PARC EOLIEN EN MER DE LA BAIE DE SAINT-BRIEUC : IMPACT SUR LES SYSTEMES DE NAVIGATION MARITIME

Numéro du rapport : 14UK1031

Version : 02

Date : 23 février 2015

MARINE AND RISK CONSULTANTS LTD

A PROPOS

PARC EOLIEN EN MER DE LA BAIE DE SAINT-BRIEUC : IMPACT SUR LES SYSTEMES DE NAVIGATION MARINE

Produit pour : Ailes Marines
40-42 Rue de la Boétie
75008 Paris

Auteur(s) : Andrew Rawson et Paul Fuller

Vérifié par : Stephanie Taylor

Date	Livraison	Auteur	Autorisation	Notes
23/01/2015	Projet A	AR / PF	ER	Projet de rapport
27/01/2015	01	PF	ER	Mis à jour sur commentaires client
23/02/2015	02	PF	PF	Mise à jour

Marine and Risk Consultants Ltd
Marico Marine
Bramshaw
Lyndhurst
SO43 7JB
Hampshire
Royaume-Uni

Tel. + 44 (0) 2380 811133

23/02/2015

SOMMAIRE

SOMMAIRE ii
Figures iv
Tables iv
annexes iv
Abreviations vi
1 Introduction 1
1.1 Parc éolien de Saint-Brieuc 1
2 Etudes associées 3
2.1 Bilan d'impact de North Hoyle (2004) 3
2.2 Etude de Kentish Flats (2006-2007) 4
2.3 Essais radar de Thornton Bank (2014) 6
2.3.1 Thornton Bank – Méthodologie d'analyse 6
2.3.2 Thornton Bank – Aperçu des résultats 6
2.4 ETUDE Signalis (2013) 7
2.4.1 Modifications du projet de parc éolien en mer de la Baie de Saint-Brieuc 7
2.4.2 Comparaison des éoliennes de 5 MW et 8 MW 7
2.4.3 Modifications 8
3 Méthodologie d'analyse 12
4 données de reference 13
4.1 systemes de bord 13
4.1.1 Système mondial de détresse et de sécurité en mer (GMDSS) 13
4.1.2 Communications par satellite 16
4.1.3 Système mondial de navigation par satellite (GNSS) 16
4.1.4 GNSS différentiel (DGNSS) 17
4.1.5 Système d'identification automatique (AIS) 18
4.1.6 Identification et suivi des navires à distance (LRIT) 20
4.1.7 Système d'alerte et de sûreté des navires (SSAS) 20
4.1.8 E-Navigation 21
4.1.9 Téléphones portables 21
4.1.10 Résumé 22
4.2 Systèmes terrestres 22
4.2.1 Stations radio terrestres 22

4.2.2 VHF côtière / Localisation VHF 22
4.2.3 Stations terrestres AIS 24
4.2.4 Téléphonie mobile 24
4.2.5 Faisceau hertzien 25
4.2.6 Réseau de sémaphores dans les environs de Saint-Brieuc 25
5 Evaluation des impacts potentiels 27
5.1 Aperçu 27
5.2 Impact POTENTIEL – Phase de Construction 29
5.2.1 Liaisons fixes 29
5.2.2 Systèmes VHF 29
5.2.3 AIS 30
5.2.4 GPS / GNSS /DGNSS 30
5.2.5 Identification et suivi des navires à distance – LRIT 30
5.2.6 Systèmes d'alerte et de sûreté des navires - SSAS 30
5.2.7 Téléphonie mobile 30
5.3 Ampleur de l'impact – Construction 31
5.4 Impacts potentiels – Phase d'exploitation 31
5.4.1 Liaisons fixes 31
5.4.2 Communications par VHF 32
5.4.3 Essais externes de communications par VHF 32
5.4.4 AIS 33
5.4.5 Essais externes AIS 33
5.4.6 GPS / GNSS / DGNSS 33
5.4.7 Essais externes – GPS and GNSS 33
5.4.8 Identification et suivi des navires à distance – LRIT 34
5.4.9 Systèmes d'alerte et de sûreté des navires - SSAS 34
5.4.10 Essais externes EPIRB / LRIT / SSAS / Téléphonie satellitaire 34
5.4.11 Téléphonie mobile 34
5.4.12 Compas magnétique 35
5.4.13 Essais externes - Compas magnétique 35
5.5 Ampleur de l'impact – Exploitation 35
5.6 Impacts potentiels – Phase de démantèlement 36
5.7 Ampleur de l'impact – Démantèlement 36
6 Conclusions 37

FIGURES

Figure 1: Localisation du Parc éolien en mer de Saint-Brieuc. 2

Figure 2: Projet d'implantation du Parc éolien en mer de Saint-Brieuc. 3

Figure 3: Drague "OSTSEE" au radar 3cm (scanner de port). Les échos du parc éolien sont causés par l'approche d'un navire à bâbord avant. 5

Figure 4: Simulation de la couverture radar depuis Saint-Quay. 10

Figure 5: Simulation de la couverture radar depuis Saint-Cast. 11

Figure 6: Zone maritimes GMDSS – Europe du nord 15

Figure 7 : Sémaphores - portée VHF /AIS estimée pour des antennes à bord de 1m et 5m de hauteur 24

TABLES

Tableau 1: Caractéristiques techniques des éoliennes de 5MW et 8 MW. 8

Tableau 2: Modifications au rapport Signalis (v. Annexe A). 9

Tableau 3: Systèmes de Radio / Navigation à bord des navires 22

Tableau 4 : Liste des canaux de communication des sémaphores voisins de Saint-Brieuc 25

Tableau 5 : Sensibilité / Portée 28

Tableau 6 : Ampleur de l'impact 28

Tableau 7: Importance de l'impact 28

Tableau 8: Infrastructures prises en compte 29

Tableau 9: Ampleur de l'impact: Construction 31

Tableau 10: Ampleur de l'impact: Exploitation 35

Tableau 11: Ampleur de l'impact: Démantèlement 36

ANNEXES

Annexe A Etude d'impact sur les radars Signalis (2012). **Erreur ! Signet non défini.**

ABREVIATIONS

Abréviation	Détail
AIS	Système d'Identification Automatique (Automatic Identification System)
CARPET	Logiciel d'aide à l'évaluation des performances des radars
CROSS	Centre Régionaux Opérationnels de Surveillance et de Sauvetage
DF	Localisation (*Direction Finding*)
DGNSS	Système mondial différentiel de navigation par satellite
DSC	Appel sélectif numérique (Digital Selective Calling)
GMDSS	Système mondial de détresse et de sécurité en mer (Global Maritime Distress and Safety System)
GNSS	Système mondial de navigation par satellite (Global Navigation Satellite System)
GPS	Système de positionnement par satellite (Global Positioning System)
HF	Haute Fréquence
OMI	Organisation maritime internationale (International Maritime Organisation)
INMARSAT	*International Maritime Satellite Service*
kt	Noeud (unité de vitesse - milles marins par heure) (Knot)
LAT	Plus basse mer astronomique (Lowest Astronomical Tide)
LRIT	Identification et suivi des navires à longue distance (Long Range Identification and Tracking)
m	Mètre
Marico Marine	Marine and Risk Consultants Ltd
MCA	Agence des gardes côtes britanniques (Maritime and Coast Guard Agency)
MF	Moyenne fréquence
MW	Mégawatt
MSI	Information de sécurité maritime (Maritime Safety Information)
nm	Mille marin (Nautical Mile)
NRA	Evaluation des risques pour la navigation (Navigation Risk Assessment)
RDF	Radiolocalisation (Radio Direction Finding)
SAR	Recherche et sauvetage (Search and Rescue)
SART	Transpondeur de recherche et sauvetage (Search and Rescue Transponder)
SOLAS	Convention internationale sur la Sauvegarde de la vie humaine en mer (International Convention for Safety of Life at Sea)
SNSM	Société Nationale de Sauvetage en Mer
SSAS	Système d'alerte de sûreté des navires (Ship Security Alerting System)
VHF	Très haute fréquence (communication radio) (Very High Frequency)

1 INTRODUCTION

Toute structure offshore peut potentiellement avoir un impact sur les systèmes de navigation et les équipements de communication essentiels à une navigation sécurisée ; elles doivent donc faire l'objet d'un examen minutieux.

Des liaisons radio constantes et efficaces sont nécessaires pour assurer la sécurité en mer. Par exemple, les marins dépendent de la radio pour :

- la navigation – cartes marines électroniques et autres technologies satellitaires ;
- les communications de détresse et de sécurité ; et
- les communications relatives à l'exploitation commerciale.

D'autre part, des services d'urgence comme les Centres Régionaux Opérationnels de Surveillance et de Sauvetage (CROSS); les navires de la Société Nationale de Sauvetage en Mer (SNSM); et les hélicoptères *Search and Rescue* (SAR) ont besoin de liaisons radio fiables pour détecter et réagir rapidement aux situations d'urgence en mer.

Enfin, les communications radio jouent un rôle toujours plus central dans la gestion des zones côtières. Il comprend l'exécution des contrôles environnementaux mis en place afin de lutter contre la pollution marine et d'assurer la protection de ressources essentielles comme la pêche.

Comme d'autres structures de grande taille, les éoliennes ont la capacité d'influer sur les signaux radio en bloquant ou en perturbant la propagation d'énergie électromagnétique. Toute perturbation des communications radios par un parc éolien aurait le potentiel de réduire l'efficacité des services évoqués plus haut.

