s'écouler dans l'environnement en cas de fuite, les transformateurs sont le plus souvent montés sur des compartiments capables de contenir plus de 100 % du volume d'huile. Un réservoir de stockage supplémentaire peut être ajouté par mesure de sécurité.

Choix des matériaux – Le choix de matériaux non toxiques est un levier d'action important à considérer pour la réduction des risques de contamination du milieu. Des fluides frigorifiques sont par exemple élaborés à base de graines ou d'additifs alimentaires, ne contiennent pas de pétrole, d'halogènes ou de silicones. Ils sont ainsi non toxiques, biodégradables et peu inflammables. Certains fluides hydrauliques à base végétale sont par ailleurs employés sur des dispositifs houlomoteurs pilotes. Les peintures antisalissures sont par ailleurs en constante évolution et la recherche s'oriente vers la production de peintures moins voire non toxiques et plus spécifiques. Certains revêtements ultra-lisses ont par ailleurs prouvé leur efficacité à limiter les possibilités d'accroche des larves présentes dans la colonne d'eau.

Sécurisation de la navigation maritime – La sécurisation de la navigation par une signalisation adaptée de la présence du parc et des engins de travaux est enfin la manière la plus efficace d'éviter tout risque de pollution par collision de navires en mer.

2.12 Analyse prévisionnelle des impacts des émissions lumineuses

Caractérisation de la remise en suspension de matériaux

Éléments de caractérisation – Les émissions lumineuses devront être caractérisés en termes d'**intensité**, de **longueur d'ondes** et de **direction**. On cherchera également à définir s'ils sont alternants ou persistants.

Méthodes et faisabilité – Ces données sont obtenues directement à partir des spécifications techniques de projet.

Caractérisation de la sensibilité des récepteurs

Éléments de caractérisation – Les éclairages concernent essentiellement le milieu aérien et l'avifaune. Néanmoins, même si des observations réalisées sur des plateformes pétrolières offshore (NAM, 2007) indiquent une sensibilité particulière aux ondes rouges d'un spectre et dans des conditions météorologiques limitantes (brouillard, nuages), la connaissance de la sensibilité des oiseaux à la lumière reste limitée. Il semble notamment difficile de prévoir et de quantifier les conséquences de l'attractivité des oiseaux à une source lumineuse. Il s'agit ici de recueillir l'ensemble des données disponibles relatives au rapport des espèces présentes à la lumière en phase nocturne.

Méthodes et faisabilité – L'état initial fournit les données sur la répartition des espèces et les voies de déplacement privilégiées. L'appréciation de la sensibilité de ces espèces à la lumière devra se faire sur la base des ressources bibliographiques existantes et à dire d'expert.

Appréciation des impacts

Etant donné la limite de connaissance actuelle sur cette thématique, il est difficile d'établir une analyse prévisionnelle des impacts complètement pertinente. Les évaluations par analogie aux activités industrielles offshore similaires peuvent être privilégiées dans un premier temps. Le suivi constitue ensuite la seule démarche efficace pour rendre compte de la réalité des effets des éclairages sur l'avifaune si on considère que l'enjeu est tel qu'il mérite la mise en œuvre d'un tel suivi.

Mesures

Couleur des éclairages – Les ondes rouges d'un spectre lumineux seraient les plus attractives pour les oiseaux. Des expérimentations visant à développer des lumières moins attractives sur une plateforme pétrolière offshore au Danemark (NAM, 2007) ont montré l'efficacité d'une telle démarche sur la réduction de l'attraction des oiseaux. Avec un remplacement seulement partiel des lumières de l'installation, ce sont 2 à 10 fois moins d'oiseaux qui ont été attirés par rapport à ceux qui aurait été attendu dans des conditions normales d'éclairage. Les auteurs envisagent une réduction de 90 % de l'impact sur les migrations nocturnes d'oiseaux avec un équipement complet de l'installation.

Le recours à un éclairage de moindre attractivité sur les installations d'EMR peut ainsi constituer une mesure de réduction d'impact intéressante si les intensités et les longueurs d'ondes mises en jeu laissent prévoir un enjeu fort sur les populations utilisant des voies de migration sous influence des installations en question.

La possibilité de mettre en œuvre de telles mesures devra être confrontée aux exigences réglementaires et de sécurité, notamment par rapport au balisage.

Modalité d'éclairage - Il peut être favorable d'utiliser un éclairage intermittent plutôt qu'un éclairage permanent même si l'efficacité d'une telle mesure reste à étudier.

Chapitre 7 - Analyse des incidences sur les sites Natura 2000

Natura 2000 est un réseau écologique européen institué par les directives « Oiseaux » de 1979⁵⁹ et « Habitats » de 1992⁶⁰. Ce réseau de sites vise à assurer la conservation de certains habitats naturels et espèces sauvages. Près de 7 millions d'hectares terrestres représentant plus de 12 % du territoire métropolitain et 4 millions d'hectares marins ont ainsi été désignés au titre de ces directives.

1 Le régime d'évaluation Natura 2000

1.1 Objectifs

L'article 6, §3 de la directive « Habitats » prévoit que « tout plan ou projet [...] susceptible d'affecter [un] site de manière significative, individuellement ou en conjugaison avec d'autres plans et projets, fait l'objet d'une évaluation appropriée de ses incidences sur le site, eu égard aux objectifs de conservation de ce site ».

L'objectif du régime d'évaluation des incidences est donc de prévenir d'éventuels dommages à ces milieux naturels remarquables en encadrant en amont les aménagements envisagés. Il s'agit de vérifier, par une évaluation préalable, que la mise en œuvre du projet est compatible avec les objectifs de conservation du ou des sites Natura 2000 ; cette analyse doit conduire, le cas échéant, le pétitionnaire à redéfinir son projet s'il apparaissait que celui-ci porterait atteinte à l'intégrité du site.

Par ailleurs, l'autorité décisionnaire ne peut autoriser un projet que si, au regard de l'évaluation de ses incidences, il ne porte pas atteinte de manière significative aux habitats et aux espèces d'intérêt communautaire qui ont conduit à la désignation du ou des sites Natura 2000 considérés, sauf cas particuliers prévus à l'article 6 §4 de la directive « Habitats » (projets justifiés par des raisons impératives d'intérêt public majeur, sous réserve de mesures compensatoires et en l'absence de solutions alternatives).

1.2 Champ d'application

Le régime d'évaluation des incidences, tel que transposé en droit français, repose sur un système de listes positives (nationale et locales) établissant les « documents de planification, programmes ou projets d'activités, de travaux, d'aménagements, d'installation, de manifestations ou d'interventions dans le milieu naturel » soumis à évaluation des incidences Natura 2000.

⁵⁹ La directive 79/409/CEE du Conseil du 2 avril 1979 concernant la conservation des oiseaux sauvages

⁶⁰ Directive « habitats, faune, flore » 92/43/CEE du Conseil du 21 mai 1992 concernant la conservation des habitats naturels ainsi que de la faune et de la flore sauvages

En application de l'article R414-19 du code de l'environnement, tout projet soumis à étude d'impact fait l'objet d'une évaluation de ses incidences sur les Natura 2000 qu'ils soient localisés à l'intérieur ou à l'extérieur du périmètre d'un site Natura 2000.

Tous les projets d'installations EMR doivent donc produire une étude d'incidences à l'appui de leur demande d'autorisation.

1.3 Principes de l'évaluation des incidences Natura 2000

L'évaluation des incidences au titre de Natura 2000 est une évaluation environnementale spécifique effectuée vis à vis des enjeux ayant conduit à la désignation des sites Natura 2000. Elle répond aux spécificités et principes suivants :

- Elle est **ciblée** : à la différence de l'étude d'impact, plus globale, qui examine l'impact du projet sur toutes les composantes de l'environnement de manière systématique (milieux naturels, l'air, l'eau, le sol...), l'évaluation des incidences ne doit étudier ces aspects que dans la mesure où des impacts du projet sur ces domaines ont des répercussions sur les sites Natura 2000 et, plus globalement, sur l'intégrité du réseau. Sont analysés les impacts du projet sur les habitats et espèces d'intérêt communautaire ayant justifié la désignation du site Natura 2000, localisés dans le site Natura 2000.
- Elle est **proportionnée** à la nature et à l'importance du projet ainsi qu'aux enjeux de conservation des habitats et espèces en présence. L'évaluation des incidences pourra être « simplifiée », si elle justifie rapidement de l'absence d'effet notable du projet sur le ou les sites Natura 2000, ou approfondie, en cas de risque d'impacts significatifs. Il est prévu une procédure d'évaluation des incidences par étape (voir 3).
- Elle est **conclusive** : l'évaluation des incidences doit formuler une conclusion sur l'atteinte à l'intégrité du ou des sites Natura 2000 concernés.

1.4 Le contenu du dossier d'évaluation des incidences

Le contenu de l'évaluation des incidences est fixé à l'article R.414-23 du code de l'environnement. Il est ciblé sur les habitats et espèces d'intérêt communautaire ayant motivé la désignation du site Natura 2000 et s'établira au regard de leur état de conservation. L'étude d'impact tient lieu de dossier d'évaluation des incidences Natura 2000 si elle satisfait aux prescriptions de l'article R. 414-23, telles que décrites ci-après et si ces éléments sont clairement identifiés dans l'étude d'impact.

Le plan proposé ci-dessous correspond à une évaluation des incidences constituant un dossier distinct de l'étude d'impact.

Etape 1 - Évaluation préliminaire ou pré-diagnostic

Cette première étape a pour objectif d'identifier les sites Natura 2000 pouvant être affectés par le projet d'EMR et voir si celui-ci est susceptible d'avoir des incidences significatives dommageables sur les sites Natura 2000 concernés. Le dossier est composé de :

- Une description du projet d'installation EMR ;
- La localisation du projet par rapport aux périmètres du ou des site(s) Natura 2000. Les sites à prendre en compte sont les sites désignés (zones de protection spéciales, zones de

conservation spéciales) mais aussi ceux en cours de désignation (sites d'importance communautaire et proposition de sites d'importance communautaire).

- Une présentation générale du ou des site(s) Natura 2000 concernés et de leurs objectifs de conservation. L'objectif est de regrouper suffisamment d'éléments pour identifier le risque pouvant affecter le ou les sites Natura 2000. A ce stade, il ne s'agit pas de fournir des éléments détaillés sur le ou les sites Natura 2000 mais d'avoir une vision globale des enjeux de protection du ou des sites concernés. Ces informations sont accessibles dans le formulaire standard des données et dans le document d'objectifs (DOCOB) des sites Natura 2000.
- Un exposé sommaire mais argumenté des raisons pour lesquelles le projet d'activité est ou non susceptible de causer des incidences à un ou plusieurs sites Natura 2000. Cet argumentaire peut être fondé sur les éléments suivants : la distance qui le sépare du ou des sites Natura 2000, l'hydrographie, le fonctionnement des écosystèmes, les caractéristiques du ou des sites Natura 2000 et de leurs objectifs de conservation, etc.

Si, à ce stade, l'évaluation des incidences peut conclure à l'absence d'atteinte aux objectifs de conservation des sites Natura 2000, l'évaluation des incidences est achevée.

Etape 2 - L'évaluation approfondie

S'il apparaît, en constituant le dossier préliminaire, que les objectifs de conservation d'un ou plusieurs sites sont susceptibles d'être affectés, le dossier est ainsi complété par le demandeur :

- Identification du ou les sites Natura 2000 susceptibles d'être concernés (les sites Natura 2000 inclus dans l'aire d'influence du projet) en fonction de la nature et de l'importance de l'activité, de la localisation de l'activité à l'intérieur d'un site ou à sa proximité, de l'hydrographie, du fonctionnement des écosystèmes, des caractéristiques des habitats et espèces des sites concernés, etc...

Pour chaque site susceptible d'être impacté, il conviendra d'établir :

- Analyse de l'état initial de la zone impactée : identification et expertise des habitats et des espèces ayant justifié la désignation du site, potentiellement menacés par la mise en œuvre du projet (pour chaque habitat et espèces concerné, il importe de présenter son état de conservation, sa sensibilité, l'importance du site pour la conservation de ces habitats et espèces, de décrire le fonctionnement écologique du site, etc.) ; cartographie des habitats d'intérêt communautaire, des habitats d'espèces d'intérêt communautaire.

Ces éléments s'appuient sur les éléments de connaissances contenus dans le document d'objectifs du site, sur les inventaires et analyses effectués lors de l'étude d'impact. Les éléments recueillis dans le cadre de l'étude d'impact relatifs aux caractéristiques physiques de la zone étudiée pourront faciliter l'appréciation des incidences du projet sur les sites Natura 2000 et méritent d'être présentés dans le cadre de l'analyse de l'état initial.

- Analyse des effets temporaires ou permanents, directs ou indirects, que le projet peut avoir, individuellement ou en raison de ses effets cumulés avec d'autres projets, sur l'état de conservation des habitats naturels et de espèces qui ont justifié la désignation du ou des sites.

Pour apprécier correctement la nature de l'impact et son caractère significatif, il importe d'analyser les interactions entre les pressions du projet (description des effets, quantification des incidences, etc.) et les caractéristiques structurelles et fonctionnelles des habitats et espèces (réalisées dans le cadre de l'état initial : leur état de conservation, leur sensibilité, leur caractère prioritaire, etc.).

Les méthodes d'évaluation des impacts sur les espèces et habitats marins présentées dans le chapitre précédent (évaluation réalisée dans le cadre de l'étude d'impact) sont également applicables à l'évaluation des incidences Natura 2000 des projets d'EMR. Cependant, si la méthode est la même, l'analyse est à conduire vis à vis des objectifs de conservation du ou des sites concernés.

L'évaluation des incidences peut étudier l'ensemble des effets cumulés en tenant notamment compte des éléments de l'état initial établi dans le cadre de l'étude d'impact. L'étude des éventuels effets cumulés tient compte des effets des activités :

- existantes à la date de proposition à la Commission européenne s'il s'agit d'un site de la directive « Habitats, faune flore » ou à celle de la désignation d'une zone de protection spéciale au titre de la directive « Oiseaux » ;
- faisant déjà l'objet d'une demande à la date du dépôt.
- S'il s'avère que certaines espèces ou habitat d'intérêt communautaire seront impactés de manière significative par la mise en œuvre du projet, proposer des mesures de suppression ou de réduction des effets significatifs dommageables présenter les mesures envisagées pour réduire ou annuler ces impacts
- Conclure sur la nature de l'impact (significatif et dommageable ou non) de la mise en œuvre du projet sur chacun des sites Natura 2000.

Etape 3 - Procédure dérogatoire

En cas d'effet résiduel significatif et dommageable sur un (des) site(s) Natura 2000, le dossier comprend :

- a) Les alternatives au projet, justification de l'absence d'alternative ;
- b) Les raisons impératives d'intérêt public majeur justifiant le projet ;
- c) Les mesures compensatoires.

Les objectifs de conservation étant différents d'un site à l'autre, l'analyse doit être conduite site par site. Une évaluation commune présentée dans un dossier commun peut se concevoir si les différents sites ont des objectifs de conservation identiques et le projet des effets similaires vis-à-vis des sites Natura 2000.

1.5 Outils

Aide à la localisation des sites

- Outil cartographique (Carmen) de la DREAL ou DDT
- Site du ministère en charge de l'écologie :
<http://cartelie.application.i2/cartelie/voir.do?carte=Natura2000&service=DGALN>
- Site de la commission européenne : <http://natura2000.eea.europa.eu/#>
- Site internet Natura 2000 : <http://www.developpement-durable.gouv.fr/-Natura-2000,2414.html>

Où trouver le formulaire standard des données ?

- Site du muséum national d'histoire naturelle :
<http://inpn.mnhn.fr/isb/naturaNew/searchNatura2000.jsp>

Aide à la connaissance des habitats et des espèces marins

- Référentiel pour la gestion des sites Natura 2000 en mer – Tome 2 les habitats et les espèces Natura 2000 en mer
http://airesmarines.org/upload/docs_dossiers/TOME_2_Les_HABITATS_et_les%20ESPECES_Natura_2000_en_mer_V2_comp.pdf
- Cahiers d'habitat (habitat côtier)
<http://natura2000.environnement.gouv.fr/habitats/cahiers2.html>
- Site internet Natura 2000 : <http://www.developpement-durable.gouv.fr/-Natura-2000,2414.html>

Chapitre 8 - Suivi des impacts

1 Principes méthodologiques

1.1 Définition

Le suivi environnemental est une opération à caractère analytique et scientifique qui sert à mesurer les impacts de la réalisation d'un projet sur l'environnement et à évaluer la performance des mesures d'atténuation proposées en amont. Le suivi est donc l'examen continu ou périodique d'un projet, d'une partie ou d'un ensemble de projets.

1.2 Champ d'application

Le champ d'application des suivis peut comprendre :

- des suivis préalables à la mise en œuvre de parcs EMR permettant de définir un état de référence de l'environnement ;
- des suivis en temps réel des travaux de mise en œuvre des installations EMR ;
- des suivis post-travaux pour évaluer les incidences à moyen ou long terme des travaux, de l'exploitation et du démantèlement des installations EMR.

1.3 Objectifs des suivis environnementaux

L'objectif majeur d'un suivi environnemental est la **préservation de l'environnement** soit par le biais de suivis en temps réel permettant une adaptation directe du projet par la mise en œuvre d'actions correctives (dans certain cas particuliers en phase de travaux), soit par le biais de suivis de moyen et long terme visant une amélioration de la technologie employée dans la perspective d'opérations future.

Les objectifs des suivis s'inscrivent ainsi dans **plusieurs logiques complémentaires** :

- contrôler la qualité environnementale du projet en vérifiant que les incidences temporaires et permanentes, directes et indirectes du projet sont conformes avec les prévisions de l'étude d'évaluation environnementale du projet ;
- vérifier l'efficacité des mesures réductrices mises en œuvre ;
- recadrer les mesures réductrices dans le cas où elles seraient inadaptées aux incidences constatées ;
- ajuster, dans la limite du possible sur le plan technique et économique, les mesures réductrices dans le cas où elles s'avèreraient particulièrement inadaptées aux incidences constatées ;
- tirer des enseignements pour améliorer les méthodes de suivi ;
- alimenter avec des données objectives, les instances de concertation qui se pencheront sur la conception de futures opérations ;
- au delà de ces objectifs techniques, permettre au maître d'ouvrage d'asseoir sa crédibilité quant à sa capacité à réaliser ses engagements relatifs à la protection de l'environnement marin.

1.4 Etapes du suivi environnemental

La démarche d'établissement et de réalisation d'un suivi environnemental peut se scinder en six étapes majeures.

Analyse du contexte

Cette étape constitue la base de l'élaboration du système de suivi. Elle met le contexte technique du projet en perspective du contexte environnemental afin d'identifier les principales problématiques de cause à effet entre le projet et l'environnement. **La démarche d'évaluation environnementale constitue un outil adapté pour cette première phase d'analyse.**

Définition des objectifs de suivi

Cette étape conduit à définir les **objectifs de suivi** sur la base de l'évaluation environnementale préalable et des principaux enjeux qu'elle permet d'identifier. La définition des objectifs de suivi répond à la question : **pourquoi réaliser un suivi ?**

Il s'agit de se questionner sur les besoins de contrôle et de surveillance, du type d'information nécessaire, et de la faisabilité du suivi tant en termes de collecte d'information que d'interprétation des résultats.

Détermination d'indicateurs de suivis et de la situation de référence

Dans le cadre d'un suivi d'évaluation environnementale, les indicateurs sont utilisés pour mesurer l'état de référence d'un compartiment et pour évaluer les changements et les tendances relatifs à ce compartiment, en comparant les valeurs de l'indicateur à différents instants. La détermination d'indicateurs répond à la question : **que faut-il suivre ?**

Un indicateur peut être défini comme « une variable dont le but est d'évaluer la valeur d'un processus plus large ». A ce titre, de nombreux indicateurs peuvent être définis pour chaque compartiment de l'environnement susceptible de subir les effets des projets EMR et pour lequel un suivi pourrait être envisagé. Néanmoins, tous ne sont pas mesurables et la sélection d'indicateurs appropriés est indispensable. Les indicateurs retenus devront répondre à un certain nombre de **critères de conditionnalités** (voir

Détermination d'indicateurs de suivis et de la situation de référence

Afin de pouvoir évaluer si une tendance est due opérations ou à une fluctuation de l'environnement l'influence du projet, il est par ailleurs nécessaire d'établir un **suivi** (situation témoin) qui n'est pas influencée par les opérations mais uniquement par les facteurs de contexte représentativité de la situation de suivi doit être l'évaluation des impacts du projet.

Enfin le choix des indicateurs est un processus itératif. Les indicateurs sélectionnés pour une campagne de suivi peuvent être en fonction des retours d'expérience.

Tableau 27).

La comparaison d'une mesure ou d'une observation à une norme ou un point de référence permet de juger de la qualité de cette mesure ou de cette observation et en faire ainsi un indicateur.

Les **normes** sont des valeurs de référence qui dépassent le contexte dans lequel les mesures sont prises. Elles permettent une comparaison objective de la qualité des indicateurs.

Une **situation de base** (définie lors de l'état initial par exemple) se réfère à une situation à un certain moment et en un certain lieu. Elle peut être utilisée comme **point de référence** pour établir des tendances. La comparaison entre la situation de suivi et la situation de référence permet d'évaluer les effets et ou les impacts du projet dans la limite de représentativité du point de référence (variabilité naturelle, autres influences anthropiques, marge d'erreur liée à la technique de caractérisation, etc.)

Détermination d'indicateurs de suivis et de la situation de référence

Afin de pouvoir évaluer si une tendance est due à l'influence des opérations ou à une fluctuation de l'environnement indépendante de l'influence du projet, il est par ailleurs nécessaire d'établir **une situation de suivi** (situation témoin) qui n'est pas influencée par les opérations du projet mais uniquement par les facteurs de contexte. Là encore, la représentativité de la situation de suivi doit être considérée dans l'évaluation des impacts du projet.

Enfin le choix des indicateurs est un processus itératif : les indicateurs sélectionnés pour une campagne de suivi peuvent être amenés à évoluer en fonction des retours d'expérience.

Tableau 27 : Critères de conditionnalité des indicateurs de suivi

Conditionnalités des indicateurs	Commentaires
Pertinence	Le choix des indicateurs doit être en adéquation avec les besoins de l'utilisateur.
Précision	Elle traduit la proximité entre la valeur estimée et la vraie valeur.
Sensibilité	Un indicateur doit varier de façon significative afin de pouvoir tirer des conclusions pertinentes sur ses évolutions. Ainsi des indicateurs qui ne seraient pas ou peu sensibles aux pressions imposées par les dragages ou les immersions ne présenteront pas un intérêt majeur.
Fiabilité (ou crédibilité)	La fiabilité représente la confiance que l'on aura dans l'information véhiculée par l'indicateur. Un indicateur non fiable est par exemple un indicateur qui pourrait prendre des valeurs significativement différentes alors que les mesures réalisées pour le quantifier sont similaires.
Comparabilité	Condition complexe à satisfaire, la comparabilité d'un indicateur est bonne quand l'information véhiculée par l'indicateur pour des mesures réalisées à des instants différents reste interprétable sous les mêmes conditions.
Spécificité	L'indicateur doit répondre spécifiquement aux attentes et être capable de distinguer les effets d'un phénomène mesuré parmi d'autres.
Sélectivité	Le programme de suivi doit faire appel à des indicateurs en nombre suffisant mais limité afin que l'information soit accessible aux différentes parties. En effet, lorsque les programmes développés sont multisectoriels, on aura tendance à vouloir tout mesurer et à concevoir un système d'indicateurs trop lourd qu'il sera finalement impossible de faire vivre. Par ailleurs, il est communément admis qu'en situation de décision, une personne ne peut intégrer et considérer plus d'une dizaine d'indicateurs à la fois.
Disponibilité	L'indicateur doit avoir une existence réelle et sa quantification doit être faite à intervalles réguliers. De fait, bon nombre d'indicateurs sont proposés dans des systèmes mais ne sont pas disponibles et restent non renseignés.

