

Rapport de suivi environnemental de l'éolienne flottante FLOATGEN, site d'essais SEM-REV

M. Reynaud, E. Le Bourhis, T. Soulard & Y. Perignon¹

Avec la collaboration de A. Bertholon, A. Blangy, H. Erussard, S. Lambert,
G. Le Bihan, I. Le Crom, H. Lugez, J. M. Rousset, L. Sigoigne, et O. Thilleul
avec le support matériel des équipes de BW-Ideol

Novembre 2021

¹ Contact : semrev@ec-nantes.fr

TABLE DES MATIERES

ACRONYMES	4
GLOSSAIRE	5
RÉSUMÉ.....	7
1. INTRODUCTION.....	12
2. DESCRIPTION DE L'EOLIENNE FLOTTANTE FLOATGEN	15
2.1. LES DONNEES-CLES DU PROJET	15
2.2. LA FONDATION FLOTTANTE.....	16
2.3. L'EOLIENNE	16
2.4. LE SYSTEME D'ANCRAGE	16
2.5. LE CABLE ELECTRIQUE OMBILICAL	18
2.6. L'INSTALLATION SUR LE SITE D'ESSAIS.....	18
2.7. CONNEXION AU RESEAU ELECTRIQUE	19
2.8. OPERATIONS DE MAINTENANCE.....	19
2.9. PHASE DE DEMANTELEMENT	19
3. SUIVIS ENVIRONNEMENTAUX PAR THEMATIQUE	20
3.1. ACOUSTIQUE SOUS-MARINE	20
3.1.1. CONTEXTE ET OBJECTIFS DU SUIVI.....	20
3.1.2. ETAT DE REFERENCE.....	20
3.1.3. DURANT LA PHASE DE TRAVAUX	25
3.1.4. DURANT LA PHASE OPERATIONNELLE ET DE MAINTENANCE.....	30
3.1.5. DURANT LA PHASE DE DEMANTELEMENT	37
3.2. CHAMPS ELECTRIQUES ET MAGNETIQUES	38
3.2.1. CONTEXTE ET OBJECTIFS DU SUIVI.....	38
3.2.2. ETAT DE REFERENCE.....	38
3.2.3. DURANT LA PHASE OPERATIONNELLE ET DE MAINTENANCE.....	40
3.3. TEMPERATURE	43
3.3.1. CONTEXTE ET OBJECTIFS DU SUIVI.....	43
3.3.2. DESCRIPTION DU PROTOCOLE DU SUIVI.....	43
3.3.3. RESULTATS	44
3.3.4. SYNTHESE.....	46
3.4. QUALITE DES EAUX	47
3.4.1. CONTEXTE ET OBJECTIFS DU SUIVI.....	47
3.4.2. TENUE D'UN REGISTRE DES PRODUITS ET MATERIAUX UTILISES SUR LE SITE D'ESSAIS.....	47
3.4.3. SUIVI DE LA CONTAMINATION CHIMIQUE.....	47
3.4.4. CONTRIBUTION AU RESEAU PHENOMER.....	51
3.5. HABITATS ET COMMUNAUTES BENTHIQUES.....	52
3.5.1. CONTEXTE ET OBJECTIFS DU SUIVI.....	52
3.5.2. DESCRIPTION DU PROTOCOLE DU SUIVI	54
3.5.3. RESULTATS	57
3.5.4. SYNTHESE.....	66
3.6. BIOCOLONISATION	68
3.6.1. CONTEXTE ET OBJECTIFS DU SUIVI.....	68
3.6.2. DESCRIPTION DU PROTOCOLE DU SUIVI.....	68
3.6.3. RESULTATS	69
3.6.4. SYNTHESE.....	71
3.7. RESSOURCES HALIEUTIQUES ET INVERTEBRES PELAGIQUES	72
3.7.1. CONTEXTE ET OBJECTIFS DU SUIVI.....	72
3.7.2. DESCRIPTION DU PROTOCOLE DU SUIVI.....	72
3.7.3. RESULTATS	73
3.7.4. SYNTHESE.....	76

3.8. AVIFAUNE ET CHIROPTERES	77
3.8.1. CONTEXTE ET OBJECTIFS DU SUIVI.....	77
3.8.2. DESCRIPTION DU PROTOCOLE DU SUIVI.....	77
3.8.3. RESULTATS	78
3.8.4. SYNTHESE.....	80
3.9. PAYSAGE	81
3.9.1. CONTEXTE ET OBJECTIFS DU SUIVI.....	81
3.9.2. DESCRIPTION DU PROTOCOLE DU SUIVI.....	81
3.9.3. SYNTHESE.....	83
4. BIBLIOGRAPHIE	84

ACRONYMES

AMBI	A Marine Biotic Index / Indice biotique marin
ANR	Agence Nationale de la Recherche
BAC	Background Assessment Concentrations
CEM	Champ électromagnétique
CNRS	Centre National de la Recherche Scientifique
DCSMM	Directive-Cadre Stratégie pour le Milieu Marin
DCE	Directive-Cadre sur l'Eau, une réglementation relative à la qualité de l'eau
EC	European Commission food standard
EMR	Energies Marines Renouvelables
ETM	Eléments Traces Métalliques
EUNIS	EUropean Nature Information System / Système d'information européen sur la nature
FEM	France Energies Marines
LHEEA	Laboratoire de recherche en Hydrodynamique, Energétique et Environnement Atmosphérique
MED POL	Programme d'évaluation et de maîtrise de la pollution marine dans la région méditerranéenne
MNHN	Muséum National d'Histoire Naturelle
MO	Matière Organique
NMFS	National Marine Fisheries Service
NRC	National Research Council
O&M	Opération et Maintenance
OSPAR	« OSlo-PARis » : Convention pour la protection du milieu marin de l'Atlantique du Nord-Est
PTS	Permanent Threshold Shift / Perte d'audition permanente
ROOCH	Réseau d'Observation de la Contamination Chimique du littoral de l'Ifremer
ROV	Remotely Operated Vehicle
SEL	Sound Exposure Level / Niveau d'exposition sonore
SEM-REV	Nom du site d'essais expérimental de Centrale Nantes
TTS	Temporary Threshold Shift / Perte d'audition temporaire
UMR	Unité Mixte de Recherche
WEAMEC	West Atlantic Marine Energy Community

GLOSSAIRE

Les termes d'effets et d'impacts sont souvent utilisés indifféremment pour nommer les conséquences d'un projet sur l'environnement. Les textes français régissant les études d'impact définissent eux ces termes de la façon suivante (MEEDM, 2010), et ce sont ces définitions qui seront exploitées par la suite dans ce rapport :

EFFET : l'effet décrit la conséquence objective de l'interaction du projet avec son environnement, qui modifie ainsi certains paramètres environnementaux (physique, géologique et biologique). L'appréciation des effets est indépendante de l'ENJEU du compartiment étudié.

Pour qualifier l'effet toute la dimension spatio-temporelle du projet est prise en compte. Il convient de distinguer :

- **Effet direct** : traduit les conséquences immédiates du projet, dans l'espace et dans le temps.
- **Effet indirect** : résulte d'une relation de cause à effet ayant à l'origine un effet direct. Un effet indirect peut concerner une aire géographique plus éloignée du projet, ou apparaître dans un délai plus ou moins long.
- **Effet temporaire** : est un effet limité dans le temps, soit parce qu'il disparaît immédiatement après cessation de la cause, soit parce que son intensité s'atténue progressivement jusqu'à disparaître. Les travaux sont par essence limités dans le temps : la plupart des effets liés aux travaux sont de ce fait des effets temporaires.
- **Effet permanent** : est un effet persistant dans le temps c'est-à-dire se poursuivant une fois l'action réalisée et/ou tout au long de la vie de l'infrastructure correspondant ici à la durée du test du démonstrateur.

ENJEU : L'enjeu représente pour une portion du territoire, compte tenu de son état actuel ou prévisible, une valeur au regard de préoccupations patrimoniales, esthétiques, culturelles, de cadre de vie ou économiques. Les enjeux sont appréciés par rapport à des critères tels que la qualité, la rareté, l'originalité, la diversité, la richesse, etc. L'appréciation des enjeux est indépendante du projet.

IMPACT : l'impact correspond à la transposition de l'EFFET du projet sur les ENJEUX des différents compartiments de l'environnement (écosystème, paysage et patrimoine, usages) identifiés lors de l'état initial.

Ainsi, la matrice de qualification des impacts qui en découle est la suivante, l'ENJEU ayant une pondération plus importante que l'EFFET.

MATRICE D'EVALUATION DES IMPACTS EN FONCTION DE LA VALEUR DES EFFETS ET DES ENJEUX.

ENJEUX \ EFFETS	Négligeable	Faible	Moyen	Fort
Négligeable	Négligeable	Négligeable	Négligeable	Négligeable
Faible	Négligeable	Faible	Moyen	Moyen
Moyen	Négligeable	Faible	Moyen	Fort
Fort	Négligeable	Moyen	Moyen	Fort

L'appréciation globale de l'impact est évaluée selon quatre niveaux :

- **Négligeable** : pas d'impact du projet sur la thématique étudiée ;
- **Faible** : l'impact du projet sur la thématique n'induit pas de perte de valeur du compartiment écologique / patrimoniale ;
- **Moyen** : l'impact induit une perte de valeur écologique et/ou patrimoniale. Toutefois, une part importante de l'impact peut être absorbée par le compartiment environnemental du fait de sa forte représentativité aux alentours du projet et/ou du potentiel de régénération et/ou d'adaptation du compartiment écologique ;
- **Fort** : l'impact induit une perte irréversible.

RÉSUMÉ

Le site d'essais SEM-REV de l'Ecole Centrale de Nantes est opéré conjointement avec le CNRS à travers le Laboratoire de recherche en Hydrodynamique, Énergétique et Environnement Atmosphérique (LHEEA - UMR 6598).

Ce site est dédié aux essais en milieu réel et à l'échelle 1 de dispositifs EMR, et il accueille depuis 2018 une éolienne flottante d'une puissance de 2 MW, FLOATGEN, développée par la société BW IDEOL. Ce premier rapport public de suivi environnemental expose les travaux menés et les observations et résultats obtenus sur le site et son environnement dans le cadre de cet accueil.

A ce jour, aucun effet ou impact fort n'a été relevé sur l'environnement marin parmi l'ensemble des compartiments étudiés. Par ailleurs, aucun incident environnemental ni aucune pollution n'a été engendré, que ce soit dans les phases de travaux, d'exploitation ou de maintenance du démonstrateur.

Les travaux menés ont permis de tirer les enseignements suivants, récapitulés par ailleurs dans les **TABLEAU 1** et **TABLEAU 2** :

- Le **TABLEAU 1** synthétise les connaissances acquises durant la phase d'installation de l'éolienne FLOATGEN au sein du site d'essais SEM-REV. Cette phase a duré environ 27 jours ;
- Le **TABLEAU 2**, quant à lui, regroupe les premiers résultats des deux ans de suivi de la phase opérationnelle et de maintenance de FLOATGEN sur le site d'essais SEM-REV. Le test de ce démonstrateur continuera jusqu'à l'automne 2023.

Sur le volet acoustique sous-marine, les mesures et analyses confirment que la phase de travaux d'installation est à l'origine des plus hauts niveaux de bruit. Ceux-ci ont été induits par le système de propulsion du navire d'installation lors des phases de mise en tension des ancrages et de l'ensouillage des ancres. Lors de cette phase, une diminution de la fréquentation des mammifères marins a été observée dans la proximité du site, leur présence restant néanmoins quotidienne.

Les modélisations des émissions acoustiques sur les mammifères marins en phase de travaux évaluent les effets comme étant faibles et les impacts moyens pour le marsouin commun (*Phocoena phocoena*) et pour le phoque gris (*Halichoerus grypus*). En ce qui concerne le petit rorqual (*Balaenoptera acutorostrata*), bien que les effets sonores soient qualifiés de moyen, sa fréquentation occasionnelle de la zone d'étude engendre *de facto* une catégorisation d'impact sonore faible face aux travaux d'ancrage. Pour les autres espèces, notamment le dauphin commun (*Delphinus delphis*) et le grand dauphin (*Tursiops truncatus*), l'absence de risques physiologiques de perte d'audition temporaire ou permanente dans les scénarios acoustiques modélisés engendre des effets tout comme des impacts négligeables. En phase d'exploitation et de maintenance, les émissions acoustiques induites par cette éolienne flottante présentent deux types de signatures : des vibrations en hautes fréquences dues aux équipements électriques et aux propriétés mécaniques de la structure, et des sons impulsionnels dus aux ancrages. L'évaluation des impacts sonores liés aux composantes du bruit continu de l'éolienne (les vibrations) conclut à un impact négligeable sur l'ensemble des espèces étudiées, excepté pour le petit rorqual avec un impact faible, et le marsouin commun avec un impact moyen.

Sur le volet qualité des eaux, la procédure d'identification des produits et des matériaux mis en œuvre sur le site d'essais SEM-REV permet de vérifier a priori la bonne conformité réglementaire

et d'adapter les protocoles de suivi. Un suivi spécifique a été ainsi mis en place pour les éléments traces métalliques afin de documenter l'influence de la dégradation des anodes sacrificielles. A ce jour aucune pollution de l'eau ou des sédiments n'a été détectée lors des phases de travaux, d'exploitation ou de maintenance.

Sur le volet des habitats et des communautés benthiques, des prélèvements réguliers ont permis de suivre l'état des habitats du fond marin d'après l'évolution de différents paramètres écologiques. En 2019, après un an de fonctionnement, les communautés à proximité de l'éolienne FLOATGEN et de ses infrastructures sont évaluées comme étant en bonne santé et dans un état similaire à l'état initial du site. A ce jour, aucune perturbation ni pollution n'a été détectée, notamment en matière organique.

La colonisation des structures immergées par de nouveaux organismes fait par ailleurs l'objet d'un suivi spécifique. L'étude est actuellement encore en cours, mais les premiers résultats permettent déjà de qualifier les espèces et les groupes biologiques présents aux différentes dates de prélèvement ; des moules communes (*Mytilus edulis*), des Hydrozoaires (*Amphisbetia operculata*), des Actiniaires (anémones : *Metridium senile*) et des Alcyonides (coraux mous : *Alcyonium digitatum*) sont les taxons qui prédominent dans ces communautés ayant colonisés les structures. Une seule espèce non indigène et invasive mais présente régionalement, la crépidule (*Crepidula fornicata*), a été repérée dans un périmètre très circonscrit. Un point de vigilance porte donc sur l'évolution de la population de cette espèce dans la suite de ce suivi.

Un suivi des ressources halieutiques est en cours de réalisation grâce au déploiement de prototypes de capteurs innovants. L'analyse de leurs mesures est actuellement toujours en cours.

Enfin, sur le volet avifaune, des observations terrains sont réalisées depuis l'installation de l'éolienne, et des images vidéos issues des caméras de surveillance du flotteur viennent compléter les observations depuis mars 2020. Leurs analyses, encore partielles, montrent que certaines espèces seraient attirées par la structure puisque celle-ci créerait un site de repos et d'alimentation au large. En deux ans (de septembre 2018 à décembre 2020), douze individus d'espèces variées ont été retrouvés morts sur la structure, à proximité ou dans ses espaces confinés. La cause des différents décès reste indéterminée (naturelle du fait d'un effet refuge, collision, piégeage, ...). Des travaux d'analyse dédiés débutent actuellement grâce à la mise en place d'un protocole de recueil et analyse des cadavres potentiels (avec nécropsies²), combiné à l'implantation d'un dispositif de détection de collisions. Ces analyses sont indispensables et aucune piste ne peut être privilégiée à ce jour.

Les suivis et les protocoles mis en œuvre, ainsi que les actions de sensibilisation des développeurs accueillis à ces problématiques, tout comme le rappel du cadre environnemental d'opération, visent à poursuivre les efforts de documentation des impacts engagés afin de les limiter le cas échéant. En ce sens les suivis engagés permettent de consolider les connaissances acquises et d'appréhender les incidences qui pourraient survenir à plus long terme et à plus grande échelle dans des contextes commerciaux sur d'autres sites régionaux.

² Le terme "nécropsie" est utilisé pour désigner l'examen d'un animal mort, en opposition au terme "autopsie" qui est réservé aux humains.

TABLEAU 1 : SYNTHÈSE DES EFFETS ET DES IMPACTS DE L'INSTALLATION DE L'EOLIENNE FLOTTANTE FLOATGEN (2MW) SUR LE SITE D'ESSAIS SEM-REV.

Nature de l'effet	Récepteurs	Enjeux sur le site SEM-REV	Action de l'effet	Durée de l'effet	Intensité de l'effet	Valeur de l'effet	Impact
Emissions sonores	Bruit ambiant	f	Direct	Temporaire	Emergence max : 50 dB ref 1 μ Pa ² /Hz	f	f
Emissions sonores [évaluer sur une durée d'exposition de 24h]	Petit rorqual	f	Direct	Permanent Temporaire	PTS : 190 m TTS : 390 m	M	f
	Dauphin commun	F	Direct	Temporaire	∅	N	N
	Grand dauphin	M	Direct	Temporaire	∅	N	N
	Dauphin bleu et blanc	M	Direct	Temporaire	∅	N	N
	Globicéphale noir	M	Direct	Temporaire	∅	N	N
	Marsouin commun	F	Direct	Temporaire	TTS : 250 m	f	M
	Phoque gris	M	Direct	Temporaire	TTS : 125 m	f	M
Remaniement des fonds	Nature et qualité des fonds	N	Direct	Temporaire	Surface : 5 000 m ²	f	N
	Communautés benthiques	M	Direct	Temporaire	∅	N	N
Modification de la fréquentation du site	Mammifères marins	F	Direct	Temporaire	Diminution des détections	f	M
	Avifaune et chiroptère	M	Direct	Temporaire	Observation d'effet d'attraction	N à f	IND

Valeur de l'enjeu/effet/impact :

N Négligeable	f Faible	M Moyen	F Fort	IND Non déterminé
N à f Négligeable à faible	PTS : Perte d'audition permanente		TTS : Perte d'audition temporaire	

TABLEAU 2 : SYNTHÈSE DES RESULTATS ACTUELS DES EFFETS ET DES IMPACTS MESURES LORS DE LA PHASE OPERATIONNELLE ET DE MAINTENANCE DE L'EOLIENNE FLOTTANTE FLOATGEN (2MW) SUR LE SITE D'ESSAIS SEM-REV.

Nature de l'effet	Récepteurs	Enjeu sur le site SEM-REV	Action de l'effet	Durée de l'effet	Intensité de l'effet	Valeur de l'effet	Impact	
Emissions sonores	Bruit ambiant	f	Direct	Permanent	Emergence moyenne : 9 dB ref 1 μ Pa ² /Hz	f	f	
Emissions sonores [évaluer sur une durée d'exposition de 24h]	Petit rorqual	f	Direct	Temporaire	TTS : 60 m	f	f	
	Dauphin commun	F	Direct	Temporaire	∅	N	N	
	Grand dauphin	M	Direct	Temporaire	∅	N	N	
	Dauphin bleu et blanc	M	Direct	Temporaire	∅	N	N	
	Globicéphale noir	M	Direct	Temporaire	∅	N	N	
	Marsouin commun	F	Direct	Temporaire	TTS : 80 m	f	M	
	Phoque gris	M	Direct	Temporaire	∅	N	N	
	Tortues marines	M	Direct	Temporaire	∅	N	N	
	Poissons, mollusques et crustacés	M	Direct	Temporaire	∅	N	N	
	Plongée récréative	f	Direct	Temporaire	∅	N	N	
Remaniement des fonds	Intégrité des fonds	N	Direct	Temporaire saisonnier	Modification sédimentaire : 50 cm de part et d'autre des infrastructures	f	N	
	Nature et qualité des sédiments	N	Direct	Temporaire	∅	N	N	
	Communautés benthiques	M	Direct	Temporaire	∅	N	N	
Présence physique du démonstrateur	Nature et qualité des sédiments	N	Indirect	Permanent	∅	N	N	
	Communautés benthiques	M	Indirect	Permanent	∅	N	N	
	Biocolonisation	M	Direct	Permanent	Présence avérée	N à f	IND	
	Ressources halieutiques	M	En cours d'évaluation					
	Avifaune	M	En cours d'évaluation					
	Chiroptère	M	En cours d'évaluation					
	Paysage	M	En cours d'évaluation					
Electromagnétisme dû aux câbles sous-marins	Champs électromagnétique naturel	f	Direct	Permanent	∅	N	N	

Augmentation de la température dû aux câbles sous-marin	Température ambiante	f	Direct	Permanent	∅	N	N
Pollution chimique	Eléments traces métalliques	f	Direct	Permanent	∅	N	N

Valeur de l'enjeu/effet/impact :

N	Négligeable	f	Faible	M	Moyen	F	Fort	IND	Non déterminé
N à f	Négligeable à faible	TTS : Perte d'audition temporaire							

1. INTRODUCTION

Centrale Nantes participe activement au développement des énergies marines renouvelables (EMR) et à l'étude de leur impact sur l'environnement depuis de nombreuses années, en partenariat avec les secteurs industriels et académiques. Centrale Nantes a initié depuis 2007 la construction d'un site d'essais en mer, le site SEM-REV, dédié au test en conditions réelles de dispositifs EMR.

SEM-REV est localisé en Loire-Atlantique, et plus précisément entre la commune du Croisic pour sa partie terrestre et l'ouest du banc de Guérande pour sa partie maritime. La distance séparant la zone en mer de la côte sauvage du Croisic est de l'ordre de 20 km (**FIGURE 1**).

Ce dispositif est opérationnel depuis 2015 et dispose d'équipements en mer et à terre permettant l'accueil simultané de plusieurs démonstrateurs à l'échelle 1. En tant que site d'essais, SEM-REV dispose des autorisations administratives préalables à l'accueil des technologies EMR (**FIGURE 3**).

Le site SEM-REV est opéré conjointement par Centrale Nantes et le CNRS, à travers le laboratoire LHEEA (UMR CNRS 6598).

Le site d'essais comprend (**FIGURE 1**) :

- Une base de recherche et de maintenance à terre située dans le parc de Penn Avel, appartenant au Conservatoire du Littoral et géré par la Mairie du Croisic (**FIGURE 1 A**) ;
- Un poste de livraison électrique à terre, raccordé au réseau Enedis (**FIGURE 1 B**) ;
- Un câble de raccordement électrique de puissance 8 MW à un niveau de tension 20 kV permettant le transport de l'électricité en courant alternatif entre le site d'essais et le poste de livraison à terre (**FIGURE 1 C**). Ce câble est ensouillé sur l'ensemble des 23 km de son tracé et des matelas en béton viennent renforcer sa protection sur deux tronçons de 72 m et 288 m (**FIGURE 1 D**) ;
- Un système de raccordement en mer, dit hub de connexion, permettant de relier jusqu'à trois démonstrateurs simultanés, au câble de raccordement (**FIGURE 2**) ;
- Une concession du Domaine Public Maritime d'environ 1 km² délimitant le site d'essais en mer pour la récupération des énergies marines renouvelables (**FIGURE 1 E**).

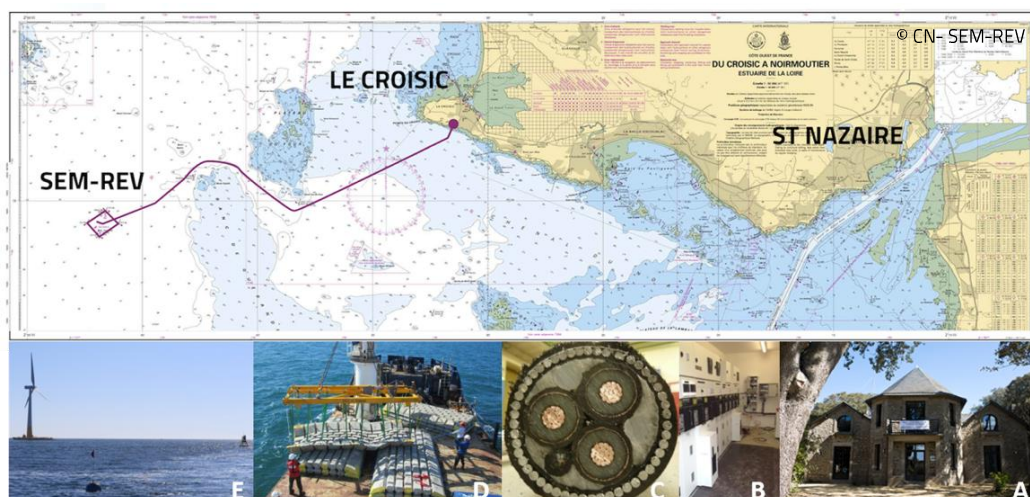


FIGURE 1 : PRESENTATION DES INFRASTRUCTURES DU SITE D'ESSAIS SEM-REV.

Des informations complémentaires sur le site SEM-REV et ses activités régulièrement mises à jour sont disponibles sur le site web de l'infrastructure : <https://sem-rev.ec-nantes.fr/>

Au premier semestre 2021, le site d'essais accueille trois démonstrateurs (FIGURE 2) :

- L'éolienne flottante FLOATGEN de la société BW IDEOL ;
- Les coquilles en fonte IBOCS de la société FMGS ;
- La plateforme houlomotrice WAVEGEM de la société GEPS TECHNO.

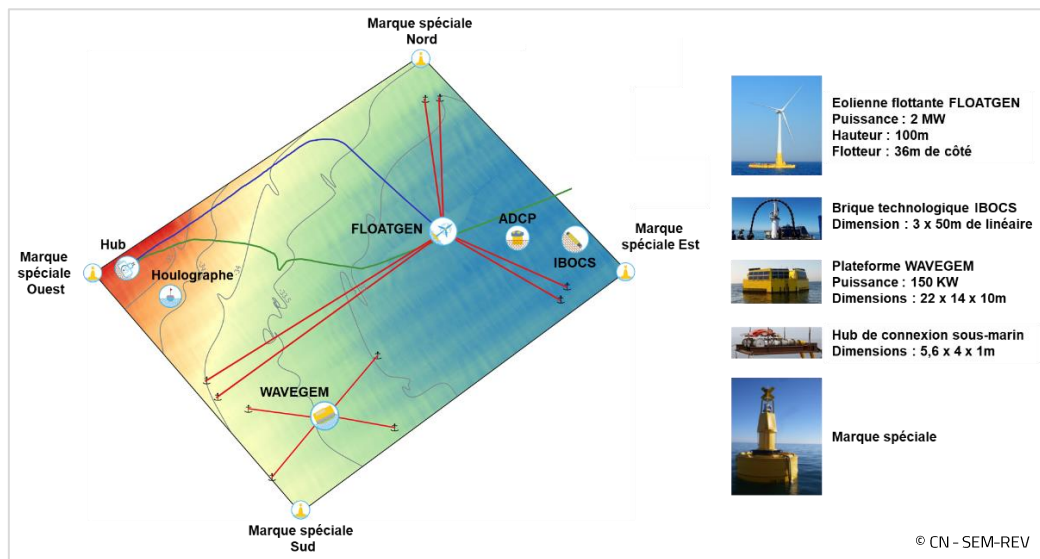


FIGURE 2 : CONFIGURATION DU SITE D'ESSAIS SEM-REV.

La ligne en vert représente le câble électrique de raccordement ; la ligne en bleu représente le câble électrique de l'éolienne flottante FLOATGEN ; Les lignes en rouge représentent les lignes d'ancrage des démonstrateurs.

Les grandes étapes de la construction du site et de l'implantation des démonstrateurs sont rappelées FIGURE 3.



FIGURE 3 : GRANDES DATES DU SITE D'ESSAIS SEM-REV ET DU DEMONSTRATEUR FLOATGEN.

Dans le cadre de ces activités en lien avec des technologies EMR, un suivi environnemental du site et de son environnement est réalisé suivant deux volets :

- Un suivi obligatoire dans le cadre des exigences d'autorisation d'occupation du domaine public maritime (Arrêté n°2014/BPUP/001 du 13 janvier 2014) et de l'arrêté inter-préfectoral portant d'autorisation au titre de la loi sur l'eau relative à l'aménagement de SEM-REV (n°2013/BPUP/099 du 23 décembre 2013) ;
- Un suivi complémentaire développé en propre par Centrale Nantes ou soutenu au sein de projets partenariaux, dans un objectif d'accroissement de la connaissance sur le milieu marin et les impacts environnementaux des énergies marines renouvelables (EMR).

Ce rapport a pour objectif spécifique de présenter les méthodologies de suivis mis en place et des résultats obtenus quant à la caractérisation des potentiels impacts environnementaux induits par l'éolienne flottante FLOATGEN. Les résultats, tant préliminaires, intermédiaires que finaux sont exposés dans ce rapport suivant leurs états d'avancement respectifs.

2. DESCRIPTION DE L'ÉOLIENNE FLOTTANTE FLOATGEN

Le démonstrateur d'éolienne flottante FLOATGEN de la société BW Ideol est accueilli sur SEM-REV depuis 2018 (**FIGURE 4**). A ce jour, FLOATGEN reste la seule éolienne en mer installée en France. Les travaux de construction de la fondation flottante ont eu lieu entre 2016 et 2017 au sein du port de Saint Nazaire. Elle a été remorquée sur le site d'essais SEM-REV en avril 2018 pour son ancrage et son raccordement électrique. Elle produit de l'électricité, injectée sur le réseau, depuis septembre 2018 (**FIGURE 3**).



FIGURE 4 : L'ÉOLIENNE FLOATGEN (BW IDEOL) SUR LE SITE D'ESSAIS SEM-REV.

2.1. LES DONNEES-CLES DU PROJET



FONDATION FLOTTANTE

Flotteur de 36 mètres de côté et de 9,5 mètres de haut (7,5 mètres de tirant d'eau). Equipée du système Damping Pool® de BW Ideol et construite en béton armé pré-contraint par Bouygues TP.