1.1 PARC EOLIEN DE SAINT-BRIEUC

L'aménagement proposé (**Figure 1**) s'étend sur une zone de 103 km² et comprendra 62 éoliennes d'une puissance de 8 MW chacune. Il se trouve au nord de la Baie de Saint-Brieuc entre Les Héaux-de-Bréhat et le Cap Fréhel. Le site se trouve à environ 16 km des côtes. La majorité de la zone d'implantation est située au-delà de l'isobathe 30 m.

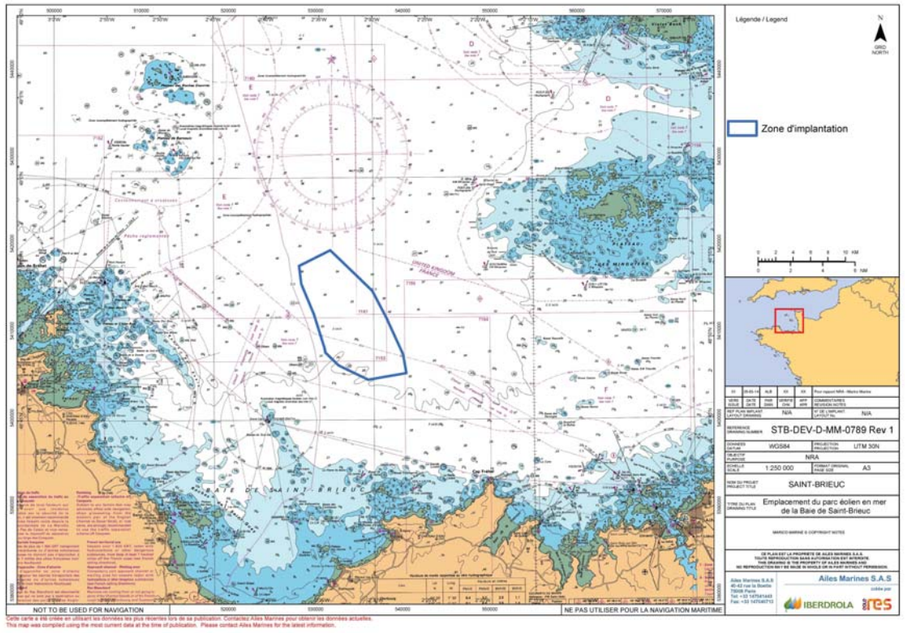


Figure 1: Emplacement du parc éolien en mer de la Baie de Saint-Brieuc.

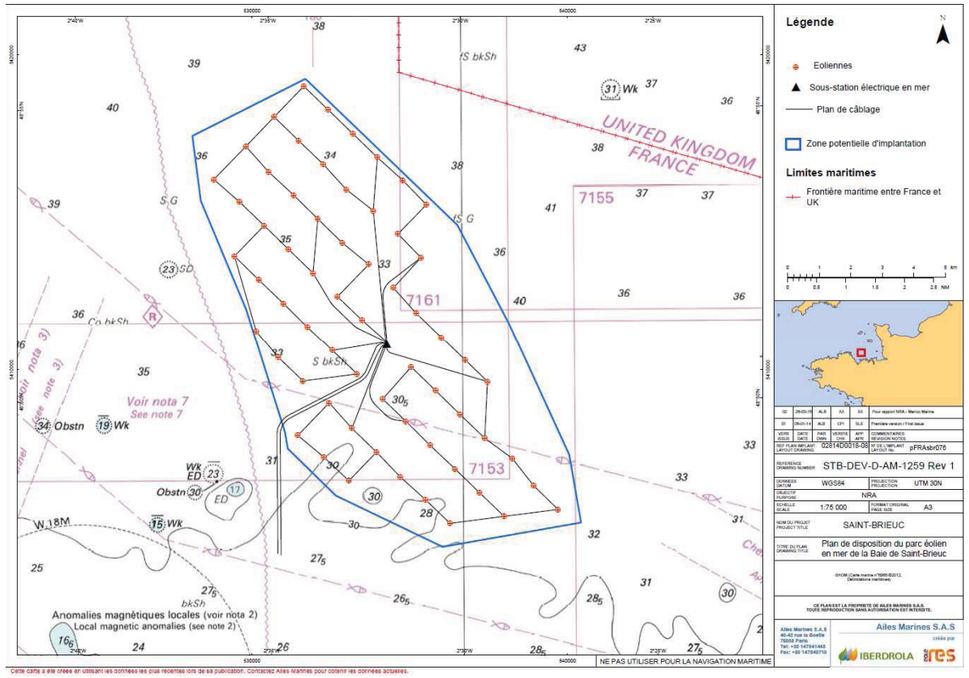


Figure 2: Plan de disposition du parc éolien en mer de la Baie de Saint-Brieuc.

2 ETUDES ASSOCIEES

Un bref aperçu de l'étude d'impact du projet gallois North Hoyle, de l'étude réalisée sur le projet Kentish Flats, de l'étude réalisée par Signalis et des essais réalisés à Thornton Bank est donné ci-dessous.

2.1 BILAN D'IMPACT DE NORTH HOYLE (2004)

La Maritime and Coastguard Agency (MCA) britannique, a conduit avec QinetiQ des tests dans le parc éolien de North Hoyle, une ferme éolienne en mer de 30 turbines de 2 MW chacune au large de la côte nord du Pays de Galles. Ces tests réalisés en 2004 ont établi l'impact d'éoliennes en opération sur la performance des communications maritimes et des systèmes de navigation ; les résultats ont été comparés aux résultats théoriques d'une étude préalable destinée à en prédire l'impact sur les systèmes de radio maritime. Partout où une diminution de la performance de ces derniers était observée, les auteurs ont recommandé des solutions efficaces.

Ces recherches sur le parc éolien de North Hoyle ont tenté de recueillir des données scientifiques et opérationnelles sur la performance de divers systèmes de navigation et de communication dans et aux environs des parcs éoliens en mer.

Les résultats de ces essais étaient destinés à informer les marins, les industries de transport maritime et portuaires, les gestionnaires de phares et concepteurs de parcs éoliens de l'étendue exactes des éventuelles limitations des dits systèmes et à informer les services en charge de l'instruction des demandes d'autorisation des parcs éoliens en mer.

L'étude s'est penchée en particulier sur la façon dont la performance pratique des systèmes de communication utilisés pour la navigation et les communications maritimes, dont les radars à bord et terrestres, les systèmes de localisation satellite et hyperbolique, et le Système d'identification automatique (AIS) pouvaient être affectée, et a recommandé des solutions économiquement viable. Le test concernait aussi des équipements de navigation de base comme les compas magnétiques.

Les quatre essais étaient conçus pour tester la validité des résultats de modèles théoriques et ont révélé des impacts minimes sur :

- La radio VHF ;
- Les récepteurs GPS ;
- Les téléphones mobiles ; et
- Les Systèmes d'identification automatique (AIS).

Les systèmes à ultra haute fréquence et autres systèmes hertziens ont subi un effet de masquage normal lorsque les éoliennes étaient sur le chemin de leurs transmissions.

En conclusion, les auteurs ont considéré que les effets sur la majorité des systèmes testés par le MCA n'étaient pas assez significatifs pour affecter l'efficacité ou la sécurité de la navigation.

Il n'existe à notre connaissance aucune autre évaluation pratique des impacts sur la navigation maritime entreprise en Europe, avant ou depuis le rapport QinetiQ.

2.2 ETUDE DE KENTISH FLATS (2006-2007)

En 2006-2007, Marico Marine a mené pour le compte de la *British Wind Energy Association* une enquête portant sur les effets techniques et opérationnels sur les radars situés à proximité du Parc éolien de Kentish Flats, qui compte 30 éoliennes de 3 MW, soit une capacité combinée de 90 MW. L'étude s'est appuyée sur les travaux menés à North Hoyle (**Section Erreur ! Source du renvoi introuvable.**) et est devenue une référence pour l'industrie. Les écrans radar d'un éventail de navires ont été enregistrés (53 au total) alors que ceux-ci transitaient dans ou à proximité du parc ;

les essais ont été menés en tentant de suivre le navire d'exploration de Marico, le *FPV Morven,* tout en navigant entre les éoliennes.

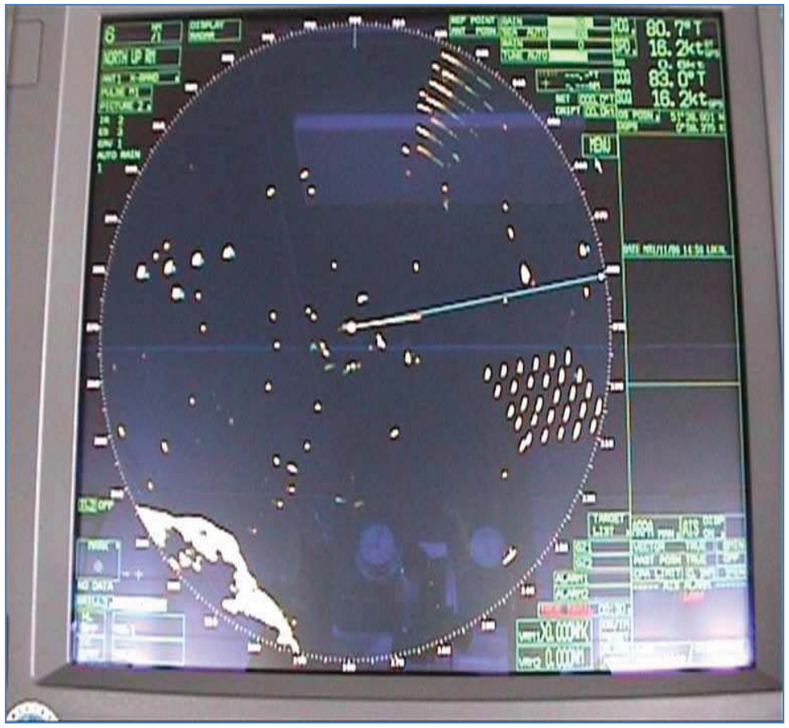


Figure 3: Drague "OSTSEE" au radar 3cm (scanner de port). Les échos du parc éolien sont causés par l'approche d'un navire à bâbord avant.