Fraîcheur	La fraîcheur traduit le pas de temps où l'indicateur pourra être quantifié. En effet, certains indicateurs ne sont pas quantifiables régulièrement et ne présentent aucun intérêt pour des suivis cherchant à caractériser des évolutions de court ou moyen terme.
Significativité	Un indicateur est significatif quand il traduit correctement ce que l'on veut mesurer et est compris en tant que tel par les différents acteurs.
Interprétabilité	L'indicateur, répondant à un besoin, doit être compréhensible par tous.
Ponctualité	L'indicateur doit être adapté aux échéances décisionnelles pour lesquelles il est utilisé
Rentabilité	Le rapport efficacité/coût doit être acceptable et en accord avec les ressources allouées, afin de transmettre le plus fort et le plus rapide bénéfice pour la société

Définition des méthodes de suivi

L'objectif principal de cette étape est la définition des stratégies de collecte de l'information. Il s'agit à ce stade de répondre à la question : **comment suivre les indicateurs identifiés ?** En d'autres termes, c'est la phase de calage des protocoles de suivi.

Définition des responsabilités des moyens et des coûts

Cette étape vise à déterminer les responsabilités des différentes phases du processus de suivi, ainsi que des coûts et des moyens nécessaires à l'exécution du programme envisagé. A ce stade l'objectif est de répondre à la question : **qui suivra les indicateurs identifiés et selon quelles modalités ?** Il doit en résulter une indication claire des responsabilités et de l'implication des différents acteurs dans le système de suivi.

Analyse des données et évaluation

Cette étape pose enfin la question : **que faire avec les données de suivi ?** Il s'agit d'analyser les données récoltées lors des campagnes de suivi, d'établir les conclusions associées, d'intégrer ces résultats et le retour d'expérience dans le processus global de suivi (amélioration itérative), et enfin de communiquer les conclusions aux différents acteurs concernés.

2 Propositions de suivis environnementaux de projets EMR

Les suivis réalisés dans le cadre des opérations d'EMR doivent permettre d'étudier les impacts sur les composantes de l'environnement et les usages mais également d'améliorer les connaissances sur certains effets encore mal maîtrisés tels que la signature acoustique des dispositifs ou de certaines opérations de travaux ou encore les champs électromagnétiques.

La mise en place de commissions locales de suivi associant, entre autres, porteur de projet, administrations, scientifiques et parties prenantes, est un moyen approprié de guider le processus de suivi des effets des projets sur l'environnement au travers d'un processus de réflexion partagé. Ce type d'instance permet d'évaluer la pertinence des suivis préconisés, de définir les reformulations éventuellement nécessaires au regard des résultats intermédiaires obtenus, et de formuler des recommandations pour le suivi de projets similaires.

2.1 Suivi des effets

2.1.1 Bruit

La signature acoustique sous-marine des technologies en développement est peu ou pas connue. Afin de pouvoir apprécier les impacts que le bruit émis par ces technologies en phase opérationnelle est susceptible d'avoir sur la faune marine, il est indispensable de mieux le caractériser. Cette caractérisation doit porter sur les ondes émises à la source et sur leur évolution à distance croissante de la source. On cherchera à définir la gamme fréquentielle du bruit et les niveaux de pression acoustique associés. Ces données sont traditionnellement acquises par la mise en place d'hydrophones.

2.1.2 Electromagnétisme

Si les modélisations des champs électromagnétiques fournissent une première indication sur l'étendue et l'intensité de ces champs en amont du projet pour l'analyse prévisionnelle des impacts, la variabilité des conditions environnementales qui influencent effectivement ces champs en phase opérationnelle nécessite de mieux les caractériser par des mesures *in situ* lorsqu'elles sont réalisables. On cherchera ainsi à définir l'intensité, la fréquence et la longueur d'onde de ces champs à distance croissante des câbles à la verticale et à l'horizontale.

2.1.3 Température

Pour les câbles, les mêmes limites que pour l'électromagnétisme peuvent être avancées. On cherchera à affiner les prédictions des modèles par des mesures *in situ*.

Pour les rejets des installations ETM ou PAC, la validation des prédictions de dilution par modélisation peut également être préconisée par la réalisation de mesures *in situ*.

2.2 Suivi des composantes environnementales

2.2.1 Suivi des fonds marins

Le suivi des fonds marins peut s'attacher à plusieurs composantes de l'environnement : la structure et la morphologie des fonds, les communautés benthiques et plus largement les habitats qu'ils constituent.

➤ Les suivis **bathymétriques** et **morpho-sédimentaires** permettent par comparaison aux relevés antérieurs au projet d'évaluer l'impact sur la morphologie et la nature des fonds. Ils sont

préconisés sur les zones où la présence des installations est susceptible d'engendrer des modifications de la répartition sédimentaire : pied des fondations, zones d'ensouillage des câbles, etc. Leur réalisation est ainsi préconisée à l'intérieur du périmètre de projet et le long du tracé des câbles à des fréquences dépendantes de l'activité hydro-sédimentaire du lieu. La réalisation de cartes différentielles sur de plus larges espaces permet d'étudier l'évolution des fonds associés à des modifications plus vastes de l'hydrodynamisme et des transits sédimentaires (telle que la tenue du littoral par exemple).

Les préconisations techniques pour ces levés sont les mêmes que celles exposées pour l'analyse de l'état initial. A noter que des prélèvements sédimentaires complémentaires peuvent permettre de mieux caractériser les perturbations induites sur ce compartiment.

➔ Des suivis de la **macrofaune benthique** et de la **flore** éventuelle complètent cette étude de l'évolution des fonds marins. Leur localisation et les indicateurs retenus dépendent directement des objectifs de suivi fixés en amont.

Sur les zones où les substrats ont été remaniés, une observation rapide après travaux permet de constater les perturbations induites sur les communautés benthiques et les habitats. Des suivis réguliers permettent ensuite d'identifier les processus de recolonisation et l'évolution de la nature des communautés en place. Les procédures de suivi sont similaires à celles préconisées pour la réalisation de l'état initial : sonar, prélèvement et observations vidéo. Pour certains habitats particulièrement sensibles qui n'auraient pu être évités (herbier, maërl, coralligène), des procédures de suivi plus complexes peuvent être envisagées (évolution dynamique, densité, taux de recouvrement, etc.).

L'étude des communautés benthiques doit également permettre de mieux appréhender les impacts des **champs électromagnétiques** au niveau des câbles – notamment des parties non ensouillées -, et des **variations de température** au niveau des câbles et des rejets de PAC ou d'ETM lorsque ceux-ci s'étendent jusque sur les fonds marins. Les indicateurs adaptés au suivi de ces impacts doivent être déterminés en lien avec la communauté scientifique et en fonction des retours d'expériences actuellement disponibles.

Etant donné l'état des connaissances relativement limité sur les impacts des champs électromagnétiques, il serait plus efficace de suivre, dans la mesure du possible, les effets de ces champs à l'échelle des espèces plutôt qu'à l'échelle des communautés, et à l'échelle des individus plutôt qu'à l'échelle des populations (Normandeau Associates, 2011 for *US Department of the Interior*).

Ces observations des organismes benthiques peuvent enfin être appliquées à l'étude des perturbations hydrodynamiques induites soit par la présence seule des installations, soit par le caractère dynamique de certaines technologies (hydroliennes ou ETM et PAC par exemple).

➔ On notera enfin que le suivi de la structure des fonds marins peut fournir des indications sur l'impact de la présence du parc sur les fonds par restriction des usages dans le périmètre de projet. Ces observations peuvent nourrir la réflexion sur **l'effet réserve**, et sur l'efficacité globale du parc à préserver les milieux au regard du suivi des impacts susmentionnés.

L'Ifremer propose un protocole pour la surveillance des projets d'implantation d'énergie renouvelable en mer⁶¹. Des indicateurs complémentaires peuvent être proposés pour compléter les objectifs de suivi.

⁶¹ <http://wwz.ifremer.fr/drogm/Cartographie/Plateau-continentale/Implantation-d-eoliennes/Protocole>

2.2.2 Suivi de la faune pélagique (hors mammifères marins) et des ressources halieutiques

Le suivi de la faune pélagique et des ressources halieutiques est un élément central à considérer pour les programmes de surveillance des projets d'énergie marine renouvelable. Il sert plusieurs objectifs de connaissance complémentaire : l'impact de l'effet récif, l'impact de l'effet réserve, l'impact des champs électromagnétiques (pour les câbles), l'impact du bruit et l'impact des pompages et des rejets pour les centrales ETM et PAC.

Les protocoles existants pour ce type de suivi visent le plus souvent l'étude de la richesse spécifique, de l'occurrence des espèces, de la biomasse par espèces ou groupes d'espèces et des éléments de densité. Ces données sont obtenues par prélèvement à partir de techniques traditionnelles de pêche.

L'Ifremer préconise, à ce titre, un protocole de suivi des ressources halieutiques pour les activités d'extraction de granulats marins qui peut être adapté aux projets EMR⁶².

Si ce type d'investigation permet effectivement de rendre compte de l'évolution des populations au sein d'un périmètre donné (avec néanmoins les limites d'interprétation inhérente à la variabilité spatiale et temporelle de ce type d'espèce), d'autres techniques plus ciblées doivent être pensées pour suivre certains impacts spécifiques.

Pour l'effet récif par exemple, des observations par vidéo ou plongées doivent permettre de mieux analyser la nature des communautés colonisant des ouvrages et l'efficacité des mesures d'éco-conception éventuellement mises en œuvre. Les méthodes habituellement mises en œuvre sur les récifs artificiels se base ainsi sur une méthodologie mixte de suivis conservatifs (observations directes) et destructifs (pêche).

Les pêches présentent l'avantage de fournir des données précises sur la taille et le poids des individus mais leur efficacité est nulle pour l'échantillonnage des espèces présentes à l'intérieur des cavités éventuelles et la représentativité des échantillons est limitée.

Les techniques de prospection sous-marine présentent quant à elle l'avantage de se baser sur des surfaces et des volumes d'échantillonnage mieux maîtrisés. L'absence de prélèvements permet une observation non perturbée sur le long terme. L'ensemble de la structure peut être analysée et les comportements des poissons peuvent être appréhendés fournissant une indication précieuse sur leur relation à l'ouvrage. Ces prospections sont par contre tout de suite limitées en cas de mauvaise condition météo et les temps d'intervention sont limités. L'étude des variabilités temporelles et spatiales est ainsi plus complexe.

Pour l'électromagnétisme, des protocoles spécifiques d'observation du comportement des espèces dans la zone perturbée doivent être élaborés. Doit spécialement être visée l'analyse des impacts sur le franchissement des câbles et sur la migration, notamment au regard des impacts cumulatifs potentiellement associés à la présence d'un réseau étendu de câbles.

Pour les pompages d'ETM ou de PAC de grande envergure, un suivi de l'entraînement des poissons contre ou dans le système d'aspiration peut enfin être préconisé, par observation vidéo des zones d'aspiration par exemple.

2.2.3 Suivi de la qualité des eaux

⁶² <http://wwz.ifremer.fr/drogm/Ressources-minerales/Materiaux-marins/Protocoles/Ressources-halieutiques>

Le suivi de la qualité des eaux pourra être préconisé dans deux configurations bien distinctes : en **phase de travaux** pour évaluer les impacts éventuels de la remise en suspension de matériaux et en **phase opérationnelle** pour évaluer l'impact d'interactions bien spécifiques du projet avec l'environnement.

➤ **Les suivis préconisés en phase travaux** sont relatifs à la remise en suspension de matériaux dans la colonne d'eau si des habitats ou des usages sensibles ont été identifiés à portée du panache turbide lors de l'analyse prévisionnelle des impacts. Il sera utile de privilégier des techniques d'observation susceptibles d'offrir des résultats en temps réel, dès lors que ces suivis sont sensés déclencher des mesures correctrices en phase travaux (arrêt temporaire des opérations par exemple). Dans ce contexte, il faut préciser que la mesure des matières en suspension nécessite le prélèvement d'échantillons, l'analyse en laboratoire et ne fournit ainsi que des résultats *a posteriori*. La mesure de la turbidité par de l'eau par un turbidimètre embarqué mesurant la lumière diffusée par les particules est alors une voie d'analyse en temps réel complémentaire qui peut être privilégiée.

➤ **Les suivis préconisés en phase opérationnelle** concernent essentiellement les technologies ETM et PAC. Il s'agit d'étudier l'impact réel sur la qualité des eaux des rejets imposant une variation thermique au milieu, un apport en substances nutritives et un apport éventuel en matière organique. Les suivis pourront porter sur des paramètres classiques du milieu tels que la température, la salinité, la charge en substance nutritive et en carbone organique total, mais également sur le phytoplancton si les configurations de rejets laissent prévoir un risque d'accroissement de la production phytoplanctonique.

Au vu du besoin d'amélioration des connaissances sur l'impact potentiel de ces technologies sur les réseaux tropiques, on peut considérer que les projets de recherche qui seront réalisés sur les installations ETM pilotes permettront de mieux définir les mécanismes en jeu et de préciser les protocoles adéquats de surveillance du milieu en phase opérationnelle.

➤ Concernant la contamination physico-chimique des eaux, il ne semble pas pertinent de préconiser un suivi systématique de la qualité des eaux au vu des risques limités relatifs aux technologies EMR. Si des études spécifiques devraient être entreprises pour l'évaluation de la diffusion lente de métaux ou autres contaminants dans l'eau, il est préconisé d'avoir recours à des méthodes de suivi intégratrices (caging de moules par exemple).

2.2.4 Suivi de l'avifaune

Le suivi de l'avifaune dans le cadre des projets EMR permet d'évaluer l'impact réel de la présence d'installations sur les déplacements d'individus d'une part, et sur les collisions effectives, d'autre part.

Les techniques disponibles pour suivre les impacts sur l'avifaune sont nombreuses. On distingue :

- les méthodes d'observation standard réalisées à partir d'embarcations en mer, d'avions ou directement depuis la terre ;
- les méthodes d'observation à distance comprenant la détection radar, les caméras thermiques, la détection radio, etc. ;
- les méthodes d'observation vidéo haute définition par avion.

Comme pour les états initiaux, les suivis traditionnels doivent permettre d'intégrer les facteurs de variabilité inter et intra annuels. Il s'agit de tenir compte des pics d'abondance saisonniers par la réalisation de campagnes ciblées mais également d'évaluer des moyennes

représentatives de fréquentation à l'année et par saison en réalisant des campagnes suffisamment fréquentes. Les suivis devront permettre de décrire la nature des espèces, la densité et le nombre d'individus.

Les méthodes d'observation à distance doivent être considérées comme des outils de surveillance complémentaires aux techniques d'observation traditionnelles. Une importante étude réalisée par le *Collaborative Offshore Wind Research Into The Environment (COWRIE)* a conduit à identifier les techniques les plus adaptées au suivi de l'avifaune : la détection radar à partir de dispositifs côtiers, sur plateforme ou embarqués, la détection par caméra thermique et vision nocturne et le marquage (radio, satellite, GPS). Chaque technique possédant cependant ses avantages et ses inconvénients, l'opportunité d'y avoir recours doit être évaluée au cas par cas et intégrée dans un processus de réflexion plus large centré sur les objectifs de suivi et les besoins d'information complémentaires aux observations traditionnelles.

Si ces techniques permettent d'identifier les principaux regroupements d'individus au sein des zones observées et leurs modes de déplacement, la mise en évidence des collisions avec les obstacles que représentent les pales d'éoliennes reste complexe.

2.2.5 Suivi des mammifères marins

Le suivi des mammifères marins concerne en premier lieu les impacts du bruit. Les informations recherchées sont des observations en temps réel en période de travaux pouvant déclencher la mise en œuvre des mesures correctrices adéquates. Les suivis consistent ainsi à détecter les individus présents dans la zone d'exclusion définie par analyse prévisionnelle des impacts. Des techniques de détection visuelle et acoustique sont le plus souvent employées.

La détection visuelle se fait généralement à partir d'un ou plusieurs navires indépendants positionnés sur la zone de sorte à assurer une couverture complète d'observation. La probabilité d'observer des mammifères marins dépend de la perception et du temps passé par les individus en surface. Ainsi Barlow et *al.* (1988) indique par exemple que le marsouin commun ne passe que 23,9 % de son temps en surface. Les capacités de perception sont quant à elles directement associées à l'état de la mer et aux conditions météorologiques. De plus, les possibilités de visualisation nocturne sont très limitées.

Les méthodes de détections acoustiques constituent des compléments efficaces pour les espèces produisant des bruits spécifiques reconnaissables (clicks de dauphins ou de marsouins par exemple). A noter que pour les pinnipèdes, l'efficacité des techniques de détection visuelle et acoustique est limitée. Leur détection à la surface est en effet très difficile et leurs vocalisations sont limitées.

Le suivi des mammifères marins par des campagnes similaire en phase opérationnelle peut être préconisé pour suivre les impacts du bruit en phase opérationnelle.

2.3 Suivi des usages

Le cahier des charges de l'appel d'offres pour l'éolien en mer de juillet 2011 prévoit la constitution, pour chaque projet, d'une instance de concertation et de suivi. Cette dernière est notamment chargée de formuler des propositions pour l'évaluation des impacts du parc éolien sur les activités maritimes, sur lesquelles devront s'appuyer les suivis développés.

2.3.1 Suivi des impacts sur la pêche

Le suivi des impacts sur la pêche peut concerner **l'étude de la ressource** d'une part et **l'étude de l'organisation de l'activité** d'autre part. Pour l'étude de la ressource, les suivis halieutiques dans le périmètre d'un projet EMR et à son voisinage doivent fournir des indications sur les potentiels effets « réserve » et « récifs » exercés par les installations. Afin de définir les impacts sur la ressource réellement accessible à la pêche professionnelle, ces données peuvent néanmoins être complétées par un suivi des prises dans la zone en fonction des pratiques autorisées.

Le suivi des prises sur les secteurs de report d'activité et l'augmentation de la compétition pour la ressource doit également être considéré. Néanmoins, qu'il s'agisse de suivis halieutiques ou des prises de pêche, la difficulté d'analyse des résultats associée à la variabilité naturelle des stocks doit aussi être prise en compte. L'Ifremer rappelle dans le cadre de son étude sur les connaissances scientifiques relatives aux récifs artificiels (Ifremer, 2008), que la meilleure preuve d'une augmentation de la production serait de démontrer un accroissement durable des captures professionnelles à une échelle régionale ou locale cohérente avec l'importance de l'aménagement.

Concernant l'organisation de l'activité, le suivi pourra porter sur les critères de l'état initial et notamment des routes de pêche à partir des données VMS des CROSS. Ces données sont disponibles sous l'accord de la DPMA et leur traitement permet d'établir des cartes de fréquentation des zones de pêche.

2.3.2 Suivi des impacts sur la navigation maritime

Le suivi des impacts du projet sur la navigation maritime peut consister à caractériser les modifications de l'organisation de l'activité en mer (spatiale et quantitative). Ceci peut se faire à partir des données de localisation des navires, et plus particulièrement des données AIS pour les navires à plus fort tonnage qui en sont équipés.

2.3.3 Suivi des impacts sur le tourisme et les activités de loisirs en mer

Les méthodes mises en œuvre par le gouvernement écossais pour prévoir l'impact de la mise en œuvre d'éoliennes sur le tourisme et présentées dans l'analyse bibliographique peuvent être adaptées au suivi de ces impacts :

- Enquêtes de perception et de satisfaction ;
- Estimation des pertes ou des gains par analyse de l'activité touristique ;
- Estimation des pertes d'aménités paysagère sur la base du consentement à payer.

2.3.4 Suivi des retombées socio-économiques

Voir chapitre spécifique suivant : Evaluation des retombées socio-économiques des projets d'EMR p. 312.

Chapitre 9 - Evaluation des retombées socio-économiques des projets d'EMR

Au-delà des objectifs de réduction des émissions de gaz à effet de serre et de sécurisation des ressources énergétiques, l'émergence des EMR est aujourd'hui l'occasion de créer et de structurer une véritable filière française. Il s'agit d'une occasion pour stimuler l'emploi dans des secteurs diversifiés (industrie, services, recherche et développement) et à des échelles complémentaires (projet, département, région, nation).

1 La notion de chaîne de valeur

La réalisation d'un projet induit en effet, dans différentes proportions, une hausse d'activité sur toute sa chaîne de valeur⁶³. S'il est aujourd'hui délicat de quantifier les emplois futurs susceptibles d'être créés par le développement de la filière EMR en France, on peut néanmoins apprécier le fort potentiel de création d'emploi que ce développement laisse pressentir aux différentes étapes de structuration et d'opération des projets.

La notion de chaîne de valeur est ainsi centrale dans l'évaluation des emplois potentiellement créés par le développement de projets EMR. Les grandes étapes d'une telle chaîne industrielle sont rappelées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 28 : Chaîne de valeurs des EMR

Matière premières
Fabricants de composants
Design et développement
Fabrication
Développement, construction des équipements
Exploitation et maintenance
Démantèlement et recyclage des produits

⁶³ Concept promu par Michael Porter décrivant un ensemble d'activités interdépendantes dont la poursuite permet de créer de la valeur identifiable et, si possible, mesurable. Elle intègre donc toutes les étapes de l'approvisionnement en matières premières à la consommation finale (voire au service après-vente si nécessaire) (Source : Encyclopédie du marketing).

Un rapport de l'EWEA paru en janvier 2009 et portant sur le marché éolien européen estimait ainsi que sur 108 600 personnes employées (emplois directs) par le secteur éolien, 37 % étaient rattachées aux constructeurs d'éoliennes, suivis des fabricants de composants (22 %), des développeurs de projets (16 %) et des opérations d'installation et de maintenance (11 %). On estimait ainsi que trois emplois sur quatre étaient créés dans les pays pionniers de l'éolien terrestre : l'Allemagne (38 000 emplois directs), le Danemark (23 500 emplois directs) et l'Espagne (20 500 emplois directs).

Pour les énergies marines, les phénomènes en jeu diffèrent et on notera notamment qu'au regard de la multiplicité des technologies existantes, une grande diversité peut être attendue quant au contenu de chacun des maillons des chaînes de valeur des différents types d'EMR. A titre d'exemple, les principaux maillons de la chaîne de valeur d'une éolienne en mer sont rappelés ci-après⁶⁴.