ÉOLIENNE

Modèle Vestas V80 de 2 MW
Diamètre de rotor : 80 mètres
Hauteur de mat incluant la pièce de transition : 60 mètres



SYSTÈME D'ANCRAGE

Ancrage semi-tendu
6 lignes en fibre synthétique (nylon)

2.2. LA FONDATION FLOTTANTE

La fondation flottante a été construite au cœur du port de Saint-Nazaire. Initialement supportée par des barges pour sa phase de construction, la fondation flottante a ensuite été amarrée pour préparer l'accueil de l'éolienne qu'elle supporte (**FIGURE 5**).



FIGURE 5 : PHASE DE CONSTRUCTION DU FLOTTEUR AU PORT DE SAINT-NAZAIRE.

2.3. L'EOLIENNE

L'éolienne Vestas 2 MW V80 qui équipe FLOATGEN a été déchargée sur le port de Saint-Nazaire en juin 2016. Elle a bénéficié de quelques modifications mineures avant d'être installée bord à quai sur la pièce de transition (**FIGURE 6**).



FIGURE 6 : PHOTOGRAPHIES D'UNE PALE (A GAUCHE) ET DU MAT (A DROITE) DE L'EOLIENNE FLOATGEN.

2.4. LE SYSTEME D'ANCRAGE

L'ancrage de l'éolienne repose sur un système innovant qui a bénéficié d'un travail conjoint de BW Ideol et Centrale Nantes. Il se compose en particulier de 6 lignes d'ancrage en fibre synthétique (nylon), ce qui constitue une première pour un ancrage permanent de cette dimension et dans ces profondeurs d'eau.

Les lignes d'ancrage relient la plateforme aux fonds marins grâce à 6 ancres charrues (ajustées pour le sable). Elles pèsent chacune 16 tonnes et ont pour dimension 7,1 m de long et 6,6 m de large avec une emprise d'environ 36 m² (**FIGURE 7**).



FIGURE 7 : PHOTOGRAPHIES DES DIFFERENTS COMPOSANTS DES LIGNES D'ANCRAGE DE L'EOLIENNE FLOATGEN.

Les éléments du système d'ancrage ont été assemblés en juin 2017 puis installés sur le site d'essais SEM-REV. Les opérations marines d'installation des lignes d'ancrages ont duré environ 27 jours, entre juin et juillet 2017. Elles ont été menées par un navire spécialisé dans la pose d'ancres, de 93 m de long, le FAR SAPHIRE (**FIGURE 8**).

La procédure de mise en place d'une ligne de mouillage sur site a consisté en :

- une phase de déploiement d'une ancre reliée à une chaîne.
- une phase d'ensouillage de l'ancre en traction afin de garantir les propriétés de tenue du mouillage. La traction sur l'ancre aura été réalisée tant par la propulsion du navire que par une tension de rappel sur l'ancre de réaction temporaire.
- une phase de connexion et mise en tension d'une ligne nylon.
- une dernière phase d'abandonnement des lignes de manière sécurisée, afin de permettre le raccordement à l'éolienne au printemps suivant.

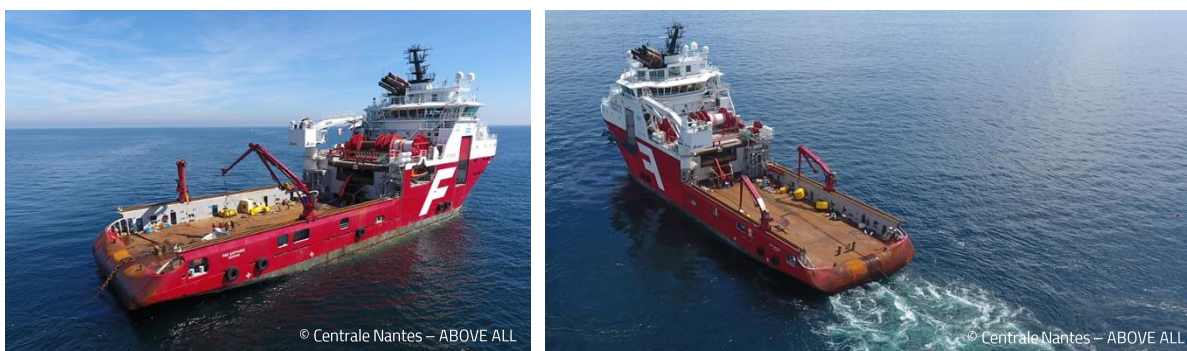


FIGURE 8 : INSTALLATION DES LIGNES D'ANCRAGES DE L'EOLIENNE FLOATGEN.

2.5. LE CÂBLE ELECTRIQUE OMBILICAL

Le câble ombilical de FLOATGEN est un câble triphasé à une double armure en acier intégrant un réseau de fibres optiques. Le câble ombilical est connecté au hub de connexion de SEM-REV et est raccordé à l'éolienne depuis le Nord-Ouest.

Le câble est positionné sur le fond marin sur la majorité de son tracé, et traverse la colonne d'eau en configuration de « lazy wave » pour rejoindre le point de raccordement à l'éolienne (FIGURE 9).

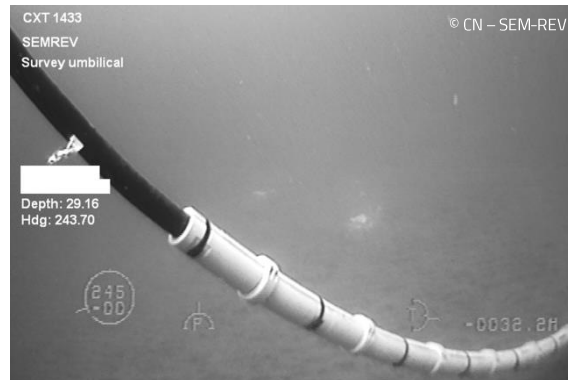


FIGURE 9 : PHOTOGRAPHIE DU CÂBLE OMBILICAL DE L'ÉOLIENNE FLOATGEN - SECTION DU POINT DE TOUCHE AVEC LE FOND MARIN.

2.6. L'INSTALLATION SUR LE SITE D'ESSAIS

Trois remorqueurs de haute mer ont été mobilisés pendant cette opération. Partis dimanche 29 avril 2018 en fin d'après-midi, ils ont mis environ une journée pour acheminer l'éolienne sur le site d'essais SEM-REV (FIGURE 10). Quatre jours supplémentaires ont été nécessaires pour les opérations d'amarrage.



FIGURE 10 : REMORQUAGE DE L'ÉOLIENNE JUSQU'AU SITE SEM-REV.

2.7. CONNEXION AU RESEAU ELECTRIQUE

Une opération de raccordement du câble électrique suivi d'une ultime série de tests ont permis à l'éolienne FLOATGEN d'entrer définitivement en phase de démonstration le mardi 18 septembre 2018.

2.8. OPERATIONS DE MAINTENANCE

La périodicité des missions d'inspection du démonstrateur est de l'ordre de 15 jours, en moyenne. Ces missions se déroulent à la journée. Les navires utilisés pour ces opérations sont des navires de transport de passagers et de matériel (**FIGURE 11**).



FIGURE 11 : OPERATION DE MAINTENANCE DU 20 MAI 2018 AVEC LE NAVIRE JLD MAELY (SOCIETE ATLANTIQUE MARITIME SERVICES).

2.9. PHASE DE DEMANTELEMENT

Il est prévu que les essais du démonstrateur FLOATGEN se poursuivent jusqu'à l'automne 2023. Une fois les tests terminés, le démonstrateur sera démantelé.

Ce démantèlement du démonstrateur vise à ramener le site à son état initial. Ainsi l'ensemble des structures mises en place sur la concession SEM-REV dans le cadre de ce test seront retirées.

Si le détail du démantèlement de l'éolienne FLOATGEN n'est pas encore figé à ce jour, il est déjà possible d'estimer que les moyens mis en œuvre seront proches de ceux exploités lors de la phase de travaux d'installation.

3. SUIVIS ENVIRONNEMENTAUX PAR THEMATIQUE

3.1. ACOUSTIQUE SOUS-MARINE

3.1.1. CONTEXTE ET OBJECTIFS DU SUIVI

Dans un contexte de pollution sonore croissante du milieu marin, la prise en compte de l'impact du bruit généré pendant les phases de travaux, particulièrement, et d'exploitation, dans une moindre mesure, est une des considérations majeures associée aux projets d'énergies marines renouvelables.

Les objectifs de ce suivi sont les suivants :

- Evaluer l'état initial du bruit ambiant sur zone ;
- Quantifier l'émergence sonore liée aux phases de travaux et d'exploitation ;
- Fournir la signature acoustique de chacune des opérations de travaux ;
- Fournir la signature acoustique de l'éolienne FLOATGEN en exploitation ;
- Evaluer l'impact de ces émergences sonores sur le bruit ambiant et la faune marine.

La stratégie d'échantillonnage de ce suivi inclut 5 campagnes entre 2017 et l'été 2021. Chaque campagne est décrite dans les sections suivantes tant d'un point de vue méthodologique que des résultats obtenus.

3.1.2. ETAT DE REFERENCE

3.1.2.1. DESCRIPTION DU PROTOCOLE DU SUIVI

La caractérisation du bruit ambiant sous-marin et le recensement des sources sonores ont été réalisés sur le site SEM-REV en 2017, par le biais des mesures *in situ* et des modélisations numériques. Cette caractérisation a été menée par la société NEREIS ENVIRONNEMENT (NEREIS ENVIRONNEMENT, 2017).

Deux méthodes complémentaires ont été utilisées pour établir l'état de référence, et basées sur des approches d'acoustiques passives et actives. Les techniques passives consistent à exploiter des récepteurs quand les techniques actives reposent sur l'exploitation conjointe d'émetteurs et de récepteurs afin de caractériser le milieu.

Campagne n°1

Une première campagne d'acquisition de données acoustiques passives *in situ* a été effectuée sur les 10 jours précédant les opérations d'installation des lignes d'ancrage sur site (2 au 12 juin 2017). Elle a été réalisée grâce au déploiement, dans le périmètre du site SEM-REV, d'un enregistreur acoustique autonome couplé à un hydrophone (**FIGURE 12**).

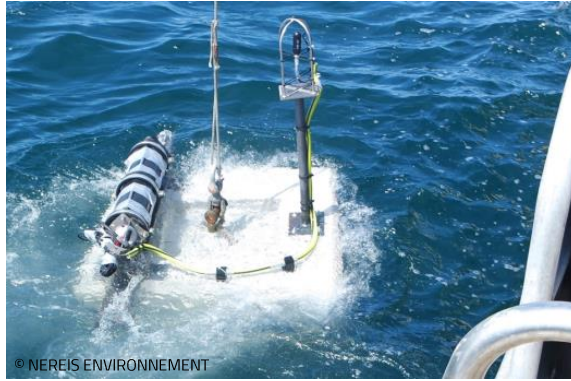


FIGURE 12 : L'ENREGISTREUR ET L'HYDROPHONE UTILISES POUR ETABLIR L'ETAT DE REFERENCE (NEREIS ENVIRONNEMENT, 2017).

Parallèlement au traitement audiophonique des données collectées *in situ*, des données complémentaires ont également été collectées (données sur le trafic maritime, données météorologiques, données issues de la littérature, etc.).

La caractérisation du bruit ambiant repose sur la prise en compte de ces trois composantes, à savoir :

- La géophonie (sources sonores d'origine naturelle mais non biologique) ;
- La biophonie (sources sonores d'origine biologique) ;
- L'anthropophonie (sources sonores d'origine anthropique).

Une synthèse de la distribution en fréquence des différentes sources sonores constituant le bruit ambiant sous-marin est présentée dans la **FIGURE 13** (modèle de Wenz d'après NRC, 2003).

Campagne n°2

Une campagne d'acquisition *in situ* de données d'acoustique active a été mise en œuvre sur une journée en juin 2017 afin de calibrer un modèle de propagation sonore aux alentours du site SEM-REV en quantifiant, notamment, les pertes acoustiques entre une source sonore de référence émettrice et un enregistreur autonome fixe positionné à l'intérieur du site.

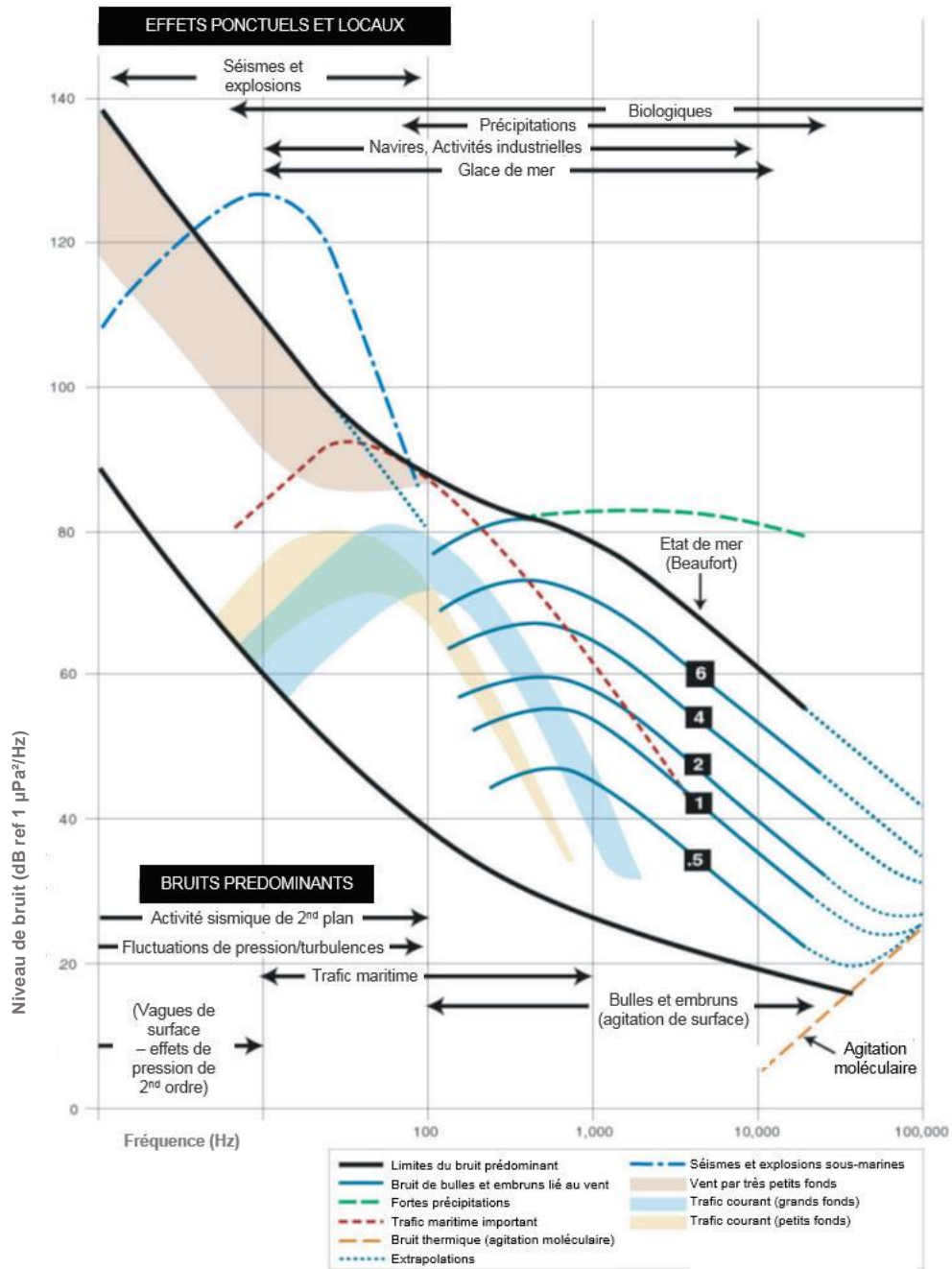


FIGURE 13 : CONTRIBUTION DES DIFFERENTES SOURCES SONORES AU BRUIT AMBIANT SOUS-MARIN D'APRES LE MODELE DE WENZ (D'APRES NRC, 2003).

3.1.2.2. RESULTATS

L'ambiance sonore moyenne enregistrée lors de l'état de référence était de 103,7 dB ref $1\mu\text{Pa}^2/\text{Hz}$ (Cf. note bas de page ³) avec un écart-type de 2,8 dB ref $1\mu\text{Pa}^2/\text{Hz}$.

Une carte du bruit ambiant a ainsi été établie en prenant en compte, l'ensemble des éléments de caractérisation du bruit ambiant mesuré pendant l'état de référence (Figure 14).

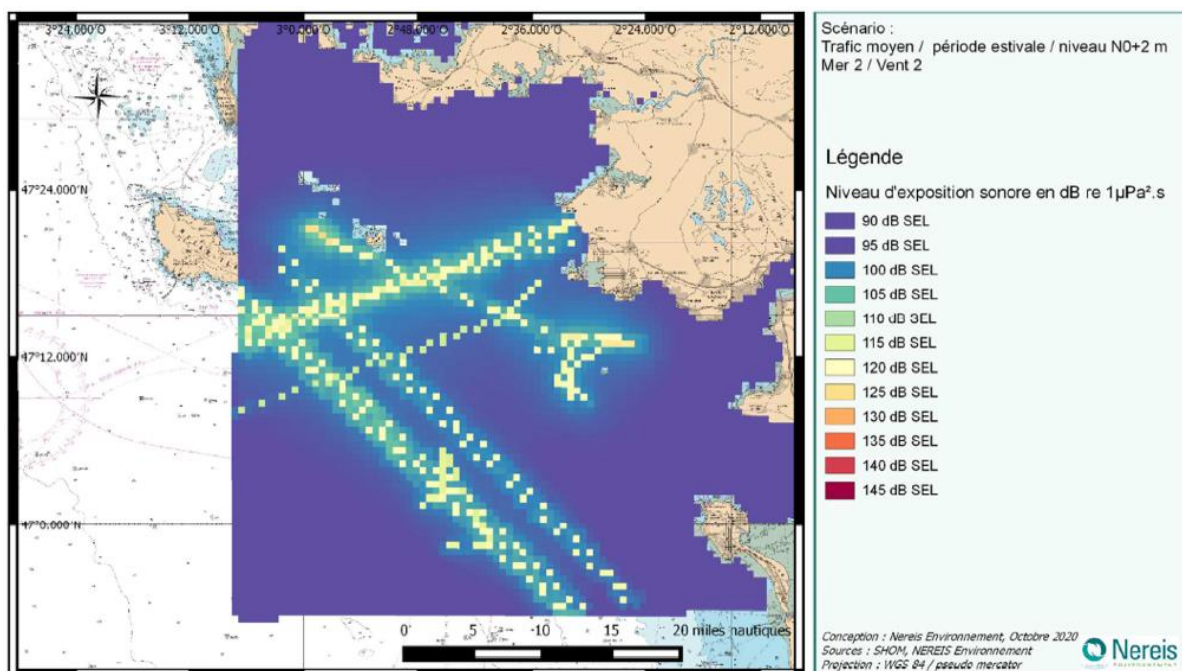


FIGURE 14 : CARTE DU BRUIT AMBIANT MOYEN SUR LA ZONE D'ETUDE LORS DE L'ETAT INITIAL (NIVEAU D'EXPOSITION SONORE EXPRIME EN dB SEL ref $1\mu\text{Pa}^2.s$ - NEREIS ENVIRONNEMENT, 2017).

La géophonie (bruits produits par les éléments physiques tels que vent, vagues, etc.)

La contribution de la géophonie est due principalement à l'état de mer, du fait du brassage mécanique en surface généré par les vagues et leur déferlement, ainsi qu'au vent et à la pluie.

La période d'acquisition de l'état de référence acoustique a coïncidé avec des conditions météorologiques clémentes (vent faible inférieur à 10 nœuds et vagues inférieures à 1,5 mètre) et la contribution de la géophonie a été évaluée inférieure à 66,8 dB ref $1\mu\text{Pa}^2/\text{Hz}$ (niveau observé pour le tiers d'octave centré à 250 Hz).

³ L'unité de mesure du bruit émis sous l'eau est exprimé en dB (décibel – unité de mesure usuelle du son) en référence à la pression sous-marine (ref $1\mu\text{Pa}^2$) et distribué en fonction de la fréquence du son (exprimé en Hertz – Hz).

La biophonie (bruits émis par la faune sous-marine)

Plus de 20 espèces de mammifères marins sont fréquemment rencontrées le long des côtes métropolitaines françaises. Ces populations de mammifères sont principalement représentées par des dauphins, des marsouins et, dans une moindre mesure, par des rorquals et des phoques. Les espèces les plus fréquemment rencontrées dans le golfe de Gascogne sont le dauphin commun (*Delphinus delphis*), le dauphin bleu et blanc (*Stenella coeruleoalba*), le marsouin commun (*Phocoena phocoena*), le grand dauphin (*Tursiops truncatus*), le globicéphale noir (*Globicephala melas*) et le petit rorqual (*Balaenoptera acutorostrata*) ; le dauphin commun (*Delphinus delphis*) apparaissant comme l'espèce majoritaire (Adera, 2017).

Il faut en outre noter que le dispositif de mesure mis en place permet de couvrir la totalité du spectre de communication propre des delphinidés, du phoque gris (*Halichoerus grypus*) et du petit rorqual (*Balaenoptera acutorostrata*) mais ne permet pas de réaliser une détection de présence couvrant la totalité du spectre de vocalise du marsouin commun (*Phocoena phocoena*). Le capteur large bande (couvrant de 3 Hz à 125 kHz) déployé ne détecte qu'une partie de leur clics et trains d'écholocation (fréquence d'émission comprises entre 100 et 150kHz).

Lors de l'état de référence, des détections de sources sonores d'origine biologique ont été recensées pour une durée cumulée d'apparition⁴ de 5 heures 29 minutes. Ces détections ont principalement été attribuées aux dauphins communs (*Delphinus delphis*).

Ces mesures ponctuelles, tout comme la littérature (Adera, 2017), semblent étayer l'hypothèse que la zone d'étude ne représente pas une zone à fort enjeu pour les delphinidés, bien que la présence quotidienne d'individus soient avérées. La zone d'étude représenterait une zone de transition dans les déplacements des groupes de delphinidés.

La biophonie contribue au final peu à l'évolution du niveau sonore équivalent, bien que des détections acoustiques quotidiennes de mammifères marins aient été enregistrées.

L'anthropophonie (bruits générés par les activités humaines)

L'anthropophonie désigne toute source sonore d'origine anthropique introduite dans le milieu, générant un niveau de bruit susceptible de modifier le bruit ambiant. Ces sources sonores peuvent être regroupées en 3 catégories :

- Le trafic maritime au sens large, à savoir le trafic de marchandises, le trafic de passagers et les activités de pêche et de plaisance à moteur
- Les opérations de travaux et ouvrages en mer
- Les émissions sonars qui regroupent les activités industrielles, militaires et scientifiques.

La contribution du trafic maritime intervient à la fois en basse fréquence (passages de navires lointains) et en moyenne fréquence, jusqu'à 6 kHz pour la cavitation des hélices et jusqu'à 20 kHz au maximum pour la signature de l'appareil propulsif des navires proches.

Il ressort de ces mesures que le paysage sonore sous-marin de l'état de référence a été soumis à un trafic maritime composé essentiellement de navires de pêche et, dans une moindre mesure, de dragues et vedettes de plaisance. Ces navires ont opéré quotidiennement à proximité du site SEM-

⁴ La durée cumulée d'apparition correspond au temps pendant lequel le son est émis par les mammifères marins.

REV. Leur contribution acoustique est étroitement liée à la proximité du passage par rapport à l'enregistreur.

3.1.2.3. SYNTHÈSE

L'ambiance sonore moyenne mesurée sur le site d'essais SEM-REV lors de l'état de référence était de 103,7 dB ref 1 μ Pa²/Hz.

3.1.3. DURANT LA PHASE DE TRAVAUX

3.1.3.1. DESCRIPTION DU PROTOCOLE DU SUIVI

Stratégie d'acquisition

Pour caractériser les émissions sonores pendant la phase d'installation des lignes d'ancrage de FLOATGEN, deux enregistreurs autonomes passifs ont été déployés sur le site d'essais SEM-REV. La **Figure 15** synthétise la chronologie des enregistrements pendant cette période de travaux.

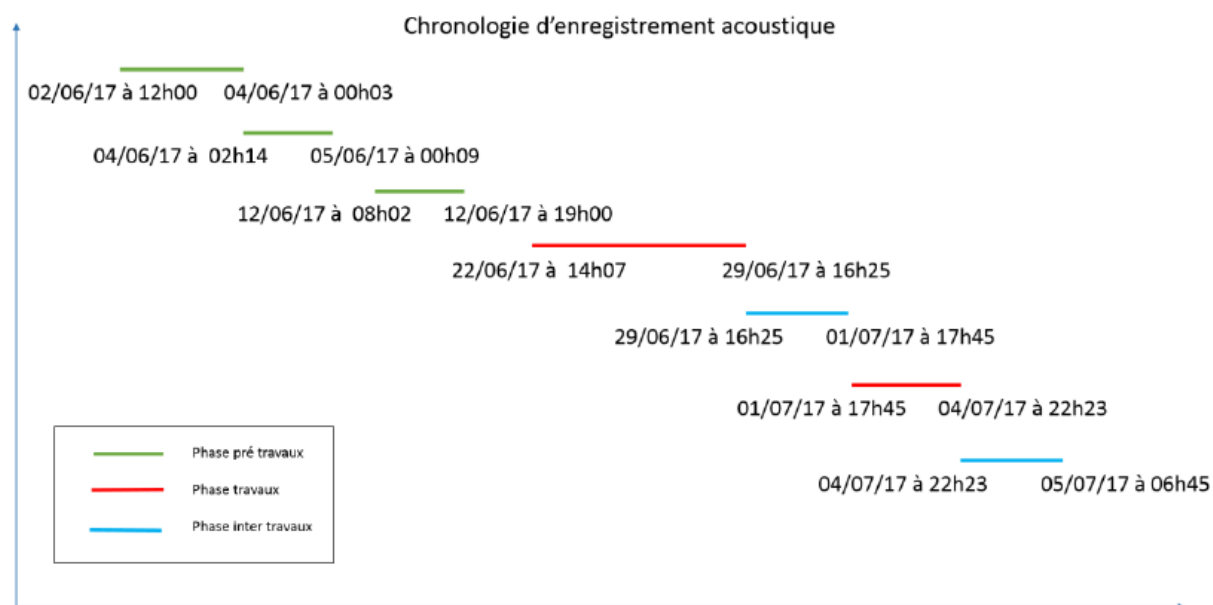


FIGURE 15 : CALENDRIER DES DIFFERENCES PHASES DU SUIVI ACOUSTIQUE REALISE ENTRE LE 02 JUIN ET LE 05 JUILLET 2017 SUR LE SITE D'ESSAIS SEM-REV (NEREIS ENVIRONNEMENT, 2017).

Les phases « inter-travaux » correspondent aux périodes d'arrêt des opérations d'installation pour cause de mauvaises conditions météorologiques.

Ces enregistreurs étaient paramétrés pour réaliser des enregistrements en continu (avec une fréquence d'échantillonnage de 312 kHz) durant toute la durée d'acquisition. En parallèle de ces enregistrements, un suivi du trafic maritime et des conditions météorologiques a été effectué par Néréis environnement.

Evaluation des risques sur les mammifères marins

La procédure d'installation de l'ancrage de FLOATGEN a suivi les recommandations d'évitement et de réduction des impacts dits « *soft-start* », consistant à augmenter progressivement les émissions sonores, afin de signaler le début des travaux aux animaux afin qu'ils puissent quitter la zone. Du fait des propriétés sonores de l'opération, d'autres mesures complémentaires n'ont pas été jugées nécessaires, outre le déploiement d'un enregistreur acoustique passif couvrant les opérations de travaux. Celui-ci a permis de déterminer les empreintes sonores de la phase d'installation et d'évaluer son incidence sur les mammifères marins *a posteriori*.

Tous les mammifères marins n'ont pas la même sensibilité auditive et il est possible de les catégoriser en « groupes d'audition ». La sensibilité auditive correspond à la capacité de percevoir certaines fréquences mieux que d'autres.

Pour chaque groupe d'audition, des seuils de tolérance au bruit ont été définis en 2007 (Southall *et al.*, 2007) et ont récemment été mis à jour (NMFS, 2018 et Southall *et al.*, 2019). Ces seuils intègrent des connaissances scientifiques actuelles en matière de bioacoustique et sont considérés aujourd'hui comme suffisamment robustes pour évaluer l'effet du bruit sur les mammifères marins (MTES, 2020).

Ces seuils permettent d'établir à partir de quel niveau de bruit une espèce de mammifère marin est susceptible de subir une perte d'audition temporaire (TTS) ou permanente (PTS) en fonction de sa sensibilité auditive. Ces seuils sont déclinés selon le type de bruit considéré : impulsionnel ou continu (MTES, 2020).

Pour évaluer l'effet du bruit sur les mammifères marins, l'étendu du périmètre à l'intérieur duquel un individu est susceptible de subir un dommage physiologique (TTS ou PTS) a été considéré selon la grille présentée dans le **TABLEAU 3** ci-dessous.

TABLEAU 3 : GRILLE D'EVALUATION DES EFFETS LIES AUX BRUITS GENERES PAR LES TRAVAUX D'ANCRAGE (MTES, 2020).