L'étude a montré que :

- Un certain nombre d'effets étaient observés par les marins, mais pas assez importants pour soulever une quelconque inquiétude sur la sécurité de la navigation, ou pour empêcher deux navires de se localiser mutuellement ;
- Les marins ont pu localiser efficacement les navires depuis l'intérieur et l'arrière du parc éolien ;
- Un certain nombre d'impacts étaient dûs aux structures et gréement des navires combinés à la réflectivité des éoliennes ;
- Les petits navires opérant dans le parc éolien restaient détectables, sauf à proximité immédiate des éoliennes ; et
- Aucun impact sur les AIS n'a été constaté.

2.3 ESSAIS RADAR DE THORNTON BANK (2014)

En décembre 2014, Marico Marine a conduit des essais radar sur des navires transitant à proximité du parc éolien en mer de Thornton Bank. L'objectif de ces essais radar était de mettre à jour les analyses et conclusions tirées d'une étude antérieure de Marico Marine dans le parc éolien de Kentish Flats qui évaluait les impacts produits par les éoliennes sur les radars maritimes, mais en se concentrant particulièrement sur les éoliennes de 6 MW. A travers cette analyse, on peut extrapoler des données fiables pour évaluer les impacts que les éoliennes de 8 MW du Parc éolien en mer de la baie de Saint-Brieuc auraient sur les systèmes de radars maritimes.

2.3.1 Thornton Bank – Méthodologie d'analyse

Les 10 et 11 décembre 2014, un capitaine de navire de Marico Marine a collecté les observations radar depuis le pont d'un ferry, le *Pride of York*, faisant route entre Hull et Zeebrugge. Les données ont été recueillies en réalisant des enregistrements vidéo de l'écran à plusieurs moments du passage du navire. En outre, le Centre de coordination (MRCC) d'Ostende et les Services de trafic maritime (STM) de Zeebrugge ont été approchés pour détecter tout impact sur leurs radars terrestres.

2.3.2 Thornton Bank – Aperçu des résultats

L'analyse s'est portée largement en appui de l'étude de Kentish Flats, même si plusieurs différences ont été relevées dans les phénomènes observés dans l'étude de 2006-2007. En règle générale, un parc d'éoliennes de 6 MW produit moins d'effets qu'un parc d'éoliennes de 3 MW, principalement du fait de l'espacement accru de ses structures. Les résultats de cette étude sont résumés ci-dessous :

- Les éoliennes de 6 MW étaient plus nettement visibles que celles de 3 MW ;
- La distorsion des cibles était moindre grâce à l'espacement plus important entre les éoliennes de 6 MW ;
- L'intensité des éoliennes dans le parc composé de 6 MW était moindre que celle des éoliennes de 3 MW du fait de l'espacement plus important des éoliennes qui empêche les échos internes d'augmenter le retour du signal ;
- Les deux études ont démontré que les petits navires restaient détectables entre les éoliennes, sauf à proximité immédiate des mâts. L'espacement plus important améliore aussi la visibilité ;
- Les éoliennes de 6 MW ne présentaient aucun faux vecteur sur les radars terrestres, tandis que les éoliennes de 3 MW en produisaient sous le même angle. Des recherches plus poussées sont nécessaires pour comprendre ce phénomène.

Le rapport technique séparé contient des informations plus détaillées sur la méthodologie, l'analyse et les résultats de cette étude.

2.4 ETUDE SIGNALIS (2013)

En 2012, Ailes Marines et Marico Marine ont commandé à Signalis une étude d'impact sur les radars maritimes du projet de Parc éolien en mer de la baie de Saint-Brieuc. Cette étude a été conduite sur la base du design proposé et des hypothèses en cours à cette date concernant le projet de parc éolien ; elle est donc partiellement dépassée. Une copie de l'étude Signalis est consultable dans l'**Erreur ! Source du renvoi introuvable..**

Afin de mettre à jour le rapport Signalis, un examen a été réalisé pour identifier toute divergence entre les données factuelles et analyses contenus dans ce rapport et les modifications ultérieures de conception du parc.

Dans l'ensemble, il en est ressorti que les conclusions et analyses présentées dans le rapport restaient valables malgré les modifications du projet, les différences apparentes de la couverture radar du site étant minimes.

2.4.1 Modifications du projet de parc éolien en mer de la Baie de Saint-Brieuc

Les principales différences entre la conception du projet de parc éolien en mer de la baie de Saint-Brieuc et celle de l'hypothèse présentée dans le rapport de 2013 sont le nombre d'éoliennes, leur espacement et la taille des turbines.

- Le rapport 2013 analyse les impacts de structures de 100 turbines, le projet actuel réduit ce nombre à 62 turbines;
- La taille du parc éolien demeure relativement stable entre les deux projets et permet donc un espacement plus important des structures ; et
- L'étude de 2013 prend l'hypothèse de turbines de 5 MW (spécifiquement les M5000-135 d'AREVA), mais le projet amendé prévoit des turbines AREVA de 8 MW.

2.4.2 Comparaison des éoliennes de 5 MW et 8 MW

Comme l'indique la **Section 0**, l'une des différences majeures entre le projet original et le projet révisé réside dans l'utilisation de turbines de 8 MW plutôt que de 5 MW. Les spécifications techniques des turbines 8 MW d'AREVA ont été utilisées pour le **Tableau 1**. L 'impact des structures sur les radars maritimes n'est pas principalement lié à leur taille. De nombreux autres facteurs y

contribuent, dont les matériaux, les conditions météorologiques, les caractéristiques du radar émetteur et les directions et orientation de l'éolienne.

Les spécifications techniques des turbines de 5 MW et 8 MW sont présentées dans le **Tableau 1** ci-dessous.

Tableau 1: Caractéristiques techniques des éoliennes de 5MW et 8 MW.

Mesure	5 MW (M5000-135)	8 MW
Rotor		
Diamètre rotor (m)	135	180
Surface balayée (m^2)	14,313.9	25,434
Nombre de pales	3	3
Tour		
Type de mât	Tour acier	Tour acier
Hauteur moyeu (m)	72.6	126 (LAT)
Diamètre du mât (m)	6 au pied, 4.5 au sommet	7.5 au pied, 5 au sommet

2.4.3 Modifications

En conséquence de la nouvelle implantation d'éoliennes de 8 MW, les modifications suivantes au rapport Signalis étaient nécessaires. L'analyse générale, la discussion et les conclusions sont toutefois considérées comme inchangées.

Tableau 2: Modifications au rapport Signalis (v. Annexe A).

Section	Amendements
Résumé	Spécifications techniques mises à jour (voir ci-dessus).
1.4.2	Implantation des éoliennes et spécifications de conception (voir ci-dessus).
2	Spécifications des turbines de 5 MW remplacées par celles des turbines de 8 MW comme indiqué ci-dessus.
3.2	L'espacement des éoliennes a été augmenté.
3.4	Le rapport Signalis aborde les facteurs qui influencent la surface équivalente radar d'une éolienne et détermine qu'au vu du nombre de facteurs en interaction, une grande portée semble nécessaire. Cette analyse a été reproduite au moyen du logiciel CARPET pour évaluer la surface équivalente radar des turbines de 8 MW les portées étaient similaires, quoique légèrement plus élevées en moyenne.
4	Les distances et alignements entre les stations radar fixes et le parc éolien n'ont pas changé de manière significative. Les diagrammes sont donc toujours utilisables. De même, les calculs de performances du radar on été vérifiés avec le logiciel CARPET et restent inchangés.
4.3.4	La conclusion d'impacts négligeables sur les radars du Sémaphore de Bréhat, du Sémaphore du Roc Granville, du CROSS Jobourg, de Corbière et Colette est maintenue.
5.3.1	Cette section simule la portée visuelle des radars fixes et la manière dont les structures des éoliennes réduiraient cette portée. Ces diagrammes ont été repris avec la nouvelle implantation des éoliennes dans les **Figure 4** et **Figure 5**. La portée radar simulée correspond à l'horizon radar identifié dans le Tableau 4 du rapport Signalis. Les calculs continuent de montrer que, même si les radars de Saint-Quay et Saint-Cast seraient affectés, l'orientation du parc est telle qu'un ecouverture radar maximal dans les allées du parc éolien serait atteinte. Il faut également noter que le parc est à la marge de la portée de base des radars et que leurs opérateurs ne suivent pas habituellement de navires dans cette zone pour se concentrer plus près des côtes.