⁶⁴ Rapport sur les énergies décarbonnées en 2011, DGEC

Les énergies marines renouvelables, de quoi parle-t-on ?, STX Europe, 2010

<p>Montage du projet</p>	<p>Le montage du projet regroupe l'ensemble des tâches relatives à la recherche et développement, à la prospection, au développement, au financement et à la gestion de projet aboutissant à la conception et à la réalisation du projet. On distingue ainsi :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Les études permettent d'identifier les sites, de connaître la force et la régularité des vents, les caractéristiques géophysiques du sol et du sous-sol marin, la nature des courants, les sensibilités environnementales et socio-économiques. Elles sont donc essentielles à la présélection des sites les plus propices à l'éolien et à la détermination des caractéristiques d'installation les plus adaptées ; • Le suivi financier, administratif et organisationnel mettant en œuvre des compétences financières, juridiques et techniques.
<p>Fourniture des machines</p>	<p>Cette étape comprend la conception, l'industrialisation, la fabrication, l'assemblage et les essais de toutes les pièces et parts qui seront assemblées dans l'éolienne pour former la turbine : pièces de fonderie, brides et couronnes d'orientation, matériels et équipements électriques, pièces mécaniques, freins, nacelles, mâts, pales,...</p>
<p>Fourniture des fondations</p>	<p>Cette étape permet la mise à disposition des structures d'ancrage au fond marin, au travers de phases successives de conception, d'industrialisation et de fabrication. Elle fait notamment appel à des compétences en mécanique des sols marins, en construction métallique, en construction béton, ou encore en travaux maritimes.</p>
<p>Installation et mise en service du parc</p>	<p>Les opérations de montage et d'installation s'articulent autour des phases de préparation (carottage, préparation des fonds, etc.), de transport (approvisionnement des fondations à terre, chargement, transport vers le champ offshore) et d'installation. Elle fait appel à des services d'ingénierie, et aux ports associés aux opérations logistiques.</p>
<p>Raccordement</p>	<p>Le raccordement comprend l'installation de câbles sous-marins, ainsi que la construction de l'infrastructure à terre nécessaire pour accueillir l'électricité produite et l'injecter dans le réseau de distribution. Cette étape fait appel à ces compétences et des moyens techniques et logistiques.</p>
<p>Opération et maintenance</p>	<p>Cette étape s'étend durant toute la durée de vie du parc et comprend notamment le contrôle à distance et les services de maintenance curative et préventive. Elle inclut la fabrication des pièces de rechange, l'approvisionnement en mer de ces pièces, la surveillance et l'accès aux installations, ainsi que la réalisation des opérations de maintenance.</p> <p>Elle suppose notamment la mise en œuvre d'une base logistique à terre et d'un système de contrôle et de surveillance, le recours à des moyens nautiques et aériens et des compétences techniques et logistiques.</p>
<p>Démantèlement et recyclage</p>	<p>Comme pour les opérations de montage et d'installation, cette étape fait appel à des services d'ingénierie, de transport et de logistique nécessaires au démantèlement des machines et à leur transport à terre. Elle inclut également les activités de recyclage nécessaires à l'évacuation des dispositifs.</p>

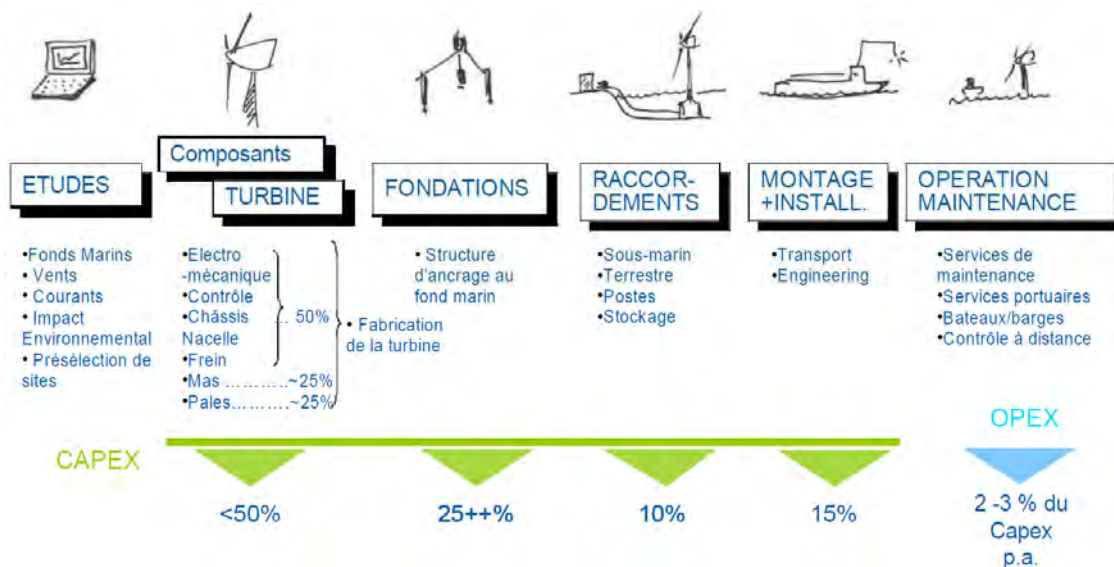
On peut ainsi distinguer deux ensembles essentiels dans la production de valeur ajoutée :

- L'une est la **phase de constitution des projets et de construction des parcs d'EMR**. Les emplois créés sont assez nombreux, évalués selon différentes sources (EWEA⁶⁵, OEA⁶⁶) à 11 emplois par MW installé⁶⁷, mais leur durée est assez courte, de l'ordre de 2 ans pour l'élaboration du projet et de deux à trois ans pour la construction du parc.
- L'autre est la **phase d'exploitation et de maintenance**. Les emplois créés immédiatement après la fin de la phase de construction du parc, sont moins nombreux (de l'ordre de 1 emploi pour 4 MW installés⁶⁷), mais leur durée est beaucoup plus longue (plusieurs décennies).

Le schéma suivant illustre la répartition de la chaîne de valeur en fonction de ces deux phases pour le secteur de l'éolien offshore.

Figure 61 : Chaîne de valeur de l'éolien offshore⁶⁸ (Source : DGEC 2011)

CAPEX = Dépenses d'investissement du capital ; OPEX = Dépenses d'exploitation



⁶⁵ European Wind Energy Association

⁶⁶ Ocean Energy association

⁶⁷ A noter que l'approche linéaire d'évaluation d'emplois créés par MW installé ne prend pas en compte les réaffectations possibles entre les différents secteurs (% de reconversions dans le secteur de la pêche, nouvelle répartition des revenus...), les destructions d'emplois (du fait des restrictions d'usage), ainsi que des emplois induits secondaires indirects (tourisme, services, etc. .) et ne retranscrit ainsi pas fidèlement la réalité globale de l'impact des projets sur l'emploi.

⁶⁸ Hors démantèlement et recyclage

2 Les impacts sur l'emploi local

Lors de la mise en œuvre d'un projet d'énergie renouvelable, les effets sur l'économie locale se décomposent de la manière suivante :

- **Effets primaires directs** : ils témoignent de la valeur ajoutée créée par les entreprises réalisant les travaux. Celles-ci participent directement à la réalisation du projet.
- **Effets primaires indirects** : ils mesurent l'accroissement de la valeur ajoutée créée dans l'économie du fait des besoins de consommation intermédiaires pour les travaux (matériaux, outillages, services,...). De nombreuses entreprises devront augmenter leur production et bénéficieront donc indirectement de la réalisation du projet.
- **Effets induits secondaires directs et indirects** : ils correspondent aux créations de valeurs ajoutées liées à la consommation des revenus distribués. Si la décomposition de la valeur ajoutée fait apparaître une masse importante de salaires distribués, les effets sur la consommation locale en seront d'autant plus grands. Cette distribution de salaire supplémentaire peut avoir lieu dans les entreprises participant directement et indirectement à la réalisation du projet.

La Figure 61 illustre ainsi le fait que les projets d'énergies renouvelables marines sont susceptibles d'affecter une part importante des ressources à des retombées locales, notamment lors des phases d'installation, d'entretien et de démantèlement. Ceci s'explique par le fait que contrairement aux énergies renouvelables terrestres, une grande partie de la chaîne de valeur s'appuie directement sur la main-d'œuvre locale : il est difficile de délocaliser la fabrication des coffrages ou les travaux relatifs à l'atterrage... Ceci est d'autant plus vrai pour les EMR nécessitant d'importants travaux de maintenance sur la durée de vie du parc, comme les hydroliennes par exemple. Les impacts sur l'économie locale dépendront ainsi de :

- la capacité du tissu économique local à fournir la main d'œuvre et les consommations intermédiaires nécessaires,
- la part que représentera le chiffre d'affaire généré par les travaux par rapport au chiffre d'affaire courant des entreprises concernées.

Il est possible qu'une partie de la main d'œuvre et des consommations intermédiaires soient « importées » depuis un autre département ou même une autre région. Dans ce cas, les retombées économiques ne seront pas toutes locales et il y aura une « fuite » de la dynamique économique créée par le projet.

2.1 Analyse de l'emploi local

Objectifs	L'objectif d'une analyse locale de l'emploi est de pouvoir appréhender les emplois susceptibles d'être créés, pérennisés, transformés ou perdus par la mise en place d'un projet d'EMR. L'intérêt de cette information est de pouvoir qualifier le contexte socio-économique dans lequel s'inscrit le projet et de définir la localisation du ou des marchés du travail potentiellement concernés par le projet.
Critères	<p>L'analyse de l'état initial porte sur les caractéristiques de l'emploi telles que le taux d'actifs et d'inactifs, le taux de chômage et les caractéristiques de la population active (structures d'âges, catégories socioprofessionnelles, secteurs d'activités, etc.).</p> <p>L'analyse détaillée des activités industrialo-portuaire est également utile à la réflexion sur les stimulations potentielles du tissu industriel maritime local.</p>
Sources et méthodes d'acquisition	<p>Les données généralistes sur l'emploi peuvent être obtenues auprès de l'INSEE (www.insee.fr). Elles sont disponibles à l'échelle des communes, des départements et des régions. Des analyses de tendances sont possibles et des dossiers spécifiques peuvent être proposés à certaines échelles et pour certains secteurs d'activités. Des données complémentaires sur le tourisme sont par exemple disponibles.</p> <p>Les instances représentatives des divers secteurs d'activités peuvent, lorsqu'elles existent, constituer des sources d'information complémentaires et détaillées (chambres de commerce et d'industrie, comités départementaux des pêches, comités départementaux du tourisme, gestionnaires de ports, etc.).</p>
Echelle d'observation	La dynamique et la structuration particulières des secteurs d'activité professionnelles et les influences potentiellement vastes que les projets d'EMR sont susceptibles d'avoir sur ces secteurs implique de raisonner sur des échelles relativement larges. On pourra se placer à l'échelle intercommunale, départementale voire régionale en fonction des enjeux considérés.

2.2 Eléments de méthodologie pour évaluer les effets sur l'emploi

Compte tenu de la période pendant laquelle est réalisée l'étude d'impact, il est souvent difficile d'obtenir des informations quantitatives et qualitatives concernant le capital humain employé dans le cadre de la réalisation des travaux et de la maintenance du projet puisque les gestionnaires du projet n'ont souvent pas encore, à ce stade du projet, une vision claire et arrêtée de l'organisation future de la main d'œuvre.

Néanmoins, le **porteur de projet reste la meilleure source d'information pour estimer la quantité, la nature et l'origine de la main d'œuvre**. Le caractère stratégique de ces informations peut parfois dissuader le porteur de projet de les divulguer et rendre ainsi la tâche de l'évaluateur plus compliquée. L'évaluation des emplois associés au projet ne doit pas

seulement se faire au niveau de l'exploitant mais également au niveau de toutes les entreprises associées au projet, y compris les services portuaires. Le porteur de projet reste toutefois la meilleure porte d'entrée pour l'accès à ces informations puisque il lui sera nécessaire de connaître les caractéristiques des équipes dont il disposera pour la réalisation des travaux.

Un simple comptage des emplois générés par le projet n'est pas pertinent pour **qualifier les impacts** de ce dernier **sur le marché du travail local**. Il est préférable de fournir une méthode globale et transposable d'évaluation d'impact sur l'emploi à l'échelle d'un projet, tant en termes qualitatifs que quantitatifs, à travers une approche d'analyse par chaîne de valeur.

L'approche classique analyse de l'état initial / analyse prévisionnelle des impacts / suivi des impacts ne semble pas pertinente au regard des différentes échelles d'observations et des disparités des procédés pouvant être mis en œuvre. En se plaçant à l'échelle du projet, une évaluation décomposée de la manière suivante est proposée ici :

1. **Analyse de la chaîne de valeur,**
2. **Etude des besoins en emplois,**
3. **Analyse prévisionnelle des impacts,**
4. **Synthèse des impacts sur les emplois.**

Analyse complète de la chaîne de valeur

Cette analyse liste les différentes phases du projet, des études jusqu'au démantèlement. Elle nécessite un niveau de détail important puisqu'elle conditionne l'ensemble de la suite du travail. A ce titre, les éléments présentés pour l'éolien en mer dans le cadre de l'appel d'offres de la CRE peuvent servir de base de réflexion (§ 3.2., p.9.)⁶⁹. On pourra distinguer les dépenses d'exploitation (OPEX) et les dépenses d'investissement de capital (CAPEX) comme mentionné dans le rapport DGEC sur les énergies décarbonnées en 2011 et présenté sur la Figure 61. A ce stade, le porteur de projet reste évidemment la meilleure et l'unique source d'information dans la mesure où lui seul maîtrise son procédé.

Etude des besoins en emploi

Pour chaque élément de la chaîne de valeur, le porteur de projet fournira des éléments concernant la typologie de l'emploi concerné en partant de ses besoins.

⁶⁹ <http://www.cre.fr/documents/appels-d-offres/appel-d-offres-portant-sur-des-installations-eoliennes-de-production-d-electricite-en-mer-en-france-metropolitaine>

C'est à dire qu'à ce stade, l'opérateur ne présuppose pas *a priori* de l'origine de l'emploi (sauf dans le cas d'activités portées directement par l'exploitant et non sous-traitées.) Il pourra par exemple indiquer (liste non exhaustive) :

- la nature de l'emploi et le niveau de qualification requis ;
- le nombre d'emplois concernés ;
- la durée de mobilisation ;
- le type de contrat envisagé ;
- l'échelon géographique de la demande ;
- les besoins en services supports ;

L'appel d'offres de la CRE offre également des pistes intéressantes dans ce domaine (§ 3.3.3., p.12)

Analyse prévisionnelle des impacts

Le premier objectif est d'analyser l'état initial au regard des besoins identifiés précédemment. Par exemple, si le porteur de projet a identifié un besoin de *n* coffreurs sur un périmètre donné, il se renseignera sur l'état initial de ce secteur. Il pourra notamment s'intéresser aux spécialistes déjà disponibles sur le secteur, à ceux disponibles sur les secteurs adjacents, aux possibilités de former des personnels dans les délais impartis, etc. Cette étude contribuera ainsi à alimenter la réflexion sur les mesures envisagées pour faire se rencontrer l'offre et la demande.

La seconde partie consistera pour le porteur de projet à étudier différents scénarios permettant de répondre à ses besoins compte tenu des contraintes et opportunités locales. Si on reprend l'exemple précédent concernant un besoin en coffreurs, le porteur de projet pourra développer différents schémas, comme la possibilité de former des gens sur place ou a contrario d' « importer » de la main-d'œuvre. Pour chaque scénario, il évoquera les impacts en termes de développement local, de disponibilité, de coût de mise en œuvre, etc. Dans un second temps, il sera important de considérer l'ensemble des impacts de manière synthétique et de mettre en lumière leur effet cumulatif afin de choisir le scénario le plus équilibré.

Synthèse des impacts sur les d'emplois

Afin de faciliter la lecture, une première entrée sous forme de tableau rappelant pour chaque élément de la chaîne de valeur le type d'emploi concerné, l'effectif, les modalités d'adaptation, etc. semble la plus pertinente. On pourra en outre faire apparaître les acteurs impliqués ainsi que les besoins en services support (instituts de formation, centres d'emploi, collectivités...).

Cette forme facilitera également le suivi tout au long du projet jusqu'au démantèlement, à travers une revue des emplois directs générés. Concernant les emplois indirects, on pourra estimer les pertes ou gains d'activité (dans le tourisme, la restauration, les autres services...).

Conclusions

1 Amélioration des connaissances et retours d'expériences

Etant donné l'état d'émergence du secteur industriel des EMR, le recul sur certains impacts environnementaux et socio-économiques des installations à l'échelle de projets est aujourd'hui limité. Malgré des retours d'expérience naissants de projets éoliens offshore engagés à l'international et des retours d'expérience provenant d'autres secteurs d'activité industrielle, de nombreuses questions restent en suspens. Qu'il s'agisse d'impacts ou de mesures d'intégration, **les connaissances sur certaines thématiques méritent aujourd'hui d'être approfondies vis-à-vis des configurations spécifiques des technologies considérées.**

Les suivis ciblés et pertinents sur des projets pilotes, les investigations spécifiques et les retours d'expériences des premières réalisations sont cependant des étapes essentielles pour mieux appréhender les impacts positifs ou négatifs potentiellement associés à ces technologies.

Ainsi, le déploiement d'installations en mer est une condition préalable essentielle à ces études et l'acquisition de connaissances. Dès lors, l'application du principe de précaution doit davantage conduire à définir des axes d'investigation privilégiés pour optimiser l'intégration environnementale et socio-économique des installations d'EMR, que retarder le développement d'énergies renouvelables essentielles à la lutte contre l'effet de serre et le changement climatique et constituant une véritable opportunité d'essor économique.

En passant en revue les connaissances existantes sur les impacts environnementaux et socio-économiques des EMR, cette étude a permis d'identifier les besoins particuliers d'information récapitulés dans le tableau suivant.

Afin de faciliter le partage des retours d'expérience et d'améliorer l'efficacité des réflexions sur ces thématiques spécifiques et l'intégration environnementale et socio-économique des EMR en général, il pourrait être intéressant de disposer d'une **base nationale de collecte et de traitement des données des suivis** scientifiques sur l'impact des EMR, dont le contenu serait normalisé.

Elle suppose la réalisation d'un travail préalable de réflexion sur les possibilités de standardisation des protocoles d'étude et de suivi et sur les limites d'adéquation des résultats entre eux, compte-tenu des spécificités techniques et géographiques de chaque projet.

	Effet	Principaux éléments de connaissances à approfondir ou axes de réflexion
Environnement	Bruit	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Caractéristiques des bruits émis par les différentes technologies et les opérations de mise en œuvre associées. ➤ Sensibilité des espèces marines et plus particulièrement des mammifères marins et des poissons à ces bruits.
	Electro-magnétisme	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Caractéristiques des champs électromagnétiques générés par les câbles de transport d'électricité d'installations EMR. ➤ Sensibilité des espèces marines, notamment par rapport à leur orientation et leurs activités de déplacement vis-à-vis de maillages électromagnétiques potentiellement vastes.
	Rejets de PAC, SWAC ou ETM	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Sensibilité de la colonne d'eau à des rejets de température différente et potentiellement chargés en nutriments (pompages profonds) : <ul style="list-style-type: none"> • effets directs sur les paramètres physico-chimiques et sur les peuplements phytoplanctoniques ; • effets indirects sur les peuplements halieutiques et sur la santé.
	Présence physique des installations	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Potentiel de soutien des ressources halieutiques et des écosystèmes en général par l'effet récif et l'effet réserve. ➤ Risque de collision des mammifères marins avec les dispositifs immergés statiques ou dynamiques (pâles d'hydroliennes, câbles d'ancrage d'installation ancrées, etc.). ➤ Risque d'effet barrière en milieu sous-marin et aérien lié à la présence des installations.
Activités et usages	Pêche professionnelle	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Etats des lieux complets à une échelle adaptée à une évaluation fine des impacts sur les activités de pêche. ➤ Méthodes adaptées pour estimer les pertes générées par les installations d'EMR sur les différentes pêcheries
	Activités aquacoles	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Conditions de développement d'activités aquacoles associées aux infrastructures marines des EMR.
	Paysages maritimes et tourisme	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Perfectionnement des enquêtes sociologiques et économétriques pour mesurer l'acceptation des EMR notamment au regard de leurs atteintes aux aménités paysagères et des retombées économiques en particulier sur le tourisme (avant et pendant l'exploitation).

2 Enjeux de développement et gouvernance

Les objectifs ambitieux de développement des énergies marines renouvelables en France soulèvent de nouveaux enjeux de gestion intégrée des zones côtières. Si les réflexions soulignées dans cette étude à l'échelle des projets sont indispensables, elles font régulièrement ressortir le besoin de mener une réflexion parallèle à l'échelle stratégique des régions et des façades maritimes.

De nombreux enjeux s'inscrivent en effet dans le cadre de ces échelles plus larges, et notamment les enjeux d'impacts cumulatifs de projets EMR entre eux ou avec d'autres projets sur des composantes environnementales et socio-économiques telles que la migration des oiseaux, les aires de répartition des mammifères marins, les effets récifs et réserve, les activités de pêche, de navigation et de loisirs, l'emploi...

Ainsi, alors qu'il est attendu des maîtres d'ouvrage qu'ils adoptent une démarche environnementale et socio-économique exemplaire à l'échelle des projets et qu'ils mettent en œuvre d'importants efforts pour ce faire, il est indispensable qu'ils soient accompagnés d'actions stratégiques qui nourrissent les réflexions sur l'intégration de leur projet à l'échelle des territoires.

Comme tous les projets stratégiques, les EMR nécessitent une implication des acteurs locaux et donc la mise en place d'une concertation et d'une gouvernance appropriées.