Effet	Absence de TTS	TTS uniquement	PTS ≤ 500 m	PTS > 500 m
Niveau d'effet	Négligeable	Faible	Moyen	Fort

Cette méthode d'évaluation se base uniquement sur le risque de dommage physiologique encouru. Elle ne prend pas en compte les éventuelles réactions comportementales (fuite, plongée, arrêt des activités, panique, etc.) car il y a une forte variabilité individuelle pour ces espèces qui pourrait induire un biais dans l'analyse.

Les modélisations se basent en outre sur des hypothèses conservatives d'exposition sonore. Les scénarios utilisés considèrent un mammifère marin restant à proximité immédiate de la source sonore sur une durée équivalente de 24 heures lors de travaux d'ancrage dont l'émission maximale est maintenue sur la même durée (MTES, 2020).

En complément, des observations opportunistes ont été réalisées et documentées lors de cette phase par le personnel du site d'essais embarqué à bord des navires de travaux.

3.1.3.2. RESULTATS

Caractéristiques physiques du bruit émis

L'analyse acoustique de la phase des travaux d'installation de l'éolienne flottante FLOATGEN a permis d'identifier le spectre acoustique maximal représentatif pour chaque phase des travaux. Les phases qui génèrent les plus hauts niveaux de bruit sont identifiées lors des phases d'ensouillage des ancres et la mise en tension des lignes d'ancrage, avec des niveaux ramenés à 1 m de la source du bruit de 190 dB ref $1\mu\text{Pa}^2/\text{Hz}@1\text{m}$. Les phases de transit sont quant à elles les moins bruyantes, avec des niveaux ramenés à 1 m de la source du bruit, de 175 dB ref $1\mu\text{Pa}^2/\text{Hz}@1\text{m}$.

Le niveau de bruit maximum détecté par l'hydrophone est de 154 dB ref $1\mu\text{Pa}^2/\text{Hz}$ durant la phase de mise en tension des lignes d'ancrage. Les caractéristiques des émissions sonores engendrées par ces phases les plus bruyantes démontrent la prédominance des sources sonores liées à la propulsion (phénomènes de cavitation des hélices et signature de la propulsion et de ses auxiliaires) en basses et moyennes fréquences. Cela se traduit en analyse spectrale par des pics de fréquence compris entre 100 Hz et 5 000 Hz. Les émissions des sondeurs et autres équipements acoustiques, permettant le maintien du positionnement et du cap du navire d'installation, sont également visibles entre 20 kHz et 50 kHz avec des niveaux maximums de 123 dB ref $1\mu\text{Pa}^2/\text{Hz}$ (FIGURE 16).

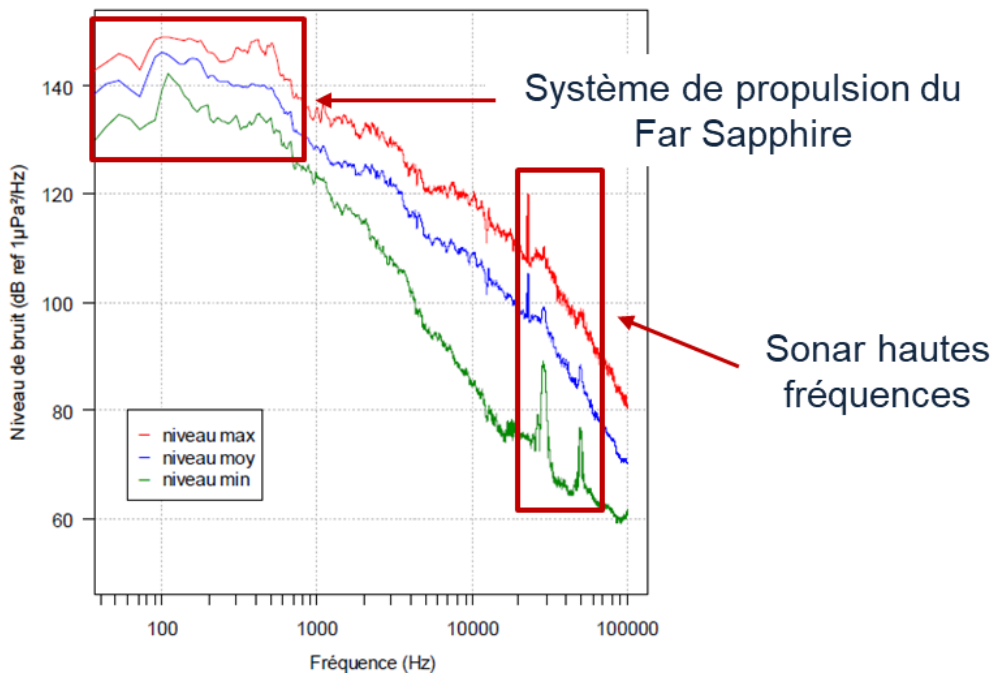


FIGURE 16 : DENSITES SPECTRALES DE PUISSANCE DU BRUIT MESURE DURANT LA PHASE DE MISE EN TENSION DE LA LIGNE DE MOUILLAGE N°5 LE 25 JUIN 2017 (NEREIS ENVIRONNEMENT, 2017) : DETERMINATION DES SPECTRES MINIMUM, MOYEN ET MAXIMUM.

La **FIGURE 17** montre une cartographie, issue de simulation numérique, de la propagation des émissions maximales générées par les travaux d'installation lors de la phase la plus bruyante, c'est à dire la phase de mise en tension des lignes d'ancrage.

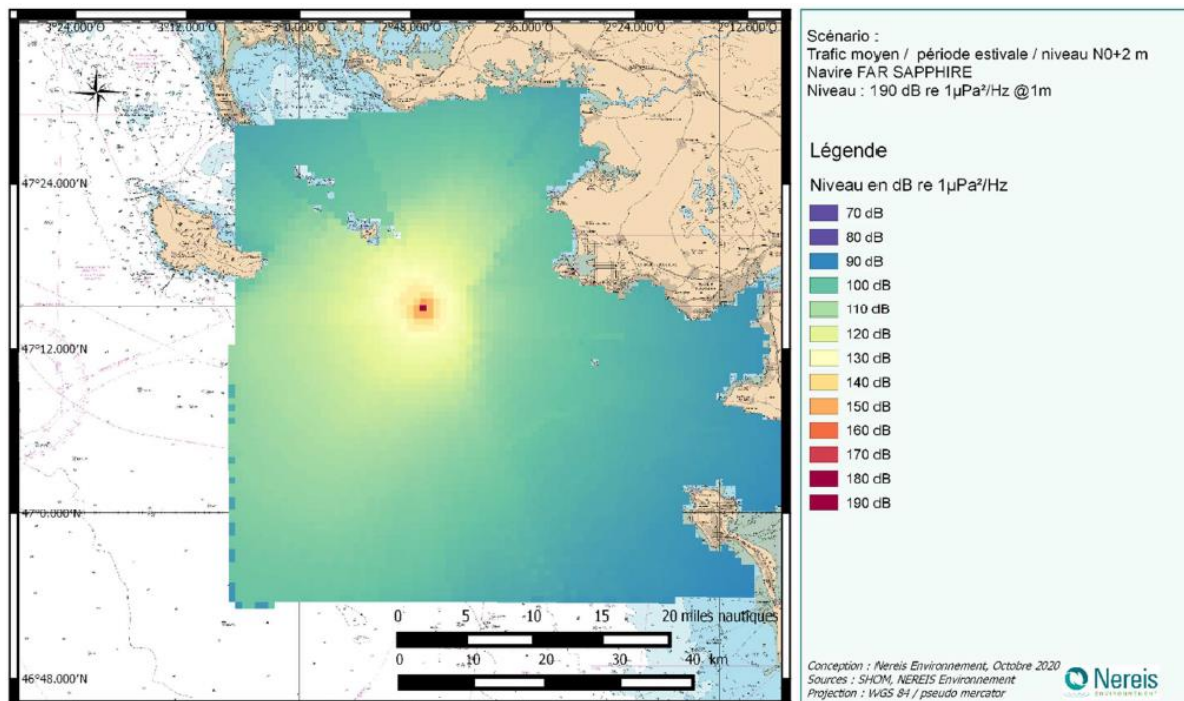


FIGURE 17 : CARTE DU NIVEAU DE BRUIT AMBIANT ASSOCIE A LA PHASE DE MISE EN TENSION DES LIGNES D'ANCRAGE (NIVEAU DE BRUIT LARGE BANDE (7 HZ – 100 KHZ) MAXIMUM A 190 DB REF 1µPA²/HZ@1M - NEREIS ENVIRONNEMENT, 2017).

Evaluation des risques sur les mammifères marins

Lors de la phase de travaux, des détections de mammifères marins ont été répertoriées avec une durée cumulée d'apparition de 6h03 sur près de 11 jours. Entre les phases de travaux (« phase d'inter-travaux ») et lorsque le navire FAR SAPHIRE n'était pas présent sur le site SEM-REV. La durée totale cumulée de détections s'élève à 2h37 sur près de 4 jours. Une diminution de la fréquentation de la zone d'étude semble donc corrélée à la phase de travaux. Néanmoins les mammifères marins sont toujours présents lors de cette phase tout comme en phase inter-travaux.

Cette fréquentation en phase travaux a été qualitativement corroborée par des observations visuelles d'opportunité de mammifères marins, réalisées de manière quasi quotidienne par le personnel SEM-REV embarqué à bord du navire de travail.

Une synthèse des effets des différentes phases de travaux sur les mammifères marins potentiellement présents sur la zone d'étude est présentée dans le **TABLEAU 4**. L'évaluation du niveau d'effet est considérée en fonction de la distance maximale à la source en dessous de laquelle un animal est susceptible de subir un dommage physiologique TTS (temporaire) ou PTS (permanent).

TABLEAU 4 : SYNTHÈSE DES DISTANCES DE DOMMAGE PHYSIOLOGIQUE (TTS OU PTS) AUX ESPÈCES DE MAMMIFÈRES MARINS DE LA ZONE, ET QUALIFICATION DES EFFETS ASSOCIÉS (NEREIS ENVIRONNEMENT, 2017 MISE À JOUR EN 2020).

	Transit 175 dB ref 1 μ Pa ² /Hz@1m		Ensouillage 190 dB ref 1 μ Pa ² /Hz@1m		Mise en tension 190 dB ref 1 μ Pa ² /Hz@1m	
	TTS	PTS	TTS	PTS	TTS	PTS
Petit rorqual	100 m	/	390 m	190 m	300 m	100 m
Dauphin commun	/	/	/	/	/	/
Grand dauphin	/	/	/	/	/	/
Dauphin bleu et blanc	/	/	/	/	/	/
Globicéphale noir	/	/	/	/	/	/
Marsouin commun	/	/	250 m	/	178 m	/
Phoque gris	/	/	125 m	/	100 m	/

Effet négligeable
 Effet faible
 Effet moyen
 Effet fort

Pour rappel, ces résultats sont obtenus en se basant sur des scénarios acoustiques d'exposition à proximité immédiate de la source sonore sur une durée équivalente de 24 heures lors de travaux d'ancrage dont l'émission maximale est maintenue sur la même durée. Avec ces hypothèses conservatives, toutes les distances maximales des effets sont contenues au sein du périmètre du site d'essais SEM-REV et pour certains sont du même ordre de grandeur que la taille de la source d'émission (navire d'installation FAR SAPPHIRE, longueur 93 m).

En outre, cette évaluation des impacts tient compte des effets cumulés liés au trafic maritime présent quotidiennement sur la zone. En effet, le bruit moyen lié au trafic a été inclus dans le modèle afin d'évaluer le plus significativement possible l'impact des travaux d'ancrage dans des conditions représentatives de l'environnement sonore de la zone d'étude.

TABLEAU 5 : QUALIFICATION DES IMPACTS (CROISEMENTS DES SENSIBILITÉS ET DES EFFETS) DE LA PHASE DE TRAVAUX D'INSTALLATION POUR LES ESPÈCES CONSIDÉRÉES (NEREIS ENVIRONNEMENT, 2017 MISE À JOUR EN 2020).

Phase Espèce	Transit	Ensouillage	Mise en tension
Petit rorqual	Faible	Faible	Faible
Dauphin commun Grand dauphin Dauphin bleu et blanc Globicéphale noir	Négligeable	Négligeable	Négligeable
Marsouin commun	Négligeable	Moyen	Moyen
Phoque gris	Négligeable	Moyen	Moyen

Impact négligeable
 Impact faible
 Impact moyen
 Impact fort

Bien que le petit rorqual (*Balaenoptera acutorostrata*) soit l'espèce qui risque de subir le plus les effets de ce type de travaux, principalement du fait de l'émission de hauts niveaux en basse fréquence dans la gamme de meilleure audition de l'espèce, sa présence occasionnelle et sa faible fréquentation de la zone d'étude le rendent peu sensible et lui confèrent un faible enjeu. Pour cette espèce l'impact est évalué comme étant faible (**TABLEAU 5**). Les impacts sont quant à eux moyens sur les phases d'ensouillage et de mise en tension des lignes d'ancrage pour le marsouin commun (*Phocoena phocoena*) et le phoque gris (*Halichoerus grypus*).

3.1.3.3. SYNTHÈSE

Caractéristiques physiques du bruit émis

Durant la phase de travaux d'installation des lignes d'ancrage de l'éolienne flottante FLOATGEN, les bruit des navires de travaux sont prépondérants et le niveau de bruit maximum généré (lors de la mise en tension de la ligne de mouillage) est de 154 dB ref $1\mu\text{Pa}^2/\text{Hz}$ à l'enregistreur acoustique et est estimé à 190 dB ref $1\mu\text{Pa}^2/\text{Hz}@1\text{m}$ à 1m de la source émettrice.

Evaluation des risques sur les mammifères marins

Une diminution de la fréquentation de la zone d'étude lors de la phase de travaux est observée. Néanmoins les mammifères marins sont toujours présents quotidiennement lors de cette phase ainsi qu'en phase inter travaux.

Les modélisations des émissions acoustiques sur les mammifères marins en phase de travaux évaluent les effets comme étant faibles et les impacts moyens pour le marsouin commun (*Phocoena phocoena*) et pour le phoque gris (*Halichoerus grypus*). En ce qui concerne le petit rorqual (*Balaenoptera acutorostrata*), bien que les effets sonores soient ponctuellement moyens (avec des distances TTS et PTS dans le cas des phases d'ensouillage et de mise en tension des lignes de mouillage) sa fréquentation occasionnelle de la zone d'étude engendre *de facto* une catégorisation d'impact sonore faible face aux travaux d'ancrage.

Pour les autres espèces, le risque physiologique de perte d'audition temporaire ou permanente dans les scénarios acoustiques modélisés engendre des effets tout comme des impacts négligeables.

3.1.4. DURANT LA PHASE OPERATIONNELLE ET DE MAINTENANCE

3.1.4.1. DESCRIPTION DU PROTOCOLE DU SUIVI

Campagne n°4

Un hydrophone équipé d'un enregistreur autonome passif a été déployé sur le site SEM-REV le 10 juin 2020 pour 28 jours d'enregistrement continu, jusqu'au 09 juillet 2020 (**FIGURE 18**). Dans un principe de continuité par rapport au suivi réalisé en 2017, l'enregistreur acoustique a été positionné au même point d'enregistrement sur le site SEM-REV et à la même période.

De plus, la même méthodologie a été appliquée pour le traitement et l'analyse des données acoustiques.

La méthodologie d'évaluation des effets et des impacts sonores liés aux composantes du bruit continu de l'éolienne en fonctionnement est restée identique à celle utilisée pour la phase de travaux. Elle reprend ainsi les mêmes sensibilités auditives et les seuils de perte temporaire (TTS) et permanente (PTS) d'audition. Pour cette phase opérationnelle, les modélisations d'effets sur les organismes ont été élargies à d'autres groupes biologiques et comprennent : mammifères marins, tortues marines, poissons, crustacés, mollusques et plongeurs (Popper *et al.*, 2014 ; Popper & Hawkins, 2019 ; Parvin *et al.*, 2002). Les espèces de poissons, de crustacés et de mollusques étudiées ont été regroupées selon des groupes d'auditions en lien avec leur physiologie et leur sensibilité auditive (**TABLEAU 6**).

TABLEAU 6 : ESPECES DE POISSONS, DE CRUSTACES ET DE MOLLUSQUES ETUDIÉES DURANT LA PHASE D'EXPLOITATION REGROUPEES SELON LEURS GROUPES D'AUDITIONS (NEREIS ENVIRONNEMENT, 2020).

Groupe d'audition	Espèce
Poissons dépourvus de vessie natatoire	Sole commune - Plie - Limande - Turbot- Maquereau commun - Aiguillat commun - Raies - Requin peau bleue- Requin pèlerin - Petite roussette
Poissons avec vessie natatoire non-impliquée dans l'audition	Baudroie commune
Poissons avec vessie natatoire impliquée dans l'audition	Lieu jaune - Merlan - Tacaud commun - Merlu européen - Grondin - Congre - Dragonnet lyre - Dorade grise - Dorade Royale - Orphie - Mulet - Rouget barbet - Saint pierre - Bar européen
Poissons avec vessie natatoire connectée à l'oreille interne	Sardine commune
Céphalopodes	Calamar - Poulpe commun - Seiche commune
Bivalves	Coquille Saint-Jacques - Mactre épaisse - Moule commune
Crustacés	Araignée de mer - Crevette bouquet - Etrille, Crabe dormeur, Homard européen

Campagne n°5

Afin de vérifier la potentielle directionnalité des bruits émis par l'éolienne flottante FLOATGEN et de discriminer les prototypes, c'est à dire l'éolienne de la plateforme houlomotrice WAVEGEM, des enregistrements acoustiques passifs complémentaires ont été réalisés en mars 2021. Ces enregistrements ont été effectués en immergeant à deux profondeurs (12 et 20 mètres) un hydrophone embarqué et déployé depuis un navire support. Ce navire s'est laissé dériver en effectuant des radiales⁵ autour des prototypes (**FIGURE 18**). Les deux immersions sont justifiées par l'état de mer présent lors des mesures et la nécessité d'éloigner au maximum l'hydrophone de la surface et de la coque du navire support qui génèrent des bruits parasites sur les enregistrements (par exemple : chocs du clapot et des vagues sur la coque, bruits de bord, ...). Par ailleurs cette stratégie est préconisée dans le cadre des mesures de bruit rayonné d'une source

⁵ Radiales : lignes virtuelles disposées selon un rayon dont le centre est un démonstrateur que l'on met en place pour étudier un phénomène.

proche de la surface comme c'est le cas pour FLOATGEN (Bureau Veritas, 2017 ; Norme ISO 17208-1:2016).



FIGURE 18 : PHOTOGRAPHIE DE L'ENREGISTREUR ACOUSTIQUE AUTONOME DEPLOYE POUR LA CAMPAGNE N°4 (A) ET DE L'HYDROPHONE EMBARQUE UTILISE POUR LA CAMPAGNE N°5 (B) (NEREIS ENVIRONNEMENT, 2020).

3.1.4.2. RESULTATS

Evaluation des effets sur le bruit ambiant

Les mesures acoustiques réalisées sur site en 2020 mettent en évidence une émergence moyenne de 9,2 dB ref $1\mu\text{Pa}^2/\text{Hz}$ entre les mesures réalisées en 2017 lors de l'état de référence et les mesures acoustiques réalisées durant la phase de fonctionnement du démonstrateurs FLOATGEN. Les niveaux de bruit large bande moyen obtenus atteignent 113,2 dB ref $1\mu\text{Pa}^2/\text{Hz}$ avec un écart-type de 4,6 dB ref $1\mu\text{Pa}^2/\text{Hz}$.

Caractéristiques physiques du bruit émis par FLOATGEN

Une première analyse de l'estimation du gabarit⁶ acoustique de l'éolienne flottante FLOATGEN met en évidence un niveau global maximum de 140,6 dB ref $1\mu\text{Pa}^2/\text{Hz}$ @1m dans le cadre de la production à 100 % (proche de 2MW).

La signature acoustique de l'éolienne flottante comporte deux composantes principales : des sons continus⁷ en basses fréquences (< à 350 Hz) dus aux vibrations induites de l'éolienne et des sons impulsionnels⁸ en hautes fréquences (entre 3 et 5 kHz) dus aux maillons des chaînes des lignes d'ancrages (FIGURE 19).

Des radiales de mesures en dérive ont en outre été réalisées, en complément des mesures acoustiques réalisées en point fixe. Ces radiales mettent en évidence une directivité acoustique de l'éolienne FLOATGEN avec une prééminence d'émission dans les secteurs Sud-Ouest et Nord-Ouest de la plateforme.

⁶ Gabarit acoustique : représentation des niveaux d'émission en fonction de la fréquence.

⁷ Son continu : son constant et stable sur une période donnée.

⁸ Un son impulsionnel : son ayant une apparition très brusque et généralement très énergétique.

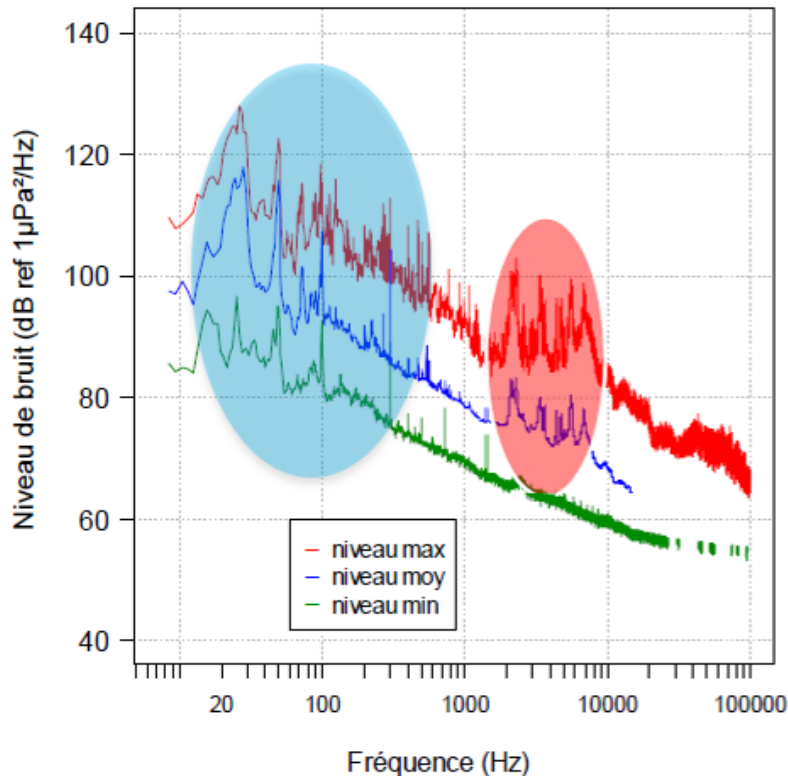


FIGURE 19 : DENSITES SPECTRALES DE PUISSANCE DU BRUIT MESURE LORS DU SUIVI EN 2020 : DETERMINATION DES SPECTRES MINIMUM, MOYEN ET MAXIMUM. LA CONTRIBUTION DE FLOATGEN EST ENTOUREE EN BLEUE ET LA CONTRIBTION DES BRUITS DE CHAINES DE MOUILLAGE EST ENTOUREE EN ROUGE (NEREIS ENVIRONNEMENT, 2020).

Evaluation des risques sur les organismes marins

Mammifères marins

La durée cumulée de détection de sifflements et trains d'écholocation était de 41h55 sur 28 jours d'écoute. La majorité des sifflements et trains d'écholocation correspond aux émissions sonores de petits delphinidés (en particulier de dauphins communs et grands dauphins). Il existe une grande variabilité dans les détections quotidiennes, leur temps de présence varie entre 17 minutes et 4h13 avec une moyenne de 1h23. Ce constat reste en ligne avec les observations faites lors de l'état de référence en 2017. En présence de l'éolienne, la zone d'étude ne représente pas une zone à fort enjeu pour les delphinidés mais elle est toujours un lieu de passage régulier, avec une présence quotidienne avérée d'individus.

Une synthèse des effets des phases de production de l'éolienne FLOATGEN sur les mammifères marins potentiellement présents sur la zone d'étude est présentée dans le **TABLEAU 7**.

TABLEAU 7 : SYNTHÈSE DES DISTANCES DE DOMMAGE PHYSIOLOGIQUE (TTS OU PTS) AUX ESPÈCES DE MAMMIFÈRES MARINS DE LA ZONE ET QUALIFICATION DES EFFETS ASSOCIÉS (NEREIS ENVIRONNEMENT, 2020).

Production de FLOATGEN [Niveau de bruit spectral global]	Dauphin commun								
	Petit rorqual		Grand dauphin Dauphin bleu et blanc Globicéphale noir			Marsouin commun		Phoque gris	
	TTS	PTS	TTS	PTS	TTS	PTS	TTS	PTS	
25 % [135 dB ref 1 $\mu\text{Pa}^2/\text{Hz} @ 1 \text{ m}$]	25 m	∅	∅	∅	34 m	∅	∅	∅	
50 % [138 dB ref 1 $\mu\text{Pa}^2/\text{Hz} @ 1 \text{ m}$]	46 m	∅	∅	∅	54 m	∅	∅	∅	
75 % [138 dB ref 1 $\mu\text{Pa}^2/\text{Hz} @ 1 \text{ m}$]	36 m	∅	∅	∅	40 m	∅	∅	∅	
100% [141 dB ref 1 $\mu\text{Pa}^2/\text{Hz} @ 1 \text{ m}$]	60 m	∅	∅	∅	80 m	∅	∅	∅	

Effet négligeable
 Effet faible
 Effet moyen
 Effet fort

Les scénarios acoustiques modélisés considèrent comme pour l'évaluation des effets et impacts acoustiques des phases travaux un mammifère marin restant à proximité immédiate de la source sonore sur une durée équivalente de 24 heures en phase de fonctionnement de l'éolienne dont l'émission maximale enregistrée à la production cible est maintenue sur la même durée. Ces scénarios mettent en évidence l'absence de risque physiologique de perte d'audition permanente PTS pour l'ensemble des mammifères marins étudiés.

Seuls les effets sonores associés à un risque TTS résultent des modélisations pour les petits rorquals (*Balaenoptera acutorostrata*) et les marsouins communs (*Phocoena phocoena*). Toutefois, ces TTS évoluent entre 25 et 80 mètres. Ces distances sont relativement faibles : elles sont contenues dans le périmètre géographique de SEM-REV et du même ordre de grandeur que les dimensions de la plateforme flottante de l'éolienne.

La probabilité de risque physiologique de perte d'audition temporaire (TTS) est liée à la sensibilité auditive de ces deux espèces combinées aux seuils TTS associés et à la plage de signature de l'éolienne flottante FLOATGEN.

L'impact se définit comme la transposition de l'effet sur une échelle de valeur (MEEDM,2010). Il s'évalue en croisant l'effet et la sensibilité. Il ressort de l'évaluation de l'impact que celui-ci est négligeable pour le dauphin commun, le grand dauphin, le dauphin bleu et blanc, le globicéphale noir et le phoque gris (TABLEAU 8).

Un impact de faible (pour le rorqual) à moyen (pour le marsouin commun) est estimé pour l'ensemble des phases de production de l'éolienne FLOATGEN (25%, 50%, 75% et 100 %).

La forte sensibilité du marsouin commun explique le degré moyen de risque d'impact acoustique (TABLEAU 8).

Au vu des résultats de ce suivi, une analyse plus approfondie sur les mammifères marins est envisagée et croisement d'approches avec EDF-RE, l'exploitant du parc éolien en mer de Saint-Nazaire, semble pertinente sur ce compartiment biologique.

TABLEAU 8 : QUALIFICATION DES IMPACTS (CROISEMENTS DES SENSIBILITES ET DES EFFETS) DE LA PHASE D'EXPLOITATION POUR LES ESPECES DE MAMMIFERES MARINS CONSIDEREES (NEREIS ENVIRONNEMENT, 2020).

Production de FLOATGEN [Niveau de bruit spectral global]	Petit rorqual	Dauphin commun		Marsouin commun	Phoque gris
		Grand dauphin Dauphin bleu et blanc Globicéphale noir			
25 % [135 dB ref 1 $\mu\text{Pa}^2/\text{Hz}$ @ 1 m]	Faible	Négligeable		Moyen	Négligeable
50 % [138 dB ref 1 $\mu\text{Pa}^2/\text{Hz}$ @ 1 m]	Faible	Négligeable		Moyen	Négligeable
75 % [138 dB ref 1 $\mu\text{Pa}^2/\text{Hz}$ @ 1 m]	Faible	Négligeable		Moyen	Négligeable
100% [141 dB ref 1 $\mu\text{Pa}^2/\text{Hz}$ @ 1 m]	Faible	Négligeable		Moyen	Négligeable

Impact négligeable
 Impact faible
 Impact moyen
 Impact fort

Poissons, crustacés et céphalopodes

L'ensemble des scénarios acoustiques modélisés mettent en évidence l'absence de distance associés à des risques physiologiques de pertes d'audition temporaire (TTS) ou permanente (PTS) pour l'ensemble des espèces ciblées et pour une production de l'éolienne allant de 25 % à 100% de sa capacité maximale (TABLEAU 9).

TABLEAU 9 : SYNTHÈSE DES DISTANCES DE DOMMAGE PHYSIOLOGIQUE (TTS OU PTS) AUX ESPECES DE LES POISSONS, CRUSTACES ET CEPHALOPODES, ET QUALIFICATION DES EFFETS ASSOCIES. (NEREIS ENVIRONNEMENT, 2020)

Production de FLOATGEN	Poissons dépourvus de vessie natatoire		Poissons avec vessie natatoire non-impliquée dans l'audition		Poissons avec vessie natatoire impliquée dans l'audition		Poissons avec vessie natatoire connectée à l'oreille interne		Céphalopodes / bivalves / crustacés	
	TTS	PTS	TTS	PTS	TTS	PTS	TTS	PTS	TTS	PTS
25 %	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅
50 %	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅
75 %	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅
100%	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅

Effet négligeable
 Effet faible
 Effet moyen
 Effet fort

Tortues marines

L'ensemble des scénarios acoustiques modélisés mettent en évidence l'absence de distance associés à des risques physiologiques pour la tortue luth (*Dermochelys coriacea*) et la tortue Caouanne (*Caretta caretta*).