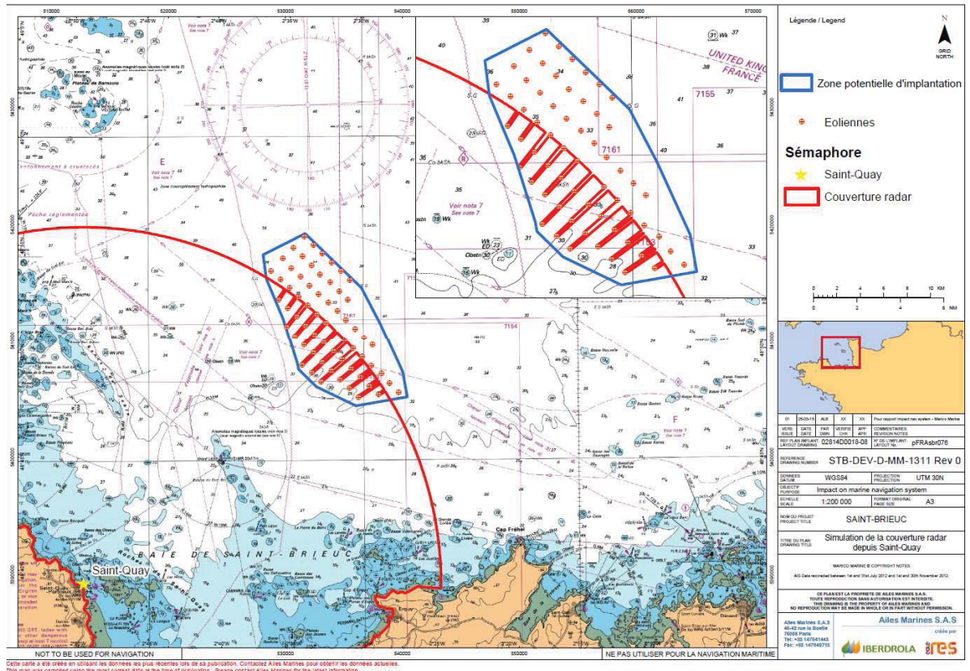


Figure 4: Simulation de la couverture radar depuis Saint-Quay.

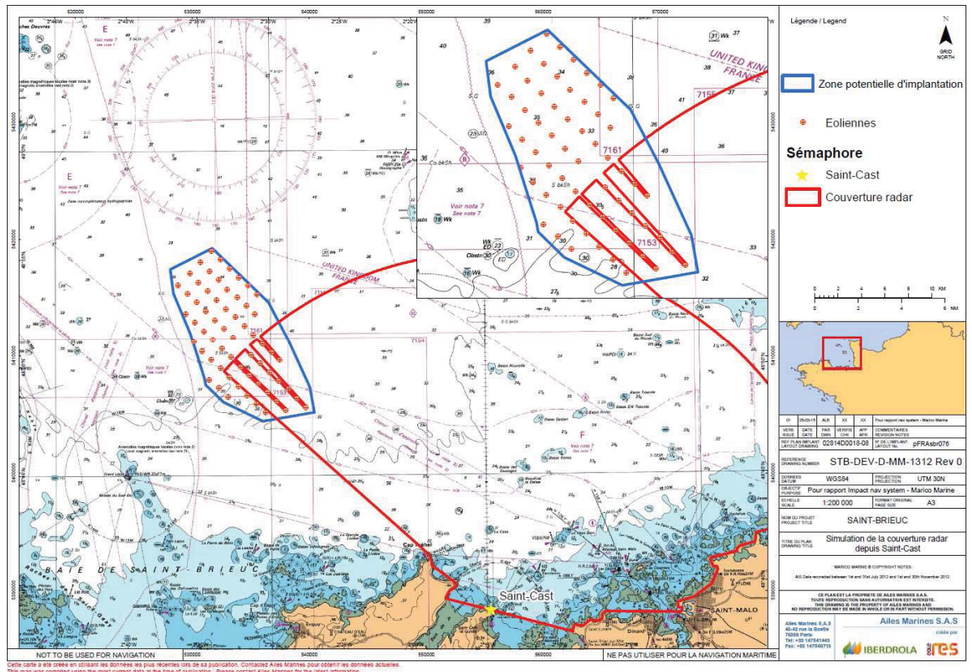


Figure 5: Simulation de la couverture radar depuis Saint-Cast.

3 METHODOLOGIE D'ANALYSE

Pour les besoins de ce rapport, l'impact potentiel du parc éolien proposé sur chaque système de communication maritime est évalué comme suit :

- Catégorisation de la sensibilité et de la portée fondée sur la fonction de chaque système :
  - Internationale ;
  - Nationale ;
  - Régionale ;
  - Départementale ; et
  - Municipale.
- Ampleur de l'impact:
  - Elevée ;
  - Moyenne ;
  - Faible ; et
  - Nulle.
- Importance de l'impact:
  - Ampleur comparée à la sensibilité / portée.
- Evaluation de l'importance des impacts résiduels, c.à.d. après atténuation.

4 DONNEES DE REFERENCE

4.1 SYSTEMES DE BORD

Cette section offre une brève description des systèmes de communication communément utilisés à bord des navires, suivie d'un aperçu dans le **Tableau 3**.

4.1.1 Système mondial de détresse et de sécurité en mer (GMDSS)

Le Système mondial de détresse et de sécurité en mer (GMDSS en anglais) est un système international qui utilise des technologies terrestres et satellitaires et les systèmes radio embarqués pour permettre de donner une alerte rapide et automatique aux autorités chargées des communications et du sauvetage, ainsi qu'aux navires se trouvant à proximité, dans les cas de détresse en mer.

En vertu du GMDSS, tous les navires hauturiers de transport de passagers et de marchandises d'une jauge brut supérieure ou égale à 300 tonnes engagés dans une navigation internationale doivent être équipés de matériels radio conformes aux exigences du système. Le principe de base est que les autorités de recherche et sauvetage à terre, et les navires se trouvant à proximité d'un navire en détresse, soient rapidement alertés par des moyens de communication satellitaires et terrestres et participent à une opération de recherche et de secours coordonnée dans les plus brefs délais.

Selon la Convention internationale sur la Sauvegarde de la vie humaine en mer (SOLAS), tout navire en mer, doit disposer des moyens essentiels de communication lui permettant :

- De transmettre des appels de détresse navire-terres par au moins deux moyens distincts et indépendants ;
- De recevoir des appels de détresse terre-navire ;
- De transmettre et recevoir des appels de détresse navire-navire ;
- De transmettre et recevoir les instructions de coordination SAR (Search & rescue) ;
- De transmettre et recevoir des communications sur site ;
- De transmettre et (sur demande) recevoir des signaux de localisation ;
- De transmettre et recevoir les informations de sécurité maritime ;
- De transmettre et recevoir des communications radio générales avec des systèmes ou réseaux radio à base terrestre ; et

- de transmettre et recevoir des communications de pont à pont.

Les exigences spécifiques d'équipement pour chaque navire varient selon la (ou les) zone maritime dans laquelle le navire opère. Le GMDSS combine plusieurs sous-systèmes – qui ont tous des limites différentes en termes de couverture – au sein d'un système global, et les océans sont divisés en six zones océaniques désignées par l'OMI (v. **Figure 6**) :

- **Zone A1**: A portée des stations VHF côtières, avec DSC constamment disponible (environ 20-30 milles) ;
- **Zone A2**: Au delà de la zone A1, mais à portée des stations MF côtières, avec DSC constamment disponible (environ 100 milles des côtes) ;
- **Zone A3**: Au delà des deux premières zones, mais dans la zone de couverture des satellites géostationnaires de communication maritime (en pratique, d'INMARSAT). Cela recouvre une zone allant de 70˚N à 70˚S ; et
- **Zone A4**: Les zones maritimes restantes, dont la plus vaste est l'océan Arctique, autour du pôle nord (le pôle Sud étant principalement entouré de terres). Elles sont hors de portée des satellites géostationnaires positionnés au dessus de l'équateur.

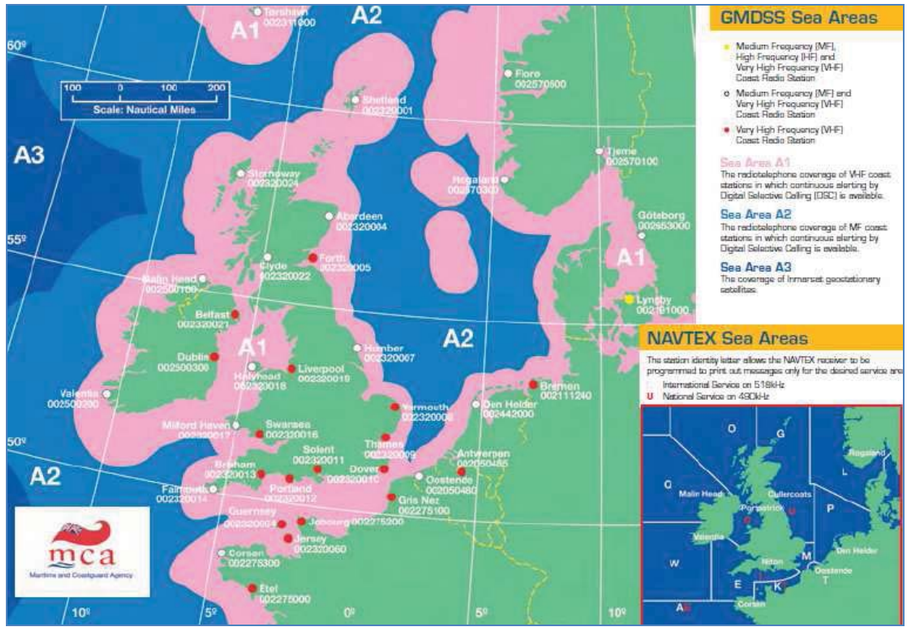


Figure 6: Zones maritimes GMDSS – Europe du nord[1]

Le projet de Parc éolien en baie de Saint-Brieuc se situe dans une zone désignée "Zone A1" par l'OMI, et donc à portée des stations VHF côtière. En conséquence, les communications par VHF sur les fréquences comprises entre 156 et 162.025 MHz répondent à toutes les fonctions du GMDSS décrites ci-dessus sauf la réception d'informations de sécurité maritime (MSI) et le positionnement SAR[2]. A ces fins, l'OMI exige respectivement NAVTEX moyenne fréquence (MF) et un transpondeur radar SAR (SART). En pratique, toutefois, cette technologie n'est pas couramment utilisée par des navires non-SOLAS, par exemple les navires de pêche > 15 m, et pour les navires SOLAS, il est jugé obsolète par rapport aux équivalents acceptables largement utilisés, comme par exemple le Système d'identification automatique (AIS) SART.