Bibliographie

	February 2006	Offshore wind farms and fishing Framework for dialogue between the fishing and wind farm industries on how to assess the value of fishing activities and any disruption or displacement caused to them by wind farm developments.
ABIES BIOTOPE	Septembre 2010	Cas des études oiseaux et chauves-souris pour les projets éoliens offshore. Projet des Deux Côtes. Séminaire National LPO -Eolien & Biodiversité -16 septembre 2010 à Reims
ADEME	Juillet 2009	Appel à démonstration énergies marines. Démonstrateurs de recherche en nouvelles technologies de l'énergie (NTE). Energies marines. Edition 2009. 30 p.
ADEME	Non daté	Quelques éléments de retour d'expérience sur l'éolien (fixe) en mer. Concertation sur les énergies marines (Pays de la Loire) 3 p
ADEME	2011	Les actions de l'ADEME pour la concertation
ADEME / MEEDDAT / SER-FEE A. de Seynes	?	De l'inventaire des connaissances à la définition de protocoles de suivi des oiseaux en mer en prévision du développement des parcs éoliens offshore. Programme national éolien-biodiversité. 45 p.
ADEME ENDA	2010	Climat et développement entre stratégie locale et gouvernance internationale
ADEME SER-FEE	2010	Projet Windustry : L'éolien se tourne vers les savoir-faire industriels français Rapport d'étape de l'action menée entre novembre 2009 et février 2010. CAPGEMINI
ADEME Bonnefoi S. et al.	2002	Eoliennes en mer et maîtrise foncière : Eléments juridiques
AE COPING	2010	Environmental effects of marine and hydrokinetic devices
Agence Nationale des Fréquences	2007	Guide sur la problématique de la perturbation du fonctionnement des radars par les éoliennes.
Agence nationale des fréquences		Perturbations du fonctionnement des radars fixes maritimes, fluviaux et portuaires par les éoliennes. Commission Consultative de la Compatibilité Electromagnétique. Rapport CCE5 n°3, 36 p ;
AIPCN.		Interaction entre les parcs éoliens en mer et la navigation maritime. Termes de Référence, MarCom GT 161.
Andersson M.	2011	Offshore wind farms - Ecological effects of noise and habitat alteration on fish. Department of Zoology, Stockholm University, 48 p.
Andersson M. and al.	2009	Epibenthic colonisation of concrete and steel piling in a cold temperate embayment a field experiment. <i>Helgoland Marine Research</i> 63, 3 (2009) 249-260
André M et al.	2011	Low-frequency sounds induce acoustic trauma in cephalopods. <i>Front Ecol Environ</i> 2011; doi:10.1890/100124
Anonymous	February 2006	Offshore wind farms and fishing Framework for dialogue between the fishing and wind farm industries on how to assess the value of fishing activities and any disruption or displacement caused to them by wind farm developments, 4 p.
ARER Hoarau M.	2009	Note d'opportunités sur l'Energie Thermique des Mers et la valorisation de l'eau froide profonde au Port, 82 p.
ARER L. Gautret et M. Corre-Labat	Mars 2010	Les projets Energies de la Mer en cours à l'île de La Réunion
ARER L. Gautret et M. Hoarau	2010	Les énergies de la mer à l'île de La Réunion
ASCOBANS	February 2008	Offshore wind farms and marine mammals impacts and methodologies for assessing impacts. Proceedings of the ASCOBANS / ECS Workshop. ECS Special Publication Series n°49
BERR Department for Business Enterprise and Regulatory Reform	January 2008	Review of cabling techniques and environmental effects applicable to the offshore wind farm industry. Report. In association with DEFRA
BERR Department for Business Enterprise and Regulatory Reform	January 2008	Review of reef effects of offshore wind farm structures and potential for enhancement and mitigation. Report. In association with DEFRA

BIOCONSULT	2006	Benthic Communities at Horns Rev before during and after construction of horns rev offshore wind farm
BIOCONSULT	2006	EIA report marine mammals Horns rev 2 offshore wind farm
BIOCONSULT SH Brandt M., Diederichs A. and A. Nehls	February 2009	Harbour porpoises responses to pile driving at the horns Rev II offshore wind farm in the Danish north sea. Final Report to DONG Energy.
BIOCONSULT SH and Institute for applied Physics, Germany Diederichs A.	2011	Testing the effects of an acoustic harassment device on the behaviour of harbour porpoises (<i>Phocoena phocoena</i>)
Blaydes Lilley M., J. Firestone and W. Kempton	2010	The Effect of Wind Power Installations on Coastal Tourism <i>Energies</i> 2010, 3, 1-22
Blyth-Skyrme R., Ichthys Marine Ecological Consulting Ltd		Developing guidance on fisheries cumulative impact assessment for windfarm developers, 7 p.
Boehlert G.W. and A. Gill	2010	Environmental and ecological effects of ocean renewable energy development - A current synthesis. <i>Oceanography</i> Vol. 23, No.2 81 p.
Brest métropole océane	Février 2010	Impact emploi-formation des projets d'énergies marines renouvelables. INFOREM, Observatoire Emploi-Formation
British Wind Energy Association (BWEA)	May 2006	The impact of wind farms on the tourist industry in the UK. Prepared by the British Wind Energy Association (BWEA) For the All-Party Parliamentary Group on Tourism, 23 p.
British Wind Energy Association (BWEA),	2007.	Investigation of Technical and Operational Effects on Marine Radar Close to Kentish Flats Offshore Wind Farm. MARICO Marine (steering group : BWEA, the Department of Trade and Industry (DTI), the Maritime and Coastguard Agency (MCA) and the Port of London Authority (PLA).
BSH (Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie)	2007	Standard Investigation of the impacts of offshore wind turbines on the marine environment, 56 p.
Buck, B., Krause, G. and H. Rosenthal	2004.	Extensive open ocean aquaculture development within wind farms in Germany : the prospect of offshore co-management and legal constraints. <i>Ocean and Coastal management</i> 47 (2004) 95-122.
Bureau de coordination énergie éolienne / Koordinierungsstelle Windenergie e.V.	Février 2007	Étude de l'impact des éoliennes en mer sur le milieu marin. Office fédéral allemand pour la navigation maritime et l'hydrographie
Bureau de coordination énergie éolienne / Koordinierungsstelle Windenergie e.V.		Rapport environnemental Chapitre 4 : « Description et évaluation des effets prévus »
Buridan L.	Non daté	Les conditions d'implantation des parcs éoliens en mer. Cabinet SK & Partner. <i>Lettre des Juristes de l'Environnement</i>
BWEA	May 2006	Impact of windfarms on the tourist industry in UK. Prepared by the British Wind Energy Association (BWEA) for the All-Party Parliamentary Group on Tourism
Carlier, A., Delpech, J.-P.,	2011.	Impacts des câbles sous-marins sur les écosystèmes côtiers. Cas particulier des câbles électriques de raccordement des parcs éoliens offshore (compartiments benthiques et halieutiques). Rapport Ifremer RST - DYNECO/EB/11-01/AC. 59 pp.
CARSTENSEN J., O.D. Henriksen and J. Teilmann	2006	Impacts of offshore wind farm construction on harbour porpoises : acoustic monitoring of echo-location activity using porpoise detectors. <i>Marine Ecology Progress Series</i> , vol. 321 : 295-308.
CEE	2010	Marine ecosystem impacts of wave energy installations
CEFAS	2006	Socio-economic impacts on marine fisheries
CEFAS	2006	Socio-economic impacts on marine fisheries
CEFAS		Underwater noise – offshore wind impacts in the context of wider issues identified by OSPAR (and others)
CEFAS Judd A. and L. Murray		The Environmental Impact of Offshore Wind Farms (PPA)
CESR	2009	Des énergies marines en Bretagne : A nous de jouer ! 320 p.
CETMEF	Juin 2010	Canalisations et câbles sous-marins état des connaissances et préconisations relatives à la pose, au suivi et à la dépose de ces ouvrages sur le domaine public maritime.
CETMEF	Mars 2010	Note sur le balisage éolien offshore CETMEF/DSANM/MAN-05/09/07-rev 24/03/2010
Chriqi R.	2004	Evaluation des gisements énergétique renouvelable (éolien, solaire, hydroélectrique) Thèse Doctorat. Université Abdelmalek Essaadi. Faculté des Sciences et techniques de Tanger.

Comfort C. and L. Vega	August 2011	Environmental Assessment of Ocean Thermal Energy Conversion in Hawaii. Available data and a protocol for baseline monitoring. Hawaii National Marine Renewable Energy Center, Hawaii Natural Energy Institute University of Hawaii at Manoa Honolulu, HI; 8 p.
Comité National des Pêches Maritimes et des Elevages Marins	2011	Position des Comités Régionaux et du Comité National des Pêches Maritimes et des Elevages Marins à l'égard du développement des énergies renouvelables en mer, 6 p.
Comité Régional des pêches maritimes et élevage de la réunion	Avril 2009	Avis sur le projet de central houlomotrice Pelamis-Seawatt. 3 p.
Commission of the European Communities	June 2009	EQUIMAR. Equitable Testing and Evaluation of Marine Energy Extraction. Devices in terms of Performance, Cost and Environmental Impact. Deliverable D6.3.1. Uncertainties regarding environmental impacts.
COWRIE	January 2007	Historic Environment Guidance for the Offshore renewable Energy sector. Wessex Archeology
COWRIE	July 2003	A baseline assessment of electromagnetic fields generated by offshore windfarm cables. Prepared by Centre for Marine and Coastal studies, Centre for Intelligent Monitoring Systems Applied and Ecology Research Group (All University of Liverpool) & Econnect LTD°
COWRIE	2009	Developing guidance on ornithological cumulative impact assessment of offshore wind farm development
COWRIE Gill, A.B. and <i>al.</i>	2009	COWRIE 2.0 Electromagnetic Fields (EMF). Phase 2EMF sensitive fish response to EM emissions from sub-sea electricity cables of the type used by the offshore renewable energy industry. 68 p.
COWRIE	January 2008	Guidance for assessment of cumulative impacts on the historic environment from offshore renewable. Oxford Archaeology with George Lambrick Archaeology and Heritage, 19 p.
COWRIE	2010	Marine conservation zones and windfarm co-location
COWRIE	2009	Review Marine Surveys With Hedef Annex 2009 FINAL
COWRIE Blyth-Skyrme, R.E.	2010	Options and opportunities for marine fisheries mitigation associated with windfarms. Final report for Collaborative Offshore Wind Research Into the Environment contract FISHMITIG 09. COWRIE Ltd, London. 125 pp.
COWRIE	2010	Windfarms and Fisheries Mitigation_final report Final report for COWRIE. Ichthys marine Contract FISHMITIG09, 122 p.
COWRIE Burt, M.L., E. Rexstad and S.T. Buckland.	2009	Comparison of visual and digital aerial survey results of avian abundance for Round 3, Norfolk Region, 32 p.
COWRIE Diederichs A. and <i>al.</i> ,	2008	Methodologies for measuring and assessing potential changes in marine mammal behaviour
COWRIE Dr. Rob Blyth-Skyrme	2010	Fisheries cumulative impacts assessment short report.
COWRIE Frank Thomsen F., K. Lüdemann, R. Kafemann and W. Piper	June 2006	Effects of offshore wind farm noise on marine mammals and fish. 60 p.
COWRIE Gill A.	2011	Field scale experiments to assess the effects of offshore wind farms on marine organisms (PPA)
COWRIE Gordon J. and <i>al.</i>	2007	Assessment of the potential for acoustics deterrents to mitigate the impact on marine mammals - offshore windfarms.
COWRIE Mueller-Blenkle C. and <i>al.</i>	March 2010	Effects of pile driving noise on the behaviour of marine fish. COWRIE Ref: Fish 06-08, Technical Report 31st, 57 p.
COWRIE Nedwell J., J. Langworthy & D. Howell	May 2003	Assessment of sub-sea acoustic noise and vibration from offshore wind turbines and its impact on marine wildlife; initial measurements of underwater noise during construction of offshore windfarms, and comparison with background noise. Report No. 544 R 0424.
COWRIE Nedwell J.R. and <i>al.</i>	2007	Measurement and interpretation of underwater noise during construction and operation of offshore windfarms in UK waters.
COWRIE Walls R.	2009	Revised best practice guidance for the use of remote techniques for ornithological monitoring at offshore windfarms.
COWRIE CIBIRD King S., I. Maclean, T. Norman and A. Prior	June 2009	Developing Guidance on Ornithological Cumulative Impact Assessment for Offshore Wind Farm Developers. 24 p.
COWRIE MCZFISH 2010 Blyth-Skyrme, R.E.	March 2011	Benefits and disadvantages of co-locating windfarms and marine conservation zones, with a focus on commercial fishing.
COWRIE Blyth-Skyrme R.		Benefits and disadvantages of co-locating wind farms and marine conservation zones, with a focus on commercial fishing, 37 p.
COWRIE		Developing guidance on fisheries cumulative impact assessment

Blyth-Skyrme R.		for windfarm developers. Ichthys Marine Ecological Consulting Ltd, 7 p.
COWRIE MacLean I.M.D.	May 2009	A review of Assessment methodologies for Offshore Wind Farms.
COWRIE Nehls G. and al.	September 2007	Assessment and costs of potential engineering solutions for the mitigation of the impacts of underwater noise of windfarm construction. 47 p.
COWRIE R. Kastelain and al.	July 2010	Acoustic mitigation devices to deter marine mammals from pile driving areas at sea : audibility and behavioural response of a harbour porpoise and harbour seals. Ref: SEAMAMD-09/SEAMARCO Ref: 2010/03, Technical report.
COWRIE Thaxter C. and N. Burton	2009	High definition imagery for surveying seabirds and marina mammals : a Review of Recent Trials and Development of Protocols. British Trust for <i>Ornithology</i> , 28 p.
COWRIE Thaxter C. and N. Burton	November 2009	High Definition Imagery for Surveying Seabirds and Marine Mammals : A Review of Recent Trials and Development of protocols.
COWRIE, Nedwell J.R. and A.G.Brooker	2008	Measurement and assessment of background underwater noise and its comparison with noise from pin pile drilling operations - SeaGen -
CREDOC	2008	Les retombées économiques et les aménités des espaces naturels protégés. Rapport général. Etude réalisée pour les Parcs Nationaux de France. Collection des rapports n°255, novembre 2008, 132 pp.
CRPMEM de la Réunion	2009	CR Rencontre CRPMEM ARER DCNS Projet ETM.
CRPMEM de la Réunion	2009	Réponse-Pelamis.
CRPMEM de la Réunion	2009	Avis du CRPMEM sur le projet PELAMIS-Seawatt.
CRPMEM de la Réunion	2010	CR Commission « Aménagement Zone Côtière et Environnement » PELAMIS SEAWATT.
CRPMEM de la Réunion	2011	CR Commission « Aménagement Zone Côtière et Environnement » PELAMIS SEAWATT.
CRPMEM de la Réunion	Septembre 2009	Rencontre CRPMEM ARER/DCNS : Projet « Energie Thermique des Mers »
CRPMEM de la Réunion D. Guyomard et S. Hohmann	Septembre 2010	Commission « Aménagement Zone Côtière et Environnement ». Présentation du projet PELAMIS énergie de la houle à Saint-Pierre par la société SEAWATT
CRPMEM de la Réunion D. Guyomard.	Janvier 2011	Point sur les énergies marines
Dachicourt P.-G. Président du Comité national des pêches maritimes et des élevages marins	Octobre 2008	Conflits d'usage entre la pêche professionnelle et les parcs éoliens en mer
Dagorne C.	2004	L'éolien offshore en Europe : état des lieux, politiques, impacts. Université de Lyon Université lumière Lyon 2 Institut d'Études Politiques de Lyon 107 pages.
Danish Energy Authority	2005	Offshore Windpower-Danish Experience and Solutions
Danish Energy Authority	October 2005	Offshore Wind Power Danish Experiences and Solutions, 36 p.
Danish Energy Authority	November 2006	Offshore Wind Farms and the Environment. Danish Experiences from Horns Rev and Nysted. 41 p.
Danish Forest and Nature Agency Ministry og the Environment Denmark Ragborg A.	?	Offshore wind farms in Denmark
DAVIS A.E.	2010	Potential impacts of ocean energy development on marine mammals in Oregon. College of Oceanic and Atmospheric Sciences, Oregon State University, 25 p.
DCNS	2008	Projet de filière ETM à la Réunion. Fiche de communication
Department of Environment RRA	2005	Nature Conservation Guidance on Offshore Windfarm Development
Department of Natural Resources Gill A.	April 2010	Rhode Island Ocean SAMP- European Fisheries & Offshore Wind Farms. Expert Advice & Guidance. Final Report
DET NORSKE VERITAS	January 2003	Risk Management in Marine and Subsea Operations. 54 p.
DIEDERICHS	2011	Testing the effects of an acoustic harassment device on the behaviour of harbour porpoises

Directorate - General of Public Works and Water Management. National Institute for Coastal and Marine Management / RIKZ Jarvis S.	February 2004	North Sea Wind Farms: NSW. Lot 1 Benthic Fauna. Final Report
Dong Energy Brandt M., A. Diederichs and G. Nehls	February 2009	Harbour porpoise responses to pile driving at the Horns Rev II offshore wind farm in the Danish North Sea, 65 p.
Dong Energy, Vattenfall, Danish Energy Authority, Danish Forest and Nature Agency	?	Danish offshore wind Key. Environmental Issues. 142 p.
DREAL Basse Normandie	2011	Synthèse bibliographique des impacts générés par les exploitations offshore sur les mammifères marins
DREAL Bretagne	2010	Avis de l'autorité environnementale sur le projet de parc démonstrateur d'hydroliennes sur le site de Paimpol-Bréhat (22) développé par EDF SA
DTU, S. B. Leonhard, C. Stenberg and J. Støttrup	2011	Effect of the Horns Rev 1 Offshore Wind Farm on Fish Communities Follow up Seven Years after Construction. DTU Aqua Report No 2462011, 99 pp.
Dupilet, D.	Avril 2001	Le règlement des conflits d'usages entre pêche professionnelle et autres activités. Rapport à Monsieur le Premier Ministre, 57 p.
Dutch National Institute for Coastal and Marine Management of the Ministry of Transport, Public Works and Water Management ALTERRA Leopold M.F.	2004	NSW Base line studies Lot 5. Marine birds in and around the future site Nearshore Windfarm (NSW)
ECOFYS Wiersma F. and al.	2011	State of the Offshore Wind Industry in Northern Europe Lessons Learnt in the First Decade, 104 p.
Ecole Centrale de Nantes. Projet SEM	Octobre 2010.	REV. Dossier de demande d'autorisation au titre de la loi sur l'eau. CREOCEAN, Ecole Centrale de Nantes. Projet SEM
ECON	August 2005	Annual report 2004. Sociological Investigation of the Reception of Nysted Offshore Wind Farm, 23 p.
ECONORTHWEST	2009	Economic impacts of wave energy to Oregon's economy
ECOSERVE	April 2000	Assessment of Impact of Offshore Wind Energy Structures on the Marine Environment. Prepared for The Marine Institute by Byrne Ó Cléirigh Ltd, Ecological Consultancy Services Ltd (EcoServe) School of Ocean and Earth Sciences, University of Southampton. Main Report
ECRIN Groupe de Travail Énergies Alternatives	Non daté	Energies des mers.
EDF	2010	Projet d'installation d'un parc démonstrateur d'hydroliennes sur le site de Paimpol-Bréhat avec raccordement au réseau de distribution publique d'électricité au moyen d'un poste de livraison d'énergie situé à terre. Note de présentation globale du projet
EDF Abonnel, C.	2010	Énergies renouvelables marines. Étude de cas : l'hydrolien. Le projet de parc pilote préindustriel de Paimpol-Bréhat. Marché et volonté politique.
EEA	2009	Europe's onshore and offshore wind energy potential
ELSAM ENGINEERING	2004	Annual status report Nysted offshore wind farm environmental monitoring program, 2003. 73 p.
ELSAMPROJEKT Danish Institute for Fisheries Research Department of Marine Fisheries	May 2000	Effects of marine windfarms on the distribution of fish, shellfish and marine mammals in the Horns Rev area. 42 p.
EMEC	2005	Environmental impact assessment guidance for developers, 18 p.
ENERGI E2	July 2006	EIA Report Marine Mammals Horns Rev 2 Offshore Wind Farm. 82 p.
ENERGI E2	April 2006	EIA Report Fish Horns Rev 2 Offshore Wind Farm. 68 p.
ENERGI E2	July 2006	EIA Report Benthic communities. Horns Rev 2 Offshore Wind Farm
ENERGI E2	October 2005	Annual status report Nysted offshore wind farm. Environmental monitoring program - 2004

ENERGIE2	July 2006	Benthic Communities at Horns Rev before during and after construction of horns rev offshore wind farm. 51 p.
ENERGIE2	2009	Harbour porpoises responses to pile driving at the Horns Rev offshore wind farm in the Danish north sea.
ENERGIES	2010	The Effect of Wind Power Installations on Coastal Tourism.
Energinet.dk	December 2009	Anholt Offshore Wind Farm Tourism and Recreational Activities. 32 p.
Energy Unit, South Pacific Applied Geoscience Commission	March 2001	Ocean Thermal Energy Conversion and the Pacific Islands. SOPAC Miscellaneous Report 417
ENERTRAG	2011	Exploitation des énergies marines
EON	June 2007	Rodsand 2 offshore wind farm EIA summary, 16 p.
EQUIMAR Moura A., T. Simas and <i>al.</i>	December 2010	Equitable Testing and Evaluation of Marine Energy Extraction Devices in terms of Performance, Cost and Environmental Impact : Scientific guidelines on Environmental Assessment
EQUIMAR Villate J-L. an <i>al.</i>	2009	Equitable Testing and Evaluation of Marine Energy Extraction Devices in terms of Performance, Cost and Environmental Impact : recommendations for other sectors, 25 p.
Etat français / Commission d'enquête	2010	Rapport relatif à l'enquête publique sur le projet d'implantation d'un parc démonstrateur d'hydroliennes sur le site de Paimpol-Bréhat
EUROPEAN COMMISSION	2010	Wind energy developments and Natura 2000. Guidance Document.
EUROPEAN COMMISSION	2011	2011 Technology Map of the European Strategic Energy Technology Plan
European Environment Agency	2009	Europe's onshore and offshore wind energy potential : An assessment of environmental and economic constraints. EEA Technical report No 6/2009, 85 p.
FFESSM	2011	Guide de la FFESSM pour le développement durable 2011 "Pour des activités subaquatiques responsables"
Foden, J., Rogers, S., Jones, A.,	2011	Human pressures on UK seabed habitats : a cumulative impact assessment. <i>Mar. Ecol. Prog. Ser.</i> 428, 33-47
France Energies Marines	Septembre 2011	Eolien offshore, Hydrolien, Marémoteur, Houlomoteur, Energie thermique des mers. <i>Clean Tuesday</i> , 13 septembre 2011.
Gaillard Y.	2010	Archéologie subaquatique et sous-marine : un havre abrité de la rigueur ? Rapport d'information n° 109 (2010-2011) déposé le 16 novembre 2010. Commission des finances du Sénat.
Garthes S. and O. Hüppop	2004	Scaling possible adverse effects of marine wind farms on seabirds: developing and applying a vulnerability index. <i>Journal of Applied Ecology</i> 2004-41 : 724-734
Gautier G.	Décembre 2010	Rapport Energies Marines Renouvelables : Emplois, Compétences, Formation. Quelles perspectives d'avenir ? Présenté par Madame le Sénateur Gisèle Gautier, Rapporteur M. Henri Boyé (Conseil Général de l'Environnement et du Développement Durable)
GECC Groupe d'études des Cétacés du Cotentin	2011	Synthèse bibliographique des impacts générés par les exploitations offshore sur les cétacés. DREAL Basse Normandie, 51 p.
GESAMT		Wind energy - The facts.
Geziry	2010	Environmental impact assessment and process simulation of the tidal current energy resource in the Strait of Messina.
Gill, A. B.	2011	Field scale experiments assess the effects of offshore wind farms on marine organisms. Cranfield University, COWRIE, CEFAS, CIMS, CMACS, Stockholm University, Cornwall College.
Gill, A. B.		Rhode Island Ocean SAMP - European Fisheries & Offshore Wind Farms Expert Advice & Guidance. Final Report. Natural Resources Department. School of Applied Sciences. Cranfield University, 17 p.
Global Chance	2002	Les énergies renouvelables et le développement durable. Cahiers n° 15 – Février 2002.
Gordon C.	2011	New Technologies for offshore wind wildlife studies.
Grecian W. J. and <i>al.</i>	2010	Potential impacts of wave-powered marine renewable energy installations on marine birds. <i>Ibis</i> (2010), 152, 683-697.
Harrelson M.E. and <i>al.</i>		Thermal effects. <i>Journal WPCF</i> , vol. 56, n°6.