Plongeurs loisirs

De même pour le risque plongeur loisir, aucun périmètre associé à un risque TTS n'apparaît dans les modélisations, que le plongeur soit avec ou sans cagoule. L'effet sonore est donc considéré comme négligeable dans tous les scénarios acoustiques associés aux 4 phases de production d'électricité de FLOATGEN. De plus l'accès au site SEM-REV n'est pas autorisé aux autres activités nautiques, dont la plongée de loisir.

3.1.4.3. SYNTHÈSE

Evaluation des effets sur le bruit ambiant

Une émergence globale inférieure à 10 dB ref $1\mu\text{Pa}^2/\text{Hz}$ a été mise en évidence entre les mesures réalisées lors de l'état de référence et les mesures réalisées durant la phase opérationnelle et de maintenance du démonstrateur FLOATGEN, avec des niveaux de bruit large bande moyens à 113,2 dB ref $1\mu\text{Pa}^2/\text{Hz}$.

Caractéristiques physiques du bruit émis par FLOATGEN

Une première analyse de l'estimation du gabarit acoustique de l'éolienne flottante FLOATGEN met en évidence un niveau global maximum de 140,6 dB ref $1\mu\text{Pa}^2/\text{Hz}$ @1m dans le cadre de la production à 100 % de sa capacité maximale. Elle comporte deux signatures principales, des vibrations continues en basses fréquences dues aux vibrations de l'éolienne et des composantes impulsionnelles dû aux lignes d'ancrages.

Evaluation des risques sur les organismes marins

Les effets sonores ont été évalués sur des espèces marines présentes sur la zone d'étude, à savoir les mammifères marins, tortues marines, poissons, crustacés et céphalopodes à travers des scénarios de présence conservatifs, basés sur une durée d'exposition continue sur 24h aux niveaux sonores maximum enregistrés des différents cas étudiés.

Il ressort des modélisations effectuées :

- l'absence de PTS dans l'ensemble des scénarios modélisés pour chacune des espèces ciblées ;
- la présence d'un TTS uniquement pour les petits rorquals et les marsouins communs pour l'ensemble des scénarios acoustiques de production d'électricité de FLOATGEN (de 25% à 100% de sa capacité) Dans ces scénarios modélisés, les TTS sont très réduits (distance maximale : 80 m). Ils sont donc restreints à la proximité immédiate de la structure flottante. Les effets sont classés comme étant de faible intensité sur ces deux espèces et négligeables pour les autres. L'impact est considéré comme faible pour le petit rorqual, moyen pour le marsouin commun, et négligeables pour les autres espèces de mammifères marins.

L'impact est considéré comme négligeable pour l'ensemble des tortues marines, poissons, crustacés et céphalopodes ciblés.

Dans le cas de la plongée loisir à l'extérieur du site SEM-REV, l'impact acoustique est également évalué comme étant négligeable.

3.1.5. DURANT LA PHASE DE DEMANTELEMENT

DESCRIPTION DU PROTOCOLE DU SUIVI

Le démantèlement de l'éolienne flottante FLOATGEN est prévu à l'automne 2023. Si le spectre acoustique des émergences sonores de cette phase de démantèlement devrait être similaire à celui de la phase de travaux, les niveaux de bruits attendus et la durée des travaux devraient être eux inférieurs.

Les protocoles de suivi qui seront mis en œuvre lors du démantèlement de l'éolienne seront similaires à ceux réalisés lors de la phase des travaux d'installation afin qu'ils puissent être comparés. En effet, une comparaison des incidences de ces deux phases sera réalisée afin de vérifier l'hypothèse de similarité.

Des mesures acoustiques passives seront donc réalisées selon le même protocole que celui mis en place lors de la phase d'installation : soit des enregistrements *a minima* de 7 jours avant le début des travaux, de couvrir l'ensemble de la phase de démantèlement et continuer les écoutes 7 jours après les travaux.

L'enregistreur acoustique qui sera déployé dans cette phase aura une bande passante d'acquisition plus importante, allant jusqu'à 160 kHz. Ainsi il permettra de couvrir l'ensemble des spectres de communication du marsouin commun (*Phocoena phocoena*).

3.2. CHAMPS ELECTRIQUES ET MAGNETIQUES

3.2.1. CONTEXTE ET OBJECTIFS DU SUIVI

Les intensités des champs électriques et magnétiques naturels en milieu marin, s'élèvent approximativement à 25 $\mu\text{V}/\text{m}$ et 50 μT [micro tesla] (OSPAR, 2008). A ces champs naturels viennent se superposer ceux induits par les propriétés électromagnétiques des équipements implantés en mer.

Par nature, tout câble électrique soumis à un courant génère un champ électromagnétique (CEM). Les champs magnétiques sont générés par le flux de courant. L'interaction de ces champs magnétiques avec l'environnement marin induit par ailleurs un champ électrique secondaire. L'intensité de ces champs dépend intrinsèquement du type de câble utilisé. Le câble électrique ombilical du démonstrateur FLOATGEN a une capacité de 5MVA au niveau de tension 20 kV, et il permet le transport de l'électricité en courant alternatif entre l'éolienne et le hub de connexion. Il est relayé par un câble de 8 MVA pour la partie reliant le site d'essais au réseau électrique à terre.

Le projet de recherche collaboratif SPECIES⁹ (ANR FEM) a notamment été l'occasion de tester des protocoles de mesure des CEM, et de quantifier les champs induits à proximité des équipements du site SEM-REV. Le projet a permis d'étudier conjointement les paramètres physiques potentiellement modifiés (champs électromagnétiques et augmentation de température) et le compartiment benthique potentiellement impacté grâce à des relevés *in situ* et des expérimentations en milieu contrôlé.

3.2.2. ETAT DE REFERENCE

3.2.2.1. DESCRIPTION DU PROTOCOLE DU SUIVI

Le bureau d'étude MAPPEM GEOPHYSICS a réalisé en août 2017 un état initial du champ électromagnétique en différents points du site d'essais SEM-REV, c'est à dire avant le raccordement du câble ombilical et la mise en tension du câble de raccordement transportant l'électricité du site d'essais au poste de livraison à terre (MAPPEM GEOPHYSICS, 2019).

Le dispositif de mesure (PASSEM) mis en œuvre pour ce suivi est basé sur un système tracté dans la colonne d'eau permettant une mesure conjointe du champ électrique et du champ magnétique ambiant, à très haute résolution (**FIGURE 20**).

Lors de cette campagne de mesure, 14 passages ont été effectués au-dessus de 4 zones cibles le long du câble, avec notamment une zone de mesure en bordure de la zone SEM-REV, à proximité du hub de connexion, une zone de mesure à l'aplomb des matelas bétons qui protègent le câble sur une zone non ensouillée, et deux autres zones plus proches de la côte.

⁹ Projet ANR FEM SPECIES, référence ANR-10-IEED-0006-17 :

<https://www.france-energies-marines.org/projets/species/>

Rapport final :

<https://www.france-energies-marines.org/wp-content/uploads/2021/05/rapport-synthese-species-FR-BD.pdf>

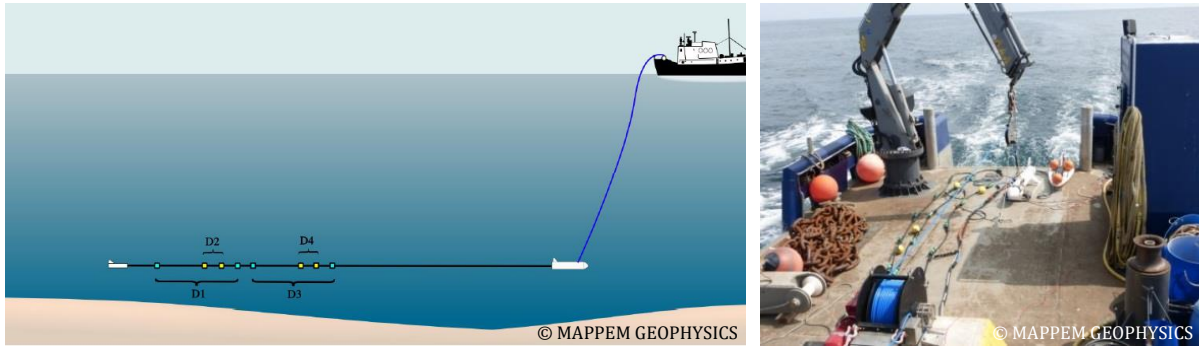


FIGURE 20 : SCHEMA ET PHOTOGRAPHIE DU DISPOSITIF PASSEM (MAPPEM GEOPHYSICS, 2019).

3.2.2.2. RESULTATS

Les données de l'état de référence acquises sur SEM-REV montrent une amplitude du champ électrique de l'ordre de -40 à $20 \mu\text{V/m}$ et de $45,1$ à $45,7 \mu\text{T}$ pour le champ magnétique (FIGURE 21). L'origine de ces variations est due principalement à des sources naturelles (houle et courant, variations naturelles du champ magnétique) et des sources anthropiques comme les mouvements de l'instrument dans l'eau ainsi que le signal de 50 Hz du courant secteur (influence du réseau électrique terrestre).

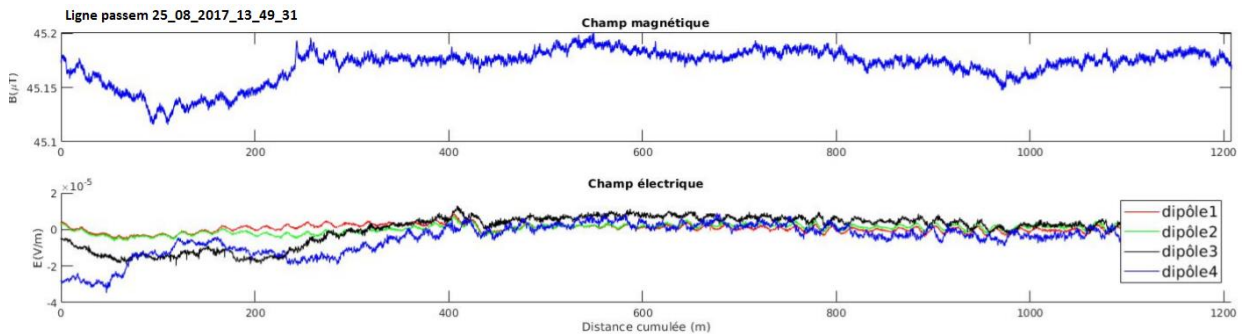


FIGURE 21 : LE CHAMP MAGNETIQUE TOTAL (μT) ET LES CHAMPS ELECTRIQUES (V/M) MESURES SUR LE SITE SEM-REV (MAPPEM GEOPHYSICS, 2019).

D'autres mesures du champ électromagnétique environnant ont été réalisées sur le trajet du câble de raccordement électrique. La signature de la présence du câble, hors tension sur cette période, est notamment détectable dans les mesures de champs électriques et magnétiques (FIGURE 22). Concernant le champ magnétique, on observe une variation du champ de quelques dizaines de nano-Tesla, probablement due à l'aimantation de l'armure métallique du câble. Quant au champ électrique, on observe une augmentation du signal *a priori* liée au raccordement de l'armure du câble à la terre. Le câble propage ainsi en configuration hors tension du bruit issu de la partie terrestre du réseau électrique (FIGURE 22 - MAPPEM GEOPHYSICS, 2019).

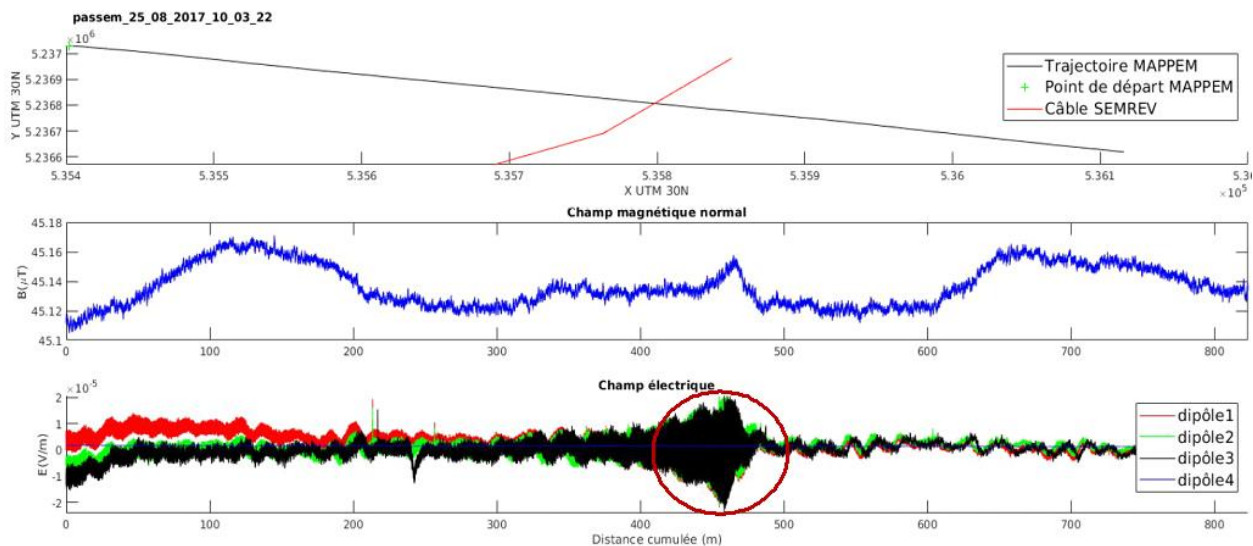


FIGURE 22 : LE CHAMP MAGNÉTIQUE TOTAL (μT) ET LES CHAMPS ÉLECTRIQUES (V/M) MESURÉS (MAPPEM GEOPHYSICS, 2019).

3.2.2.3. SYNTHÈSE

Les mesures de CEM de l'état référence montrent une amplitude du champ électrique de l'ordre de -40 à $20 \mu\text{V}/\text{m}$ et de $45,1$ à $45,65 \mu\text{T}$ pour le champ magnétique. Ces signaux correspondent à des variations d'origine naturelle (houle et courants, variations naturelles du champ magnétique) et d'origines anthropiques, comme les mouvements de l'instrument dans l'eau. Le câble de raccordement est également visible sur les mesures du champ magnétique, dû à l'aimantation de son armure métallique, et sur les champs électriques avec une augmentation des fluctuations causée par une conduction par l'armure du câble d'un signal électrique d'origine terrestre.

3.2.3. DURANT LA PHASE OPERATIONNELLE ET DE MAINTENANCE

3.2.3.1. DESCRIPTION DU PROTOCOLE DU SUIVI

Le cabinet d'étude MAPPEM GEOPHYSICS a réalisé des mesures en statique avec la mise en place un dispositif fixe (STATEM) en octobre 2019 à proximité du hub de connexion (FIGURE 23). Ces mesures permettent d'évaluer finement les champs électromagnétiques à proximité des sources potentiellement émettrices. Les données ne sont pas perturbées par les mouvements de l'appareil de mesure, et les mesures peuvent être effectuées beaucoup plus proche de la source de signal électromagnétique. L'instrument permet d'étudier l'évolution des champs électrique et magnétique au cours du temps, sur des durées de quelques dizaines de jours. L'acquisition haute fréquence permet également d'enregistrer les signaux des champs alternatifs.



Cage instrumentée pour mesurer le CEM
Taille : 1m*1m*0,2m
Masse dans l'air : 50kg
Les bras font 2m de long

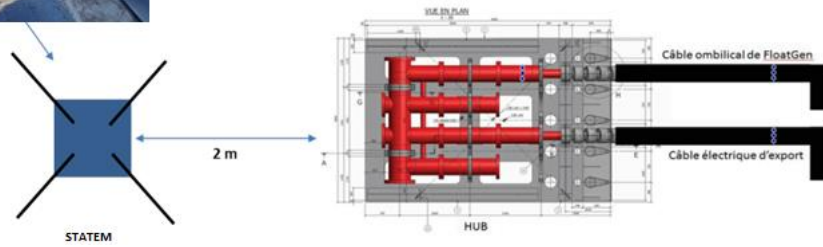


FIGURE 23 : SCHEMA ET PHOTOGRAPHIE DU DISPOSITIF STATEM (MAPPEM GEOPHYSICS, 2019).

3.2.3.2. RESULTATS

Au niveau du hub de connexion du site d'essais du SEM-REV, des données du champ électromagnétique ont été obtenues pendant une phase de production électrique croissante de l'éolienne FLOATGEN, comprenant une production électrique maximale à la fin de la période d'enregistrement. L'intensité du champ magnétique mesuré à proximité du hub suit les mêmes oscillations temporelles que l'intensité du courant électrique. Ce signal magnétique oscille entre 0,5 et 6 nT à 2 m du hub, avec une saturation à 6 nT corrélées à la phase de production maximale (FIGURE 24). Le champ électrique a augmenté progressivement sur cette même période, jusqu'à une valeur maximum de 16 $\mu\text{V}/\text{m}$ (FIGURE 25).

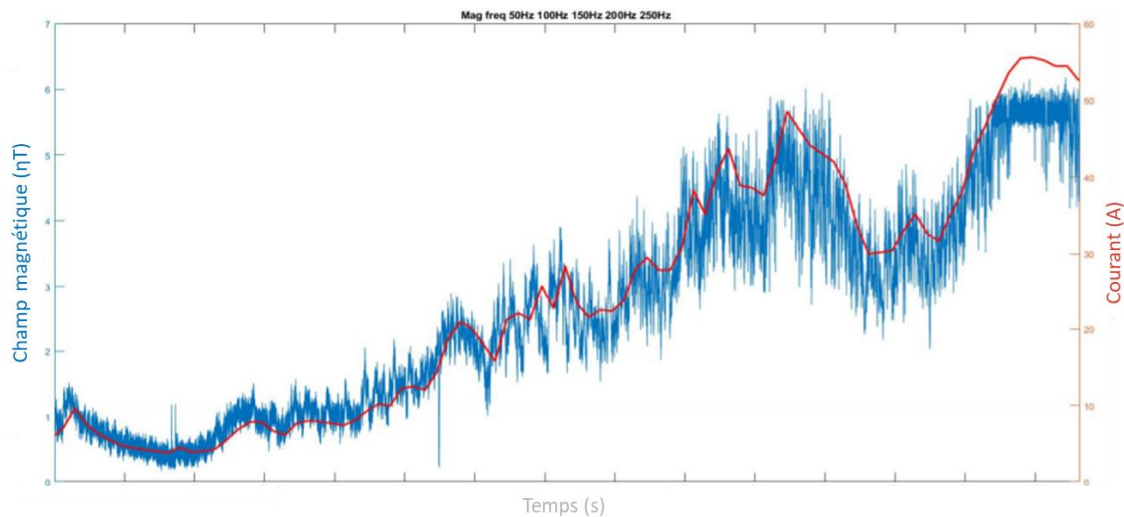


FIGURE 24 : : CHAMP MAGNETIQUE ENREGISTRE SUR LE SITE SEM-REV AUX HARMONIQUES PRINCIPALES DU RESEAUX ELECTRIQUE DURANT 17H (EN BLEU) ET INTENSITE DU COURANT ELECTRIQUE DANS LE CABLE (EN ROUGE) (MAPPEM GEOPHYSICS DANS TAORMINA ET AL., 2020B).

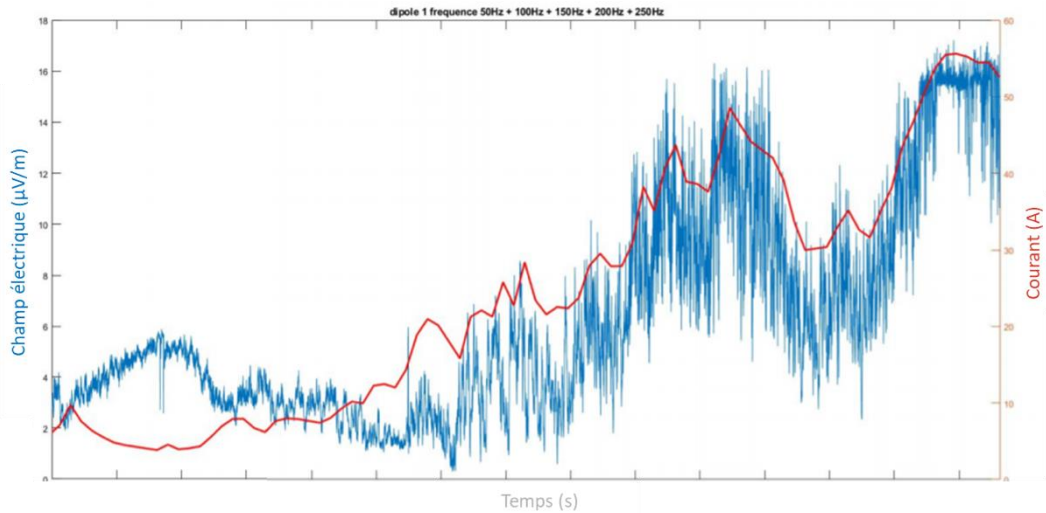


FIGURE 25 : CHAMP ELECTRIQUE ENREGISTRE SUR LE SITE SEM-REV AUX HARMONIQUES PRINCIPALES DU RESEAUX ELECTRIQUE DURANT 17H (EN BLEU) ET INTENSITE DU COURANT DANS LE CABLE (EN ROUGE) (MAPPEM GEOPHYSICS DANS TAORMINA *ET AL.*, 2020B).

3.2.3.3. SYNTHESE

Le protocole de mesure mis en place a permis de mesurer de manière très précise les champs électriques et magnétiques à proximité du hub de connexion électrique sous-marin en phase de production de l'éolienne flottante FLOATGEN. L'amplitude du champ électromagnétique enregistré reste très faible, c'est à dire inférieure de plusieurs ordres de grandeur aux champs électriques et magnétiques ambiants. De plus, les variations mesurées à proximité des équipements, aux fréquences d'opération du réseau électrique, sont bien corrélées à l'intensité du courant électrique qui y transitait.

3.3. TEMPERATURE

3.3.1. CONTEXTE ET OBJECTIFS DU SUIVI

Lors du passage d'un courant électrique dans un câble, une partie de cette énergie est transformée en énergie thermique. Une augmentation de la température autour des câbles sous-marins pourrait ainsi induire des changements sur la composition des communautés pélagiques, benthiques et sur la biocolonisation en agissant potentiellement directement sur la physiologie, la reproduction, la mortalité et la migration de certaines espèces. Ce facteur pourrait notamment favoriser l'implantation d'espèces non indigènes. En outre, un échauffement des câbles sous-marin pourrait induire des perturbations indirectes de la faune benthique, en lien avec des modifications des équilibres physico-chimiques et bactériologiques (OSPAR, 2008).

3.3.2. DESCRIPTION DU PROTOCOLE DU SUIVI

Il s'agit sur ce volet de suivre l'évolution de la température du milieu afin d'identifier la contribution des équipements déployés sur le site SEM-REV. Dans le cas de l'accueil du démonstrateur FLOATGEN, il s'agit essentiellement d'étudier la contribution des câbles électriques.

Dans le cadre du projet de recherche ANR FEM SPECIES, évoqué précédemment, des sondes de température (iBCod © Alpha Mach) ont été installées en septembre 2019 pour une durée de 5,5 mois. Ces sondes ont été installées au contact de différents câbles électriques de raccordement ainsi qu'au niveau du hub de connexion du site. Une station témoin est également mise en place à 2 m du hub de connexion et à l'opposé de la sortie des câbles électriques afin de pouvoir quantifier l'influence de ces différents éléments sur la température de l'eau (**FIGURE 26**). Les sondes ont été paramétrées pour enregistrer la température toutes les heures. La résolution de mesure attendue est de 0,06°C, avec une incertitude de 0,5°C, sur la base des informations constructeur.

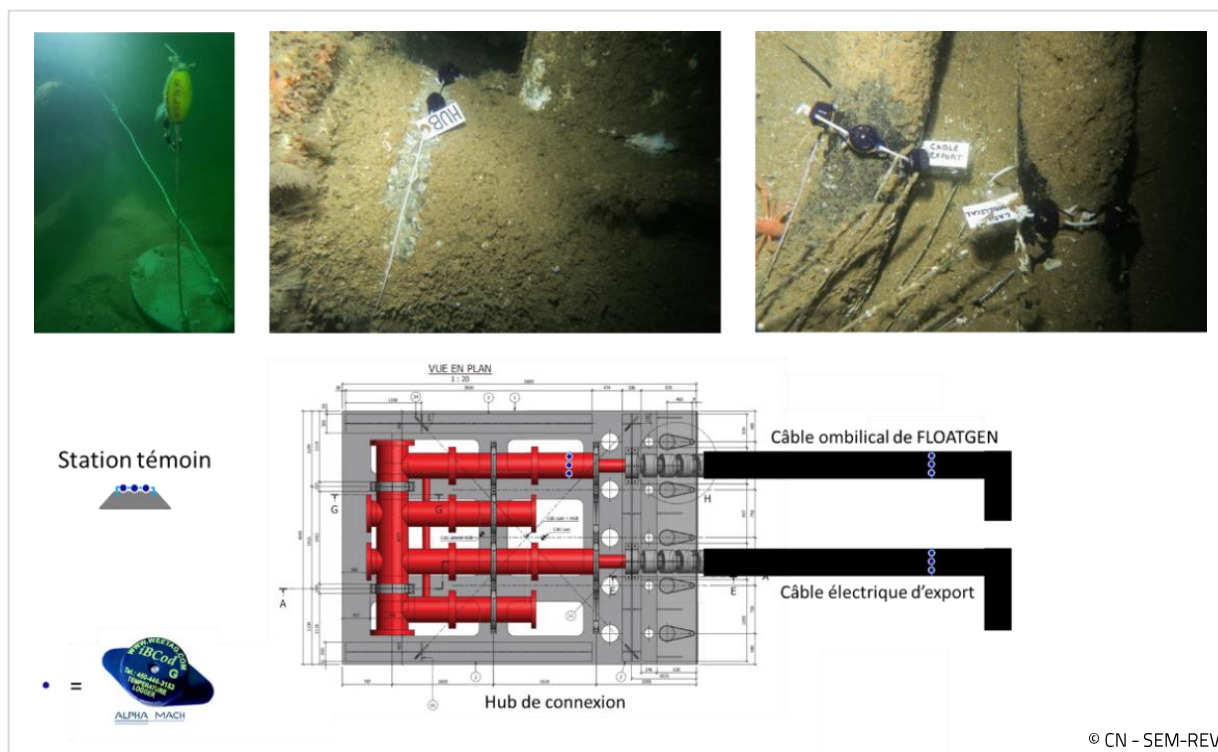


FIGURE 26 : STRATEGIE D'ECHANTILLONNAGE POUR LE SUIVI DE LA TEMPEPRATURE SUR LES INFRASTRUCTURES ELECTRIQUES DE SEM-REV.

3.3.3. RESULTATS

Sur l'ensemble de la campagne, le taux de défaillance des capteurs thermiques atteint 50%. Les hypothèses principales permettant d'expliquer ce taux élevé sont la corrosion et l'entrée d'eau au niveau de la pièce de connexion qui permet la lecture des données. Au final, les données de six capteurs seront exploitables :

- 3 capteurs témoins (T1, T2, T3) ;
- 2 capteurs installés sur le câble ombilical de FLOATGEN (OM1 et OM2) ;
- 1 capteur installé sur le câble de raccordement (EXP1).

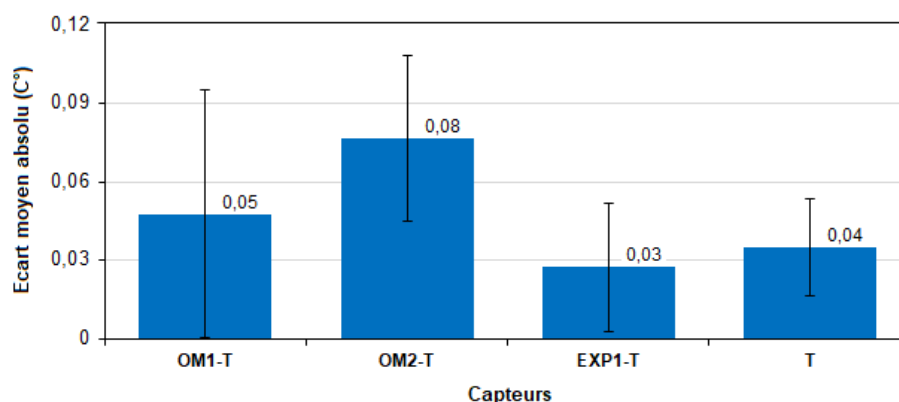
Les écarts moyens ont été obtenus en calculant la moyenne de l'ensemble des écarts quadratiques. Appliqué à la série temporelle de température acquise par le capteur OM1, l'écart aux températures de référence $\Delta_{OM1,T}$ est évalué selon :

$$\Delta_{OM1,T} = \overline{\Delta_{OM1,T_i}}$$

$$\text{avec } \Delta_{OM1,T_i} = \frac{\sum_{j=1}^N |OM1_j - T_{i_j}|}{N - 1}$$

Ainsi, les écarts absolus moyens observés entre les températures relevées sur les capteurs témoins et ceux positionnés à la surface des câbles électriques sont de 0,04°C (écart type 0,05°C) et de 0,08°C (écart type 0,03°C) pour l'ombilical de l'éolienne FLOATGEN, et de 0,03°C (écart type 0,02°C) pour le câble de raccordement électrique. Ces écarts ont uniquement été calculés pendant

les périodes de production de l'éolienne. Ces valeurs d'écart sont particulièrement faibles et restent dans la gamme de résolution des capteurs de température utilisés (FIGURE 27).