Les navires qui croisent au delà de la zone A1 doivent embarquer un équipement MF en plus de leur VHF – ou un équipement INMARSAT. Ceux qui évoluent au-delà de la portée des stations MF

[1] Source : https://www.gov.uk/government/publications/SMDSM-sea-areas-and-procedures-for-small-boat-users

[2] Les navires ont aussi l'obligation d'embarquer une balise radiophare de position d'urgence (EPIRB).

doivent emporter un équipement INMARSAT en plus des systèmes VHF et MF. Les navires qui opèrent en zone A4 doivent embarquer des équipements HF, MF et VHF.

Il est à noter que les radios VHF sont de plus en plus communément utilisées pour relayer les messages essentiels liés à la sécurité de la navigation et la protection de l'environnement.

A l'heure actuelle, la plupart des navires de pêche (< 15 m) et des plaisanciers n'ont pas l'obligation de prendre part au GMDSS mais, nombre de ses services pouvant s'avérer utiles, ils pourraient vouloir acquérir des équipements comme des radiobalises EPIRB, qui doivent être enregistrées auprès des autorités compétentes.

On recommande également aux petits navires de s'équiper d'un matériel d'Appel sélectif numérique (DSC), car une fois la GMDSS complètement mise en application, les navires sans DSC auront des difficultés à contacter les navires ne surveillant que la fréquence d'appel des DSC.

La plupart des marins pêcheurs et de plaisanciers disposent de radios VHF, mais celles-ci ne sont généralement pas compatibles avec les DSC.

Des discussions avec des responsables du CROSS Corsen, qui est chargé de la sécurité de la navigation sur le site proposé pour le parc, a confirmé que la VHF était le moyen principal de communication avec les navires en situation d'urgence et en temps normal.

4.1.2 Communications par satellite

Les communications par satellite sont fréquemment utilisées dans le secteur maritime, même par des navires opérant dans les zones de couverture VHF. Le principal fournisseur de ces services reste INMARSAT, qui s'appuie sur un réseau de satellite géostationnaire. Un satellite géostationnaire reste dans une position relativement fixe dans le ciel par rapport à un observateur au sol.

D'autres opérateurs satellite sont également présents sur le secteur dont certains ont recours à des satellites en orbite basse ; par exemple :

IRIDIUM ; un satellite en orbite terrestre basse se déplace constamment dans le ciel par rapport à un observateur basé à terre.

4.1.3 Système mondial de navigation par satellite (GNSS)

Le Système mondial de navigation par satellite (*Global Navigation Satellite Systems*) (GNSS) s'appuie sur une constellation de satellites en orbite terrestre basse dont les transmissions radio peuvent

servir à déterminer avec une grande précision une position dans les trois dimensions. Pour une précision maximale, un minimum de quatre satellites doit être en vue à tout moment.

GNSS apporte aux navires et aux autres acteurs du monde maritime des capacités cruciales, notamment pour la sécurité de la navigation et la gestion des zones côtières.

Un certain nombre de GNSS sont en service ou en cours d'élaboration. Ce sont :

- Le Global Positioning System (GPS), contrôlé par l'armée des Etats-Unis ;
- Le Global Navigation Satellite System (GLONASS), contrôlé par l'armée de la Fédération de Russie;
- Le système BeiDou (BEIDOU) de l'armée chinoise ; et
- Le système européen civil de navigation par satellite (GALILEO).

Parmi ceux-ci, seuls les systèmes américain et russe sont pleinement opérationnels. En pratique, toutefois, la grande majorité des récepteurs GNSS en service utilisent le GPS.

Les systèmes chinois et européen sont à des stades divers de développement. BEIDOU est plus avancé, mais destiné principalement aux marchés du Sud-est asiatique. GALILEO a commencé à lancer des satellites, mais l'on ne peut pour l'heure savoir quand, ou si, le système doit entrer en fonction.

Une caractéristique centrale – et une faiblesse – de tous les GNSS ci-dessus est qu'ils obéissent à des principes d'opération similaires et opèrent sur des fréquences voisines, sinon identiques. D'un côté, ceci offre un moyen relativement simple de concevoir un récepteur capable de recevoir les signaux de tous systèmes. Mais de l'autre, toute interférence radio qui impacte un système GNSS les affectera tous également.

En conséquence, pour les besoins de l'évaluation de l'impact des parcs éoliens sur les GNSS, les études d'impact existantes sur les GPS sont considérés comme pertinentes, et devraient le rester dans un avenir prévisible.

4.1.4 GNSS différentiel (DGNSS)

Le GNSS différentiel (DGNSS) est une amélioration du GNSS qui peut être utilisé pour améliorer la précision et la reproductibilité du positionnement. Il opère grâce à la transmission d'un signal séparé contenant des informations relatives aux erreurs du GNSS et à leur correction.

Il existe plusieurs DGNSS, classés de la sorte :

- Les systèmes conformes aux standards de l'Association internationale de des gestionnaires de phares (AISM) ;

- Les systèmes commerciaux spécialement adaptés à l'utilisateur ; et
- Des systèmes par satellite, commerciaux ou non.

Un DGNSS "aux standards AISM" est établi dans chaque phare sur ou proche de la côte. Il utilise les fréquences radio autrefois allouées aux services de radiolocalisation, typiquement autour des 310 kHz (basse moyenne fréquence). Par conséquent, le "DGNSS AISM" n'offre qu'un avantage marginal et les navires sont peu nombreux à utiliser ce service, particulièrement hors secteur SOLAS. Il est de plus généralement accepté que cette technologie est obsolète et doit être remplacée, notamment en vue du passage à l'E-navigation (v. **Section 4.1.8**)[3].

Un DGNSS commercial est utilisé pour pousser la résolution du GNSS à environ 10 cm. Une telle précision est nécessaire pour des études hydrographiques ou d'autres formes d'exploration, mais elle ne présente aucun avantage matériel pour la sécurité de la navigation. Les systèmes commerciaux opèrent sur une plage de fréquences, typiquement dans les bandes VHF ou UHF. Toutefois, les bonnes pratiques de l'industrie recommandent de ne pas dépendre d'un seul et unique équipement de positionnement, étant donné la nature des opérations ; on peut raisonnablement attendre du prestataire de service qu'il soit bien informé sur toutes les questions d'interférences potentielles[4].

Les DGNSS par satellite opèrent sur un principe similaire à celui des systèmes terrestres, à ceci près que le signal de correction est transmis depuis un réseau de satellites géostationnaires comme INMARSAT. L'impact potentiel de l'implantation d'un parc éolien sur les DGNSS est le même que sur les communications par satellite.

4.1.5 Système d'identification automatique (AIS)

En 2000, l'OMI a adopté une nouvelle règle (révisant le chapitre V du SOLAS) obligeant certains navires à être équipés d'un Système d'identification automatique (AIS).

L'AIS a été conçu à l'origine comme une aide à l'évitement des collisions entre navires. Les navires équipés d'un transpondeur AIS émettent à intervalle régulier vers tous les récepteurs AIS à portée de

[3] Recommandations AISM No. 1060 'Recapitalisation of DGNSS Edition 2', publié par l'AISM en juin 2011.

[4] Recommendations du Norske Veritas Dnv-Rp-E307 Dynamic Positioning Systems – Operating Guidance

VHF des informations clés comme l'identification, le nom, le type, la vitesse, la direction, etc. Les AIS existent sous deux formes, Classe A et Classe B : la première pour tous les navires pour lesquels l'OMI requiert d'embarquer un AIS ; la seconde sur une base volontaire pour les navires non soumis à la convention SOLAS, comme les bateaux de plaisance.

Le point 19 du chapitre V de la convention indique les équipements de navigation obligatoires à bord des navires selon leur type, un AIS étant requis pour :

- Tous les navires d'un tonnage brut supérieur ou égal à 300 tonnes sur un trajet international ;
- Les cargos d'un tonnage supérieur ou égal à 500 tonnes dans tous les cas ; et
- Tous les navires de passagers quel que soit leur tonnage.

Les petits navires de commerce et les bateaux de plaisance n'ont pour l'instant pas l'obligation de s'équiper d'AIS, et sont équipés d'un transpondeur ou récepteur AIS de classe B s'ils choisissent de le faire. En 2007 a été introduit le nouveau standard pour les AIS de classe B qui a permis l'émergence d'une nouvelle génération d'émetteurs-récepteurs AIS plus économiques. En 2010, la plupart des navires de commerce opérant sur les voies navigables intérieures de l'UE a dû s'équiper d'un appareil AIS de classe A modifié et approuvé pour les voies navigables intérieures.