Howard M. and C. Brown.	2004	Results of the electromagnetic investigations and assessments of marine radar, communications and positioning systems undertaken at the North Hoyle wind farm by QinetiQ and the Maritime and Coastguard Agency QINETIQ/03/00297/1.1 MCA MNA 53/10/366, 15 November 2004.
Henderson A.	2003	Offshore Wind Energy in Europe— A Review of the State-of-the-Art <i>Wind Energ.</i> 2003; 6:35–52
Hildebrand	2009	Anthropogenic and natural sources of ambient noise in the ocean.
HK OFFSHORE WIND LIMITED	2006	Hong Kong Offshore Wind Farm.
HUERTAS OLIVARES	2011	SOWFIA Catalogue of wave energy test centres and review of national targets.
ICHTHYS Marine	2009	Option and opportunities for marine fisheries mitigation associated with windfarms : Summary report, 5 p.
ICOE International Conference on Ocean Energy	2008	Ocean thermal energy conversion.
ICOE VILLATE RICCI	2008	EQUIMAR Devices in terms of performance cost and environmental impact.
IEA Renewable Energy Technology Development	February 2011	Accelerating the deployment of offshore renewable energy technologies. Mott MacDonald, 174 p.
IECS	2004	NSW Lot 1 Benthic Fauna. Final Report.
IFREMER	Juin 2006	Energies renouvelables marines en Europe. Etude bibliographique exploratoire sur les outils de gestion stratégiques des zones côtières et sur les données relatives aux impacts environnementaux liés au développement des énergies renouvelables en mer en Europe. Convention ADEME n°0505C0088, 301 p.
IFREMER	2008	Les énergies marines renouvelables - Synthèse d'une étude prospective à l'horizon 2030, 34 p.
IFREMER	2006	EMR en Europe, outils de gestion stratégique des zones côtières et impacts environnementaux.
IFREMER Delpech J.-P. et R. Kalaydjian	Non daté	L'éolien en mer : impacts environnementaux et acceptation sociale.
IFREMER Yann-Hervé DE ROECK		Energies marines : quelles perspectives pour l'Aquitaine ?
IFREMER G. Véron et al.	2008	Les récifs artificiels : Etat des connaissances et recommandations. Direction de la Prospective et de la Stratégie Scientifique, Direction des Relations Internationales, 25 p.
IFREMER R. Kalaydjian	octobre 2004	Energie renouvelable marine : l'estimation des impacts économiques SEA TECH WEEK Brest.
IMARES	2010	OWEZ Residence time and behaviour of sole and cod in the offshore wind farm Egmond aan Zee
IMARES	2007	OWEZ Underwater sound emissions and effects of the pile driving of the OWEZ windfarm facility near Egmond aan Zee.
Inger R. and al.	2009	Marine renewable energy potential benefits to biodiversity : An urgent call for research. <i>Journal of Applied Ecology</i> 2009, 46, 1145–1153.
IREX (Institut pour la Recherche Appliquée et l'Expérimentation en génie civil)	Août 2011	EMACOP. Energies MArines, COtières et Portuaires. Rapport de montage (durée 4 ans).
JASCO	2009	Assessment of underwater noise generated by wave energy devices
Kerambrun P.	1983	Conséquences de la pollution thermique sur les organismes marins. <i>Oceanis</i> , vol. 9, fasc. 8, 627-651.
KLEISSEN	2006	OWEZ Maritime and marine risk assessment of calamitous (oil) spills.
Kuehn S.	March 2005	Sociological Investigation of The Reception of Horns Rev and Nysted Offshore Wind Farms in the Local Communities, 25 p.
La Compagnie du Vent GDF / SUEZ	Mai 2010	Analyse du risque d'accident maritime dans le parc éolien du projet des Deux Côtes. Synthèse, 4 p.
Ladenburg J. and A. Dubgaard	2007	Economic valuation of the visual externalities of off-shore wind farms. <i>Energy Policy</i> 35 (2007) 4059-4071
Ladenburg J., A. Dubgaard, L. Martinsen and J. Tranberg	2007	Willingness to pay for reduced visual disamenities from offshore wind farms in Denmark. <i>Danish monitoring programme for off-shore wind farms.</i> 112 p.

Langhamer O.	2010	Renewable and sustainable energy reviews wave power - Sustainable energy or environmentally costly ? A review with special emphasis on linear wave energy converters. <i>Renewable and Sustainable Energy Reviews</i> 14 (2010) 1329–1335.
Langhamer O. and al.	2009	Artificial reef effect and fouling impacts on offshore wave power foundations and buoys: a pilot study. <i>Estuarine, Coastal and Shelf Science</i> 82 (2009) 426–432.
Langhamer, O. and D. Wilhelmsson	2010	Colonisation of fish and crabs of wave energy foundations and the effects of manufactured holes – a field experiment, <i>Marine Environmental Research</i> (2009), 25 p.
Larsen J. and M. Guillemette	2007	Effects of wind turbines on flight behaviour of wintering common eiders: implications for habitat use and collision risk. <i>Journal of Applied Ecology</i> 2007, 516-522.
LE TIXERANT	2006	Modélisation du déroulement d'activités humaines en mer côtière. Scénarios appliqués à la mer d'Iroise, 5 p. Interaction Nature-Société, analyse et modèles. UMR 6554 LETG, La Baule 2006.
Le Visage C.	2004	EMR et régulation des usages de la mer.
Le Visage, C. Chargé de mission au Secrétariat général de la mer	2004	Energies renouvelables et régulation des usages de la mer, 7 p.
Lees	2011	Wave and tidal resource potential biodiversity impacts.
Lindeboom H.J.	August 2011	Short-term ecological effects of an offshore wind farm in the Dutch coastal zone; a compilation <i>Environ. Res. Lett.</i> 6 (2011) 035101 (13 p.)
Linley A. and al.	2009	NERC Potential ecological benefits and impacts of large-scale offshore and coastal renewable energy projects, 127 p. PML Applications Ltd, SAMS, IECS.
Ludeke	2011	Overall Approach for the Assessment of Environmental Impacts of Offshore.
Maarten	2009	Spatial planning of offshore wind farms: a windfall to marine environmental protection.
Mackinson S. et al.		A report on the perceptions of the fishing industry into the potential socio-economic impacts of offshore wind energy developments on their work patterns and income. <i>Science Series, Technical Report n°133. Report (62 p.) and appendices (44 p.)</i>
Mackinson S. et al.	October 2006	A report on the perceptions of the fishing industry into the potential socio-economic impacts of offshore wind energy developments on their work patterns and income. <i>Science Series, Technical Report no.133. Seafish and CEFAS, 62 pages + appendices.</i>
Madsen	2006	Wind turbine underwater noise and marine mammals: implications of current knowledge and data needs
Madsen P. T.	2006	Wind turbine underwater noise and marine mammals : implications of current knowledge and data needs. <i>Marine Ecology Progress Series</i> vol 309 (2006) : 279-295.
Marine Current Turbine LTD SeaGen project	August 2006	Environmental action and safety management plan (EASMP). 43 p.
Marine Current Turbine Ltd.	February 2009	SeaGen Environmental Monitoring Programme: Biannual Update. Version 5. Covers environmental monitoring June 2005 – November 2008, 61 p. ROYAL HASKONING.
Marine Current Turbine Ltd.	December 2010	SeaGen Environmental Monitoring Programme SeaGen Biannual. Environmental monitoring March 2010 – Oct 2010, 40 p. ROYAL HASKONING.
Marine Current Turbine Ltd.	June 2008	SeaGen Project: Strangford Lough. Environmental Action and Safety Management Plan (EASMP). Working Document Version 3, 86 p. ROYAL HASKONING.
Marine Current Turbine Ltd.	Non daté	The Seagen Turbine.
Marine Current Turbine Ltd. ROYAL HASKONING	April 2010	SeaGen Environmental Monitoring Programme: Biannual Update. Version 1-SeaGen Biannual Environmental monitoring July 2009 – Jan 2010, 37 p.
Marine Scotland	April 2010	Consenting, EIA and HRA Guidance for Marine Renewable Energy Developments in Scotland. Part 4 : Wave and tidal annex. EMEC and Xodus AURORA. A-30259-S00-REPT-01-R01
Marine Scotland	2011	Economic assessment of short term options for offshore wind energy in scottish territorial waters

Marine Scotland	2010	Strategic environmental assessment of plan for offshore wind energy in Scottish territorial waters V1 Environmental report.
MaRLIN	2011	Assessing the sensitivity of seabed biotopes to human activities and natural events.
Maritime and Coast Guard Agency		MARINE GUIDANCE NOTE MGN 372 (M+F). Offshore Renewable Energy Installations (OREIs): Guidance to Mariners Operating in the Vicinity of UK OREIs. Notice to other UK Government Departments, Offshore Renewable Energy Installation Developers, Port Authorities, Ship owners, Masters, Ships' Officers, Fishermen, Rescue Organisations and Recreational Sailors, 14 p.
Masden	2011	The challenge of addressing cumulative impacts.
Mciwem J. A.	2006	Likely sensitivity of bottlenose dolphins to pile-driving noise. <i>Water and Environment Journal</i> 20 (2006) 48-54.
MEDDE	2010	Avis de l'autorité environnementale. Parc hydroliennes Paimpol-Bréhat.
MEDDE		Energies en mer renouvelables. Guide à l'attention des Porteurs de Projets en Bretagne 48 pages.
MEDDE	2009	Appel d'offres éolien en mer.
MEDDE	2011	Cahier des charges de l'appel d'offres n° 2011/S 12 6-208873 portant sur des installations éoliennes de production d'électricité en mer en France métropolitaine.
MEEDDM	Juillet 2010	Guide de l'étude d'impact sur l'environnement éolien. Actualisation 2010, 153 p.
Menesguen A., Monbet Y. et F. Cousin	1989	OTEC's subsurface discharges of deep ocean water: modelling their effects on the primary production. Proceedings of the ASCE International Conference on Ocean Energy Recovery (Hawaii, 1989), p. 235-246.
METOC PLC		An assessment of the environmental effects of wind farms. ETS/W/35/00543/REP. 67 p.
Michler-Cieluch T. and al.	2008	Reflections on integrating operation and maintenance activities of offshore wind farms and mariculture. <i>Ocean and Coastal Management</i> 52 (2009) 57-68.
Ministry of the Environment Roskilde, Denmark Tougaard J., J. Carstensen, N. Ilsted Bech and J. Teilmann	July 2006	Final report on the effect of Nysted Offshore Wind Farm on harbour porpoises. Annual report 2005
Ministry of the Environment Roskilde, Denmark Tougaard J. and al.	July 2006	Final report on the effect of Nysted offshore wind farm on harbour porpoises. Annual Report 2005. Technical report to Energi E2 A/S
MOURA SIMAS	2010	EQUIMAR Scientific guidelines on Environmental Assessment.
MULTICONSULT	2010	Impacts of offshore wind farms (Project Aegir wind farm, Lake Michigan).
Myers	1986	The Potential Impact of Ocean Thermal Energy Conversion (OTEC) on Fisheries.
NaiKun Offshore Wind Development Inc.	September 2009	Electric and Magnetic Fields (EMF). 37 p.
National Environmental Research Institute Ministry of the Environment. Denmark	2006	Final results of bird studies at the offshore wind farms at Nysted and Horns Rev, Denmark. <i>NERI Report Commissioned by DONG energy and Vattenfall A/S</i> , 161 p.
National Environmental Research Institute Tougaard J. and al.	November 2006	Harbour Porpoises on Horns Reef Effects of the Horns Reef Wind Farm. Final Report to Vattenfall A/S, 106 p.
National Renewable Energy Laboratory	September 2010	Large-scale Offshore Wind Power in the USA. Assessment of opportunities and barriers, 215 p.
Netherlands Institute for Fisheries Research (RIVO) Grift R.E. and al.	June 2004	NSW Base line studies north sea wind farms final report pelagic fish RIVO report. Report number: C047/04, 77 pages.
Neumann F. (WavEC)	2009	WAVEPLAM Non-technological barriers to wave energy implementation, 66 p.
NJ Department of Environmental Protection	April 2005	Potential conflicts with offshore wind projects
NOAA Myers E. P.	June 1986	The Potential Impact of Ocean Thermal Energy Conversion (OTEC) on Fisheries. Technical Report NMFS 40, 39 p.
NOAA's Office of Ocean and Coastal Ressources Management	Non daté	Ocean Thermal Energy Conversion (OTEC) Environmental Impacts.
Noordzee Wind	July, 2006	NSW - MEP : Maritime and marine risk assessment of calamitous (oil)spills. Report OWEZ_R_280_20_07_2006, 82 p.
Noordzee Wind de Haan D. and al.	2007	Underwater sound emissions and effects of the pile driving of the OWEZ windfarm facility near Egmond aan Zee (Tconstruct), 75 p.
Noordzee Wind Winter H.V.	September 2010	Residence time and behaviour of sole and cod in the Offshore Wind farm Egmond aan Zee (OWEZ) Report number OWEZ_R_265_T1_20100916,

		50 p.
O'Brian	2008	Wind energy & EU legislation for Nature conservation
OCS	2011	Determining the Potential Effects of Artificial Lighting From Pacific Outer Continental Shelf (POCS) Region Oil and Gas Facilities on Migrating Birds - OCS Study BOEMRE 2011-047.
Ohman M. C.	2007	Offshore Windmills and the Effects of electromagnetic Fields on Fish. <i>Ambio</i> Vol. 36, No. 8, December 2007, 630-633.
Oregon Wave Energy Trust	September 2009	Economic Impacts of Wave Energy to Oregon's Economy.
Oregon Wave Energy Trust	December 2009	Assessment of Underwater Noise Generated by Wave Energy Devices. Prepared by JASCO.
OSPAR Commission	2006	An Overview of the Environmental Impact of Non-Wind Renewable Energy Systems, 13 p.
OSPAR Commission	April 2006	Environmental Impacts of the Location, Operation and Removal. Disposal of Offshore wind farms, 38 p.
OSPAR Commission	2004	Problems and benefits associated with the development of offshore wind-farms, 18 p.
OSPAR Commission	2009	Overview of anthropogenic underwater sound in the marine environment, 134 p.
OSPAR Commission	April 2006	Review of the Current State of Knowledge on the Environmental Impacts of the Location, Operation and Removal / Disposal of Offshore Wind-Farms. <i>Status Report April 2006</i> .
PARETO	2010	Note technico financière pour l'installation de récifs artificiels projet CETO.
Parscau (de) du Plessix J.	September 2011	Cumulative impact of marine renewable energy.
Pays du Bessin au Virois	Octobre 2010	Développement de l'éolien en mer. Quelle place pour notre territoire ? Supplément au journal n° 15 - Octobre 2010, 20 page s.
Petersen	2007	Changes in bird habitat utilisation around the Horns Rev 1 offshore wind farm, with particular common Scoter.
Petersen	2005	Final results of bird studies at the offshore wind farms at nysted and horns rev
Philibert, C.	2011	Les énergies renouvelables : jusqu'ou ?
Pineau S. et al.	2010	Transfert d'éléments constitutifs d'anodes sacrificielles AL-IN vers l'environnement, 11 p.
Polagye	2010	Environmental effects of tidal energy developments.
Pôle Mer PACA	janvier 2012	Champs d'éoliennes offshore flottantes en Méditerranée : Quelles opportunités pour la pêche et l'aquaculture ? Etude prospective. (Besoins de R&D et d'ingénierie). Cahier des charges.
Poulsen R.	2009	Wind Energy Experience from Denmark and Norway.
POWER		Case Study :European Offshore Wind Farms : A Survey for the Analysis of the Experiences and Lessons Learnt by Developers of Offshore Wind Farms
Punt M. and al.		Spatial planning of offshore wind farms : a windfall to marine environmental protection ? <i>Ecological Economics</i> 69 (2009) 93-103.
PWC	2010	Eolien offshore vers la création d'une filière industrielle française, 52 p.
Quinby-Hunt M., P. Wilde and A. T. Dengler	1986	Potential impacts of open-cycle thermal energy conversion. <i>Environ. Impact Assess. Rev.</i> 1986 : 6:77-93.
Ramboll	2009	Anholt Offshore Windfarm impact on tourism.
RIVO	2004	NSW Base line studies north sea wind farms final report pelagic fish.
ROYAL HASKONING Tien, N. and al.	2004	NSW Baseline studies wind farm for demersal fish.
RTA (Réseau Transnational Atlantique)	2010	Développement des EMR, condition du succès dans les régions Arc Atlantique 131 p.
Salgado Kent	2009	Environmental impacts of underwater noise associated with harbour works.
Scottish Government	March 2008	The economic impacts of wind farms on Scottish tourism. 305 p.
Scottish Natural Heritage	2005	An assessment of the sensitivity and capacity of the Scottish seascape in relation to wind farms. (ROAME No. F03AA06), 193 p.
Scottish Natural Heritage	2010	Wind industry France.

Scottish Natural Heritage	2010	Literature review on the potential effects of electromagnetic fields and subsea noise from marine renewable energy developments on Atlantic salmon, sea trout and European eel.
Scottish Natural Heritage Lees George	?	Wave and Tidal Power Developments in Scotland : Identifying and Addressing Potential Biodiversity Impacts.
Scottish Natural Heritage Lees G.	?	Wave and Tidal Power Developments in Scotland: Identifying and Addressing Potential Biodiversity Impacts.
Severin T.	2001	Effet Réserve : Synthèse bibliographique en milieu marin et mise en place d'un protocole de suivi à la Réunion. Université de la Réunion.
Southall B.L. and al.	2007	Marine mammal noise exposure criteria: initial scientific recommendations. <i>Aquatic Mammals</i> , Volume 33, Number 4, 2007
SOWFIA Streamlining of Ocean Wave Farms Impact Assessment Olivares C.	March 2011	Catalogue of Wave Energy Test Centres.
Subacoustech Nedwell	2003	Assessment of sub-sea acoustic noise and vibration from offshore wind.
Système solaire – Elise Poudevigne	2012	Préserver les vestiges marins
Tarek Mohamed Ahmed El-Geziry	2010	Environmental Impact Assessment and Process. Simulation of the Tidal Current Energy Resource in the Strait of Messina, 278 p.
Technische Universität Berlin	May 2011	Overall Approach for the Assessment of Environmental Impacts of Offshore Wind Farms in Europe. Conference on Wind Energy and Wildlife Impacts 02-05. May 2011 / Trondheim (Norway).
Teilmann J. and al.	November 2006	Summary on harbour porpoise monitoring 1999-2006 around Nysted and Horns Rev offshore wind farms. Report to Energi E2 A/S and Vattenfall A/S.
Teilmann J. and al.	2006	Summary on seal monitoring 1999-2005 around Nysted and Horns Rev Offshore Wind Farms Report to Energi E2 A/S and Vattenfall A/S, 22 p.
Thanet Offshore Wind Ltd	May 2007	Thanet Offshore Wind Farm Decommissioning. Summary of Environmental Impact.
The Marine Institute	2000	Assessment of Impact of Offshore Wind Energy Structures.
The Scottish Government Marine Scotland	?	Strategic Environmental Assessment (SEA) of Draft Plan for Offshore Wind Energy in Scottish Territorial Waters : Volume 1: Environmental Report, 251 p.
The Scottish Government	March 2008	The economic impacts of wind farms on Scottish tourism 305 p.
Thomsen	2006	Effects of offshore wind farm noise on marine mammals and fish.
Tougaard J.	2006	Harbour porpoises horns reef effects of the horns reef wind farm.
Tougaard, J. and al.	October 2006	Harbour seals at Horns Reef before during and after construction of horns rev offshore wind farm. Final report to Vattenfall A/S. Biological papers from the Fisheries and Maritime Museum, 67 p.
U.S. Department of the interior	January 2009	Cap Wind Energy Project. Final EIS. Monitoring and Mitigation, 30 p.
U.S. Dept. Commerce Boehlert, G. W, G. R. McMurray, and C. E. Tortorici (editors).	2008	Ecological effects of wave energy in the Pacific Northwest., NOAA Tech. Memo. NMFS-F/SPO-92, 174 p.
UCA Universidad de Cadiz MATEOS M. and al.	?	Modelling seabird collision risk with off-shore windfarms, 37 p.
UE	March 2010	EU Guidance on wind energy development in accordance with the EU nature legislation. Wind energy Developments and Natura 2000, 114 p.
UICN	2011	Consultation concernant les conditions techniques du premier appel d'offres éolien en mer
UICN Wilhelmsson D. et al.	?	Greening Blue Energy : Identifying and managing the biodiversity risks and opportunities of off shore renewable energy, 26 p.
UICN	2011	Invitation Atelier Biodiversité et énergies renouvelables.
UICN	2011	Position UICN sur AOF éolien.
UICN	2011	Programme Atelier Biodiversité et énergies renouvelables.
UICN	2010	Greening blue energy: Identifying the biodiversity risks and opportunities of off shore renewable energy.
UICN Péguin M.	2011	Energies renouvelables et écosystèmes sensibles. Document de projet.
UK Department for Business Enterprise & Regulatory Reform	2008	Review of cabling techniques and environmental effects applicable to the offshore windfarm industry.

UK Department for Business Enterprise & Regulatory Reform	2008	Review of reef effects of offshore windfarm structures and potential for enhancement and mitigation.
UK Department for Environment, Food and Rural Affairs	March 2005	Nature Conservation Guidance on Offshore Windfarm Development. A guidance note on the implications of the EC Wild Birds and Habitats Directives for developers undertaking offshore windfarm developments.
UK Department of energy and climate change	2008	Dynamics of scour pits and scour protection - Synthesis report and recommendations
UK Department of Energy and Climate Change University of Aberdeen Speakman J.	October 2009	Report on effects of offshore wind farms on the energy demands on seabirds 2009
UK Department of Trade and Industry	2000	Assessment of environmental effects of windfarms.
UK Department of Trade and Industry	?	Development, installation and testing of a large-scale tidal current turbine. Contractors : IT Power, Marine Current Turbines, Seacore, Bendalls Engineering, Corus
UK Department of Trade and Industry	2005	Development installation and testing of large-scale tidal turbine
UK Department of Trade and Industry		Future offshore - A strategic framework for the offshore wind industry, 41 p.
UK Department of Trade and Industry	2005	Guidance on the assessment of the impact of offshore wind farms: Methodology for Assessing the Marine Navigational Safety Risks of Offshore Wind Farms, 160 p.
UK Department of Trade and Industry	2005	Seascape and visual impact report, 135 p.
US Department of Energy Copping A.E. and M.J. O'Toole	December 2010	OES-IA Annex IV: Environmental Effects of Marine and Hydrokinetic Devices. Report from the Experts' Workshop September 27th – 28th 2010.
US Department of Natural Resources	2010	Rhode Island Ocean SAMP.
US Department of the interior	2011	Effects of EMFs from undersea power cables on elasmobranchs and other marine species.
Vahlberg	2005	Hearing in fish and their reactions to sounds from offshore windfarms.
VATTENFALL	2006	Danish offshore winds Key environmental issues.
VATTENFALL	2005	Horns Rev Offshore Wind Farm annual status report for the environmental monitoring programme January 2005 – March 2006.
VATTENFALL	May 2006	Benthic communities at Horns Rev before, during and after constructions of Horns Rev offshore wind farms. Annual Report 2005. 131 p.
VATTENFALL Environmental Research Institute University of Aarhus, Denmark	2007	Changes in bird habitat utilisation around the Horns Rev 1 offshore wind farm, with particular emphasis on Common Scoter Report request. Commissioned by Vattenfall A/S. 37 p.
Villate J-L., C. Abonnel, D. Ingram and N. Rousseau	2008	Equitable Testing and Evaluation of Marine Energy Extraction Devices in terms of Performance, Cost and Environmental Impact, 6 p. 2nd International Conference on Ocean Energy (ICOE 2008), 15th – 17th October 2008, Brest, France
W W F	2011	100 % d'énergie renouvelable d'ici 2050.
W W F		Energies des mers ECRIN-OPECST.
W W F	2008	Energy, ecosystems and livelihoods, workshop.
W W F	2006	Framework for dialogue between the fishing and wind farm industries.
W W F	2003	Offshore Wind Energy in Europe.
W W F	,	Offshore wind farms in the Mediterranean seascape.
W W F	?	Photo parc éolien.
W W F	2005	Potential Conflicts With Offshore Wind Projects.
W W F	2010	Rapport Energies Marines Renouvelables.
W W F	2008	The economic impacts of wind farms on Scottish tourism.
W W F	2009	Wind Energy Experience from Denmark and Norway.
Walhberg, M. and H. Westerberg	March 2005	Hearing in fish and their reactions to sound from offshore wind farms. <i>Marine Ecology progress</i> . Series, vol 288 : 295-309.