**FIGURE 27 : ECART MOYEN ABSOLU ENTRE LES TEMPERATURES TEMOINS ET DE LA SURFACE DES CABLES ELECTRIQUES (DE RACCORDEMENT ET L'OMBILICAL DE L'EOLIENNE FLOATGEN) MESUREES TOUTES LES HEURES DU 12 SEPTEMBRE 2019 AU 07 FEVRIER 2020 (N=3545 MESURES).
Les barres d'erreur correspondent aux écart-types.**

En outre, les fluctuations de température observées sur les deux câbles suivent exactement celles relevées par les capteurs témoins (FIGURE 28). Ces variations sont indépendantes de la production électrique mais semblent fortement corrélées. Il semble donc plausible que des facteurs environnementaux extérieurs comme les forçages hydrodynamiques (marée, houle, ...) soient à l'origine des variations conjointes sur l'ensemble des capteurs. La forte périodicité des températures relevées par l'ensemble des capteurs est par exemple en phase avec les cycles de marée semi-diurnes (du 28 au 31/10/2019) alors que l'état de mer était peu agité, et la fin de la fenêtre présentée FIGURE 28 correspond à un état de mer formé (hauteur significative comprise entre 3 et 4 m les 02 et 03/11/2019). L'effet de ces forçages sur les masses d'eau reste néanmoins à qualifier plus finement.

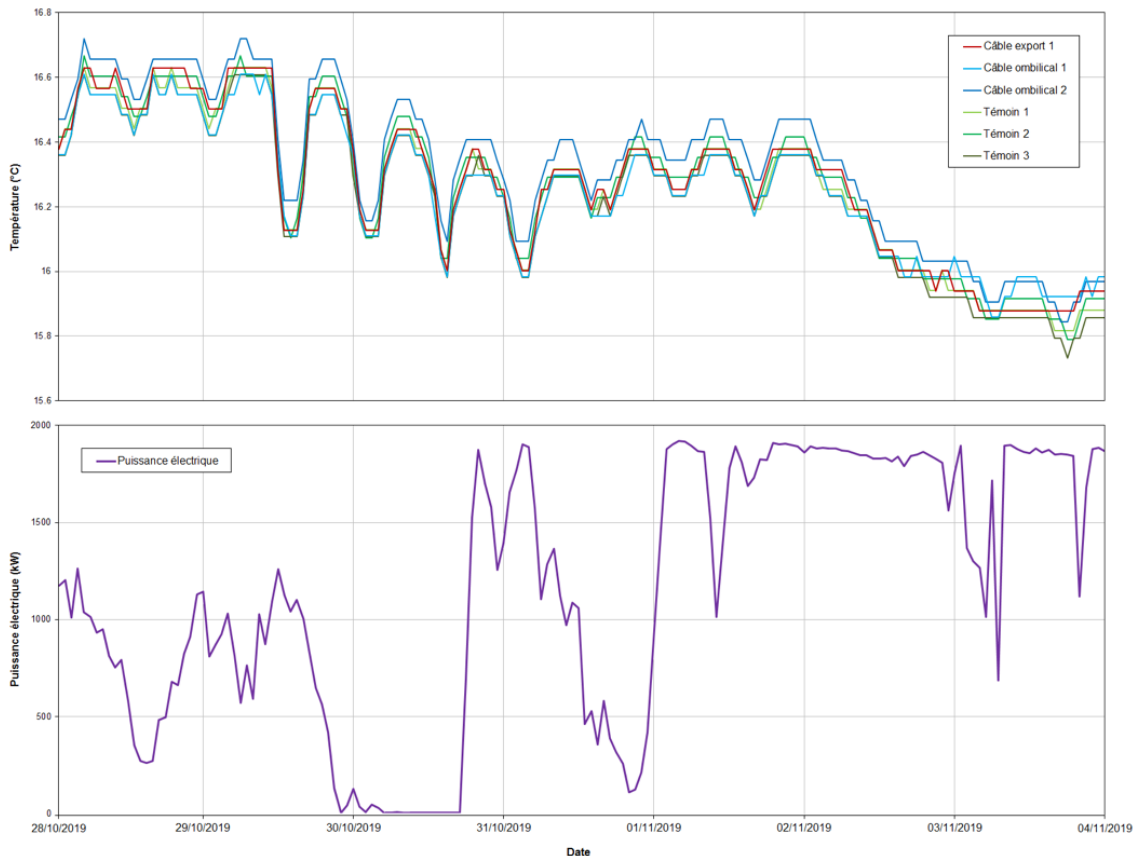


FIGURE 28 : TEMPERATURE MESUREE TOUTES LES HEURES DU 28 OCTOBRE AU 04 NOVEMBRE 2019 A LA SURFACE DES CABLES ELECTRIQUES DE RACCORDEMENT (1 CAPTEUR), DE L'OMBILICAL DE L'EOLIENNE FLOTTANTE FLOATGEN (2 CAPTEURS), ET SUR UNE STATION TEMOIN (3 CAPTEURS), EN HAUT ; PUISSANCE PRODUITE PAR L'EOLIENNE, EN BAS.

3.3.4. SYNTHÈSE

Les moyennes d'écart absolu de température relevées en phase de production de l'éolienne entre stations témoins et mesures à la surface des câbles électriques (export et ombilical) sont inférieures à l'incertitude associée au type de capteur déployé, c'est-à-dire à 0,5°C.

Par ailleurs, la très forte corrélation entre mesures témoin et mesures sur câbles alimentés, l'absence de corrélation entre températures et intensité du courant électrique circulant dans le câble, tout comme la forte variabilité de température mesurée conjointement sur l'ensemble des capteurs permettent de conclure que les effets des émissions thermiques des câbles électriques liés à la production de FLOATGEN sur le site SEM-REV peuvent être considérés comme négligeables.

3.4. QUALITE DES EAUX

3.4.1. CONTEXTE ET OBJECTIFS DU SUIVI

La qualité des eaux et du milieu en général peut être affectée par des contaminations accidentelles, ponctuelles ou diffuses. Afin de suivre la qualité du milieu, différents aspects sont contrôlés sur le site d'essais SEM-REV :

- Tenue d'un registre des matériaux et produits utilisés sur le site d'essais,
- Suivi de la contamination chimique dans les moules (*Mytilus edulis*) et le sédiment
- Contribution au réseau de surveillance Phenomer.

Conformément aux arrêtés d'autorisation du SEM-REV, tous les produits et matériaux utilisés sur le site d'essais SEM-REV doivent être identifiés et quantifiés, et leur bonne conformité réglementaire est vérifiée ainsi que renseignée dans un registre, avant toute utilisation. Ce registre est transmis chaque année aux services de l'Etat.

3.4.2. TENUE D'UN REGISTRE DES PRODUITS ET MATERIAUX UTILISES SUR LE SITE D'ESSAIS

Depuis 2013, un tel registre est complété pour chaque déploiement d'infrastructure sur le site, ainsi qu'à la suite de travaux ayant nécessité l'utilisation de produits spécifiques. L'utilisation de protections cathodiques est également renseignée.

Au cours du cycle de vie d'un démonstrateur testé sur SEM-REV, tous les produits et matériaux utilisés sur site sont ainsi renseignés. Le registre détaille, pour un matériau donné, les différents champs de spécifications couverts (**TABLEAU 10**) :

TABLEAU 10 : NOMENCLATURE DU REGISTRE DES PRODUITS ET DES MATERIAUX UTILISES SUR SEM-REV.

Dénomination	Localisation	Utilisation	Références	Fabricant	Quantités Utilisées	Composition Chimique
						Biocides & Taux de Relargage

3.4.3. SUIVI DE LA CONTAMINATION CHIMIQUE

3.4.3.1. DESCRIPTION DU PROTOCOLE DU SUIVI

Compte-tenu de la composition des produits utilisés, notamment des anodes sacrificielles de type zinc pour l'éolienne FLOATGEN, les composés recherchés sont de type éléments traces métalliques (ETM).

Les moules (*Mytilus edulis*) sont des organismes sentinelles utilisées depuis de nombreuses années comme traceurs de la pollution (O'Connor, 1998 ; Farrington, 2016). Elles filtrent l'eau de mer et les contaminants présents dans l'eau s'accumulent dans leurs tissus.

Les moules analysées sont celles qui se développent sur les structures immergées du site d'essais (Marques Spéciales ou flotteur de FLOATGEN). Les moules récoltées sont présentes depuis au

moins 1 an sur le site. Depuis 2017, des prélèvements de moules ont régulièrement été réalisés dans le cadre du suivi de la qualité des eaux.

Les moules sont prélevées en mer, conservées au froid et acheminées au laboratoire où leur chair est analysée (laboratoire agréé Inovalys, Nantes).

Les ETM recherchés sont les suivants : Aluminium, Etain, Fer, Plomb, Cadmium, Cuivre, Zinc, Chrome, Mercure, Nickel et Arsenic. Les valeurs obtenues sont comparées avec le suivi ROCCH de l'IFREMER, le référentiel DCSMM (D8) et les valeurs antérieures du site (les valeurs obtenues en 2017 constituant l'état de référence).

Les sédiments emmagasinant aussi les contaminants, la DCE retient désormais le compartiment sédimentaire pour le suivi de qualité des eaux. La stratégie d'échantillonnage et la méthodologie du suivi réalisé sur SEM-REV ont donc été spécifiés en conformité avec ces recommandations. Le suivi de qualité des eaux par analyse de sédiment est associé aux protocoles mis en place pour le suivi des communautés benthiques, détaillé par la suite (Cf. Chapitre 3.5). Les stations sélectionnées pour les analyses chimiques sont les stations n°1, n°2 et n°3 (**FIGURE 32**). Les échantillons obtenus sont traités et analysés avec le même protocole que les prélèvements de moules.

Les ETM recherchés sont les suivants : Aluminium, Fer, Etain, Plomb, Cadmium, Cuivre, Zinc, Mercure, Chrome, Nickel et Arsenic. Les valeurs obtenues sont comparées à au référentiel DCSMM (D8), aux limites N1 et N2 du référentiel « Dragage/Immersion » (Arrêté 09/08/2006), aux valeurs antérieures du site (les valeurs obtenues en 2015 constituant l'état de référence).

3.4.3.2. RESULTATS

Teneurs en ETM dans la chair des moules (*Mytilus edulis*)

Des prélèvements de moules ont été réalisés en octobre 2017 (Marque Spéciale Ouest), en février 2020 (Marque Spéciale Est) et en juin 2020 sur le flotteur de FLOATGEN.

Les moules prélevées présentaient un âge moyen différent : 1 an en octobre 2017, 2 ans et demi en février 2020, 1 an en juin 2020.

Les concentration en ETM mesurées sur SEM-REV sont présentées dans le **Tableau 11**.

TABLEAU 11 : RESULTATS DE TENEUR EN ETM DANS LA CHAIR DE MOULES PRELEVEES SUR LE SITE D'ESSAIS SEM-REV.

Eléments Traces Métalliques	Marque Spéciale Ouest	Marque Spéciale Est	Flotteur FLOATGEN	Suivi ROCCH IFREMER		DCSMM D8 (2018)
	Octobre 2017	Février 2020	Juin 2020	Médiane nationale	Ile Dumet	
	Etat de référence	Phase Opérationnelle		Eléments de comparaison		
	mg/kg poids sec					
Aluminium	65	650	30	-	-	-
Etain	<0,05*	0,105	<0,1*	-	-	-
Fer	150	500	105	-	-	-
Plomb	1,5	1,5	1,4	1,4	1,7	7,5 (EC)
Cadmium	1	0,85	1,0	0,69	0,43	5 (EC)
Cuivre	6	6	4,5	6,3	7,3	6 (BAC)
Zinc	130	130	135	107	91	63 (BAC)
Mercure	NA**	<0,23*	<0,23*	0,12	0,1	2,5 (EC)
Chrome	NA	1,55	0,495	1,45	-	-
Nickel	NA	1,2	0,95	2,05	2,5	-
Arsenic	NA	13	11,5	-	-	-

* : Limite de détection / ** : NA non analysé

Les valeurs de plomb et de cadmium dans les moules prélevées sur le site d'essais sont supérieures à la médiane nationale mais elles sont équivalentes à ce qui est mesuré localement par l'IFREMER (site Ile Dumet à environ 22km du site SEM-REV). Les teneurs en plomb, cadmium et mercure sont inférieures aux seuils réglementaires (EC [European Commission food standard] – DCSMM D8).

Les teneurs en cuivre, sont équivalentes à la médiane nationale, les valeurs retrouvées localement et le référentiel DCSMM D8 (BAC : Background Assessment Concentrations défini par la convention internationale OSPAR/Medpol).

Les teneurs en mercure et nickel sont inférieures aux éléments de comparaison. Celles en chrome sont équivalentes ou inférieures aux éléments de comparaison.

Les teneurs en zinc sont supérieures aux éléments de comparaison et ce dès l'état initial, mais restent stables entre 2017 et 2020.

Pour ce qui concerne les ETM aluminium et fer qui ne disposent pas d'éléments de comparaison, les teneurs mesurées en octobre 2020 sont beaucoup plus élevées que celles mesurées en 2017 et en juin 2020. Cela pourrait s'expliquer à la fois par la physiologie de la moule *Mytilus edulis* et l'âge des individus prélevés, l'espèce pouvant accumuler plus ou moins de contaminants selon son cycle annuel de reproduction et selon son âge. De plus, des facteurs régionaux et saisonniers, extérieurs au site, comme les panaches de la Loire et de la Vilaine et leurs apports terrigènes sont susceptibles d'impacter naturellement la mesure. Des mesures complémentaires devraient permettre de confirmer prochainement ces hypothèses.

Dans l'état actuel des suivis réalisés en surface, le site SEM-REV ne présente pas de pollution pour ces éléments-traces métalliques. La poursuite de ce suivi régulier permettra d'identifier l'évolution de la qualité des eaux sur le long terme.

Teneurs en ETM dans les sédiments

Des prélèvements sédimentaires ont été réalisés en octobre 2015 ; cela correspond à l'état de référence, avant l'installation de FLOATGEN. Par la suite, un prélèvement sédimentaire a été réalisé en juillet 2020 à proximité de l'éolienne FLOATGEN afin d'analyser les teneurs en ETM.

Les résultats des analyses en ETM des prélèvements sédimentaires sont présentés dans le **TABLEAU 12**.

TABLEAU 12 : RESULTATS DES ANALYSES DE CONCENTRATION EN ELEMENTS TRACES METALLIQUES DE 2020 DANS LES SEDIMENTS.

Eléments Traces Métalliques	Résultats	Résultats	Réglementation
	Octobre 2015* Etat de référence	Juillet 2020 Phase Opérationnelle mg/kg sec	Arrêté du 09/08/2006
Al, Aluminium	1488	1861	/
Sn, Etain	/	<0,5**	/
Fe, Fer	/	8935	/
Pb, Plomb	<5**	5,7	100
Cd, Cadmium	<0,4**	<0,4**	1,2
Cu, Cuivre	<3**	<15**	45
Zn, Zinc	13	<50**	276
Hg, Mercure	<0,05**	<0,010**	0,4
As, Arsenic	13	14	25
Cr, Chrome	6	9,3	90
Ni, Nickel	3	3,9	37

*Moyenne de 3 mesures issues d'échantillons de 3 stations réparties sur le site SEM-REV.

**Valeur inférieure à la limite de détection.

Les résultats indiquent qu'il n'y a pas de stockage d'ETM dans les sédiments du site. Pour chaque élément, les teneurs sont équivalentes entre les prélèvements réalisés en 2015 et ceux effectués en 2020. Par comparaison, les teneurs mesurées dans les sédiments sont inférieures aux valeurs de l'Arrêté du 09/08/2006 fixant les niveaux à prendre en compte pour le dragage et l'immersion de sédiments.

Par ailleurs, les sédiments du site d'essais étant de nature sableuse, les mesures de l'état de référence comme de la phase opérationnelle viennent conforter le fait qu'une telle granulométrie limite par nature l'accumulation de contaminants, préférentiellement stockés dans les sédiments plus fins, tels que les vases.

3.4.3.3. SYNTHÈSE

Aucune pollution en ETM n'est détectée à ce jour sur SEM-REV à travers les suivis réalisés la chair de moules (*Mytilus edulis*) ou les sédiments.

Les résultats des mesures en ETM dans la chair de moules peuvent montrer des variations importantes selon les prélèvements. Les teneurs mesurées sont globalement équivalentes aux valeurs observées en d'autres points de suivi régionaux. Les différences observées entre les campagnes de prélèvements s'expliquent davantage par la physiologie et l'âge des individus prélevés que par une évolution de la qualité du milieu. Les concentrations en ETM dans les sédiments ne révèlent pas de contamination avérée.

Un suivi régulier et sur le long terme permettra de suivre ces évolutions.

3.4.4. CONTRIBUTION AU RESEAU PHENOMER

Le site d'essais SEM-REV est depuis 2020 une structure relais pour le réseau Phenomer¹⁰ qui recense et étudie les phénomènes d'eaux colorées. Il s'agit sur ce volet de contribuer à la caractérisation du milieu par les observations et mesures qui peuvent être faites autour de SEM-REV.

Différentes observations d'opportunité d'efflorescences naturelles ont ainsi alimenté le réseau : *Noctiluca scintillans* (08/07/2020) et *Mesodinium rubrum* (23/03/2021) ont par exemple pu être caractérisés par des observations et des prélèvements (FIGURE 29).

La caractérisation de ces efflorescences, parfois toxiques, aux avants postes des stations plus côtières, permet notamment aux réseaux de surveillance d'augmenter leur niveau de vigilance sur la qualité des eaux aux échelles régionales.

Les équipes du SEM-REV et les développeurs accueillis sont sensibilisés à ces phénomènes d'eau colorées, et poursuivent leur travail de veille pour contribuer au réseau Phenomer.



FIGURE 29 : PHOTOGRAPHIE DE L'EFFLORESCENCE NATURELLE DE *NOCTILUCA SCINTILLANS*A GAUCHE ET DE *MESODINIUM RUBRUM*A DROITE.

¹⁰ Site internet : <https://www.phenomer.org/>

3.5. HABITATS ET COMMUNAUTES BENTHIQUES

3.5.1. CONTEXTE ET OBJECTIFS DU SUIVI

Ce suivi se focalise principalement sur la macrofaune benthique. L'objectif ici est de déterminer si la présence des équipements du site et des démonstrateurs accueillis impacte les communautés benthiques présentes et leurs habitats.

Cette macrofaune regroupe, dans le règne animal, les organismes invertébrés dont la taille est macroscopique c'est-à-dire comprise entre le millimètre et le décimètre. Le caractère benthique se rapporte aux organismes dont au moins la forme adulte vit en relation avec les fonds marins, en opposition avec ceux dits pélagiques vivant dans la colonne d'eau. Un peuplement benthique se définit d'une part par le substrat qui l'abrite, le type et la granulosité du sédiment (sable, vase, cailloutis...), et d'autre part par un certain nombre d'espèces qui le composent de façon régulière et qui le caractérisent ; on parle d'un peuplement « à » telle espèce. Ces espèces sont étroitement liées à la qualité et à la structure du sédiment où elles vivent. Le sédiment est caractérisé par sa composition (calcaire, silice...), sa texture (porosité, compacité, homogénéité), sa granulométrie (taille et forme des grains), sa teneur minérale ou organique, etc...

Ainsi, un habitat désigne un milieu où les facteurs environnementaux (substrat, profondeur, éclaircissement, hydrologie...) sont favorables à une espèce ou un groupe d'espèces caractéristiques.

Le site d'essais SEM-REV se situe sur un fond meuble et au sein d'un habitat constitué de sable fin mobile circalittoral¹¹ à *Echinocyamus pusillus*, *Ophelia borealis* et *Abra prismatica* d'après la typologie EUNIS [code A5.251] (FIGURE 30 & FIGURE 31).

A environ 3 km au NNW du site SEM-REV, un habitat protégé par la convention OSPAR est rencontré. Il s'agit de colonies de pennatules (*Virgularia tuberculata*) et de mégafaune fouilleuse [code A5.361] (FIGURE 30 & FIGURE 31).

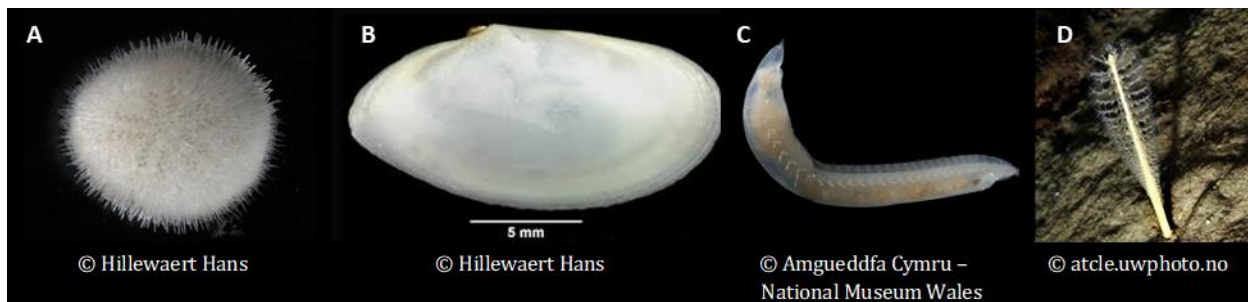
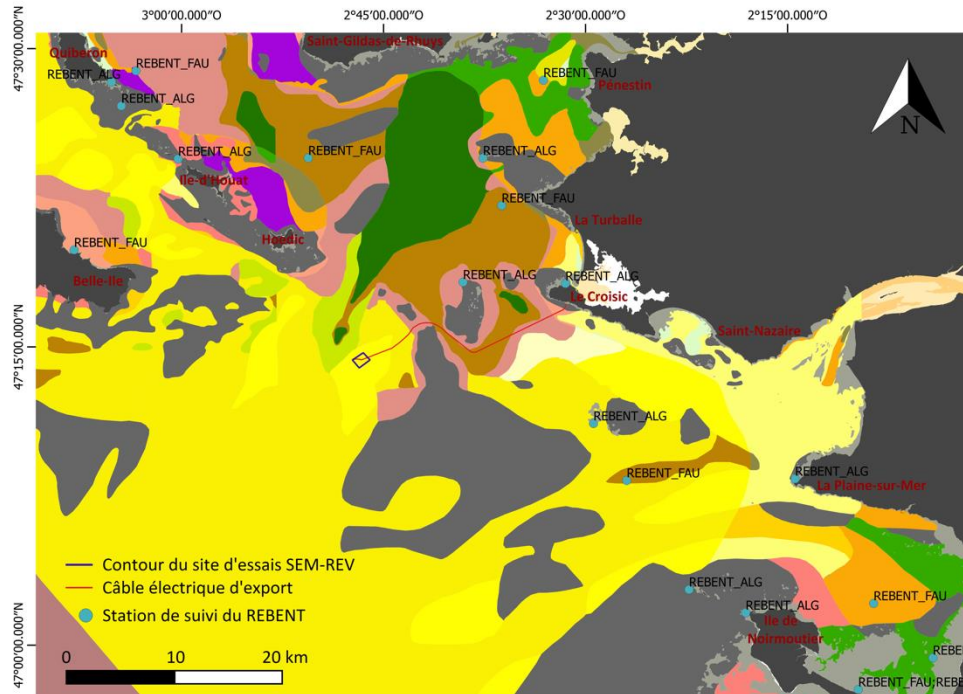


FIGURE 30 : PHOTOGRAPHIES DE *ECHINOCYAMUS PUSILLUS* (A), *OPHELIA BOREALIS* (B), *ABRA PRISMATICA* (C) ET *VIRGULARIA TUBERCULATA* (D).

Le site d'essais SEM-REV se situe également au sein d'un gisement naturel de coquille Saint-Jacques (*Pecten maximus*). Ce gisement est répertorié administrativement sous le nom de « gisement de Capella » et est défini par arrêté du préfet de région Pays de la Loire n°37/ 2009 du 24 février 2009. Néanmoins, à ce jour aucune observation de coquille Saint-Jacques n'a été faite sur le site SEM-REV.

¹¹ Circalittorale : zone qui s'étend de 40 m à environ 100 m et qui est la zone où la lumière est faible (euphotique) jusqu'à être insuffisante pour ne plus permettre la présence d'algues.



LEGENDE EUNIS

- Roche et autres substrats durs infralittoraux ou circalittoraux (A3 ou A4)
- Sédiment intertidal (A2)
- Sédiment subtidal (A5)
- Gravier propre infralittoral à *Dosinia exoleta* (A5.12_FR01)
- Gravier envasé infralittoral à *Dosinia exoleta* et *Venus verrucosa* (A5.43_FR01)
- Banc de maerl (A5.51)
- Gravier envasé circalittoral côtier à *Pista cristata* et *Timoclea ovata* (A5.44_FR01)
- Gravier circalittoral profond à *Astarte sulcata* et *Venus casina* (A5.14_FR01)
- Sable grossier infralittoral à *Donax politus* et *Callista chione* (A5.12_FR02)
- Sédiment grossier sablo-graveleux à *Clausinella fasciata* et *Branchiostoma lanceolatum* (A5.135)
- Hétérogène envasé infralittoral à *Nucula nucleus* (A5.43_FR02)
- Sable hétérogène envasé circalittoral profond à *Nucula nucleus*, *Pitar rudis* et *Amphiura chiajei* (A5.45_FR01)
- Sable fin à moyen mobile infralittoral à faune éparse à *Abra prismatica* et *ophellidae* (A5.231)
- Sable moyen mobile circalittoral profond à *Ditrupa arietina* et *Entalis entalis* (A5.27_FR01)
- Sable fin mobile circalittoral à *Echinocyamus pusillus*, *Ophelia borealis* et *Abra prismatica* (A5.251)
- Sable fin circalittoral à *Chamelea striatula* et *Dosinia lupina* (A5.25_FR01)
- Sable fin envasé compact de l'infralittoral à *Fabulina fabula*, *Magelona mirabilis*, bivalves vénérédés et amphipodes (A5.242)
- Sable envasé infralittoral à *Amphiura brachiata* et *Euclymene oerstedii* (A5.24_FR01)
- Sable fin envasé circalittoral côtier à *Amphiura filiformis* et *Tellina serrata* (A5.26_FR01)
- Sable fin envasé circalittoral profond à *Amphiura chiajei* (A5.27_FR02)
- Vase sableuse infralittorale à *Mysella bidentata* et *Abra spp.* (A5.333)
- Vase sableuse à *Maldane glebifex* et *Clymene modesta* (A5.35_FR01)
- Vase sableuse circalittorale profonde à *Nucula sulcata* et *Brissopsis lyrifera* (A5.37_FR01)
- Vase infralittorale à *Nucula nitidosa* et *Abra nitida* (A5.34_FR01)
- Vase subtidale (A5.3)
- Vase circalittorale à pennatules et mégafaune fouisseuse (A5.361)
- Vase circalittorale profonde à *Ninoe armoricana* (A5.37_FR02)

Source Chassé C., Glémarec M., 1976 ; Produit numérique REBENT Ifremer-Université-CNRS, 2009
Fond de plan : IGN - GEOFLA ; Système géodésique : WGS84 ; Système de projection : UTM 30

FIGURE 31 : CARTE DES HABITATS (TYPOLOGIE EUNIS) DU PLATEAU CONTINENTAL DU GOLFE DE GASCOGNE.

3.5.2. DESCRIPTION DU PROTOCOLE DU SUIVI

3.5.2.1. COMMUNAUTES BENTHIQUES – PROTOCOLE DCE

Pour le suivi des communautés benthiques, le protocole mis en œuvre dans le cadre de la DCE est appliqué au site d'essais et le long du câble de raccordement électrique. Ce protocole standardisé permet de suivre les évolutions de peuplements benthiques et les éventuels effets des expérimentations réalisées sur le site SEM-REV au cours du temps.

Stratégie d'échantillonnage

Un total de 10 stations, réparties dans les différents faciès sédimentaires, a été sélectionné pour ce suivi (**FIGURE 32**) ;

- 3 stations (n°1 à 3) pour l'analyse de la macrofaune. Elles sont situées dans la zone délimitée du site d'essais ;
- 7 stations (n°4 à 10) le long du tracé du câble de raccordement électrique.

En fonction des expérimentations mises en œuvre, certaines stations n'ont pas pu être échantillonnées à chaque campagne (**TABLEAU 13**).

TABLEAU 13 : PRESENTATION DES CAMPAGNES D'ETUDE DES PEUPLEMENTS BENTHIQUES.