Des données AIS ont été collectées pour analyse dans la baie de Saint-Brieuc sur une période de 365 jours entre le 1er novembre 2013 et 30 octobre 2014. Au total, 821 passages de navires ont été enregistrés sur l'empreinte proposée du parc éolien.

4.1.5.1 Obligations AIS futures

En vertu de la directive européenne 2009/17/EF, toute la flotte de pêche de plus de 15m avait jusqu'en 2014 pour s'équiper d'AIS de classe A. Cette directive a été prise pour améliorer la navigation et les mécanismes anticollision à bord des navires de pêche de petit tonnage.

Le calendrier de mise en exécution de la directive, qui s'insère dans celui du début des travaux de construction du parc éolien, est le suivant :

- Navires de pêche de 24 m et plus : 31 mai 2012;
- Navires de pêche de 18 – 24 m : 31 mai 2013;
- Navires de pêche de 15 – 18 m : 31 mai 2014; et
- Navires de pêche neufs >15m : à la livraison.

4.1.5.2 Détails sur la transmission AIS

L'AIS utilise une fréquence VHF sur laquelle les navires peuvent transmettre des paquets d'informations dynamiques et statiques sur différents créneaux de temps. Il y a 2,250 "intervalles" de 26 millisecondes chaque minute et deux fréquences AIS dédiées :

- AIS 1 : 161.975 MHz ; et
- AIS 2 : 162.025 MHz.

Les informations statiques du navire sont transmises toutes les 6 minutes et les informations dynamiques à un intervalle qui dépend de la vitesse et du type de navire. L'intervalle normal entre deux transmissions par un AIS de classe A est de :

- 3 minutes pour un navire au mouillage (vitesse inférieure à 3 nœuds) ;
- 10 secondes pour un navire en croisière (vitesse inférieure à 14 nœuds) ;
- 4 secondes pour un navire en croisière changeant de cap ;
- 6 secondes pour un navire en croisière (vitesse entre 14 et 23 nœuds) ; et
- 2 secondes pour un navire en croisière (vitesse supérieure à 23 nœuds) ou changeant de cap (vitesse supérieure à 14 nœuds).

Dans la classe B, les intervalles entre deux transmissions varient également :

- 3 minutes pour un navire à l'ancre (vitesse inférieure à 2 nœuds) ; et
- 30 secondes pour un navire en croisière (vitesse supérieure à 2 nœuds).

4.1.6 Identification et suivi des navires à distance (LRIT)

Le système d'Identification et de suivi des navires à distance (*Long-Range Identification and Tracking*) (LRIT) permet une identification et un suivi mondial des navires. La technologie utilise les communications par satellite, typiquement INMARSAT-C.

Le LRIT n'a pas d'intérêt particulier pour les zones à l'étude puisqu'il réplique les informations transmises par l'AIS.

4.1.7 Système d'alerte et de sûreté des navires (SSAS)

Le Système d'alerte et de sûreté des navires (SSAS) fait partie du Code international pour la sûreté des navires et des installations portuaires (Code ISPS) ; c'est un système de communication maritime qui contribue aux initiatives de l'OMI pour assurer la sécurité maritime et prévenir les risque de terrorisme et de piraterie sur le transport de marchandises. En cas de tentative de piratage ou d'attentat, la balise SSAS du navire peut être activée et les forces civiles ou militaires adéquates

dépêchées. La voie primaire de transmission des alertes passe par les satellites de communication existants comme INMARSAT ou Cospas/Sarsat, qui est un système satellitaire de détection d'appels de détresse et dissémination d'information de recherche et sauvegarde.

Le SSAS ne présente aucun intérêt particulier pour la zone étudiée.

Le Code ISPS est un ensemble complet de mesures destiné à améliorer la sécurité des navires et des installations portuaires, élaboré en réponse aux menaces perçues sur les ports et les navires dans le sillage des attentats de septembre 2001 aux Etats-Unis.

4.1.8 E-Navigation

L'e-Navigation est définie par l'OMI de la manière suivante :

"L'e-Navigation représente la collecte, l'intégration, l'échange, la présentation et l'analyse harmonisées, par des moyens électroniques, d'informations maritimes à bord et à terre afin d'améliorer la navigation quai à quai et les services associés, pour la sûreté et la sécurité en mer et pour la protection de l'environnement marin".

Bien que l'OMI se soit engagée dans le développement de l'e-navigation, les progrès accomplis sont lents, car la mise en œuvre bute sur plusieurs points juridiques - par exemple, sur les responsabilités en matière d'intégrité des données – et techniques, comme l'identification d'une technologie adaptée et des fréquences radio, questions qui demeurent en suspens. Des indications précoces suggèrent que la bande de moyenne fréquence autour de 500 kHz, aujourd'hui redondante, est envisagée.

4.1.9 Téléphones portables

Bien que les téléphones portables ne fassent pas partie des équipements obligatoires sur un navire, ils sont par la force des choses présents à bord de presque tous les navires. Ils sont très souvent le moyen principal de communication vers le rivage des navires de commerce, en-dehors du satellite.

Pour les navires plus petits non concernés par le GMDSS, la plupart des autorités côtières déconseillent d'utiliser les téléphones mobiles comme substitut aux systèmes de sécurité et d'appels de détresse de la bande VHF maritime.

Une radio VHF présente entre autres l'avantage d'aider à assurer que les avis de tempêtes et autres bulletins d'informations maritimes urgentes soient reçus.

4.1.10 Résumé

Les équipements de radio et de navigation sont distingués dans le **Tableau 3** selon qu'ils sont Obligatoires (O) ou Volontaires (V).

Tableau 3: Systèmes de Radio / Navigation à bord des navires

	Navire de pêche >15m	Navire de pêche <15m	Navires >300 UMS	Navire de plaisance	Navire de sauvetage
VHF	O	V	O	V	O
Récepteur GNSS	V	V	O	V	V
Récepteur DGNSS	V	V	V	V	V
GMDSS	V	V	O	V	O
AIS	O	V	O	V	V
Satellite	V	V	O	V	V
Téléphone mobile	V	V	V	V	V
LRIT	V	V	O	V	V
SSAS	V	V	O	V	V

4.2 SYSTEMES TERRESTRES

4.2.1 Stations radio terrestres

Comme il est dit plus haut en **Section 4.1.1** la zone étudiée se situe en Zone maritime A1 du GMDSS, c'est-à-dire à la portée des stations radio VHF côtières exploitées par ou pour le compte des services français de recherche et sauvetage en mer.

De plus, les stations des ports du Légué, de Saint-Brieuc et de Saint-Malo, communiquent avec les navires pour le suivi du trafic et relaient des informations essentielles aux navires pendant leur approche, et dans les zones portuaires.

4.2.2 VHF côtière / Localisation VHF

Le CROSS Corsen, sous l'autorité de la Préfecture maritime, est chargé de l'assistance à la navigation et de l'information, ainsi que de l'organisation du trafic dans la zone concernée par le projet de parc éolien. Le CROSS Corsen est également le "coordinateur des missions de sauvetage".

Dans chaque CROSS, des postes de signalisation et d'observation appelés Sémaphores sont établis sur des positions élevées le long de la côte.

Le sémaphore le plus proche du site envisagé pour le parc éolien se trouve à Saint-Quay-Portrieux et, avec les deux postes voisins de Saint-Cast-le-Guildo et de l'Ile de Bréhat, répondent pour leur opération du CROSS Corsen et du Centre Opérationnel de la Marine (COM) de Brest. Saint-Quay-Portrieux, une station de Catégorie 2, est actif entre le lever et le coucher du soleil avec une équipe de cinq personnes ; Saint-Cast-le-Guildo et Bréhat sont de Catégorie 1 et fonctionnent 24 heures sur 24 avec une équipe de neuf personnes. Tous les personnels des sémaphores appartiennent à une filière spécialisée de la Marine Nationale.

Ces trois sémaphores sont équipés de radars 3 cm qui contribuent à une image intégrée du trafic et sont affichés dans toutes les stations ainsi qu'au CROSS Corsen.

Les sémaphores relevant de la présente étude sont montrés ci-dessous (v. **Figure 7**). La figure indique les portées AIS / VHF approximatives, calculées pour les hauteurs d'antenne estimées des sémaphores de Bréhat, Saint-Quay-Portrieux and Saint-Cast-le-Guildo et une hauteur d'antenne du navire comprise entre 1 m et 5 m, en utilisant la "formule AISM".

$Portée = 2.5(\sqrt{H} + \sqrt{h})$

Où :

- H est la hauteur en mètres de l'antenne réceptrice ;
- h est la hauteur en mètres de l'antenne émettrice ; et la
- *Portée* est mesurée en milles marins.