Westerberga V. and al.	Non daté	Offshore wind farms in the Mediterranean Seascape - A tourist appeal or a tourist repellent ? 23 p.
Wiersma	2011	The state of the offshore wind industry.
Wilson S.	Non daté	The seals of Strangford Lough. A preliminary report on haul-out site use and movements within the Lough in relation to a proposal marine current turbine trial in the Strangford Narrows, 14 p.
Wind Energy : The facts	?	Volume 1. Technology. 342 p.
Windustry France	Mars 2010	L'éolien se tourne vers les savoir-faire industriels français. Rapport d'étape de l'action menée entre novembre 2009 et février 2010.
Wright	2009	Report on the workshop on assessing the cumulative impacts of underwater noise with other anthropogenic stressors on marine mammals : from ideas to action.
Wright	2010	A Framework for Including Noise with Other Anthropogenic Stressors in Cumulative Impact Assessments.

Lexique

Abondance	Paramètre d'ordre quantitatif servant à décrire une population.
Accrétion	Processus par lequel une accumulation sédimentaire existante (une plage par exemple) reçoit des matériaux supplémentaires qui l'épaississent et l'élargissent.
Affouillement	Fosse profonde creusée dans le lit par l'action de l'eau.
Anthropique	Relatif à l'activité humaine.
Anti-salissures	Qualifie un traitement destiné à éliminer ou à réduire les salissures (biosalissures) des coques des navires par exemple qui, en se développant, réduisent leur vitesse et accélèrent leur vieillissement.
Aquaculture	Ensemble de toutes les activités de culture de plantes marines et d'élevage d'animaux marins.
Avifaune	Ensemble de la faune ailée.
Benthique	Adjectif qui qualifie l'interface eau-sédiment (= interface eau-lithosphère) d'un écosystème aquatique, quelle qu'en soit la profondeur. - Qualifie un organisme vivant libre (vagile) sur le fond ou fixé (sessile).
Benthos	C'est l'ensemble des organismes présents sur ou dans le fond des eaux.
Biocénose	Ensemble des organismes vivants (animaux et végétaux dont microorganisme) qui occupent un écosystème donné. Ce groupement d'êtres vivants est caractérisé par une composition spécifique déterminée et par l'existence de phénomènes d'interdépendance. Il occupe un espace que l'on appelle biotope et constitue avec lui l'écosystème.
Biomasse	Poids total de matière d'un individu, d'un groupe, d'une classe d'âge, d'un stock, d'une population, etc.
Bloom	Phénomène de forte prolifération phytoplanctonique dans le milieu aquatique résultant de la conjonction de facteurs du milieu comme température, éclaircissement, concentration en sels nutritifs). Suivant la nature de l'espèce phytoplanctonique concernée, cette prolifération peut se matérialiser par une coloration de l'eau (= eaux colorées).
Cantonement	Espace maritime, délimité précisément, dans lequel l'exploitation des ressources benthiques de la plateforme continentale est interdite par disposition réglementaire et à titre permanent ou temporaire, pour en permettre la reconstitution.
Contaminant	Elément ou substance contenu dans l'environnement (air, eau, sédiments...) en quantité anormale (= non naturelle).
Courant	<ul style="list-style-type: none"> • courant de marée : courant causé par le déplacement des masses d'eau au cours du cycle de marée. • courant littoral : courant créé dans l'eau en bordure immédiate du trait de côte par l'apport d'eau des vagues obliques. • courant marin : désigne tout déplacement d'une masse d'eau océanique.
Déroctage	Fait de supprimer les roches et écueils
Echolocation	Fonction physiologique, rendue possible par une anatomie spécifique, permettant à certains animaux (cétacés, chauves-souris) de se repérer dans leur milieu - même en l'absence de lumière - et d'y situer obstacles et proies par émission de sons particuliers et analyse de l'écho de ces sons renvoyés par les corps physiques présents dans leur environnement.

Ecosystème	Ensemble des êtres vivants (Biocénose), des éléments non vivants et des conditions climatiques et géologiques (Biotopes) qui sont liés et interagissent entre eux et qui constitue une unité fonctionnelle de base en écologie.
Ecotoxicité	Propriété d'une substance de provoquer des effets néfastes sur les organismes vivants et leur organisation fonctionnelle (écosystème).
Ecoulement	Fait pour un fluide de se déplacer en suivant un itinéraire préférentiel.
Edaphique	Qualifie ce qui est relatif au substratum (sol et eau).
Efflorescence	Voir Bloom
Ensouillé	Se dit d'un câble localisé dans une dépression et recouvert de sédiment.
Epibenthos	Ensemble des espèces vivant à la surface du fond marin (c'est l'épigée du benthos).
ETM	L'énergie thermique des mers est produite en exploitant la différence de température entre les eaux superficielles et les eaux profondes des océans. Un acronyme souvent rencontré est OTEC, pour <i>Ocean thermal energy conversion</i> .
Euphotique	Qualifie la couche superficielle des océans dans laquelle la photosynthèse est possible grâce à l'intensité de la lumière solaire (en moyenne jusqu'à 100 m de profondeur, 50 m dans les eaux côtières turbides).
Eutrophisation	Enrichissement des cours d'eau et des plans d'eau en éléments nutritifs, essentiellement le phosphore et l'azote qui constituent un véritable engrais pour les plantes aquatiques. Elle se manifeste par la prolifération excessive des végétaux dont la décomposition provoque une diminution notable de la teneur en oxygène.
Faune	Ensemble des espèces vivantes animales constituant un peuplement ou une zoocénose.
Fenêtre environnementale	Se dit d'une période de temps correspondant à une activité biologique spécifique (période de migration par exemple).
Fouling	Terme anglais pour désigner les salissures des coques de navires (= biosalissures).
Frayère	Aire dans laquelle les animaux, poissons principalement, se réunissent périodiquement pour leur reproduction et où ils déposent leurs oeufs.
Gradient	Taux de variation d'un paramètre en fonction de la distance.
Granulométrie	Facteur édaphique qui conditionne la répartition des espèces benthiques dans les sédiments meubles.
Habitat	C'est le milieu dans lequel vit une espèce ou un groupe d'espèces animales ou végétales.
Haliéutique	Qualifie toutes les activités relevant de la pêche sous toutes ses formes, professionnelle ou de loisirs, en eau douce ou marine.
Herbier	Formation végétale de l'avant-côte ou du bas d'estran, caractérisée par la présence de plantes à fleurs (= herbiers de zostères sur les côtes atlantiques ; herbiers de posidonies sur les côtes de Méditerranée).
Hertz	Unité de mesure de la période d'une onde. Correspond au nombre de passage de la crête d'une onde au cours d'une seconde.
Houle	Oscillation régulière de la surface de la mer, indépendante du vent local (car formée plus loin) et dont la période est de l'ordre de la dizaine de secondes.
Hydrodynamique	Science qui étudie le comportement physique du fluide constitué par l'eau et les matériaux qu'elle contient.
Ichtyofaune	Ensemble des poissons vivants dans un espace géographique ou un habitat déterminé.
Intertidal	Partie du littoral comprise entre les limites extrêmes atteintes par les marées.
Macrofaune	Désigne l'ensemble des animaux benthiques dont la taille est supérieure à un millimètre.

Maërl	Mot d'origine bretonne utilisé pour désigner les algues calcaires du genre <i>Lithothamnium</i> .
Marée	Mouvement multi-périodique du niveau de la mer dont la partie principale est la marée astronomique.
Migration	Déplacements orientés d'un groupe d'individus entre deux habitats distincts. Le plus fréquemment, ces déplacements sont nécessaires à l'accomplissement du cycle vital des espèces.
Nutriments	Ce terme désigne l'ensemble des composés inorganiques et des ions nécessaires à la nutrition des producteurs primaires (phytoplancton).
Off-shore	Désigne les activités et installations présentes en mer loin du rivage, généralement en liaison avec le fond.
Opportuniste	Qualifie un organisme, une espèce, capable de s'installer rapidement quelque part.
OTEC	Ocean thermal energy conversion : voir ETM
PAC	Pompe à chaleur
Perturbation	Dérangement, anomalie, trouble, irrégularité dans le fonctionnement d'un système (écosystème), d'un appareil, d'un organisme ou dans l'évolution d'un phénomène. Perturbation anthropique : perturbation des équilibres naturels résultant des activités humaines (émissions d'effluents gazeux, liquides ou solides ; prélèvements).
Peuplement	Ensemble des espèces animales et/ou végétales qui vivent dans un espace géographique donné.
Plancton	Ensemble des organismes animaux et végétaux, en général de très petite taille, qui flottent plus ou moins passivement dans les eaux marines ou lacustres. On distingue le zooplancton (animal) et le phytoplancton (végétal).
Polluant	Les polluants sont des substances ou des processus de nature physique, chimique ou biologique introduits par l'homme et susceptibles de contaminer les divers écosystèmes.
Production	Quantité de matière vivante (= matière organique) élaborée par un maillon de la chaîne alimentaire par unité de temps, de surface ou de volume.
Ressource (halieutique)	Désigne les stocks d'animaux aquatiques exploitables.
Salissures	Éléments (vivants ou non) adhérant à une surface comme celle de la coque d'un navire, ou d'une base d'éolienne en mer.
Substrat	Base sur laquelle repose une formation géologique ou des alluvions (= sédiments) - Tout matériau servant de support physique à des organismes
SWAC	Sea Water Air Conditioning : utilisation de l'eau froide (5°C) puisée dans les profondeurs des océans (1000 m) pour alimenter le réseau urbain de climatisation et développer des activités dérivées génératrices d'emplois durables (thérapeutiques, pharmaceutiques, aquaculture, énergétiques...).
Thermocline	Zone de transition entre deux masses d'eau de températures différentes et se mélangeant difficilement.
Trait de côte	Ligne qui marque la limite jusqu'à laquelle peuvent parvenir les eaux marines ; c'est-à-dire la limite la plus extrême que puissent atteindre les eaux marines
Transit	Fait de passer dans un lieu sans y séjourner. Ainsi, un sédiment en transit est celui qui n'est présent en un point de la côte que pendant une courte durée, avant de continuer sa migration.
Trophique	Qualifie ce qui a trait à la nutrition des tissus et des organismes
Turbulence	Désigne la formation de tourbillons dans un fluide (air ou eau), c'est-à-dire d'une agitation désordonnée en continue transformation.
Upwelling	La remontée d'eau (<i>upwelling</i> en anglais) est un phénomène océanographique qui se produit lorsque de forts vents marins (généralement des vents saisonniers) poussent l'eau de surface des océans laissant ainsi un vide où peuvent remonter les eaux de fond et avec elles une quantité importante de nutriments.

Vagile	Qualifie un organisme benthique capable de se déplacer sur le fond (marche, reptation, saut...) ou de nager à son voisinage immédiat.
Zone photique	On désigne ainsi toute zone où le rayonnement solaire permet notoirement aux organismes phytoplanctoniques de pousser.
Zooplancton	Plancton animal. Il se nourrit directement ou indirectement de phytoplancton.

Membres du comité de pilotage de l'étude

ANDRE Yann	Ligue de Protection des Oiseaux
ARMAND Ludovic	MEDDE – Direction Générale de l'Energie et du Climat
BELAN Pierre-Yves	Centre d'Etudes Techniques Maritimes et Fluviales
BONADIO Jonathan	MEDDE DGEC/SD5/5A
CAGNEAUX Bertrand	DREAL Basse-Normandie
CARIOU Tiphaine	Direction Interrégionale de la Mer SA
CARLIER Antoine	IFREMER
CARRE Hubert	Comité National des Pêches Maritimes et des Elevages Marins
DACQUAY Vanessa	Union internationale pour la conservation de la nature France
DE GUIBERT Olivier	MEDDE – DGEC
DE GUIBERT Olivier	MEDDE DGEC/SD5/5A
DE PINS Charlotte	MEDDE DGALN/DEB/EN3
DELALANDE Daniel	MEDDE DGEC/SD5/5A
DENANTES Sophie	MEDDE DGALN/DEB/LM2
DUBOIS Anthony	CETE Méditerranée
FEDOROVSKY Boris	Groupement des Industries de Construction et Activités Navales
GOUVERNEUR Philippe	Syndicat des Energies Renouvelables + EnR Conseil
GRENON Georgina	MEDDE DGEC
GUENARD Vincent	Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie
KAVAJ Alexandre	MEDDE DGALN/DEB/LM3
LAUZIN Francis	DREAL Pays Loire/MECC
LEPETIT Dominique	DREAL Haute-Normandie
MATTERA Jean-Louis	Direction Interrégionale de la mer MEMN
NERAMBOURG Marie-Claude	DREAL Bretagne

PEGUIN Marion	Union internationale pour la conservation de la nature France
PERRET Elodie	Syndicat des Energies Renouvelables
ROBBE Sandrine	DREAL Basse Normandie
SOTTA Chloé	Agence des Aires Marines Protégées
TACHOIRES Stéphanie	Agence des Aires Marines Protégées
THIEBAUD Léa	Centre d'Etudes Techniques Maritimes et Fluviales
THOMAS Julien	MEDDE DGEC/DE/SD3/3B
TOULHOAT Lucile	Comité National des Pêches Maritimes et des Elevages Marins
TOULOUSE Paul	Ocean Energy Renewable Power / Alstom
VAN DER PUTTEN Denis	Direction Interrégionale de la Mer MENN
VAUDOUT Gérard	Direction Interrégionale de la Mer NAMO

Prestataire :  egis eau

Annexe 1 – Cartographie des espaces d'intérêt écologique côtiers et des aires marines protégées



**Etude méthodologique
des impacts
environnementaux
et socio-économiques
des énergies marines
renouvelables**



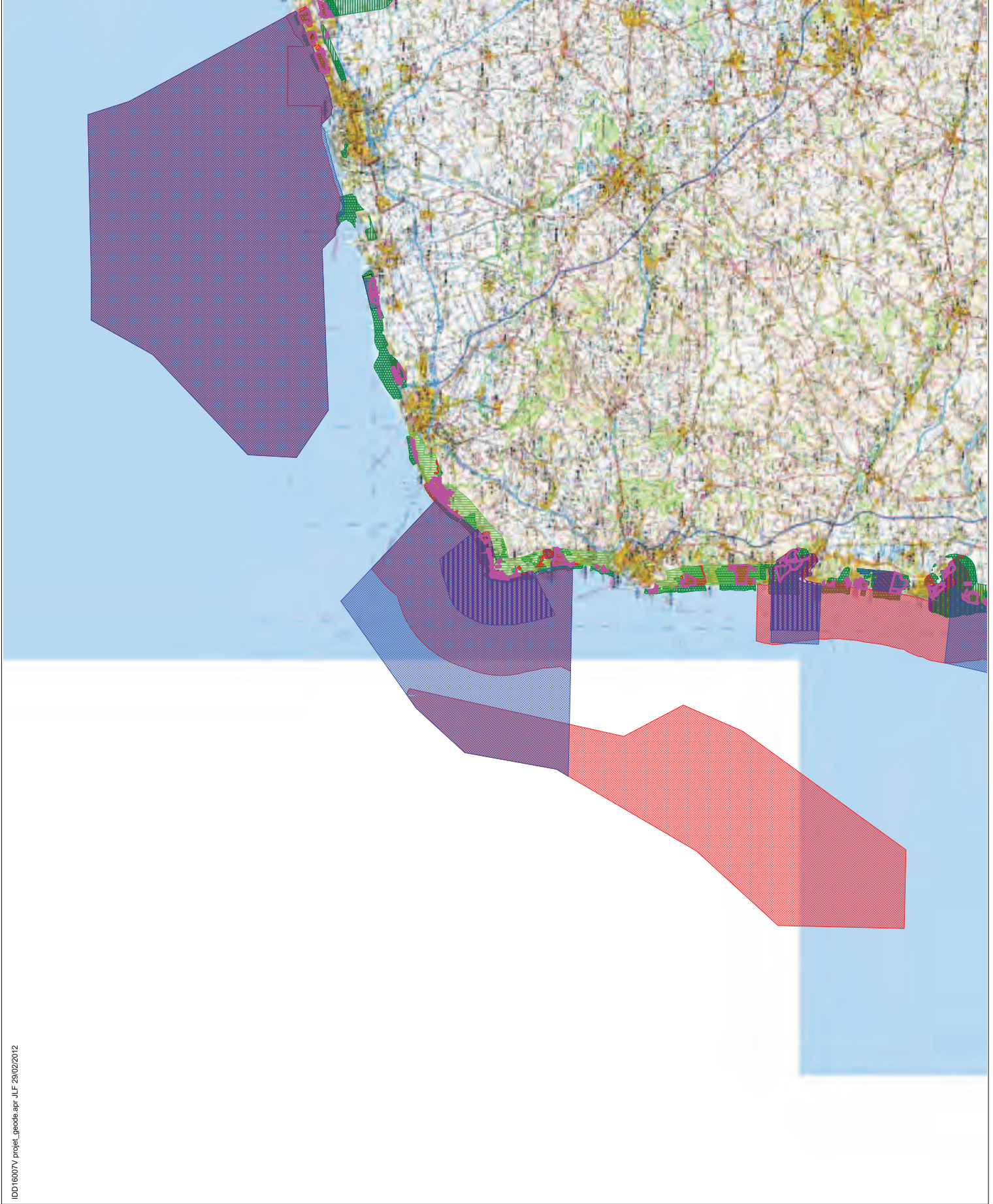
**Sensibilités du littoral
métropolitain**

- Zone de Protection Spéciale
- ZNIEFF de type 2
- ZNIEFF de type 1
- ZICO
- Site d'Intérêt Communautaire
- Réserve Naturelle Volontaire
- Réserve Naturelle de Chasse
- Réserve Naturelle (Corse)
- Réserve naturelle
- Réserve Biologique 2011
- Sites Ramsar 2010
- Parc Naturel Régional 2011
- Parc National Merin 2010
- Parc National 2010
- Conservatoire du Littoral 2011
- Reserves de la Biosphère 2010
- Arrêtés de Protection de Biotope 2011

Source : Inventaire National
du Patrimoine Naturel



0 3 6 Kilometers





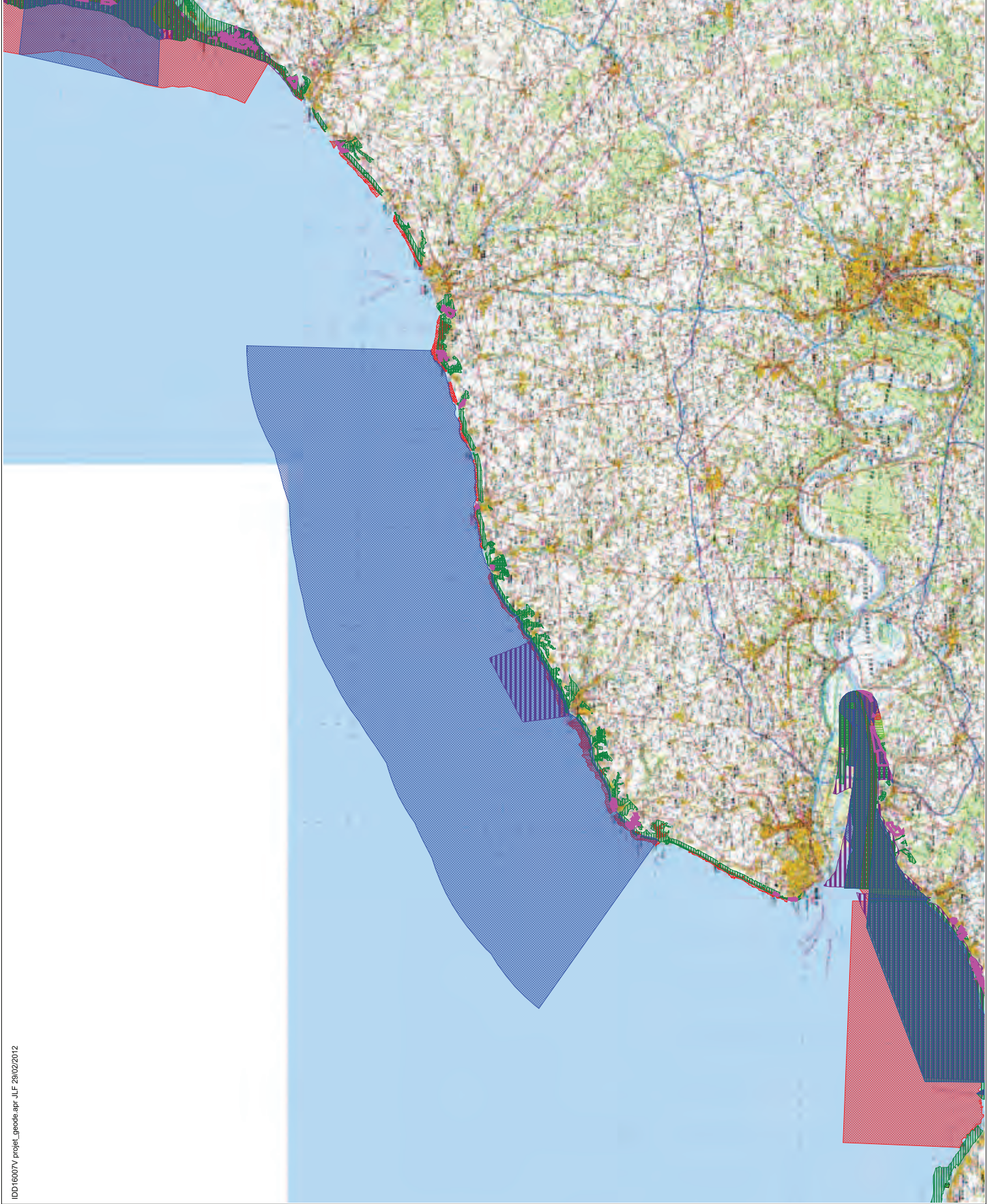
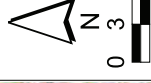
Etude méthodologique des impacts environnementaux et socio-économiques des énergies marines renouvelables