	Etat de référence			Phase travaux	Phase d'exploitation	
	Octobre 2015	Mars 2016	Octobre 2016	Octobre 2017	Mars 2019	Octobre 2020
Nombre de stations échantillonnées (n° de la/des station(s) <u>non</u> échantillonnée(s))	10	10	10	9 (3)	4 (5 à 10)	4 (5 à 10) + Flotteur
Prélèvements réalisés par	Centrale Nantes	Centrale Nantes	Centrale Nantes	Centrale Nantes	Centrale Nantes	Centrale Nantes
MO & granulométrie réalisées par	CREOCEAN	CREOCEAN	CREOCEAN	Centrale Nantes	Centrale Nantes	Centrale Nantes
Détermination des espèces réalisée par	CREOCEAN	CREOCEAN	CREOCEAN	IDRA Bio & Littoral	IDRA Bio & Littoral	IDRA Bio & Littoral

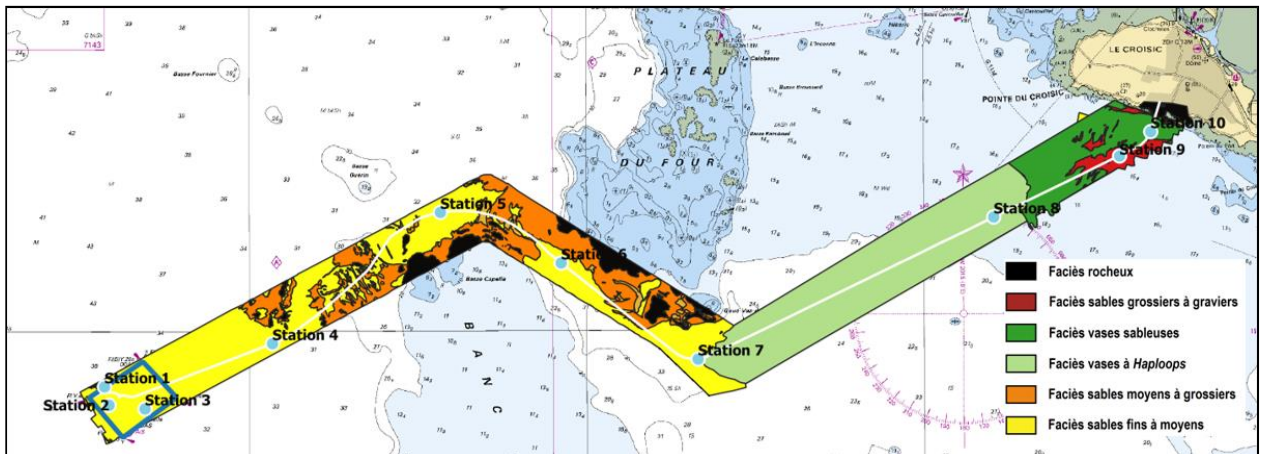


FIGURE 32 : LOCALISATION DES STATIONS DE SUIVI DES COMMUNAUTES BENTHIQUES SUR LE SITE D'ESSAIS SEM-REV ET LE LONG DU CABLE DE RACCORDEMENT ELECTRIQUE AVEC LES FACIES SEDIMENTAIRES ASSOCIES (ASTERIE, 2008 & 2010 MIS A JOUR CN - SEM-REV, 2018).

Les échantillons d'octobre 2017 ont été prélevés après la phase d'installation des lignes d'ancrage de l'éolienne FLOATGEN. La localisation des stations de prélèvements par rapport aux structures de l'éolienne est indiquée ci-dessous :

- La station n°1 se situe à 520 m des ancrages avant, 800 m des ancrages arrière Nord et à 780 m du flotteur ;
- La station n°2 se situe à 175 m des ancrages avant et à 750 m du flotteur ;
- La station n°3 se situe à 410 m des ancrages arrière Est, 700 m des ancrages avant et à 350 m du flotteur (station non échantillonnée en octobre 2017) ;
- La station n°4 se situe à 2 300 m des ancrages arrière Est et à 2 500 m du flotteur.

Les prélèvements de mars 2019 ont eu lieu 11 mois après l'installation de FLOATGEN et la connexion à ses ancrages.

Des prélèvements de la macrofaune benthique seront réalisés avant la phase de démantèlement sur l'ensemble des stations d'échantillonnage et selon le protocole de suivi des communautés benthiques du site d'essais SEM-REV.

Une campagne de contrôle sera également réalisée dans l'année qui suit le démantèlement des démonstrateurs dans les mêmes conditions afin de détecter de possible perturbations liées à cette phase de retrait. Si les résultats montrent une incidence sur le compartiment benthique, une autre série de prélèvements sera effectuée.

Prélèvements et traitement des échantillons en mer

Conformément au protocole DCE, les stations sont échantillonnées à l'aide d'une benne Van Veen (prélevant sur une surface unitaire de 0,1 m²), à raison de six réplicats. Des prélèvements de sédiments sont également effectués pour caractériser l'habitat. Les prélèvements destinés à l'étude de la faune font l'objet d'un tamisage, sur un tamis de mailles rondes de 1 mm de diamètre.

Traitement des échantillons en laboratoire

Echantillons biologiques

L'ensemble des échantillons biologiques a été traité par des prestataires spécialisés dans la détermination de la faune benthique (CREOCEAN ou IDRA Bio&Littoral, selon les campagnes).

Un tri sous binoculaire est réalisé à vue pour récolter tous les organismes vivants visibles à l'œil nu. Le tri consiste à séparer le sédiment du matériel biologique. Les individus sont identifiés jusqu'à l'espèce sauf pour certains groupes (Némertes, Plathelminthes, etc.) ou jusqu'au genre si l'état de l'individu ne permet pas de porter la détermination plus loin. Ils sont ensuite placés dans les piluliers avec de l'alcool pour la conservation.

Une fois la détermination effectuée, une analyse univariée est menée afin de produire divers descripteurs des communautés benthiques. Quatre descripteurs sont présentés ici :

- **La richesse spécifique totale** correspond au nombre d'espèces récoltées par station ;
- **L'abondance totale** se définit comme le nombre d'individus, toutes espèces confondues, par unité de surface de prélèvement. Les résultats obtenus sont exprimés pour 1 m² ;
- **L'indice biotique AMBI** est un indice marin de la qualité écologique des peuplements benthiques de substrat meuble. Il est dérivé des abondances relatives de cinq groupes écologiques définis selon un gradient de sensibilité/tolérance à un stress environnemental (Fouet *et al.*, 2018) et est calculé selon la formule :

$$AMBI = (p_{GE1} * 0) + (p_{GE2} * 1,5) + (p_{GE3} * 3) + (p_{GE4} * 4,5) + (p_{GE5} * 6)$$

Avec p_{GEX} la proportion, en abondance, des espèces du groupe écologique X définies par Borja *et al.* 2000 : GE1 : espèces sensibles aux perturbations ; GE2 : espèces indifférentes aux perturbations ; GE3 : espèces tolérantes aux perturbations ; GE4 : espèces opportunistes de second ordre ; GE5 : espèces opportunistes de premier ordre.

- **L'état écologique** découle de la valeur de l'indice AMBI comme l'indique le **TABLEAU 14** suivant.

TABLEAU 14 : EQUIVALENCE AMBI - ETAT ECOLOGIQUE.

AMBI	0 < AMBI ≤ 1,2	1,2 < AMBI ≤ 3,3	3,3 < AMBI ≤ 4,3	4,3 < AMBI ≤ 5,5	5,5 < AMBI ≤ 7
Etat écologique	Très bon	Bon	Moyen	Médiocre	Mauvais

Echantillons sédimentaires

Selon les campagnes, les échantillons sédimentaires ont été traités par CREOCEAN ou Centrale Nantes sous le contrôle de Cap Atlantique.

L'analyse granulométrique consiste à étudier la répartition de la taille des grains d'un échantillon. Selon le pourcentage de chaque classe de taille, les sédiments sont alors qualifiés de vase, sable fins, sables grossiers, etc.

La teneur en matière organique totale est estimée par la méthode de la perte au feu. La masse de matière organique est obtenue par différence entre les pesées avant et après la perte au feu. A 450°C, la matière organique s'est transformée en gaz CO₂ et en vapeur d'eau H₂O.

3.5.2.2. INTEGRITE DES FONDS

En parallèle, des inspections visuelles par R.O.V. ont été réalisées à différentes phases de l'expérimentation :

- En mars et mai 2018, pendant et après le raccordement de l'éolienne FLOATGEN à son ombilical et ses lignes d'ancrages ;
- En mai 2019, juin 2020 et juin 2021, lors d'opérations de maintenance du câble ombilical et des lignes d'ancrage de l'éolienne.

La visualisation de ces vidéos permet d'observer les effets de l'installation et de ces infrastructures sur l'intégrité du fond marin.

3.5.3. RESULTATS

3.5.3.1. COMMUNAUTES BENTHIQUES - PROTOCOLE DCE

La synthèse des résultats des multiples campagnes de prélèvements benthiques est présentée dans le **Tableau 15** ci-après. Toutes les espèces échantillonnées sont connues dans le Golfe de Gascogne.

On observe une influence de la saisonnalité sur les résultats. La période automnale correspond à une période de recrutement, c'est-à-dire au moment où les juvéniles sont intégrés à la population d'adultes. C'est pourquoi les abondances sont généralement plus fortes à l'automne qu'en début de printemps.

Lors de l'état de référence, le long du câble, les stations n°7, n°8 et n°10 sont les plus peuplées. Cependant, ces fortes abondances sont la conséquence de la très forte présence de peu d'espèces, généralement 1 ou 2 espèces d'arthropodes (*Haploops* spp. et *Ampelisca armoricana*) ou d'échinodermes (*Amphiura filiformis*, *Ophiura albida* et *Acrocnida brachiata*). La station n°4 présente une petite majorité de crustacés amphipodes, dominés par des *Bathyporeia* sp. et des *Urothoe* sp.. La station n°5 est relativement homogène, avec une domination des annélides, notamment représentée par les *Nephtys* sp. (**FIGURE 33**). La station n°6 est représentée par les annélides (plus de 80% des individus récoltés sur la station), mais sans espèces prédominantes. La station n°9 est la moins peuplée de l'ensemble de la zone d'étude ; elle présente une majorité d'individus de l'embranchement des annélides.

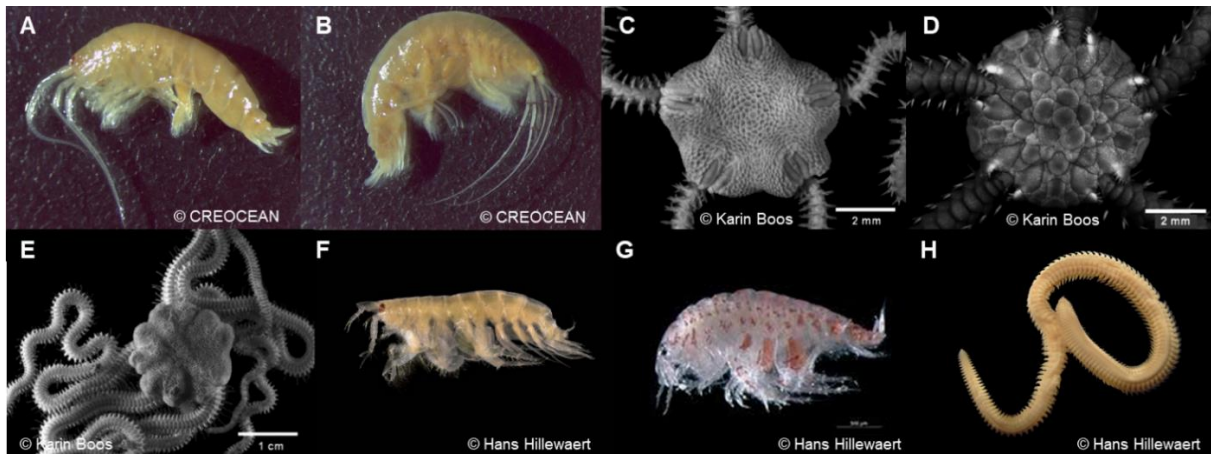


FIGURE 33 : PHOTOGRAPHIES DE *HAPLOOPS* SPP. (A), *AMPELISCA ARMORICANA* (B), *AMPHIURA FILIFORMIS* (C), *OPHIURA ALBIDA* (D), *ACROCNIDA BRACHIATA* (E) *BATHYPOREIA* SP. (F), *UROTHOE* SP. (G) ET *NEPHTYS* SP..

Trois mois après les travaux d'installation des ancrs de FLOATGEN (octobre 2017), les communautés de la macrofaune benthique affichent des richesses spécifiques et des abondances relativement élevées mais comprises dans la gamme des valeurs observées lors de l'état de référence.

Les communautés benthiques le long du câble de raccordement électrique présentent, comme les communautés du site SEM-REV, une augmentation de la richesse spécifique et des abondances en 2017 par rapport aux valeurs observées lors de l'état de référence (2015-2016).

En mars 2019, les communautés benthiques affichent des valeurs de richesse spécifique et d'abondance relativement élevées par rapport à l'état de référence mais légèrement inférieures à ce qui a été observées suite aux travaux d'installation.

TABLEAU 15 : PARAMETRES ET ETAT ECOLOGIQUE DES COMMUNAUTES BENTHIQUES SUR LE SITE DU SEM-REV ET LE LONG DU CABLE DE RACCORDEMENT.

Paramètres	Années	Saisons	Phases	Stations de prélèvement									
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
				Site d'essais			Câble de raccordement électrique - (-> du large vers la côte)						
Richesse spécifique	2015	A	Etat de référence	23	36	38	39	27	24	28	38	12	38
	2016	P		25	22	17	14	21	21	19	17	9	30
	2016	A		26	38	29	54	24	26	29	27	16	33
	2017	A	Travaux	57	39		42	39	79	53	93	61	72
	2019	P	Exploitation	62	49	35	36	<i>Analyse des prélèvements en cours</i>					
	2020	A		<i>Analyse des prélèvements en cours</i>									
Abondance (nbre ind/m²)	2015	A	Etat de référence	173	235	253	507	195	55	4815	4477	140	1492
	2016	P		152	80	67	120	122	528	985	1147	1147	1157
	2016	A		180	308	242	183	152	207	620	5782	597	1642
	2017	A	Travaux	717	258		468	432	1420	903	8015	1448	3492
	2019	P	Exploitation	493	330	292	222	<i>Analyse des prélèvements en cours</i>					
	2020	A		<i>Analyse des prélèvements en cours</i>									
AMBI	2015	A	Etat de référence	0,977	1,059	1,233	1,052	1,115	2,758	2,857	2,857	2,099	0,901
	2016	P		2,120	1,125	0,900	0,500	1,253	2,563	1,933	2,763	4,102	2,605
	2016	A		1,794	1,678	1,004	1,411	1,512	2,014	2,181	2,450	1,391	2,242
	2017	A	Travaux	1,908	1,392		0,837	1,392	2,482	1,185	2,467	1,972	1,932
	2019	P	Exploitation	1,631	1,459	1,637	1,301	<i>Analyse des prélèvements en cours</i>					
	2020	A		<i>Analyse des prélèvements en cours</i>									
Etat écologique*	2015	A	Etat de référence										
	2016	P											
	2016	A											
	2017	A	Travaux										
	2019	P	Exploitation										
	2020	A		<i>Analyse des prélèvements en cours</i>									

■ Très bon état ■ Bon état ■ Etat moyen ■ Etat médiocre ■ Mauvaise état ■ Absence de données
 A = Automne P = Printemps

Au cours des différentes campagnes, 15 espèces d'intérêt écologique ont été identifiées. Il s'agit d'espèces ingénieuses, d'espèces d'intérêt commercial ou encore d'espèces autochtones rares (Tableau 16 et Figure 34).

TABLEAU 16 : LISTE DES ESPECES D'INTERET ECOLOGIQUE IDENTIFIEES SUR LE SITE D'ESSAIS.

Embranchement	Nom (taxon)	Critères	N° Planche
Arthropode	<i>Ampelisca armoricana</i>	N°6 : Espèce ingénieuse, rôle d'indicateur d'importance permettant un habitat diversifié	1
Arthropode	<i>Ampelisca brevicornis</i>	N°6 : Espèce ingénieuse, rôle d'indicateur d'importance permettant un habitat diversifié	2
Arthropode	<i>Pagurus forbesii</i>	N°5 : Espèce autochtone rare	3
Arthropode	<i>Thia scutellata</i>	N°5 : Espèce autochtone rare	4
Annélide	<i>Lanice conchilega</i>	N°6 : Espèce ingénieuse, rôle d'indicateur d'importance permettant un habitat diversifié	5
Annélide	<i>Ophelia borealis</i>	N°5 : Espèce autochtone rare	6
Annélide	<i>Travisia forbesii</i>	N°5 : Espèce autochtone rare	7
Céphalocordés	<i>Branchiostoma lanceolatum</i>	N°6 : Espèce ingénieuse, rôle d'indicateur d'importance permettant un habitat diversifié	8
Echinodermes	<i>Echinocardium flavescens</i>	N°5 : Espèce autochtone rare	9
Mollusque	<i>Cochlodesma praetenu</i>	N°5 : Espèce autochtone rare	10
Mollusque	<i>Ensis Ensis</i>	N°5 : Espèce autochtone rare	11
Mollusques	<i>Epilepton clarkiae</i>	N°5 : Espèce autochtone rare	12
Mollusque	<i>Gari tellinella</i>	N°5 : Espèce autochtone rare	13
Mollusque	<i>Moerella donacina</i>	N°5 : Espèce autochtone rare	14
Mollusque	<i>Spisula solida</i>	N°9 : Espèce d'intérêt commercial	15

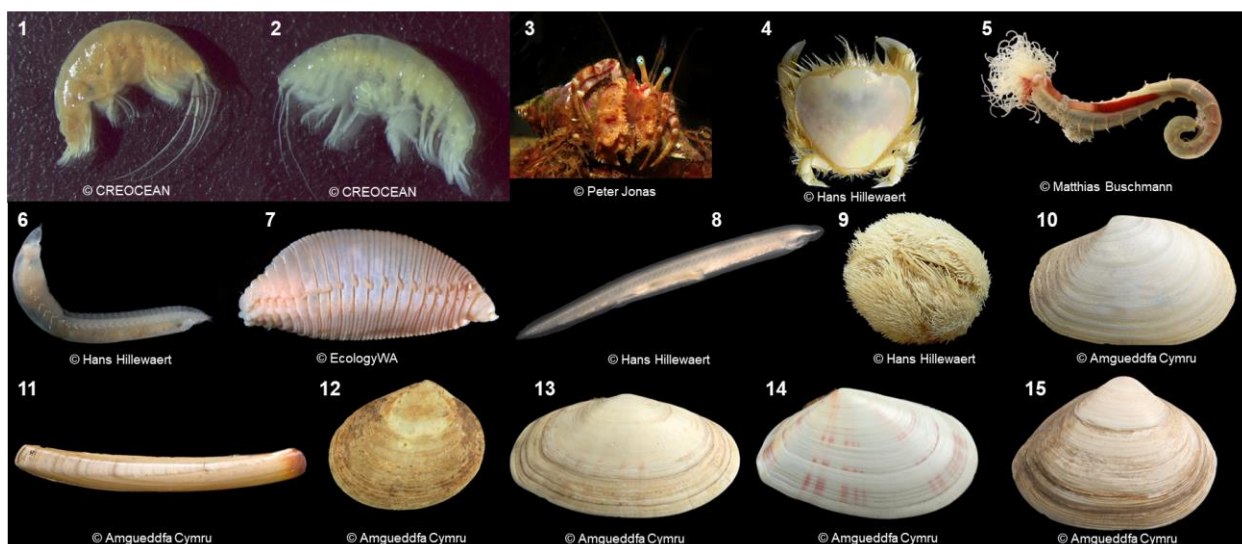


FIGURE 34 : ESPECES D'INTERET ECOLOGIQUE IDENTIFIEES SUR LE SITE D'ESSAIS.

L'indicateur AMBI de la qualité écologique de la macrofaune benthique de substrat meuble montre que l'état écologique des communautés sur le site SEM-REV est bon voire très bon depuis 2015 (Tableau 15), à l'exception de la station 9 au printemps 2016 (état de référence) qui affiche une

qualité écologique dégradée. Cela indique qu'aucune pollution par un apport de matière organique ou de particules fines n'est détectée.

3.5.3.2. CARACTERISATION SEDIMENTAIRE

Lors de l'état de référence, les résultats des analyses granulométriques et des teneurs en matière organique (MO) révèlent que les prélèvements sédimentaires des stations peuvent être répartis en plusieurs groupes (**Figure 35**) :

- Une très grande similitude de la composition granulométrique est observée pour les stations n°2 à n°5 ; elles présentent toutes une fraction sableuse fine à moyenne supérieure à 80 %, moins de 2 % de pélites et moins de 1 % de graviers. Les teneurs en matière organique (MO) sont très faibles dans ces stations et elles varient de 0,3 % (station n°3) à 0,9 % (station n°5) avec une moyenne de 0,6 % ($\pm 0,2$ %) ;
- La station n°1 présente plus de 60% de fraction sableuse fine à moyenne comme les stations n°2 à n°5 mais elle est également composée de plus de 30 % de sables grossiers et graviers. La concentration moyenne en MO est de 0,7 % ($\pm 0,2$ %) ;
- La station n°6 renferme plus de 90 % de sables moyens à grossiers, plus de 3 % de graviers et moins de 2 % de pélites. Selon la proportion de sables grossiers, la station n°6 est plus grossière que la station n°1. Les teneurs en MO sont comprises entre 1,2 et 5,2 % avec une moyenne de 2,8 % ($\pm 2,1$ %).
- Les stations n°7, n°8 et n°10 présentent de très fortes teneurs en pélites, avec des proportions supérieures à 30 %, une fraction sableuse supérieure à 20 % ainsi qu'une proportion de graviers supérieure à 4 %. Les teneurs en MO sont les plus élevées avec une moyenne de 5,4 % ($\pm 2,2$ %) ;
- La station n°9 renferme plus de 70% de sables grossiers et graviers et plus de 5 % de pélites. Concernant les concentrations en MO, cette station possède les variations les plus importantes (de 0,4 à 8,9 %) et une moyenne de 3,2 ($\pm 4,9$ %).

En regard de la classification bio-sédimentaire de Larssonneur (1977) la même répartition de la nature des sédiments est observée en 2015 et 2016 (**Figure 35**) :

- Pour les stations n°1 à n°5 des sables moyens ;
- Pour les stations n°6 et n°9 des sables grossiers ;
- Pour les stations n°7, n°8 et n°10 des vases sableuses.

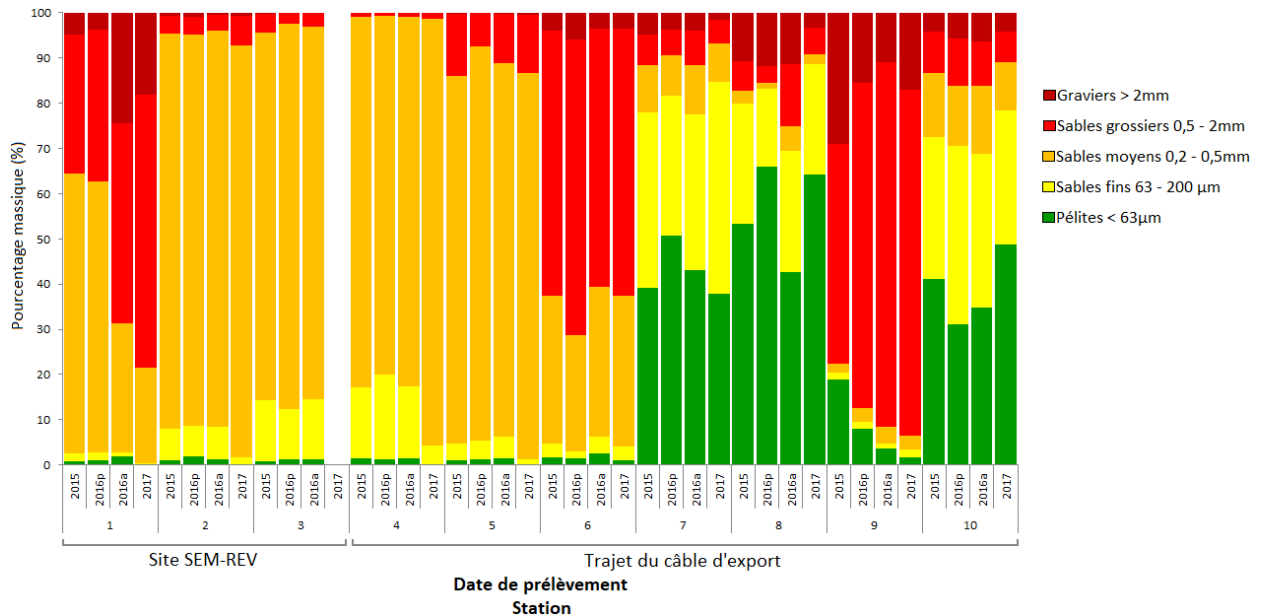


FIGURE 35 : REPRESENTATION GRAPHIQUE DE LA GRANULOMETRIE DES STATIONS ECHANTILLONNEES EN 2015, 2016 ET 2017.

La comparaison des résultats des analyses granulométriques de 2017 avec ceux obtenus lors de l'état de référence, permet d'observer une diminution de la fraction des particules fines (pélites et sables fins) pour les stations n°1 à n°6 en 2017.

L'évolution de la granulométrie de la station n°1 montre également une diminution de la fraction de sables moyens et d'une augmentation de la fraction grossière (sables et graviers). Alors que pour les stations n°2, n°4 et n°5, on remarque une augmentation de la proportion de sables moyens et une stabilité des proportions en particules grossières (sables grossiers et graviers).

La diminution de la fraction pélitique est également visible au sein de la station n°9.

Les répartitions granulométriques des stations n°7, n°8 et n°10 sont similaires à celles de l'état de référence (Figure 35).

Les analyses granulométriques des prélèvements de 2019 et de 2020 sont en cours de traitement.

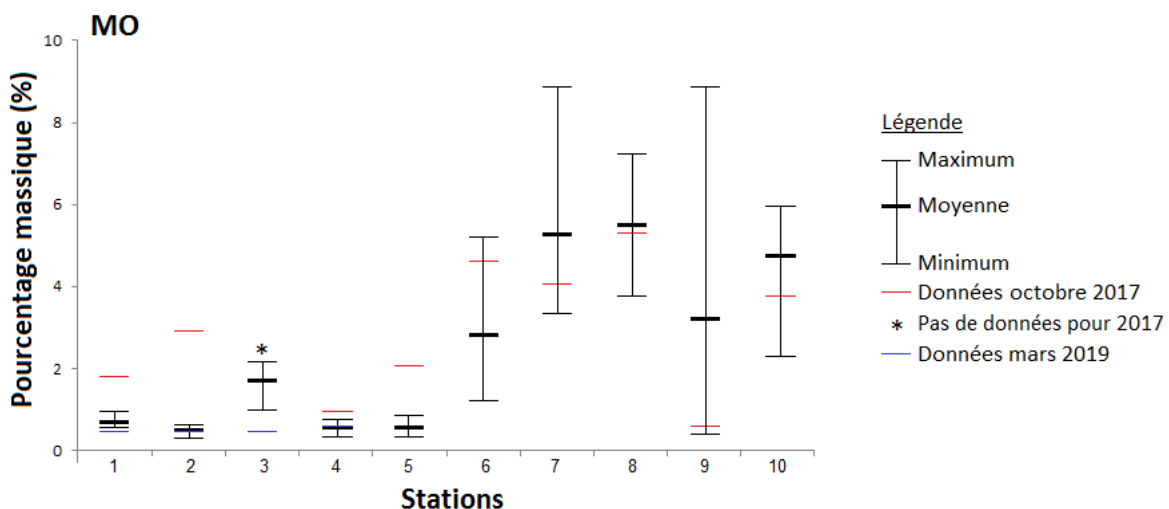


FIGURE 36 : RESULTATS DES TENEURS EN MATIERE ORGANIQUE EN POURCENTAGE MASSIQUE DES ECHANTILLONS PRELEVES LORS DE L'ETAT INITIAL, EN 2017 ET EN 2019.

Les teneurs en matière organiques mesurées dans les sédiments en 2017 sont plus élevées que lors de l'état de référence pour les stations n°1 à n°5, c'est-à-dire sur ou à proximité du site. Les teneurs sont dans la gamme de l'état de référence pour les stations n°6 à n°10 (**Figure 36**).

En 2019, les teneurs en MO sont plus faibles qu'en 2017. Elles sont comprises dans la gamme de variation mesurée voire plus faible qu'à l'état de référence (**Figure 36**).

Les analyses de matière organique des prélèvements de 2020 sont en cours de traitement.

3.5.3.3. INTEGRITE DES FONDS

Il s'agit d'étudier les interactions mécaniques directes avec le milieu associé aux opérations de travaux (installations et démantèlement) et aux ancrages en phase opérationnelle qui pourrait perturber le substrat et par conséquent les communautés benthiques.

En phase de travaux d'installation

Le système d'ancrage de FLOATGEN est constitué de six ancres charrues (ajustées pour le sable) de 16 tonnes. Ce type d'ancre a une grande capacité de pénétration dans les sédiments.

L'analyse des vidéos réalisées pendant et après le raccordement des lignes d'ancrages au flotteur de l'éolienne FLOATGEN en 2018, montre que les ancres installées sont entièrement ensouillées (**FIGURE 37A**). L'absence de biocolonisation sur une partie des maillons des chaînes (**FIGURE 37B**) et la présence de structures sédimentaires visibles sur le fond (Image B à E – **FIGURE 37**), indiquent que les chaînes sont à l'origine des mouvements sédimentaires et qu'elles ont perturbé localement l'intégrité du fond lors de leur mise en place. Ainsi on peut observer la formation de tranchées de 40 cm de hauteur (Image C et D – **FIGURE 37**) et des stries sur 140 cm de large (Image E – **FIGURE 37**). On remarque également que les chaînes, s'ensouillent progressivement quand on se rapproche de l'ancre (Image F – **FIGURE 37**).

On considère donc que la surface caractérisée comme « perturbée » lors de la phase d'installation va au-delà de la seule emprise totale des ancres définitives et des ancres de réaction nécessaires à l'opération soit de l'ordre de 100 m² et s'approche plus vraisemblablement de l'aire totale des zones superficielles directement perturbées lors de l'installation des ancres définitives et temporaires. Cela correspond à des surfaces de fond perturbées de l'ordre de 5 000 m², ce qui correspond à 0,5 % de la surface totale du site d'essais.