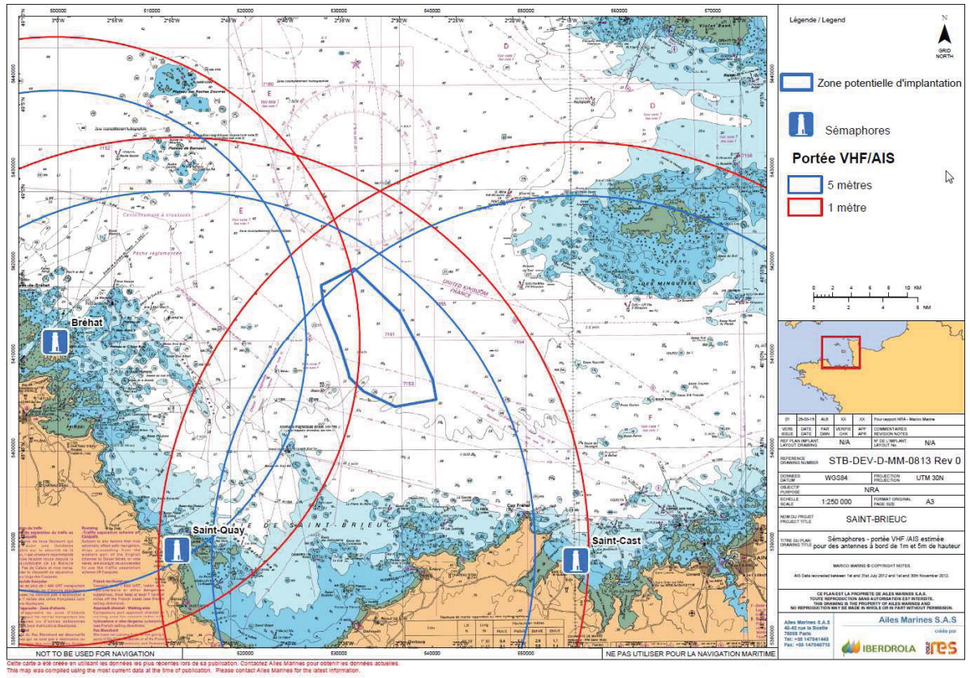


Figure 7 : Sémaphores - portée VHF /AIS estimée pour des antennes à bord de 1m et 5m de hauteur

La localisation par triangulation VHF peut, avec les stations voisines, être utilisée pour le positionnement d'un navire en détresse. La localisation, ou goniométrie, consiste à établir la direction depuis laquelle un signal reçu a été transmis.

Les services de radiolocalisation VHF utilisables en cas d'urgence sont contrôlés à distance depuis le poste de signalisation ou d'observation du CROSS Jobourg, et depuis une station contrôlée par le CROSS à Roches – Douvres.

4.2.3 Stations terrestres AIS

Les transmissions des AIS sont régulièrement analysées par les autorités maritimes pour les besoins de la gestion des zones côtières.

4.2.4 Téléphonie mobile

La France a mis en place la technologie Groupe Spécial Mobile (GSM) internationale qui opère sur les bandes 900 MHz et 1800 MHz.

4.2.5 Faisceau hertzien

Une transmission radio par faisceau hertzien est une liaison fixe point à point, généralement entre deux élévations de terrain. Le chemin de transmission peut se trouver compromis si un parc éolien se situe en droite ligne de ce que l'on appelle la zone de Fresnel. On définit celle-ci comme la zone autour de la ligne de visée directe dans laquelle les ondes radio se dispersent après avoir quitté l'antenne.

4.2.6 Réseau de sémaphores dans les environs de Saint-Brieuc

Un aperçu des canaux de communication des trois sémaphores les plus proches du parc éolien est présenté dans le **Tableau 4** ci-dessous.

Tableau 4 : Liste des canaux de communication des sémaphores voisins de Saint-Brieuc

Sites	Saint-Cast (Sémaphore)	Saint-Quay (Sémaphore)	Bréhat (Sémaphore)
Radar	Sperry Marine VisionMaster: 9410 MHz / 25KW	Sperry Marine VisionMaster: 9410 MHz / 25KW	Sperry Marine VisionMaster: 9410 MHz / 25KW
AIS	AIS Saab R40 base station;	Néant	AIS Saab R40 base station;
HF	TRBM 16; Freq: 2–30 MHz; 100W	TRBM 16; Freq: 2–30 MHz; 100W	Néant
RDF	Néant	TAIYO Rx only: 156,025 to 157,425 MHz 160,625 to 160,950 MHz 161,550 to 162,025 MHz 162,500 to 162,525 MHz + single freq : 155,625 MHz - 155,775 MHz - 155,825 MHz - 155,525 MHz - 162,55 MHz - 162,400 MHz - 121,5 MHz	TAIYO Rx only: 156,025 to 157,425 MHz 160,625 to 160,950 MHz 161,550 to 162,025 MHz 162,500 to 162,525 MHz + single freq : 155,625 MHz - 155,775 MHz - 155,825 MHz - 155,525 MHz - 162,55 MHz - 162,400 MHz - 121,5 MHz
GPS	Antenne GPS GA24X	Néant	Néant
GSM	Néant	Antenne relais (v. site web)	Antenne relais (v. site web)
Saut de fréquence (FH)	Vers St-Malo: Tx: 4808 MHz; Rx: 4906 MHz Puissance: 30 dBm	Vers Trédaniel: Tx: 7428 MHz; Rx: 7589 MHz Puissance: 27 dBm	Vers Paimpol: Tx: 14516,75 MHz; Rx: 14936,75 MHz Puissance: 21 dBm

Sites	Saint-Cast (Sémaphore)	Saint-Quay (Sémaphore)	Bréhat (Sémaphore)
VHF	VHF 1: VHF ASN Sailor RT 4822 DSC; Freq: Freq: 110-144 MHz – 156-160 MHz ; 25W VHF 2: VHF SAILOR type RT 144c; Freq: 110-144 MHz – 156-160 MHz ; 25W Veille sur le canal 16 (SAR) Veille sur le canal 12 (trafic commercial) Canal de travail : 10 Pour communiquer avec le CROSS Corsen: canaux 67 & 68	VHF 1: VHF ASN Sailor RT 4822 DSC; Freq: Freq: 110-144 MHz – 156-160 MHz ; 25W VHF 2: VHF SAILOR type RT 144c; Freq: 110-144 MHz – 156-160 MHz ; 25W VHF3: Fireman Freq: 83 to 88 MHz; 20W Veille sur le canal 16 (SAR) Veille sur le canal 12 (trafic commercial) Canal de travail : 10 Pour communiquer avec le CROSS Corsen : 67 & 68 Port de Saint-Quay: canal 9	VHF 1: VHF ASN Sailor RT 4822 DSC; Freq: Freq: 110-144 MHz – 156-160 MHz ; 25W VHF 2: VHF SAILOR type RT 144c; Freq: 110-144 MHz – 156-160 MHz ; 25W VHF3: Fireman Freq: 83 to 88 MHz; 20W Veille sur le canal 16 (SAR) Veille sur le canal 12 (trafic commercial) Canal de travail : 10 Pour communiquer avec le CROSS Corsen : 67 & 68

5 EVALUATION DES IMPACTS POTENTIELS

5.1 APERÇU

Il n'existe aucun guide méthodologique officiel concernant l'évaluation des systèmes de navigation et de communication radio. Toutes nos analyses s'appuient donc sur les recherches menées sur les systèmes référencés dans les résultats des essais conduits par la Maritime and Coastguard Agency (MCA) avec le concours de QinetiQ (v. **Section 2.1**) et sur les principes fondamentaux.

Une évaluation de l'impact potentiel a été obtenue en tenant compte des éléments suivants :

- La description du système ;
- La position de l'infrastructure concernée ;
- Le passage ou non du signal recherché à travers le parc ;
- Ce que serait le scénario d'interférence (par ex. la position de l'émetteur et du récepteur par rapport aux turbines);
- Le fait que l'interférence causée par le parc soit, ou non, plus importante que les autres sources d'interférence auxquelles le système est soumis ;
- La capacité technique du système à résoudre les interférences;
- Le processus opérationnel de résolution d'interférences ;
- L'impact opérationnel global, et
- Les informations provenant d'autres sources et d'essais externes concernant les effets d'interférence d'un parc éolien sur les systèmes étudiés.

Les scénarios les plus défavorables ont été envisagés pour les besoins de cette évaluation. Pour ces systèmes, le scénario le plus défavorable consistait en une hauteur maximale des éoliennes de 216 mètres au-dessus de la plus basse mer astronomique (LAT) associée à une surface maximale du parc. En pratique, pour de nombreux systèmes évalués dans cette étude, des variations modérées de la taille et du nombre des éoliennes implantées dans le parc ne sont probablement pas de nature à modifier les conclusions de l'analyse. Il est cependant probable que le scénario le plus défavorable soit causé par les plus grandes éoliennes, celles-ci ayant la plus grande zone d'ombre et la section réfléchissante la plus importante. Les impacts pendant la construction et démantèlement sont dus à la présence de grandes structures métalliques, comme des grues ou les pièces détachées d'éoliennes. De bien des manières, ces impacts sont similaires à ceux causés par des éoliennes en fonctionnement, car les hautes grues sont susceptibles de bloquer et de réfléchir les signaux radio

de la même façon que le font les éoliennes. Généralement, il est escompté que l'impact des grues est moindre que celui des éoliennes, sachant qu'une large part des impacts potentiels sont liés à la rotation des pales.

C'est donc pendant la phase d'exploitation que les impacts potentiels sont les plus importants, puisque tout impact durant les phases de construction ou de démantèlement sera égal ou inférieur à ceux liés à la phase d'exploitation.

La sensibilité / portée de chaque système répartie selon les catégories listées dans le **Tableau 5** ci-dessous :

Tableau 5 : Sensibilité / Portée

Catégorie	Description
Internationale	Un système de portée internationale.
Nationale	Un système de portée nationale.
Régionale	Un système de portée régionale.
Départementale	Un système de portée infra-régionale.
Locale	Un système de portée locale.