Sensibilités du littoral métropolitain

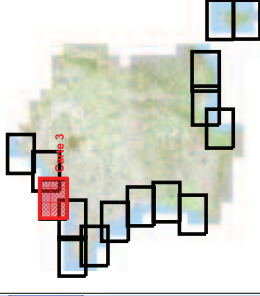
- Zone de Protection Spéciale
- ZNIEFF de type 2
- ZNIEFF de type 1
- ZICO
- Site d'Intérêt Communautaire
- Réserve Naturelle Volontaire
- Réserve Naturelle de Chasse
- Réserve Naturelle (Corse)
- Réserve naturelle
- Réserve Biologique 2011
- Sites Ramsar 2010
- Parc National Régional 2011
- Parc National Marin 2010
- Parc National 2010
- Conservatoire du Littoral 2011
- Reservés de la Biosphère 2010
- Arrêtés de Protection de Biotope 2011

Source : Inventaire National
du Patrimoine Naturel





Etude méthodologique des impacts environnementaux et socio-économiques des énergies marines renouvelables



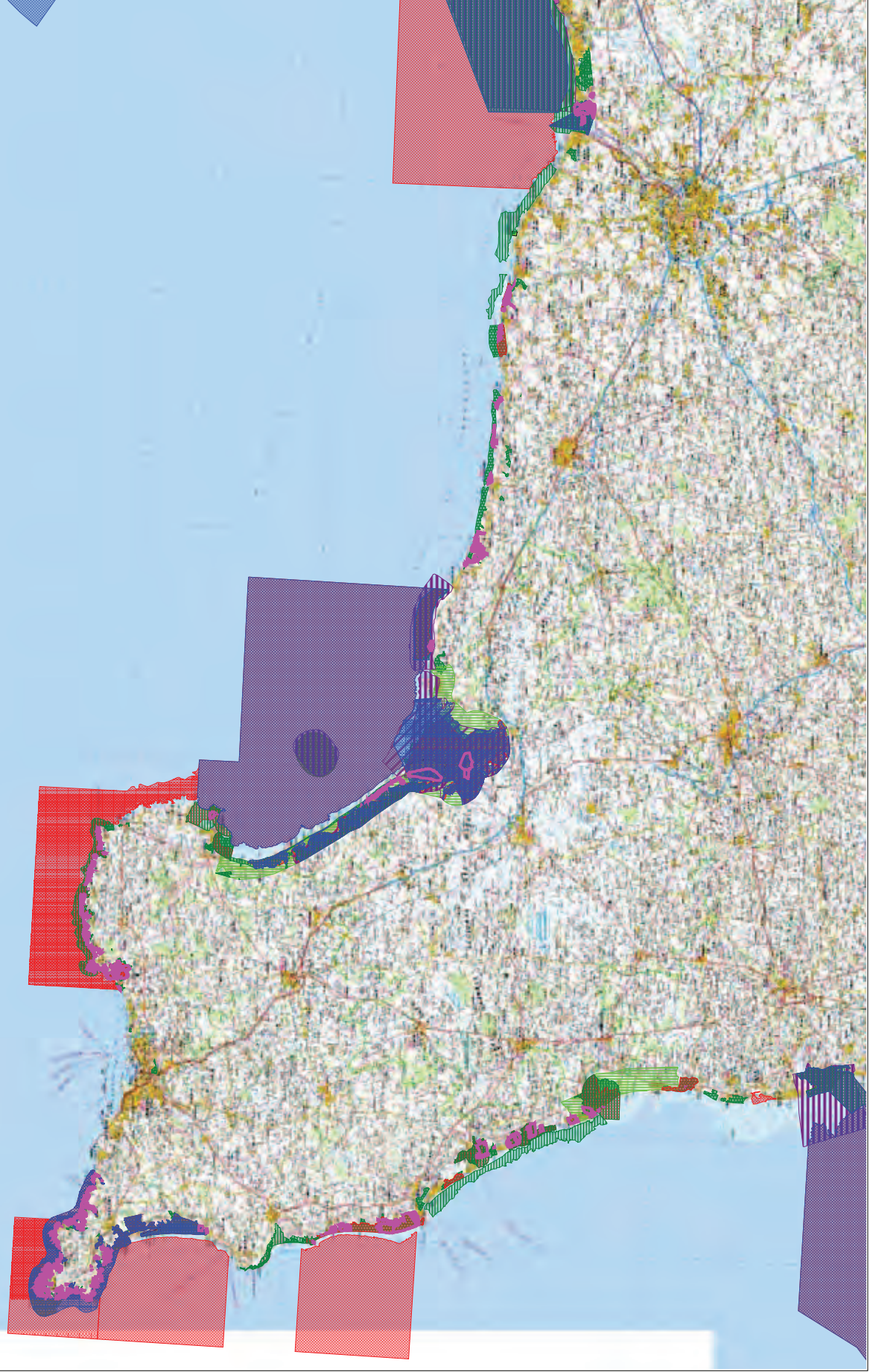
Sensibilités du littoral métropolitain

- Zone de Protection Spéciale
- ZNIEFF de type 2
- ZNIEFF de type 1
- ZICO
- Site d'Intérêt Communautaire
- Réserve Naturelle Volontaire
- Réserve Naturelle de Chasse
- Réserve Naturelle (Corse)
- Réserve naturelle
- Réserve Biologique 2011
- Sites Ramsar 2010
- Parc National Régional 2011
- Parc National Marin 2010
- Parc National 2010
- Conservatoire du Littoral 2011
- Réserves de la Biosphère 2010
- Arrêtés de Protection de Biotope 2011

Source : Inventaire National
du Patrimoine Naturel



0 3 6
Kilometers





Etude méthodologique des impacts environnementaux et socio-économiques des énergies marines renouvelables



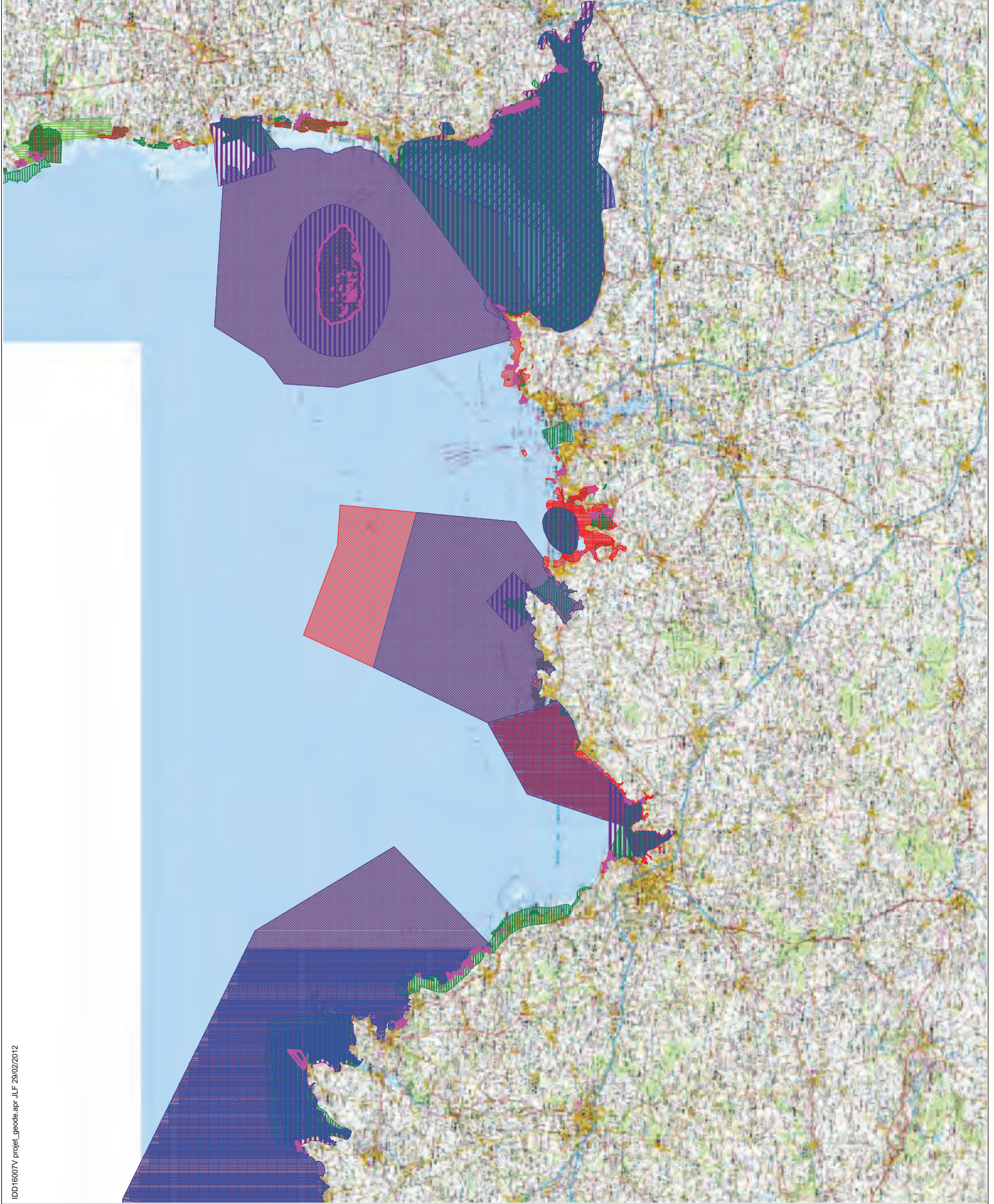
Sensibilités du littoral métropolitain

- Zone de Protection Spéciale
- ZNIEFF de type 2
- ZNIEFF de type 1
- ZICO
- Site d'Intérêt Communautaire
- Réserve Naturelle Volontaire
- Réserve Naturelle de Chasse
- Réserve Naturelle (Corse)
- Réserve naturelle
- Réserve Biologique 2011
- Sites Ramsar 2010
- Parc Naturel Régional 2011
- Parc National Merin 2010
- Parc National 2010
- Conservatoire du Littoral 2011
- Réserves de la Biosphère 2010
- Arrêtés de Protection de Biotope 2011

Source : Inventaire National
du Patrimoine Naturel



0 3 6 Kilometers






















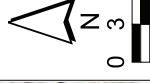
**Etude méthodologique
des impacts
environnementaux
et socio-économiques
des énergies marines
renouvelables**



**Sensibilités du littoral
métropolitain**

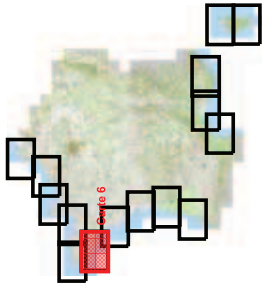
-  Zone de Protection Spéciale
-  ZNIEFF de type 2
-  ZNIEFF de type 1
-  ZICO
-  Site d'Intérêt Communautaire
-  Réserve Naturelle Volontaire
-  Réserve Naturelle de Chasse
-  Réserve Naturelle (Corse)
-  Réserve naturelle
-  Réserve Biologique 2011
-  Sites Ramsar 2010
-  Parc Naturel Régional 2011
-  Parc National Marin 2010
-  Parc National 2010
-  Conservatoire du Littoral 2011
-  Réserves de la Biosphère 2010
-  Arrêtés de Protection de Biotope 2011

Source : Inventaire National
du Patrimoine Naturel





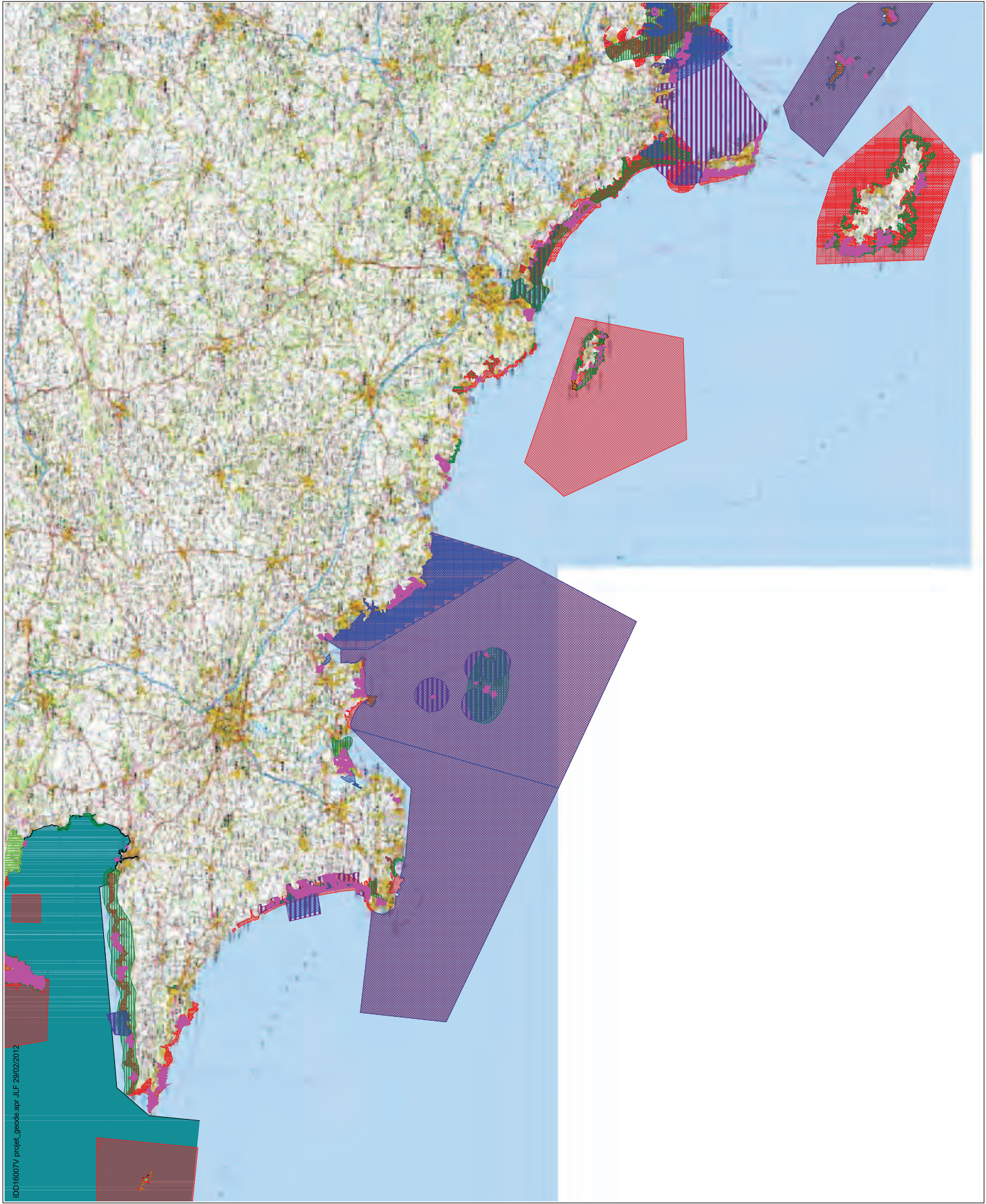
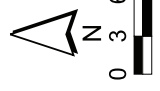
**Etude méthodologique
des impacts
environnementaux
et socio-économiques
des énergies marines
renouvelables**



**Sensibilités du littoral
métropolitain**

- Zone de Protection Spéciale
- ZNIEFF de type 2
- ZNIEFF de type 1
- ZICO
- Site d'Intérêt Communautaire
- Réserve Naturelle Volontaire
- Réserve Naturelle de Chasse
- Réserve Naturelle (Corse)
- Réserve naturelle
- Réserve Biologique 2011
- Sites Ramsar 2010
- Parc Naturel Régional 2011
- Parc National Marin 2010
- Parc National 2010
- Conservatoire du Littoral 2011
- Réserves de la Biosphère 2010
- Arrêtés de Protection de Biotope 2011

Source : Inventaire National
du Patrimoine Naturel






















**Etude méthodologique
des impacts
environnementaux
et socio-économiques
des énergies marines
renouvelables**



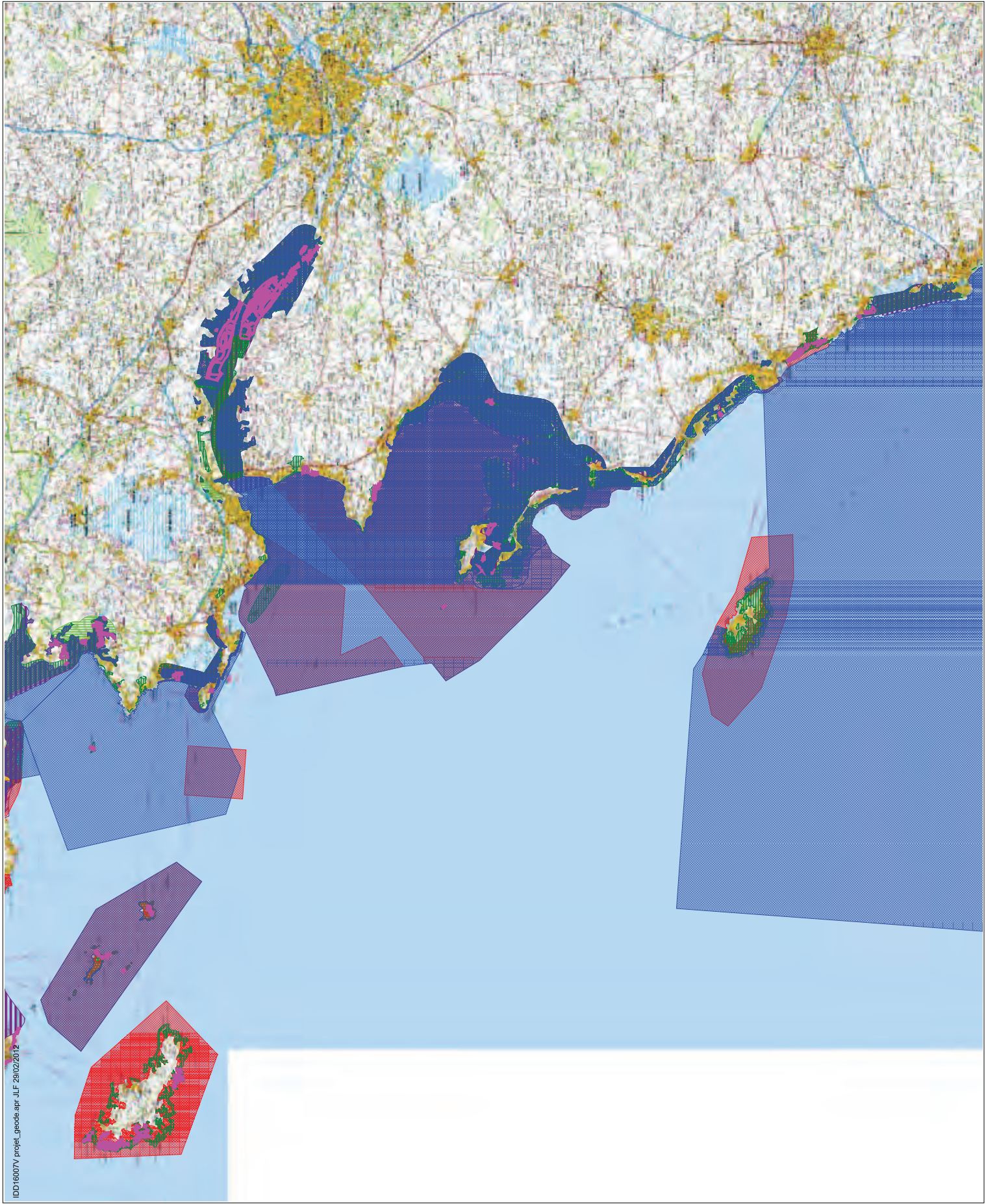
**Sensibilités du littoral
métropolitain**

-  Zone de Protection Spéciale
-  ZNIEFF de type 2
-  ZNIEFF de type 1
-  ZICO
-  Site d'Intérêt Communautaire
-  Réserve Naturelle Volontaire
-  Réserve Naturelle de Chasse
-  Réserve Naturelle (Corse)
-  Réserve naturelle
-  Réserve Biologique 2011
-  Sites Ramsar, 2010
-  Parc Naturel Régional 2011
-  Parc National Merin 2010
-  Parc National 2010
-  Conservatoire du Littoral 2011
-  Réserves de la Biosphère 2010
-  Arrêtés de Protection de Biotope 2011

Source : Inventaire National
du Patrimoine Naturel



0 3 6 Kilometers





Etude méthodologique des impacts environnementaux et socio-économiques des énergies marines renouvelables



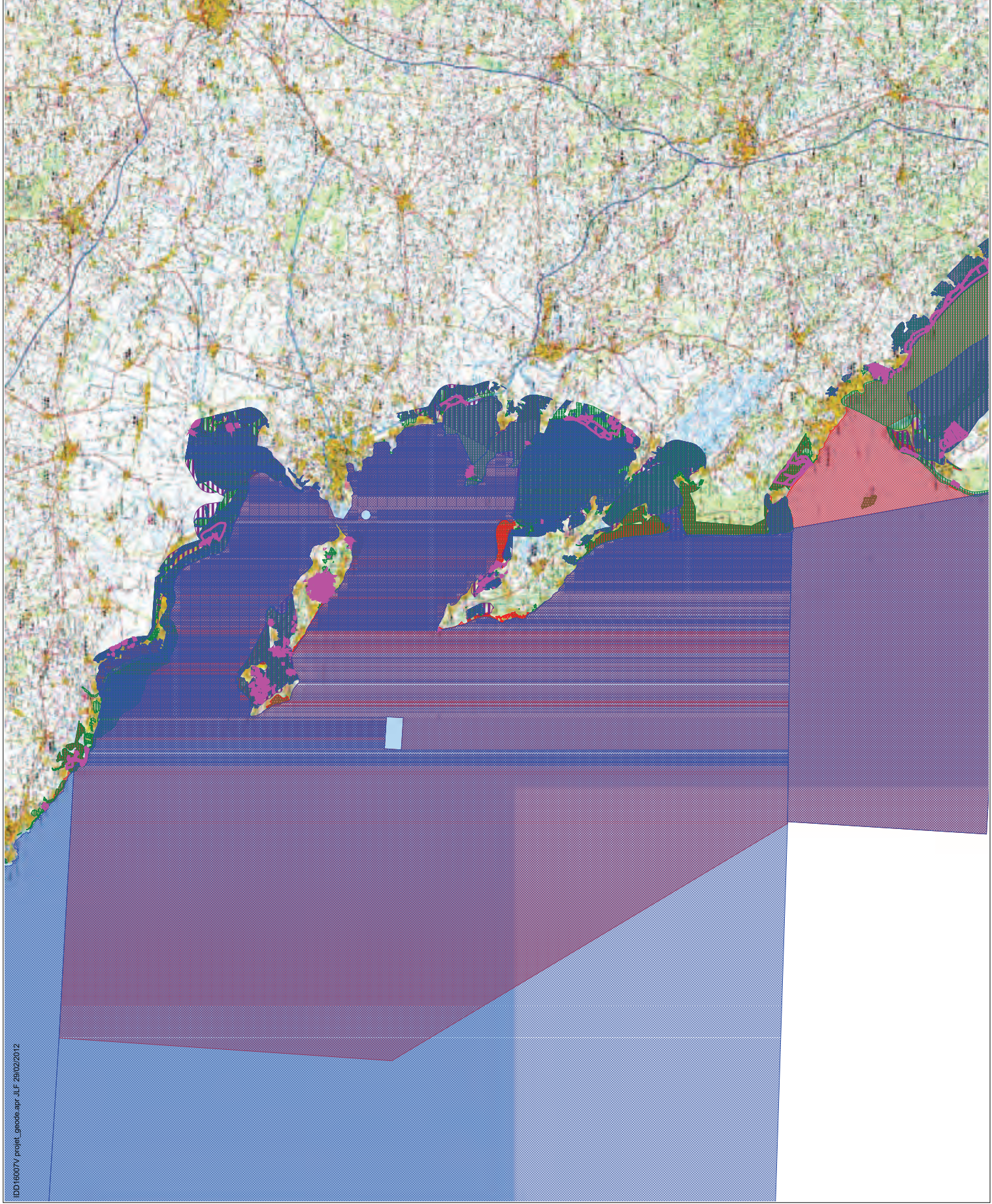
Sensibilités du littoral métropolitain

- Zone de Protection Spéciale
- ZNIEFF de type 2
- ZNIEFF de type 1
- ZICO
- Site d'Intérêt Communautaire
- Réserve Naturelle Volontaire
- Réserve Naturelle de Chasse
- Réserve Naturelle (Corse)
- Réserve naturelle
- Réserve Biologique 2011
- Sites Ramsar 2010
- Parc Naturel Régional 2011
- Parc National Marin 2010
- Parc National 2010
- Conservatoire du Littoral 2011
- Reserves de la Biosphère 2010
- Arrêtés de Protection de Biotope 2011