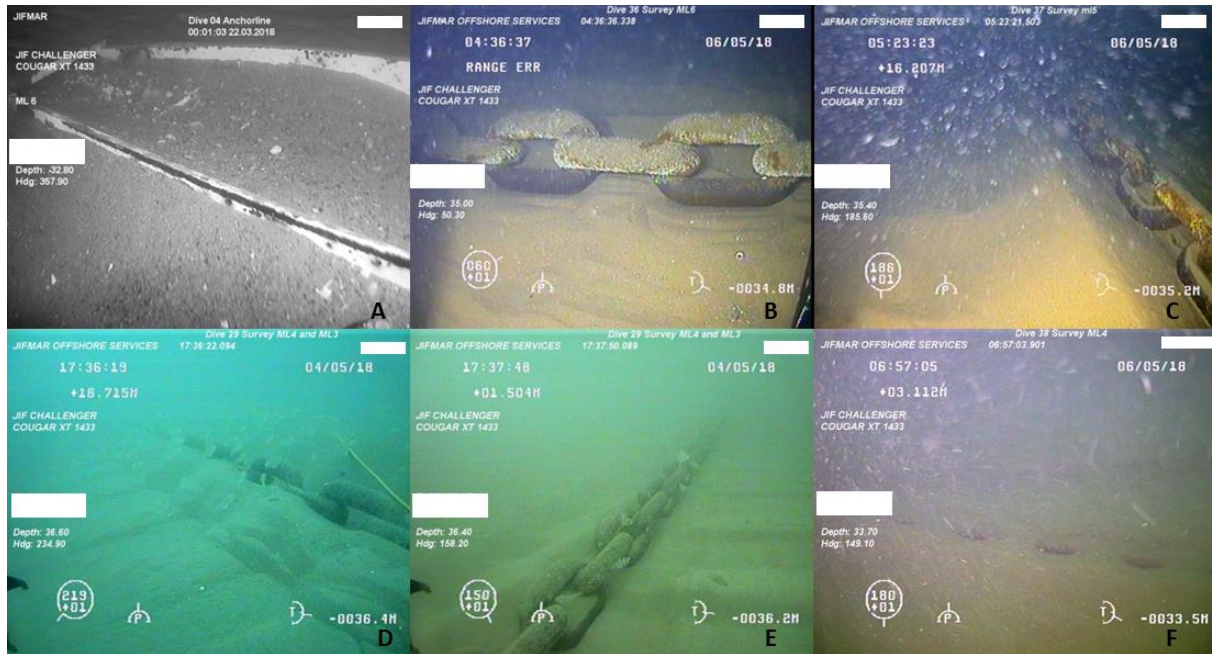


FIGURE 37 : CAPTURES D'ECRANS DES VIDEOS D'INSPECTIONS DES LIGNES D'ANCRAGE DE FLOATGEN.
 Ces images ont été prises à l'aide d'un R.O.V. en mars et mai 2018 ; A : Ancre de la ligne d'ancrage n°6 inspectée en mars 2018 ; B : Chaîne de la ligne d'ancrage n°6 inspectée en mai 2018. C : Chaîne de la ligne d'ancrage n°5 inspectée en mai 2018 ; D à F : Chaîne de la ligne d'ancrage n°4 inspectée en mai 2018 (© BW Ideol & CN – SEM-REV).

En phase d'exploitation

L'analyse des vidéos d'inspection et de maintenance du câble ombilical de FLOATGEN ne montre pas de modification sédimentaire au niveau du point de contact entre le câble et le fond (Image A – **FIGURE 38**) en mai 2019. Néanmoins une agrégation de particules grossières (coquilles de bivalves dont une forte proportion de moules communes *Mytilus edulis*) est observée de part et d'autre du câble sur 50 cm environ (Image B, C, D et E – **FIGURE 38**) ainsi qu'une surélévation du sédiment sur 50 cm environ de part et d'autre du câble (Image E – **FIGURE 38**).

Quand on s'éloigne du point de contact et que l'on se rapproche du hub de connexion, le câble ombilical s'ensouille progressivement jusqu'à ne plus être visible sur le fond en janvier et mai 2019 (Image F – **FIGURE 38**).

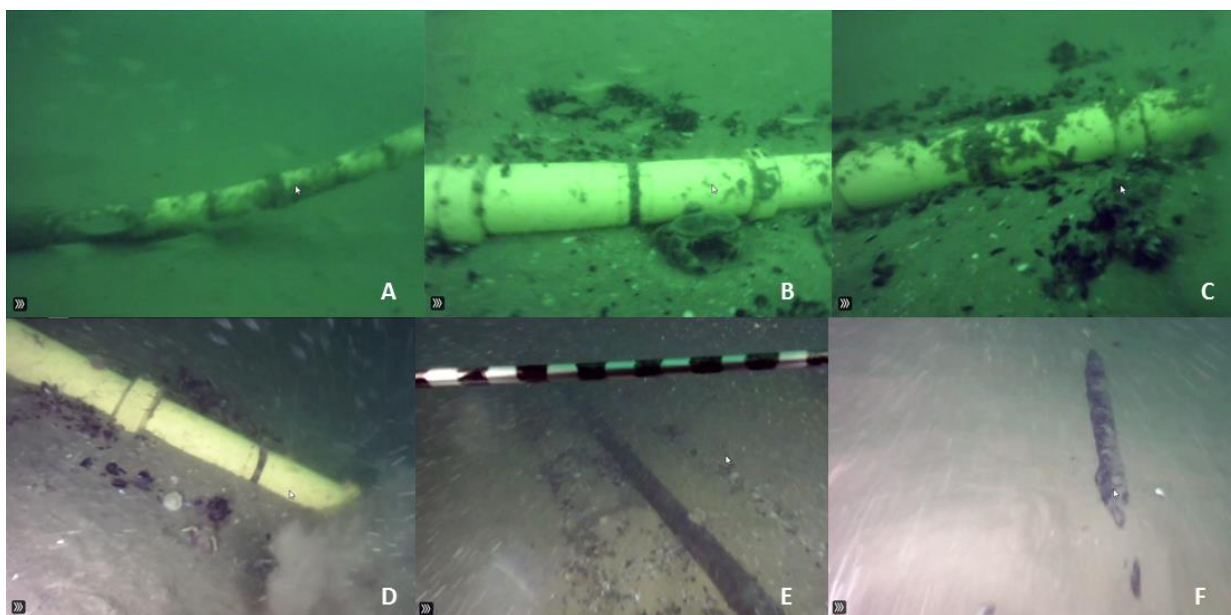


FIGURE 38 : CAPTURES D'ECRANS DES VIDEOS D'INSPECTIONS DU CÂBLE OMBILICAL DE FLOATGEN.

Ces images ont été prises à l'aide d'un R.O.V. en mai 2019 pour les images A, B, C et D et en janvier 2019 pour les images E et F. A : correspond au point de contact du câble ombilical avec le fond (« touch point »). B, C et D : correspondent à la zone juste après le « touch point », où le câble possède encore une protection avec des coquilles en fonte (en jaune). E et F : correspondent au câble ombilical « nu » qui est entre la partie protégée par des coquilles en fonte et le hub. F : ensouillage progressif du câble jusqu'à son recouvrement complet (© BW Ideol & CN – SEM-REV).

Les ancres sont reliées à la section synthétique de nylon par des chaînes. Ces chaînes constituent la zone de contact entre la ligne d'ancrage et le fond.

Des images prises par R.O.V. à ce point de contact mettent en évidence la présence des empreintes des chaînes sur le fond (**FIGURE 39A**). Ces structures sont très localisées. La présence d'organismes à corps mou installés sur les chaînes va également dans le sens d'un effet local et de faible intensité (**FIGURE 39B**).

On remarque également que les chaînes, comme le câble électrique dynamique, s'ensouillent progressivement quand on se rapproche la terminaison stabilisée, ici l'ancre (**FIGURE 39C**).



FIGURE 39 : CAPTURES D'ECRANS DES VIDEOS DE PROSPECTIONS DES LIGNES D'ANCRAGES DE FLOATGEN.

Ces images ont été prises à l'aide d'un R.O.V. en juin 2020 (© BW Ideol & CN – SEM-REV).

3.5.4. SYNTHÈSE

3.5.4.1. COMMUNAUTÉS BENTHIQUES - PROTOCOLE DCE

Les peuplements benthiques du site d'essais SEM-REV sont diversifiés mais leur abondance reste faible. Cette structuration est typique du faciès de sable fin/moyen circalittoral (Classification EUNIS A 5.25). Le groupe biologique majoritaire rencontré est celui des annélides. Le transport sédimentaire peu intense permet une bonne stabilité du peuplement benthique.

Le câble de raccordement électrique traverse différents habitats et communautés benthiques. La granulométrie ne permet pas de discriminer les stations entre elles sur le paramètre richesse spécifique, mais les stations dont le sédiment est vaseux présentent des abondances plus élevées. Les populations sont dominées par les annélides mais les stations n°7 et n°8 sont caractérisées par la présence en forte densité du crustacés (arthropode) *Haploops* spp.¹², caractérisé comme une espèce ingénieuse. Plusieurs espèces remarquables ont été identifiées sur l'ensemble de la zone d'étude, avec des densités très hétérogènes.

L'augmentation de la richesse spécifique et de l'abondance en 2017 seraient davantage liées à des variations interannuelles qu'à un début de modification de l'écosystème. En effet, les espèces échantillonnées en 2017 restent des espèces inféodées à des substrats sableux propres et les pourcentages d'espèces opportunistes sont de 0 % pour la station n°2 et de 3,3 % pour la station n°1. Par conséquent, les activités des travaux d'installation des lignes d'ancrage de l'éolienne FLOATGEN n'ont pas perturbée les communautés benthiques à proximité des zones d'ensouillage des ancrages.

En 2019, après un an de fonctionnement, les communautés benthiques à proximité de l'éolienne FLOATGEN et de ses infrastructures (systèmes d'ancrage et câble électrique dynamique) sont évaluées comme étant en bonne santé. Ce qui signifie qu'aucune perturbation ou pollution n'est détectée (notamment en MO) à ce jour sur le site SEM-REV travers l'étude des peuplements benthiques. La présence de l'espèce *Ampelisca brevicornis*, qui est sensible aux pollutions aux hydrocarbures (Dauvin, 1988), est notamment un bon indicateur de l'absence de perturbation de ce type au sein des communautés benthiques du site.

Ce suivi sera prolongé afin de consolider le jeu de données et de détecter de possibles modifications sur le plus long terme, et la fréquence des prélèvements sera ajustée en fonction des activités à venir sur le site.

Les prélèvements le long du câble de raccordement électrique auront lieu tous les 5 ans suivant les préconisations de la DCE/DSCMM. La prochaine campagne est prévue pour octobre 2021 ou mars 2022.

Les communautés benthiques sont en bon voire très bon état écologique selon l'indice AMBI. Elles montrent une variation inter-annuelle importante mais sans lien apparent avec l'installation de l'éolienne flottante FLOATGEN et de ses liaisons fond-surface. Les espèces rencontrées sont conformes à celles attendues pour ce type de sédiment et sont connues dans le Golfe de Gascogne, 15 d'entre elles sont des espèces d'intérêt écologique.

¹² Les travaux du projet HOOPLA ont permis de mettre en évidence que les banquettes à *Haploops* se composent de plusieurs espèces du genre *Haploops*.

3.5.4.2. CARACTERISATION SEDIMENTAIRE

Des modifications de la nature du sédiment ont été identifiées entre l'état de référence et 2017. En effet, une diminution des particules fines (pélites et sables fins) est observée alors qu'une augmentation de MO est détectée. En général, une augmentation de MO dans le milieu s'accompagne d'une augmentation de particules fines de type pélites. Ici, ces deux processus sont dissociés.

Une élévation ou pollution en MO peut être détectée au sein des communautés benthiques car elle entraîne une augmentation de la proportion d'espèces opportunistes dans les communautés et donc une diminution des indicateurs écologiques de bonne qualité du milieu (AMBI). Or ce phénomène n'est pas observé dans la structuration des communautés prélevées en 2017.

L'origine de ces modifications résulterait de phénomènes naturels ou anthropiques, cependant d'après les résultats ces phénomènes sont restés ponctuels et de faible intensité puisqu'ils n'ont pas influé sur les indicateurs AMBI et la composition des communautés. Néanmoins l'origine de ces modifications seraient indépendantes de l'installation des lignes d'ancrages de FLOATGEN puisqu'elles touchent également les stations qui se trouvent à plusieurs kilomètres du site d'essais (8 km).

Cette hypothèse est renforcée par les résultats de 2019, qui indiquent des concentrations en MO beaucoup plus faibles sur le site SEM-REV qu'en 2017 et voire même plus faible que celles observées lors de l'état de référence (2015-2016).

Les stations les plus à l'ouest (site d'essais et ouest du câble de raccordement électrique, stations n°1 à 5) sont constituées de sables moyens. Les stations n°6 et n°9 sont composées de sables grossiers et les stations côtières (n°7, 8 et 10) sont constituées de vases sableuses. La granulométrie des stations évolue légèrement au cours du temps avec une diminution de la teneur en particules fines en 2017 par rapport aux années passées ; probablement du fait des conditions météorologiques qui ont conduit à la remise en suspension des éléments fins. La teneur en matière organique varie également selon les campagnes. Après une augmentation en 2017, on note une baisse en 2019. Le suivi sur le long terme permettra de mieux comprendre ces évolutions.

3.5.4.3. INTEGRITE DES FONDS

Les vidéos d'inspection de la phase de la maintenance montrent que les perturbations des fonds par les frottements des lignes d'ancrage de FLOATGEN sont très localisées et que le câble électrique dynamique a un effet très localisé sur la dynamique sédimentaire avec des accrétions sédimentaires associés à une accumulation de particules grossières. Ces modifications restent ainsi localisées sur environ 50 cm de part et d'autre des lignes d'ancrage et du câble de raccordement électrique.

Des inspections de maintenance auront également lieu chaque année. Une attention particulière sera portée sur l'évolution de ces structures sédimentaires et de son possible impact sur les communautés benthiques.

Suite à leurs installations, les chaînes et l'ombilical s'ensouillent progressivement, perturbant temporairement et localement le substrat. Localement, des amas de coquilles de moules principalement peuvent conduire à une surélévation du fond de quelques dizaines de centimètres. Les points de contact entre les lignes d'ancrage et le fond marin sont très localisés comme l'atteste la présence d'organismes fixes à corps mou.

3.6. BIOCOLONISATION

3.6.1. CONTEXTE ET OBJECTIFS DU SUIVI

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 généralement lieu à l'établissement d'une macrofaune fixée dans un délai de quelques semaines à quelques mois.

Le suivi de la biocolonisation est important pour comprendre les processus d'établissement, et il permet de surveiller l'apparition de nouvelles espèces, notamment de potentielles espèces non-indigènes sur le site. Ce suivi contribue également aux validations de dimensionnement et d'ingénierie des structures en mer.

Les objectifs du suivi de la biocolonisation sont donc les suivants :

- Qualifier et quantifier les espèces colonisatrices ;
- Evaluer les différences de communautés selon les spécificités des structures ;
- Vérifier la présence d'espèces non indigènes/invasives et la présence d'espèce sensibles ;

Pour ce qui concerne l'accueil du démonstrateur FLOATGEN sur SEM-REV et le suivi de la biocolonisation, le sujet est spécifiquement d'intérêt puisque ni les parois du flotteur ni les lignes d'ancrage ne disposent de revêtement antifouling.

3.6.2. DESCRIPTION DU PROTOCOLE DU SUIVI

3.6.2.1. DURANT LA PHASE DE TRAVAUX

La phase de construction et de la mise en flottaison du FLOATGEN ont été réalisées dans le port de Saint-Nazaire.

Lors de cette phase le flotteur peut être colonisé par des organismes présents dans le port. Les ports étant considérés comme un vecteur privilégié d'introduction d'espèces invasives non indigènes, un suivi spécifique par R.O.V. ou par plongeurs scaphandriers est préconisé. Ce type de suivi a donc logiquement été réalisé avant l'installation du démonstrateur sur le site SEM-REV. Une inspection du flotteur de FLOATGEN par des plongeurs scaphandriers a été réalisée à cet effet en novembre 2017, 4 mois après sa mise à l'eau dans le port de Saint-Nazaire.

3.6.2.2. DURANT LA PHASE OPERATIONNELLE ET DE MAINTENANCE

Au vu de la distance à parcourir et de la profondeur d'immersion, la qualification et la quantification de la macro-biocolonisation sont effectuées grâce à des inspections visuelles réalisées par des dispositifs de type R.O.V. ou caméra sous-marine.

Le flotteur a été inspecté en respectant les mêmes transects sur les différentes parties du flotteur suivies.

Entre l'installation sur site en 2018 et 2020, 6 campagnes d'observation ont été réalisées pour le suivi du flotteur et 5 campagnes pour le suivi des lignes d'ancrages et du câble ombilical.

3.6.2.3. DURANT LA PHASE DE DEMANTELEMENT

Le retrait du démonstrateur permettra de faire une dernière inspection (observations et prélèvements) de la biocolonisation selon le protocole mis en œuvre lors de la phase d'exploitation et de maintenance.

La question du recyclage et la gestion des déchets biologiques reste encore entière et sera validée en concertation avec les autorités maritimes lors de l'établissement des procédures de démantèlement.

3.6.3. RESULTATS

3.6.3.1. DURANT LA PHASE DE TRAVAUX

Après 4 mois d'immersion dans le port de Saint-Nazaire, le flotteur de l'éolienne a été colonisé par des chlorophytes (algues vertes) de la famille des Ulvacées, des rhodophytes (algues rouges) et des annélides sédentaires tubicoles (*Spirobranchus triqueter*). Aucune espèce non indigène et invasive n'a été observée (FIGURE 40).



FIGURE 40 : BIOLONISATION DU FLOTTEUR FLOATGEN 4 MOIS APRES SA MISE A LEAU DANS LE PORT DE SAINT-NAZAIRE (PROSPECTION FAITES EN NOVEMBRE 2017, CN – SEM-REV).

A : Chlorophytes (algues vertes) de la famille des Ulvacées ; B : Chlorophytes et rhodophytes (algues rouges) ; C : Annélides sédentaires tubicoles *Spirobranchus triqueter*.

3.6.3.2. DURANT LA PHASE OPERATIONNELLE ET DE MAINTENANCE

Les résultats sur le développement de la biocolonisation du flotteur, des lignes d'ancrages et du câble électrique dynamiques de l'éolienne FLOATGEN sont encore en cours d'analyse. Il est à noter qu'aucune opération de nettoyage n'a été mise en œuvre que ce soit pour le flotteur, les lignes d'ancrage ou le câble ombilical.

Les premières analyses qualitatives des inspections menées en juin 2020 sur FLOATGEN permettent d'observer la biocolonisation des ancrages et du câble ombilical se composant principalement de colonies de moules communes (*Mytilus edulis*) et d'algues (chlorophytes, rhodophytes et phéophycées) dans les 12 premiers mètres sous la surface. Sur les sections plus profondes, des Hydrozoaires (*Amphisbetia operculata*), des Actiniaires (anémones : *Metridium senile*) et des Alcyonides (coraux mous : *Alcyonium digitatum*) deviennent les espèces dominantes. Enfin, sur les structures à proximités du fond et sur les modules de flottaison, des vers sédentaires tubicoles (*Spirobranchus triqueter*) et des tuniciers (ascidies solitaires) sont aussi présents (FIGURE 41).



FIGURE 41 : PLANCHES PHOTOGRAPHIQUES REPRESENTATIVES DE LA BIOCOLONISATION DES LIGNES D'ANCRAGES (© BW IDEOL & CN – SEM-REV).

- 1 : Ligne d'ancrage (partie en nylon) recouverte par des colonies de moules communes (*Mytilus edulis*) ;**
- 2 : Ligne d'ancrage (partie en nylon) recouverte par quelques individus de moules communes (*Mytilus edulis*) ;**
- 3 : Ligne d'ancrage (partie en nylon) recouverte par des Hydrozoaires ;**
- 4 & 5 : Ligne d'ancrage (partie en nylon) recouverte par des Alcyonides (coraux mous) et des Actiniaires (anémones) ;**
- 6 : Ligne d'ancrage (partie en nylon) recouverte par des Hydrozoaires, des Alcyonides et des Actiniaires ;**
- 7 & 8 : Ligne d'ancrage (partie en chaîne acier) recouverte par des colonies de moules communes (*Mytilus edulis*) en sub-surface ;**
- 9 : Ligne d'ancrage (partie en chaîne acier) recouverte par des Hydrozoaires.**

Depuis juillet 2019, soit 1 an et 3 mois après son déploiement sur le site SEM-REV, la présence de laminaires (*Laminaria sp.*), espèce sensible, révélatrice d'une bonne qualité de l'eau, est observée sur le flotteur de FLOATGEN (**FIGURE 42**).

Par ailleurs, nous avons relevé la présence sur le flotteur de FLOATGEN, en décembre 2018, de quelques individus de crépidules (*Crepidula fornicata*), une espèce considérée comme non indigène et invasive (**FIGURE 43**). Elle n'a pas développé à ce jour de caractère invasif sur le site d'essais SEM-REV, le nombre d'individus sur le flotteur étant toujours limité à une dizaine avec une répartition exclusivement cantonnée au niveau du flotteur. Cette espèce n'est pas retrouvée dans les

prélèvements communautés benthiques échantillonnés sur SEM-REV, ni sur les autres structures immergées.



FIGURE 42 : PHOTOGRAPHIE D'UNE LAMINAIRE (*LAMINARIA SP.*) SUR LE FLOTTEUR DE FLOATGEN.



FIGURE 43 : PHOTOGRAPHIES DE CREPIDULE (*CREPIDULA FORNICATA*) SUR LE FLOTTEUR DE FLOATGEN. A : Photographie prise le 11/12/2018 sur une paroi du damping pool ; B : Photographie prise le 15/01/2019 sur la jupe extérieure du flotteur.

3.6.4. SYNTHÈSE

Une première inspection par plongeurs a été effectuée en zone portuaire afin de s'assurer de l'absence d'espèces non indigènes avant l'installation du flotteur de FLOATGEN sur le site en mer.

Le suivi réalisé sur site depuis l'installation de FLOATGEN a, quant à lui, permis de qualifier les espèces qui ont colonisées les différentes structures immergées du démonstrateur, démunies de toute protection contre le biofouling. Les taxons prédominants sont des moules communes (*Mytilus edulis*), des Hydrozoaires (*Amphibesia operculata*), des Actiniaires (anémones : *Metridium senile*) et des Alcyonides (coraux mous : *Alcyonium digitatum*).

Un point de vigilance sera aussi porté sur l'évolution de la population de laminaires (*Laminaria sp.*) et de crépidules (*Crepidula fornicata*) sur le flotteur de FLOATGEN.

Le suivi de la biocolonisation des structures du site d'essais SEM-REV et de FLOATGEN sera poursuivi tout au long de l'expérimentation. Par ailleurs, les données recueillies de 2018 à 2021 sur ce compartiment demandent encore à être analysées quantitativement.

3.7. RESSOURCES HALIEUTIQUES ET INVERTEBRES PELAGIQUES

3.7.1. CONTEXTE ET OBJECTIFS DU SUIVI

Les ressources halieutiques et les invertébrés pélagiques regroupent les poissons osseux (téléostéens), les poissons cartilagineux (chondrichthyens : requins et raies) ainsi que les espèces de crustacés, céphalopodes et bivalves (Cf. chapitre 3.5) ayant une valeur commerciale.

Du fait de sa position en zone côtière, le site d'essais en mer présente un intérêt certain vis-à-vis de la ressource halieutique. Les abords du site présentent une variété d'espèces intéressante (19 espèces de poissons, 2 céphalopodes, 3 crustacés et un bivalve) et il se trouve entre des zones de frai et des nourriceries. Une étude bibliographique dédiée à ce volet avait ainsi été menée lors des demandes d'autorisation du site (CREOCEAN, 2010 & 2013).

Les suivis halieutiques et pélagiques sur le site SEMREV s'appuient depuis lors sur différentes méthodes expérimentales complémentaires et croisées sur d'autres volets d'impact. Des campagnes de mesures sont menées ponctuellement par les équipes du sites SEM-REV ou dans le cadre de projets collaboratifs de recherche et ce rapport présente trois initiatives principales :

- le comptage de grands crustacés lors du projet SPECIES¹³ pour évaluer les effets du champ électromagnétique sur les espèces ;
- la détection par échosondeur couplée à des campagnes de terrain (ECHOSONDE¹⁴ et ECHOSONDEBIS) pour évaluer la fréquentation du site.

3.7.2. DESCRIPTION DU PROTOCOLE DU SUIVI

3.7.2.1. COMPTAGE DE CRUSTACES ET D'ICHYOFAUNE

Le projet de recherche collaboratif SPECIES (ANR FEM) avait pour objectif d'étudier les effets des champs électromagnétiques générés par les dispositifs EMR sur les espèces marines.

Le projet a permis de caractériser les émissions de CEM (Cf. chapitre 3.2.) mais également d'évaluer les effets sur des espèces commerciales comme le homard (*Homarus gammarus*) et la coquille Saint-Jacques (*Pecten maximus*). La méthodologie déployée couplait des expériences en laboratoire avec des comptages de crustacés et de poissons en plongée, sur les sites d'essais concernés par le projet, incluant SEM-REV.

Sur le site SEM-REV, trois plongées exploratoires ont été réalisées en mai 2018 par le MNHN et l'IFREMER afin de recenser les grands crustacés (homards *Homarus gammarus*, crabes dormeurs *Cancer pagurus*, étrilles *Necora puber*, Araignées *Maja brachydactyla*) et l'ichyofaune autour de la structure du hub de connexion et le long de l'ombilical de FLOATGEN (la section du câble qui est posée sur le fond – longueur prospectée : 400 m).

¹³ Projet ANR FEM SPECIES : <https://www.france-energies-marines.org/projets/species/>

¹⁴ Projets régionaux WEAMEC Echosonde et Echosondebis : <https://www.weamec.fr/projets/echosonde/>

3.7.2.2. MESURES ACOUSTIQUES ACTIVES

L'objectif des projets régionaux WEAMEC Echosonde et EchosondeBis est de tester en conditions opérationnelles et à l'exploitation d'un capteur acoustique actif large bande¹⁵ (échosondeur) déployé sur le fond marin à proximité des démonstrateurs. Centrale Nantes est partenaire d'Ifremer dans le développement de ce dispositif d'échosondeur large bande afin de suivre en temps réel le compartiment pélagique. Une première version de cet « observatoire » sous-marin a été installée en septembre 2019 sur le site SEM-REV, raccordé en surface à une bouée de mesure météo afin de faciliter la communication des données acquises. La bouée ayant subi une avarie sérieuse à l'automne 2019, les mesures de l'échosondeur n'ont pas pu se poursuivre. Le projet EchosondeBis permet d'explorer une configuration alternative. L'installation du capteur a eu lieu en juin 2021 et l'exploitation de données est en cours. De manière complémentaire, des campagnes de vérité terrain ont eu lieu deux fois par an pendant trois ans (2017 – 2020). Ces campagnes devaient permettre d'associer les signaux reçus par l'échosondeur avec les communautés pélagiques en présence. Ces campagnes ont d'ores et déjà permis la réalisation d'un échantillonnage régulier, à la même période (juin et octobre), de l'ichtyofaune et du plancton ainsi que l'acquisition de données hydrologiques à proximité du site d'essais. Les résultats de ce projet alimentent ainsi le suivi environnemental réalisé sur le site SEM-REV.

3.7.3. RESULTATS

3.7.3.1. COMPTAGE DE CRUSTACES ET D'ICHTYOFAUNE

Les résultats de la campagne de comptage des grands crustacés et l'ichtyofaune sur les infrastructures électriques de SEM-REV, réalisée dans le cadre du projet SPECIES, ont permis d'identifier, de manière préliminaire et exploratoire, les espèces majoritairement présentes (**TABLEAU 17**).

¹⁵ Un capteur acoustique actif émet un signal acoustique (ping) à une fréquence donnée. Quand l'onde acoustique rencontre un obstacle, elle renvoie un écho à l'appareil. Après analyse, cet écho permet de savoir quel type d'obstacle a été rencontré, par exemple des poissons.

TABLEAU 17 : ABONDANCES DES DIFFERENTES ESPECES DE LA MEGAFaUNE RECENSEES SUR LE HUB DE CONNEXION DU SITE D'ESSAIS DU SEM-REV ET SUR DEUX TRANSECTS LE LONG DE L'OMBILICAL DE FLOATGEN (TAORMINA ET AL., 2020B).

Espèces observées	Hub de connexion	Câble ombilical de FLOATGEN	
		Plongée n°1 10 min ; 165 m	Plongée n°2 14 min ; 230 m
Congre (<i>Conger conger</i>)	10	0	0
Homard Européen (<i>Homarus gammarus</i>)	3	1 ^(a)	1 ^(b)
Crabe dormeur (<i>Cancer pagurus</i>)	6	5	16
Etrille (<i>Necora puber</i>)	4	1	1
Lieu (<i>Pollachius sp.</i>)	1	0	0
Araignée (<i>Maja brachydactyla</i>)	0	0	1
Tacaud (<i>Trisopterus spp.</i>)	Plusieurs dizaines	Peu	Plusieurs dizaines ^(c)
Grondin Perlon (<i>Chelidonichthys lucerna</i>)	0	1	2
Sole Commune (<i>Solea solea</i>)	0	0	2
Dragonnet Lyre (<i>Callionymus lyra</i>)	0	0	2

(a) : au niveau du câble ombilical, à environ 20 m du hub ; (b) : au niveau d'une équerre de stabilisation ; (c) : concentrés surtout au niveau des équerres de stabilisation.