Source : Inventaire National
du Patrimoine Naturel



0 3 6 Kilometers





















**Etude méthodologique
des impacts
environnementaux
et socio-économiques
des énergies marines
renouvelables**



**Sensibilités du littoral
métropolitain**

-  Zone de Protection Spéciale
-  ZNIEFF de type 2
-  ZNIEFF de type 1
-  ZICO
-  Site d'Intérêt Communautaire
-  Réserve Naturelle Volontaire
-  Réserve Naturelle de Chasse
-  Réserve Naturelle (Corse)
-  Réserve naturelle
-  Réserve Biologique 2011
-  Sites Ramsar 2010
-  Parc Naturel Régional 2011
-  Parc National Merin 2010
-  Parc National 2010
-  Conservatoire du Littoral 2011
-  Réserves de la Biosphère 2010
-  Arrêtés de Protection de Biotope 2011

Source : Inventaire National
du Patrimoine Naturel



0 3 6 Kilometers






















Etude méthodologique des impacts environnementaux et socio-économiques des énergies marines renouvelables



Sensibilités du littoral métropolitain

-  Zone de Protection Spéciale
-  ZNIEFF de type 2
-  ZNIEFF de type 1
-  ZICO
-  Site d'Intérêt Communautaire
-  Réserve Naturelle Volontaire
-  Réserve Naturelle de Chasse
-  Réserve Naturelle (Corse)
-  Réserve naturelle
-  Réserve Biologique 2011
-  Sites Ramsar 2010
-  Parc Naturel Régional 2011
-  Parc National Merin 2010
-  Parc National 2010
-  Conservatoire du Littoral 2011
-  Réserves de la Biosphère 2010
-  Arrêtés de Protection de Biotope 2011

Source : Inventaire National
du Patrimoine Naturel





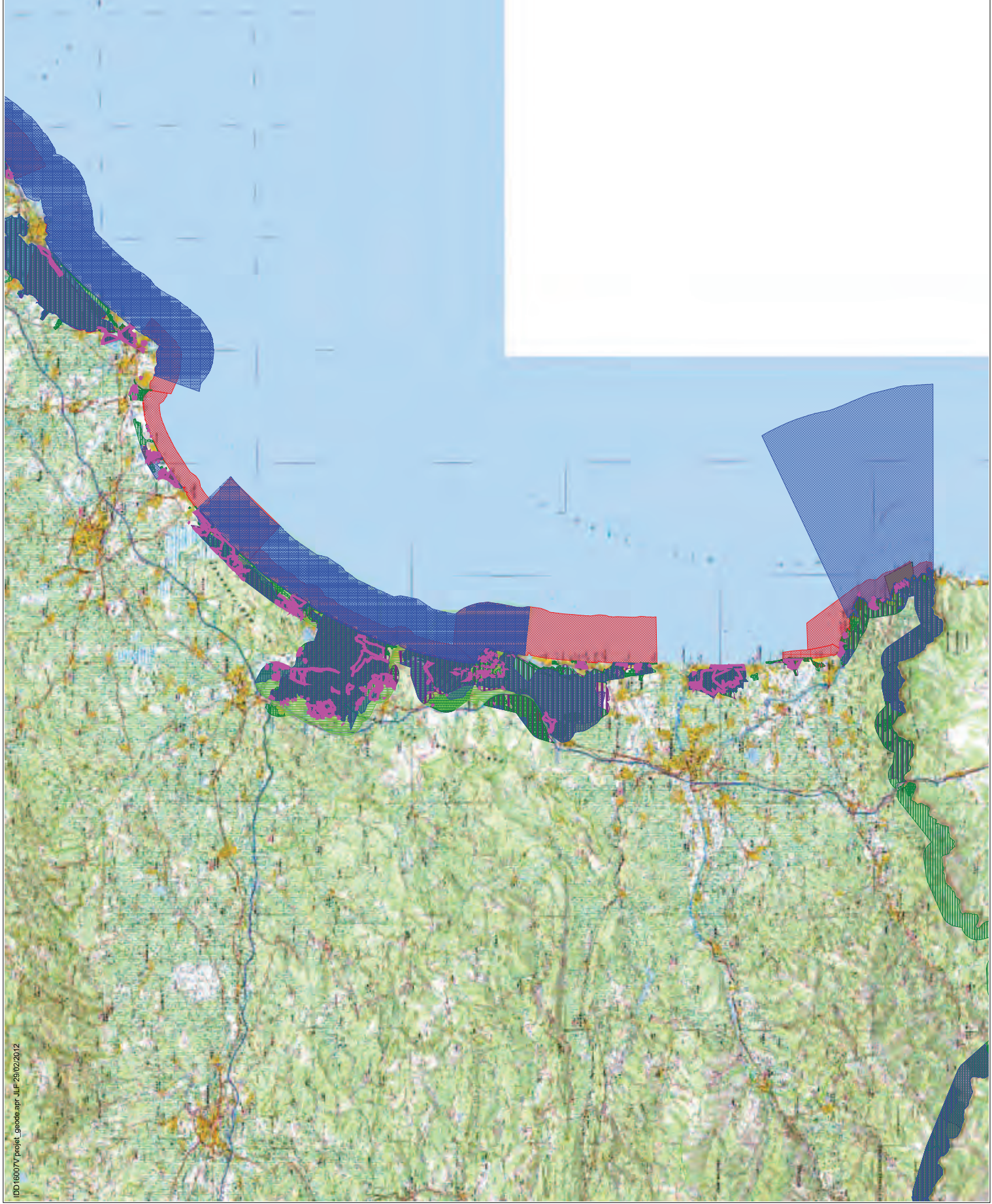
**Etude méthodologique
des impacts
environnementaux
et socio-économiques
des énergies marines
renouvelables**



**Sensibilités du littoral
métropolitain**

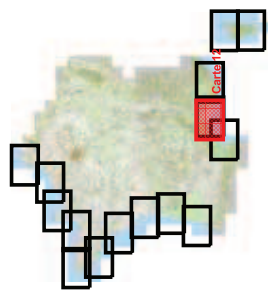
- Zone de Protection Spéciale
- ZNIEFF de type 2
- ZNIEFF de type 1
- ZICO
- Site d'Intérêt Communautaire
- Réserve Naturelle Volontaire
- Réserve Naturelle de Chasse
- Réserve Naturelle (Corse)
- Réserve naturelle
- Réserve Biologique 2011
- Sites Ramsar 2010
- Parc Naturel Régional 2011
- Parc National Merin 2010
- Parc National 2010
- Conservatoire du Littoral 2011
- Réserves de la Biosphère 2010
- Arrêtés de Protection de Biotope 2011

Source : Inventaire National
du Patrimoine Naturel





Etude méthodologique des impacts environnementaux et socio-économiques des énergies marines renouvelables



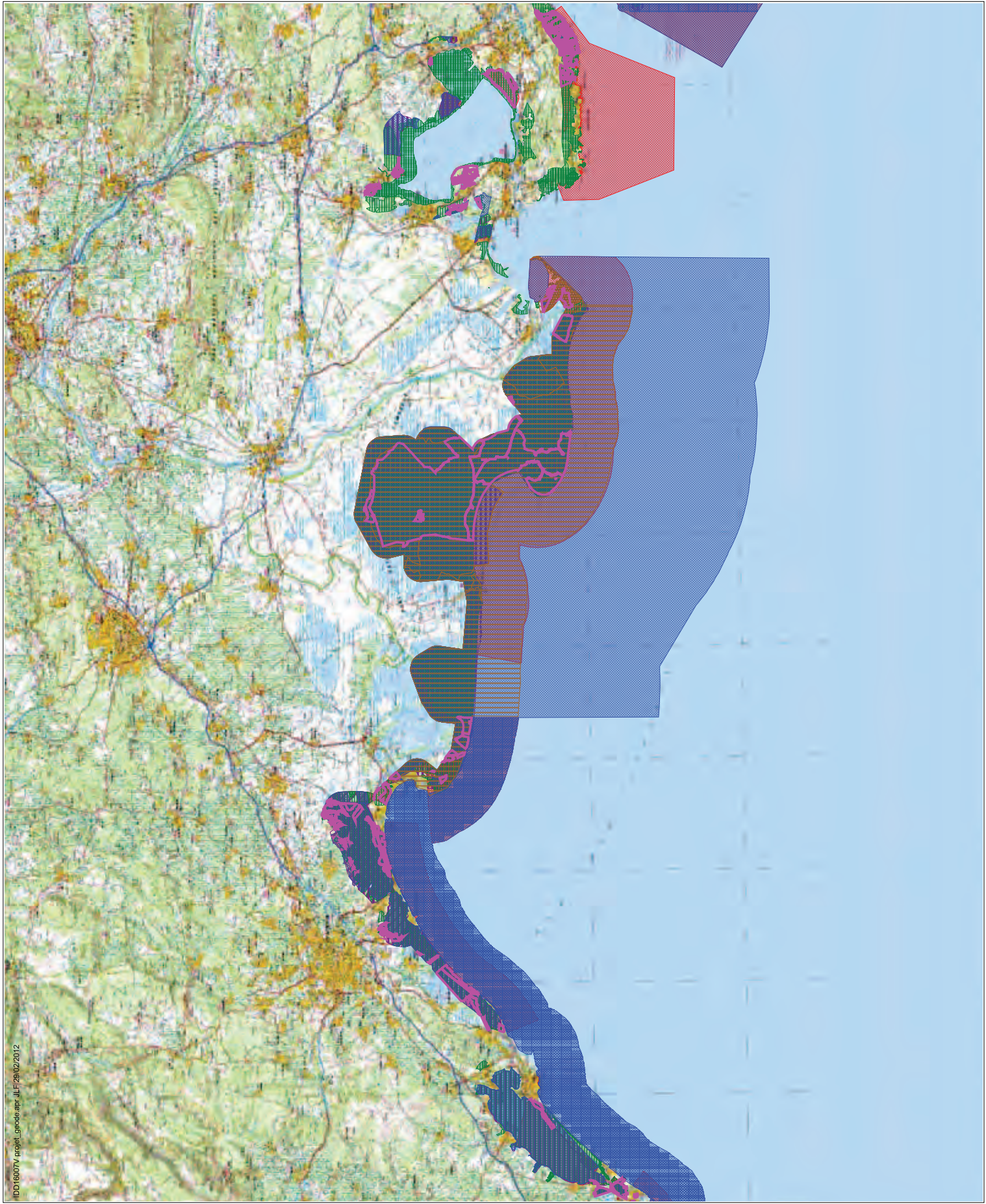
Sensibilités du littoral métropolitain

- Zone de Protection Spéciale
- ZNIEFF de type 2
- ZNIEFF de type 1
- ZICO
- Site d'Intérêt Communautaire
- Réserve Naturelle Volontaire
- Réserve Naturelle de Chasse
- Réserve Naturelle (Corse)
- Réserve naturelle
- Réserve Biologique 2011
- Sites Ramsar, 2010
- Parc Naturel Régional 2011
- Parc National Marin 2010
- Parc National 2010
- Conservatoire du Littoral 2011
- Reserves de la Biosphère 2010
- Arrêtés de Protection de Biotope 2011

Source : Inventaire National
du Patrimoine Naturel

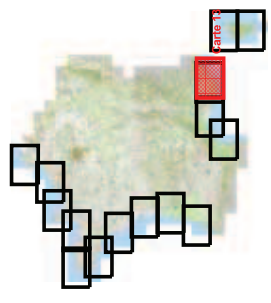


0 3 6 Kilometers





Etude méthodologique des impacts environnementaux et socio-économiques des énergies marines renouvelables



Sensibilités du littoral métropolitain

- Zone de Protection Spéciale
- ZNIEFF de type 2
- ZNIEFF de type 1
- ZICO
- Site d'Intérêt Communautaire
- Réserve Naturelle Volontaire
- Réserve Naturelle de Chasse
- Réserve Naturelle (Corse)
- Réserve naturelle
- Réserve Biologique 2011
- Sites Ramsar 2010
- Parc Naturel Régional 2011
- Parc National Merin 2010
- Parc National 2010
- Conservatoire du Littoral 2011
- Réserves de la Biosphère 2010
- Arrêtés de Protection de Biotope 2011

Source : Inventaire National
du Patrimoine Naturel

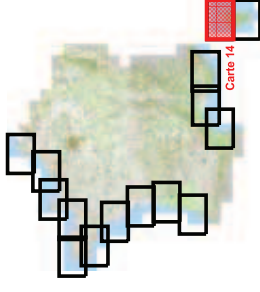


0 3 6 Kilometers






















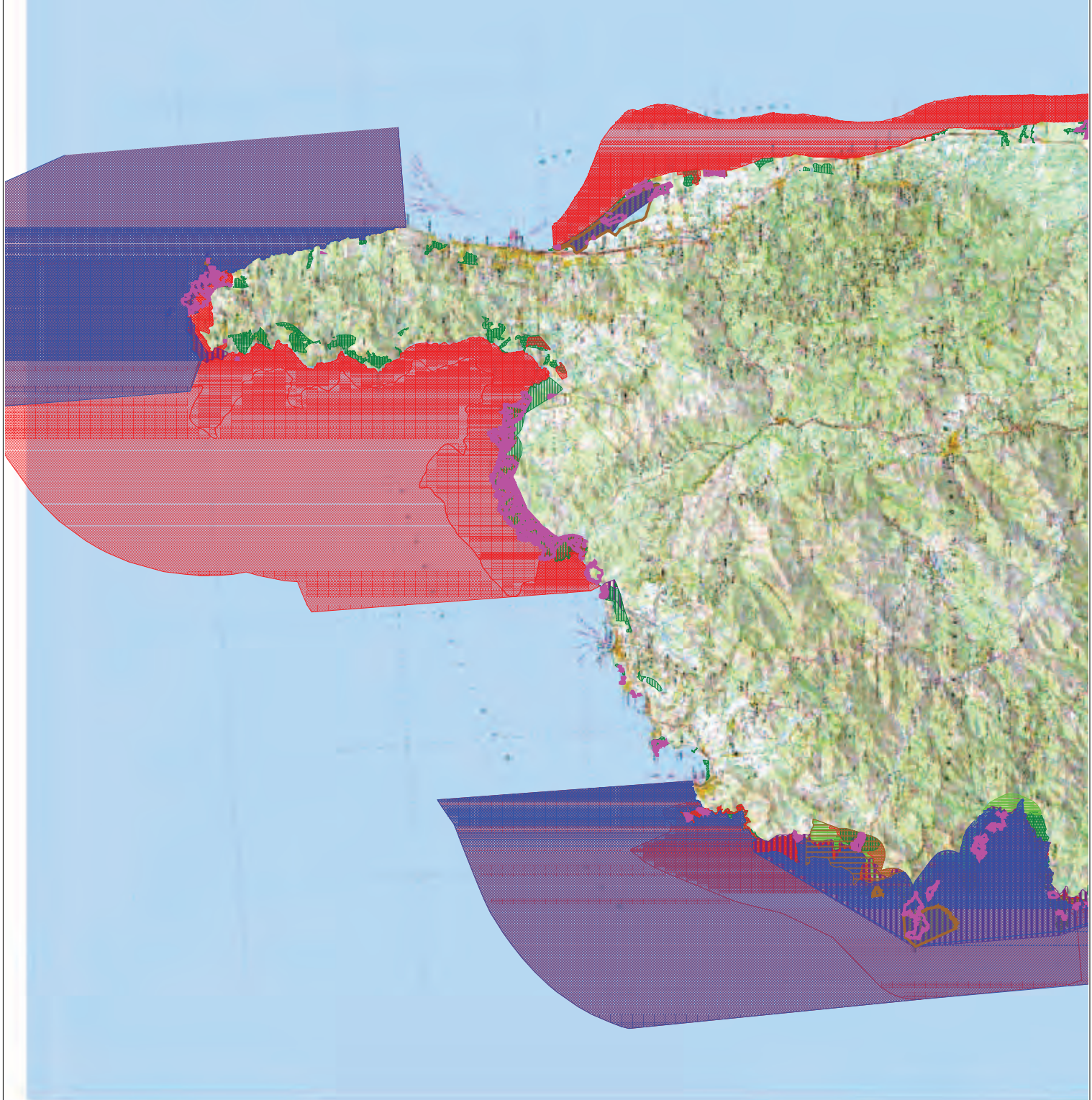
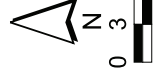
Etude méthodologique des impacts environnementaux et socio-économiques des énergies marines renouvelables



Sensibilités du littoral métropolitain

-  Zone de Protection Spéciale
-  ZNIEFF de type 2
-  ZNIEFF de type 1
-  ZICO
-  Site d'Intérêt Communautaire
-  Réserve Naturelle Volontaire
-  Réserve Naturelle de Chasse
-  Réserve Naturelle (Corse)
-  Réserve naturelle
-  Réserve Biologique 2011
-  Sites Ramsar 2010
-  Parc Naturel Régional 2011
-  Parc National Marin 2010
-  Parc National 2010
-  Conservatoire du Littoral 2011
-  Réserves de la Biosphère 2010
-  Arrêtés de Protection de Biotope 2011

Source : Inventaire National
du Patrimoine Naturel





Etude méthodologique des impacts environnementaux et socio-économiques des énergies marines renouvelables



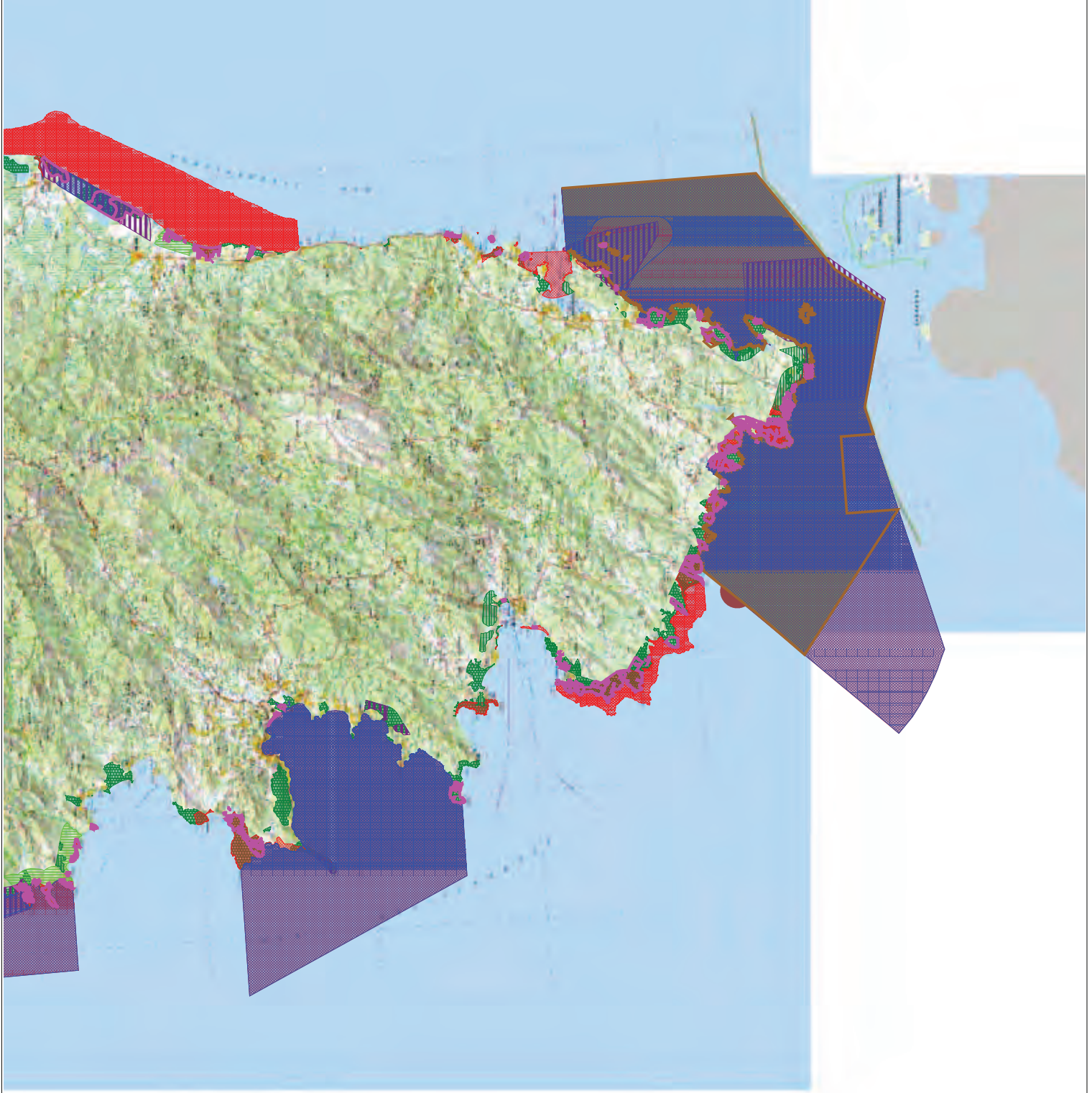
Sensibilités du littoral métropolitain

- Zone de Protection Spéciale
- ZNIEFF de type 2
- ZNIEFF de type 1
- ZICO
- Site d'Intérêt Communautaire
- Réserve Naturelle Volontaire
- Réserve Naturelle de Chasse
- Réserve Naturelle (Corse)
- Réserve naturelle
- Réserve Biologique 2011
- Sites Ramsar, 2010
- Parc Naturel Régional 2011
- Parc National Marin 2010
- Parc National 2010
- Conservatoire du Littoral 2011
- Réserves de la Biosphère 2010
- Arrêtés de Protection de Biotope 2011

Source : Inventaire National
du Patrimoine Naturel



0 3 6 Kilometers



Direction générale de l'énergie et du climat
Arche Nord
92055 La Défense Cedex
Tél. : 01 40 81 21 22