On retrouve en commun les crustacés, bien que le homard européen (*Homarus gammarus*) et l'étrille (*Necora puber*) soient présents de manière plus abondante au niveau du hub de connexion. En ce qui concerne le crabe dormeur (*Cancer pagurus*), les deux habitats semblent lui convenir. Le congre (*Conger conger*), quant à lui, est inféodé au hub. Si le hub était à peine ensouillé par le sédiment, l'ombilical n'était plus visible à plusieurs reprises et ne proposait alors aucun habitat potentiel. La présence de tacauds (*Trisopterus spp.*) sur ce câble était concentrée à proximité des équerres de stabilisation (FIGURE 44). L'étude d'impact réglementaire réalisée pour l'implantation du site d'essais du SEM-REV indiquait que les tacauds (*Trisopterus spp.*), les grondins (*Triglidae*), les dragonnets lyres (*Callionymus lyra*) et les soles (*Solea solea*) étaient présents dans les habitats de fonds sableux (sable fin) à proximité (CREOCEAN, 2010 & 2013). On peut donc affirmer qu'ils ne sont pas influencés par l'habitat constitué par le hub et l'ombilical. Il en est sans doute de même pour les crabes-dormeurs (*Cancer pagurus*), les araignées (*Maja brachydactyla*) et les étrilles (*Necora puber*), qui sont classés comme ne présentant pas d'affinité pour un substrat particulier. En revanche, le congre (*Conger conger*), le homard européen (*Homarus gammarus*) et le lieu (*Pollachius sp.*) n'ont jamais été mentionnés dans cette étude d'impact, ce qui est logiquement dû à leur affinité pour les substrats rocheux. Ces espèces sont donc certainement attirées par les structures artificielles étudiées.



FIGURE 44 : PHOTOGRAPHIES D'EQUERRES DE STABILISATION DES CABLES ELECTRIQUES.
BW IDEOL & CN – SEM-REV)

(©)

3.7.3.3. PRESENCE PHYSIQUE : MESURE PAR ACOUSTIQUE ACTIVE DES COMMUNAUTES PELAGIQUES

Les résultats des campagnes de vérité terrain associées au projet de recherche WEAMEC ECHOSONDE sont en cours d'analyses.

Les résultats préliminaires de ces campagnes montrent d'ores et déjà que :

- L'échosondeur permet bien de caractériser par acoustique large bande des organismes millimétriques du méso-zooplankton¹⁶ jusqu'à 30 m de l'observatoire ;
- L'échosondeur détecte des couches denses composées de zooplankton, petits poissons et méduses. Ces couches ont été observées principalement au printemps. En automne, elles étaient beaucoup moins denses ;
- Les méduses d'une taille millimétrique à centimétrique étaient les organismes dominants autour du site SEM-REV au printemps ;
- Des couches très étendues d'organismes planctoniques morts ont été observés au printemps 2018, après une très forte production de micro-algues ;
- Les crustacés millimétriques dominaient la communauté pélagique zooplanctonique en automne.

Des fiches de présentation et de suivi du projet ECHOSONDE sont disponibles sur le site suivant : <https://www.weamec.fr/projets/echosonde/>

L'échosondeur dans le cadre du projet ECHOSONDEBIS est en cours d'acquisition de données sur le site SEM-REV. Les données collectées seront ensuite analysées par IFREMER.

¹⁶ Le mésoplancton est une partie du plancton qui vit en profondeur mésopélagique (de 50 à 200 m environ) et qui est de petite taille, de 500 µm à 5 mm.

3.7.4. SYNTHÈSE

3.7.4.1. EFFET RECIF : COLONISATION DES STRUCTURES DE RACCORDEMENT (HUB DE CONNEXION ET CÂBLE OMBILICAL)

Le hub et le câble ombilical représentent deux habitats artificiels différents se traduisant par la présence de cortèges d'espèces distincts. Ainsi, les trous et cavités proposés par le hub sont largement colonisés par les congres (*Conger conger*) et les homards européens (*Homarus gammarus*). La houle et le courant génèrent autour du câble ombilical des mouvements de sable qui entraînent un ensouillage très variable et parfois des dépressions. Celles-ci sont autant d'habitats potentiels pour les crabes dormeurs (*Cancer pagurus*) qui s'y enfouissent.

3.7.4.2. PRÉSENCE PHYSIQUE : IMPACT DES STRUCTURES IMMERGÉES SUR LES COMMUNAUTÉS PÉLAGIQUES

Le projet de recherche EchoSondeBis est en cours de réalisation pour caractériser la fréquentation du site d'essais par les espèces pélagiques (poissons, planctons, etc.) comparativement à des campagnes de référence.

Les résultats préliminaires montrent que les méduses d'une taille millimétrique à centimétrique sont dominantes dans la communauté pélagique zooplanctonique autour du site SEM-REV au printemps alors que les crustacés millimétriques dominent en automne.

3.8. AVIFAUNE ET CHIROPTERES

3.8.1. CONTEXTE ET OBJECTIFS DU SUIVI

L'étude de l'avifaune a pour objectif d'identifier les espèces présentes, et de caractériser les zones utilisées par les oiseaux sur le site d'essais, tout comme leurs interactions avec les structures EMR accueillies sur site. Cette caractérisation permet d'identifier les zones d'alimentation, de reproduction et/ou de mue, de repos, d'hivernage des migrateurs, ainsi que les couloirs de déplacements réguliers et de migrations. Cette étude doit mettre en évidence les liens fonctionnels entre le site d'essais SEM-REV en mer et les sites terrestres environnants dont dépend l'avifaune, afin de pouvoir appréhender la manière selon laquelle ces liens peuvent être modifiés par la présence des installations.

Concernant les chiroptères, ou chauves-souris, leur présence en mer est expliquée à la fois par des mouvements migratoires entre deux zones terrestres et l'activité au large des espèces résidant sur le littoral. Le suivi est rendu délicat par les difficultés d'observation, l'ampleur des aires à étudier, et les lacunes documentaires sur les risques de mortalité en domaine marin ou en présence d'une éolienne.

De par les implications qu'il porte, ce suivi est l'objet d'une attention particulière. L'accueil de la première éolienne en production sur les côtes Françaises constitue donc un premier retour d'expérience unique et déterminant.

3.8.2. DESCRIPTION DU PROTOCOLE DU SUIVI

Dans le cadre de la demande d'autorisation du site pour la démonstration de technologies éoliennes flottantes, une synthèse bibliographique a été menée en utilisant des données issues de réseaux de surveillance ainsi que des données issues d'études menées en 2012 pour le Parc Éolien en mer de Saint-Nazaire et applicables au site SEM-REV.

Actuellement, le suivi de l'avifaune et des chiroptères est opportuniste. Des observations sont notées et rapportées de manière quasi-systématique par le personnel embarqué lors des opérations marines sur site.

Depuis mars 2020, des captures d'images sont réalisées de manière routinière et continue à partir des caméras de surveillance implantées sur le flotteur de FLOATGEN. Cela permet d'identifier de manière plus systématique les espèces fréquentant l'éolienne.

On peut par ailleurs noter que la mise en place d'un protocole de suivi permettant d'acquérir une donnée fiabilisée sur le risque de collision pose un nombre de questions techniques certain. Le test d'un tel protocole et des prototypes d'équipements associés est cependant en passe d'être mis en œuvre sur site.

3.8.3. RESULTATS

3.8.3.1. AVIFAUNE

Synthèse bibliographique

Selon les informations du dossier de demande d'autorisation (extraites des études de Fortin & Gélinaud, 2012 et de Fortin *et al.*, 2014), un total de 28 espèces d'oiseaux marins et côtiers peuvent potentiellement fréquenter le site s'essais SEM-REV en phase de recherche de nourriture ou lors de déplacement.

Les trois espèces ou groupes d'espèces majoritairement observés (65 % des données) sont :

- Les Goélands (*Laridés sp.* – espèce dominante : le Goéland argenté, *Larus argentatus*),
- Le Guillemot de Troïl (*Uria aalge*),
- Le Puffin des Baléares (*Puffinus mauretanicus*).

Des passages migratoires prénuptiaux et postnuptiaux de certaines espèces d'oiseaux marins, notamment Fou de Bassan (*Morus bassanus*) ou du Guillemot de Troïl (*Uria aalge*) ont été identifiés à proximité du site d'essais SEM-REV.

Les limicoles et autres oiseaux d'eaux ont très peu été observés à proximité du site.

L'utilisation de la zone comme axe migratoire pour les oiseaux terrestres et notamment les passériformes n'a pas été clairement démontrée dans les études préliminaires, hormis pour le Pipit farlouse (*Anthus pratensis*). Les observations d'oiseaux terrestres ont été très ponctuelles.

Les espèces qui sont susceptibles de fréquenter le site d'essais SEM-REV possèdent presque toutes un statut de protection nationale et/ou régionale, ou un statut patrimonial élevé.

Observations

En l'absence de capteurs pérennes sur site adapté à de ce suivi, la présence d'observateurs d'opportunité, embarqués sur des missions du site a constitué le gros de l'acquisition de connaissances sur site. Aucun impact notable n'a été relevé lors de ces activités, mais l'influence des travaux a pu être relevées sur site à diverses reprises. Ainsi, lors des opérations de tirage de l'une des lignes de mouillage de l'éolienne, une concentration de 35 Fous de Bassan (*Morus bassanus*) juvéniles et un adulte ont été recensés au repos sur l'eau au sein du site SEM-REV. Durant cette phase de travaux, la tensionnement de la ligne d'ancrage par un navire de travail a entraîné la formation d'écume et remous à la surface de l'eau. Ces déplacements d'eau semblent avoir eu un effet d'attraction significatif sur ces Fous de Bassan qui ont plongé de manière répétée au sein de ces remous.

Depuis deux ans d'accueil de l'éolienne FLOATGEN, des observations opportunistes sur l'avifaune ont pu confirmer que le flotteur sert bien de reposoir pour les Laridés (c'est à dire pour les Mouettes, Goélands et Sternes ; *Larus marinus*, *Larus argentatus*, *Larus fuscus*, *Chroicocephalus ridibundus* et *Thalasseus sandvicensis*).

Des passériformes ont également été recensés sur le flotteur de FLOATGEN à plusieurs reprises (notamment des Bergeronnettes grises [*Motacilla alba*], Rougegorge familier [*Erithacus rubecula*], Rougequeue [*Phoenicurus sp.*]).

Depuis la mise en fonctionnement de l'éolienne FLOATGEN, de septembre 2018 à décembre 2020, on peut rapporter qu'un total de douze cadavres d'oiseaux a été retrouvé aux abords immédiats de l'éolienne :

- six dans le damping pool¹⁷
- cinq sur le flotteur
- un dans le mat (pièce de transition)

Cela représentait 8 Goélands (*Larus spp.*), une Mouette rieuse (*Chroicocephalus ridibundus*), un Martinet noir (*Apus apus*), un Fou de Bassan (*Morus bassanus*) et un individu indéterminé.

L'interprétation de ces observations doit en l'état être faite avec précaution, car les causes de ces mortalités ne sont à ce jour pas élucidées. Pour chacun des décès constatés, plusieurs hypothèses restent plausibles : causes naturelles (maladies, épuisement) liées notamment à l'attraction exercée par le flotteur qui offre une opportunité de se reposer à des oiseaux épuisés, collision avec les pâles, et piégeage (notamment dans le damping pool et dans le mât de l'éolienne) en sont les trois principales. Par ailleurs, ces observations de mortalité restent partielles puisqu'elles sont espacées dans le temps (observation in situ possible environ une fois tous les 15 jours lors des opérations de maintenance) et dans l'espace (limitées aux cadavres d'individus collectés dans la proximité immédiate de l'éolienne), que le décès soit survenu sur place ou ailleurs.

Les images extraites des vidéos de surveillance de l'éolienne sont encore actuellement en cours d'analyse. Les nouveaux protocoles et équipements qui seront installés sur l'éolienne ont pour objectif de lever les incertitudes qui subsistent jusque-là.

3.8.3.2. CHIROPTERES

Synthèse bibliographique

Les observations de chiroptères, plus communément appelées chauves-souris, se font de plus en plus nombreuses sur la frange côtière ou en pleine mer à mesure que les observateurs s'intéressent à leur présence au large. Elles tendent à suggérer que l'espace maritime est fréquenté dans des proportions insoupçonnées jusque-là. Il ressort de la littérature que les migrations longues distances et dans une moindre mesure les déplacements saisonniers plus régionaux, voire en recherche alimentaire, peuvent conduire les chauves-souris à se déplacer en suivant les côtes ou en traversant de vastes étendues marines (Ouvrard & Fortin, 2014). Un total de 18 espèces de chiroptères serait susceptible de fréquenter le site d'essais SEM-REV, notamment durant les périodes de migration (au printemps et à l'automne ; CREOCEAN, 2017).

L'utilisation potentielle de la zone à proximité du site d'essais SEM-REV par les espèces de chauves-souris peut être différentes natures selon leurs comportements migratoires (Ouvrard & Fortin, 2014) :

- Les chauves-souris migratrices qui, lors de leur migration, peuvent traverser au large et donc fréquenter la zone de projet (transit, mais aussi éventuellement en chasse) : pipistrelle de Nathusius (*Pipistrellus nathusii*), noctule commune (*Nyctalus noctula*) et noctule de Leisler (*Nyctalus leisleri*) (confirmation de migration par écoutes - Ouvrard & Fortin, 2014) ;
- Les chauves-souris sédentaires ou migratrices régionales, qui peuvent utiliser la zone de manière occasionnelle comme territoires de chasse ou comme zone de déplacement lors de

¹⁷ Le flotteur de FLOATGEN est une structure flottante annulaire carré. L'ouverture en son centre qui forme une "piscine", appelée damping pool du fait de ses propriétés stabilisatrices pour la plateforme.

migrations régionales : pipistrelle commune (*Pipistrellus pipistrellus*), sérotine commune (*Eptesicus serotinus*), murin de Daubenton (*Myotis daubentonii*) et pipistrelle de Kuhl (*Pipistrellus kuhli*).

Observations

Une observation sur le site SEM-REV d'une chauve-souris en vol (non déterminée) a été réalisée le 31 août 2018 lors de la phase de raccordement de l'éolienne (Source : personnel Centrale Nantes/SEM-REV embarqué à bord du JIFMAR Challenger).

A ce jour, aucune observation de chiroptères n'a été faite à proximité de FLOATGEN en phase d'exploitation et de maintenance, mais il faut bien noter que ces interventions coïncident rarement avec des conditions de faible luminosité.

3.8.4. SYNTHÈSE

Un total de 28 espèces d'oiseaux marins et côtiers peuvent potentiellement fréquenter le site s'essais SEM-REV, que ce soit en phase de recherche de nourriture ou lors de déplacement. Les trois taxons majoritairement observés (65 % des données) sont : les Goélands (*Laridés sp.* – espèce dominante : le Goéland argenté, *Larus argentatus*), le Guillemot de Troïl (*Uria aalge*) et le Puffin des Baléares (*Puffinus mauretanicus*) (Fortin & Gélinaud, 2012 ; Fortin *et al.*, 2014).

Selon la bibliographie, un total de 18 espèces de chiroptères serait susceptible de fréquenter le site d'essais SEM-REV, notamment durant les périodes de migration (au printemps et à l'automne).

En phase de travaux, nos observations montrent des effets d'attractions vis-à-vis des chiroptères et des Fous de Bassan. Les causes plausibles d'attraction sont identifiées comme l'éclairage des navires de travaux, ou l'agitation générée en surface par des propulseurs, notamment.

En phase opérationnelle et de maintenance, un total de douze cadavres d'oiseaux de diverses espèces a été recensé à proximité de l'éolienne FLOATGEN (de septembre 2018 à décembre 2020). Les causes de décès restent cependant indéterminées pour la totalité des cas (causes naturelles telles épuisement ou maladie, collision, piégeage, etc.), et la fréquence et les moyens d'observations limités. Ces chiffres sont donc à prendre avec une grande précaution.

Un effort de recherche spécifique sera porté dans les prochains mois sur ce compartiment, afin de déterminer précisément l'interaction de l'éolienne avec les oiseaux. Cette problématique nécessite un développement méthodologique et technologique spécifique, et le projet ADEME PIAFF&CO, en démarrage, permettra d'aborder ces problématiques de manière plus systématique.

3.9. PAYSAGE

3.9.1. CONTEXTE ET OBJECTIFS DU SUIVI

Le cordon littoral du territoire en vue du site d'essais est très diversifié. Il est marqué par une alternance de zones naturelles et de zones fortement anthropisées qui sont autant de vecteurs de perception. En mer, la ligne de force de l'horizon constitue une structure et une symbolique très forte.

Ce suivi paysager est essentiel au regard de l'acceptabilité des projets de parcs éoliens offshore flottants. En effet, l'un des points soulevés en débat public est la fiabilité et la représentativité des photomontages dans un contexte d'éloignement des éoliennes des zones habitées. L'objectif de ce suivi est donc confronter les photomontages réalisés lors de l'étude d'impact à la perception réelle de l'éolienne mise en place.

3.9.2. DESCRIPTION DU PROTOCOLE DU SUIVI

Une analyse paysagère a été menée en 2013 dans le cadre de la demande d'autorisation du site d'essais avec notamment la réalisation de photomontages (Atelier de l'Île et Géophom, 2012).

La synthèse des différents facteurs qui composent le paysage (relief, géologie, urbanisation, végétation, vecteurs de perception, etc.) ont permis de définir les secteurs les plus sensibles d'un point de vue paysager. Ces secteurs les plus sensibles sont les plages et côtes rocheuses du Croisic, les îles de Hoëdic, Houat et Belle-Ile.

Sur le site d'essais, les prototypes d'éoliennes flottantes, bien que limités en nombre (deux au maximum en simultanée) sont visibles depuis de nombreux points de vue. Ces points de vue englobent l'espace côtier orienté vers le site d'essais tel que la côte à l'extrémité Est de Belle-Ile-en-Mer, la côte sauvage du Croisic et Batz-sur-Mer, la Pointe St-Gildas ou encore le nord de l'île de Noirmoutier (**FIGURE 45**). Selon les points de vue, les photomontages indiquent que l'éolienne est plus ou moins perceptible, voire imperceptible pour certains d'entre eux. Certains points de vue sont plus sensibles du fait de leur fréquentation ou intérêt touristique et paysager ou de leur proximité au site d'essais.

La qualité des photomontages n'est pas celle que pourrait réellement percevoir l'observateur, les démonstrateurs sont volontairement contrastés.



FIGURE 45 : PHOTOMONTAGES MONTRANT DIFFERENTS TYPES DE PERCEPTION (ATELIER DE L'ÎLE, 2012)

A : photomontage d'après le cliché n°1 depuis l'île d'Hoëdic à 12,8 km du site SEM-REV

B : photomontage d'après le cliché n°14 depuis la pointe du Croisic à 19,3 km du site SEM-REV

C : photomontage d'après le cliché n°16 depuis Batz-sur-mer à 20,6 km du site SEM-REV

D : photomontage d'après le cliché n°28 depuis la pointe de Saint-Gildas à 41,9 km du site SEM-REV

L'objectif du suivi paysager est, d'une part, confronter les photomontages réalisés en 2012 à la réalité avec FLOATGEN en test et, d'autre part, informer et sensibiliser le public sur les particularités et spécificités des EMR.

Ce suivi, initié en 2021, s'articule en trois volets :

1. La description du démonstrateur dans le milieu en tenant compte de sa disposition, de ses dimensions, de ses formes, de ses couleurs et de sa mobilité éventuelle ;
2. Une campagne photographique sera mise en place pour confronter les photomontages à la réalité, comme cela peut être fait par ailleurs en Europe (**FIGURE 46**). Des prises de vues à différentes distances du site et sous différentes conditions météorologiques seront effectuées afin d'évaluer l'impact paysager de l'éolienne FLOATGEN.
3. La mise en place de mesure d'information : mise en œuvre d'une exposition ou un centre d'informations sur les Energies Marines Renouvelables au Croisic (parc de Penn Avel et sur la côte sauvage) afin de présenter au public ce retour d'expérience.



FIGURE 46 : CONFRONTATION DE PHOTOMONTAGE AVEC LA REALITE, PARC EOLIEN HORNS REV, DANEMARK (ATELIER DE L'ILE, 2017).

3.9.3. SYNTHÈSE

Le cordon littoral du territoire d'étude est très diversifié. Il est marqué par une alternance de zones naturelles et de zones fortement anthropisées qui sont autant de vecteurs de perception. En mer, la ligne de force de l'horizon constitue une structure et une symbolique très forte.

La synthèse des différents facteurs qui composent le paysage (relief, géologie, urbanisation, végétation, vecteurs de perception, etc.) ont permis de définir les secteurs les plus sensibles d'un point de vue paysager. Ces secteurs les plus sensibles sont les plages et côtes rocheuses du Croisic, les îles de Hoëdic, Houat et Belle-Ile.

L'analyse paysagère et les photomontages préalables à l'installation de l'éolienne flottante FLOATGEN a permis d'identifier les secteurs côtiers depuis lequel est visible l'éolienne.

Une étude (photographies) permettant de confronter les photomontages à la réalité sera réalisée en 2021.

4. BIBLIOGRAPHIE

Adera, 2017. Dossier de demande d'autorisation pour le test d'éoliennes de grande puissance sur le site d'essais SEM-REV – Etat initial, impacts potentiels, mesures de réduction et suivi : volet mammifères marins, 119p.

Arrêté n°2013-BPUP-099 du 23/12/2013 au titre de la loi sur l'eau.

Arrêté n°2014-BPUP-001 du 13/01/2014 relatif à la concession d'utilisation du Domaine Public Maritime et la convention de concession correspondante.

Arrêté n°37/2009 du 24/02/2009 : <https://www.data.gouv.fr/fr/datasets/gisement-naturel-de-coquilles-saint-jacques-en-loire-atlantique/>

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 à l'article R. 214-1 du code de l'environnement.

Atelier de l'Île, 2012. Projet éolien en mer SEM-REV – Volet paysager. Rapport pour le dossier de demande d'extension de l'autorisation SEM-REV aux éoliennes flottantes, 63p.

Atelier de l'Île, 2017. Projet éolien en mer SEM-REV – Étude paysagère. Rapport pour le dossier de demande d'autorisation pour le test d'éoliennes de grande puissance sur le site d'essais en mer SEM-REV, 63p.

Borja A., Franco J., & Pérez V., 2000. A marine biotic index to establish the ecological quality of soft-bottom benthos within European estuarine and coastal environments. *Marine Pollution Bulletin*, 40(12), 1100-1114.

Bureau Veritas, 2017. Underwater Radiated Noise. Bureau Veritas Marine & Offshore, Rule Note NR 614 DT R01 E, 18 p.

Chassé C. et Glémarec M., 1976. Principes généraux de la classification des fonds pour la cartographie biosédimentaire. *J. Rech. Océanogr*, 1:1-12.

CREOCEAN, 2010. Dossier d'autorisation concernant les travaux de construction d'infrastructures maritimes sur le site d'expérimentation en mer pour la récupération des vagues, 314p.

CREOCEAN, 2013. Demande d'extension de l'autorisation SEM-REV aux éoliennes flottantes, 289p.

Dauvin, J. C., 1988. Biologie, dynamique, et production de populations de crustacés amphipodes de la Manche occidentale. 2. *Ampelisca brevicomis* (Costa). *Journal of experimental marine biology and ecology*, 119(3), 213-233p.

Directive Européenne Cadre sur l'Eau n°2000/60/CE du 23/10/2000 : <https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000000330631>

Directive Cadre Stratégie pour le Milieu Marin : https://dcsmm.milieumarinfrance.fr/content/download/4740/file/Directive_2008_56_CE.pdf

Ernst D. A. & Lohmann K. J., 2018. Size-dependent avoidance of a strong magnetic anomaly in Caribbean spiny lobsters. *Journal of experimental biology*, Vol. 221, pp. 1-6, DOI : 10.1242/jeb.172205

Farrington J. W., Tripp B. W., Tanabe S., et al., 2016. Edward D. Goldberg's proposal of "the mussel watch": reflections after 40 years. *Marine pollution bulletin*, vol. 110, no 1, p. 501-510.

Fortin M. et Gelinaud G., 2012. Evaluation des enjeux avifaunistiques dans le cadre d'un projet d'implantation de parc éolien offshore. EOL-BdG Bretagne Vivante.

Fortin M., Callard B., Latraube F. & Ouvrard E., 2014. Projet de Parc Eolien en Mer de Saint- Nazaire – Constitution du volet avifaune de l'étude d'impact. Rapport de Bretagne Vivante pour EDF-EN, 445p.

Fouet M., Blanchet H., Leconte M., David V., Lepage M., 2018. Sélection d'un indicateur DCE « faune benthique invertébrée » adapté aux estuaires. Rapport final, Université de Bordeaux/AFB, 77p.

IFREMER données de suivi ROCCH : <https://wwz.ifremer.fr/surval/Donnees/Cartographie-Inventaire-du-reseau-ROCCH#/map>

Larsonneur C., 1977. La cartographie des dépôts meubles sur le plateau continental français. Méthode de mise au point et utilisées en Manche. *Journal de recherche océanographique*, 2, 34 – 39p.

Lohmann K. J. & Ernst D. A., 2014. The geomagnetic sense of crustaceans and its use in orientation and navigation. In *Nervous Systems and Control of Behavior*, Ed. C. Derby & M. Thiel, Oxford University Press, pp. 321-336

MAPPEM GEOPHYSICS, 2019. Rapport de Campagne PASSEM : Rapport de Campagne de mesure de l'environnement électromagnétique - SEM-REV, 45p.

MEEDM (Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer,), 2010. Guide de l'étude d'impact sur l'environnement des parcs éoliens – Actualisation 2010. Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement Durable et de la Mer, 191p.

MTES, 2020. Préconisations pour limiter les impacts des émissions acoustiques en mer d'origine anthropique sur la faune marine. 209 p.

Nereis Environnement, 2017. Enregistrements Acoustiques - Analyse des données durant la pose des ancrages d'une éolienne flottante, 197p.

Nereis Environnement, 2020. Suivi et analyse acoustique sous-marine du site SEM-REV avec deux démonstrateurs d'éolienne flottante et houlomoteur en phase d'exploitation, 121p.

NMFS, 2018. 2018 Revisions to: Technical Guidance for Assessing the Effects of Anthropogenic Sound on Marine Mammal Hearing (Version 2.0): Underwater Thresholds for Onset of Permanent and Temporary Threshold Shifts. U.S. Department of Commerce, NOAA, NOAA Technical Memorandum NMFS-OPR-59, 167 p.

NRC, 2003. Ocean noise and marine mammals. Washington, DC: National Academy Press. 192 pp.

O'CONNOR, T. P., 1998. Mussel Watch results from 1986 to 1996. Marine Pollution Bulletin, vol. 37, no 1-2, p. 14-19.

OSPAR, 2008. Draft OSPAR background document on potential problems associated with power cables other than those for oil and gas activities. Meeting of the biodiversity committee.

Ouvrard E. & Fortin M., 2014. Diagnostic chauves-souris. Projet de parc éolien de Saint-Nazaire. Bretagne Vivante – SEPNEB, LPO Loire-Atlantique, LPO Vendée. 113p.

Parvin S. J., Cudahy E. A. & Fothergill D.M., 2002. Guidance for diver exposure to underwater sound in the frequency range from 500 to 2500 Hz. Proceedings of Undersea Defence Technology, La Spezia, Italy.

Popper, A. N. & Hawkins, A. D., 2019. An overview of fish bioacoustics and the impacts of anthropogenic sounds on fishes. Journal of Fish Biology 94 (5), 692-713.

Popper A. N., Hawkins A. D., Fay R. R., Mann D. A., Bartol S., Carlson T. J., Coombs S., Ellison W. T., Gentry R. L., Halvorsen M. B., Løkkeborg S., Rogers P. H., Southall B. L., Zeddis D. G. & Tavolga W. N., 2014. Sound Exposure Guidelines for Fishes and Sea Turtles: A Technical Report prepared by ANSI-Accredited Standards Committee S3/SC1 and registered with ANSI. Springer International Publishing, 73 p.

Southall B., Bowles A., Ellison W., Finneran J., Gentry R., Greene C., *et al.*, 2007. Marine Mammal Noise Exposure Criteria: Initial Scientific Recommendations. Aquatic Mammals, 33:411-521.

Southall, B. L., Finneran, J. J., Reichmuth, C., Nachtigall, P. E., Ketten, D. R., Bowles, A. E., Ellison, W. T., Nowacek, D. P. & Tyack, P. L., 2019. Marine Mammal Noise Exposure Criteria: Updated Scientific Recommendations for Residual Hearing Effects. Aquatic Mammals 45 (2), 125-232.

Taormina B., Di Poi C., Agnalt A.-L., Carlier A., Desroy N., Escobar-Lux R. H., D'eu J.-F., Freytet F., Durif C. M. F., 2020a. Impact of magnetic fields generated by AC/DC submarine power cables on the behavior of juvenile European lobster (*Homarus gammarus*) Aquatic Toxicology, Vol 220, 105401 <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2019.105401>

Taormina B., Quillien N., Lejart M., Carlier A., Desroy N., Laurans M., D'Eu J.-F., Reynaud M., Perignon Y., Erussard H. Derrien-Courtel S., Le Gal A., Derrien R., Jolivet A., Chauvaud S., Degret V., Saffroy D., Pagot J.-P. et Barillier A., 2020b. Caractérisation des impacts potentiels des câbles électriques sous-marins associés aux projets d'énergies marines renouvelables. Plouzané : France Energies Marines Editions, 74 p.

Wenz, G.M., 1962. Acoustic Ambient Noise in the Ocean: Spectra and Sources. *Journal of the Acoustical Society of America* 34, 1936-1956.