L'ampleur d'un impact est décrite à l'aide des catégories présentées dans le **Tableau 6** ci-dessous.

Tableau 6 : Ampleur de l'impact

Ampleur	Définition
Elevée	Peut causer un impact important sur les performances du système ou entraver son fonctionnement.
Moyenne	Peut causer un impact substantiel sur le système.
Faible	Peut causer un impact minime sur le système.
Nulle	Aucun impact perceptible sur le système.

L'importance de l'impact, qui met en regard la sensibilité du système et l'ampleur de l'impact sur ce dernier, apparaît dans le **Tableau 7** ci-dessous.

Tableau 7: Importance de l'impact

Ampleur	Internationale	Nationale	Régionale	Départementale	Locale
Elevée	Elevée	Elevée	Elevée/Moyenne	Moyenne	Faible
Moyenne	Elevée	Elevée/Moyenne	Elevée/Moyenne	Moyenne	Faible
Faible	Moyenne	Faible	Faible	Faible	Faible
Nulle	Nulle	Nulle	Nulle	Nulle	Nulle

Les informations disponibles concernant l'effet des parcs éoliens sur certains systèmes de radio maritime sont encore limitées.

Les positions des infrastructures considérées comme relevant de cette évaluation sont présentés dans le **Tableau 8** ci-dessous.

Tableau 8: Infrastructures prises en compte

Infrastructure	Situation
Liaison fixe (hertzienne)	Aucune aux environs du parc
VHF / radiolocalisation	Sémaphores: Saint-Cast-le-Guildo, Saint-Quay-Portrieux du Bréhat Ports du Légué / Saint-Brieuc, Granville, et Saint-Malo
Communications satellitaires	Satellites en orbite. Récepteurs de bord / terrestres
Communications Radio	Transmissions navire-navire et navire-station terrestre
AIS	Transmissions navire-navire et navire-station AIS
Téléphones portables	Antennes fixes à terre. Téléphones présents à bord / à terre.
LRIT	Les émetteurs sont à bord des navires, le récepteur est un satellite.
SSAS	Les émetteurs sont à bord des navires, le récepteur est un satellite.

5.2 IMPACT POTENTIEL – PHASE DE CONSTRUCTION

5.2.1 Liaisons fixes

Nos consultations ont relevé qu'aucune liaison fixe n'est exploitée dans les environs du parc. Il n'est donc prévu aucun impact sur ces canaux, et l'ampleur de l'impact potentiel est considérée comme nulle.

5.2.2 Systèmes VHF

Les signaux radio peuvent être dégradés par la présence d'éoliennes et d'autres grands réflecteurs métalliques comme les grues du fait du blocage ou de la réflexion du signal recherché, ce qui peut réduire la qualité du signal reçu. L'évaluation a montré qu'il peut y avoir des effets tout à fait minimes pour des usagers situés à proximité immédiate du parc. Aucun effet n'est attendu pour les utilisateurs à terre. Dans l'ensemble, l'ampleur de l'impact potentiel est considérée comme nulle.

5.2.3 AIS

Les éoliennes et autres grands réflecteurs métalliques comme les grues sont susceptibles de perturber les AIS par perturbation des signaux radio VHF due au blocage et/ou à la réflexion du signal recherché. Les effets potentiels des éoliennes sur le GPS ont aussi une incidence potentielle sur les AIS. L'évaluation a montré la présence d'effets minimes pour un utilisateur situé à proximité immédiate du parc. Dans l'ensemble, l'ampleur de l'impact potentiel est considérée comme nulle.

5.2.4 GPS / GNSS /DGNSS

Les éoliennes et autres grands réflecteurs métalliques comme les grues peuvent potentiellement affecter les systèmes GPS en bloquant/réfléchissant le signal envoyé du satellite vers le récepteur. L'évaluation a montré la présence d'effets extrêmement minimes pour un utilisateur situé à proximité immédiate du parc. Aucun effet n'est attendu pour les utilisateurs à terre. Dans l'ensemble, l'ampleur de l'impact potentiel est considérée comme nulle.

5.2.5 Identification et suivi des navires à distance – LRIT

Les éoliennes et autres grands réflecteurs métalliques comme les grues peuvent potentiellement dégrader les transmissions LRIT par blocage du signal recherché. L'évaluation a montré que de telles interférences sont peu probables et que le LRIT conçu pour fonctionner malgré des échecs occasionnels de transmission. L'ampleur de l'impact potentiel est considérée comme nulle.

5.2.6 Systèmes d'alerte et de sûreté des navires - SSAS

Les éoliennes et autres grands réflecteurs métalliques comme les grues peuvent perturber la transmission des signaux radio à proximité du fait du blocage ou de la réflexion du signal recherché. Les transmissions de satellites pourraient aussi être bloquées dans certaines conditions. L'évaluation a déterminé que des effets techniques minimes pouvaient se produire pour les navires croisant à moins de 500 m des éoliennes. Aucun autre effet n'est anticipé et l'ampleur de l'impact potentiel est considérée comme nulle.

5.2.7 Téléphonie mobile

Les éoliennes et autres grands réflecteurs métalliques comme les grues peuvent affecter la téléphonie mobile en bloquant/réfléchissant le signal recherché, ce qui peut potentiellement causer un affaiblissement de la réception et affecter la qualité des appels voix. L'évaluation a montré que

des effets minimes pour un utilisateur situé à proximité immédiate du parc étaient probables. Aucun effet n'est attendu pour les utilisateurs à terre. Dans l'ensemble, l'ampleur de l'impact potentiel est considérée comme nulle.

Il est néanmoins entendu qu' Ailes Marine SAS pourrait être amenée à installer une antenne-relais de téléphonie mobile sur une éolienne.

5.3 AMPLEUR DE L'IMPACT – CONSTRUCTION

Un aperçu de l'importance des impacts du parc éolien sur les systèmes de communication radio et de navigation pendant la phase de construction est présenté dans le **Tableau 9** ci-dessous.

Tableau 9: Ampleur de l'impact: Construction

Système	Portée	Ampleur de l'impact potentiel	Importance de l'impact
Liaisons fixes	Régionale	Nulle	Nulle
Système radio VHF	Départementale	Nulle	Nulle
AIS	Régionale	Nulle	Nulle
Communications par satellite	Régionale	Nulle	Nulle
LRIT	Régionale	Nulle	Nulle
SSAS	Régionale	Nulle	Nulle
Téléphonie mobile	Locale	Nulle	Nulle

Aucune mesure spécifique d'atténuation n'est recommandée pour la phase de construction du parc éolien en mer en Baie de Saint-Brieuc

Il est néanmoins entendu qu' Ailes Marine SAS pourrait être amenée à installer une antenne-relais de téléphonie mobile sur une éolienne.

5.4 IMPACTS POTENTIELS – PHASE D'EXPLOITATION

5.4.1 Liaisons fixes

Nos consultations ont relevé qu'aucune liaison fixe n'est exploitée dans les environs du parc. Il n'est donc prévu aucun impact sur ces canaux, et l'ampleur de l'impact potentiel est considérée comme nulle.

5.4.2 Communications par VHF

Les éoliennes peuvent affecter la qualité des signaux radio qui les traversent du fait du blocage ou de la réflexion du signal recherché. L'évaluation a montré qu'il pouvait y avoir des effets mineurs, donc de "faible impact" pour les utilisateurs en mer. Aucun effet n'est attendu pour les utilisateurs à terre. Dans l'ensemble, l'ampleur de l'impact potentiel est considérée comme nulle, ce qui a été réaffirmé par les essais MCA / QinetiQ décrits dans la section **Section 5.4.3** ci-dessous.

5.4.3 Essais externes de communications par VHF

L'essai MCA / QinetiQ a été conçu pour évaluer la profondeur de la zone d'ombre derrière les éolienne et de comparer ces résultats à ceux obtenus grâce au modèle théorique. L'essai consistait à faire passer un navire à moins de 5 m derrière une éolienne. Des transmissions en continu ont été envoyées vers un récepteur à terre et les données de position du navire ont été enregistrées pour savoir à quel moment le navire se trouvait derrière les éoliennes.

L'analyse des résultats a montré que les données empiriques s'accordaient avec les études prédictives précédemment menées.

Pour évaluer la performance opérationnelle de petits émetteurs-récepteurs à proximité des structures du parc éolien, un essai a été conduit au cours duquel un système VHF portatif a été débarqué sur la plateforme d'une éolienne et un navire équipé d'un radio VHF simple, similaire à celle qu'on trouve sur les navires de sauvetage de la SNSM.

Lors des transmissions depuis la plateforme, la qualité de la réception était notée sur le navire et dans une station désignée à terre. Le navire a également utilisé son équipement radiogoniométrique pour déterminer le cap et le comparer à l'azimut vrai, notant tout écart. Il a été observé que l'équipement de radiogoniométrie du navire était fortement perturbé lorsque celui-ci se trouvait à moins de 50m d'un mât ; le problème a toutefois disparu lorsque le navire s'est éloigné.

Le principe de cet essai était de montrer que si les communications navire-navire et navire-terre de bateaux de faible tonnage ne sont pas affectés de manière significative par les éoliennes, on peut supposer qu'à plus forte raison, les grands navires disposant d'équipements plus performants seraient également préservés. Les auteurs concluent comme suit :

"Les structures du parc éolien n'ont eu aucun effet perceptible sur les systèmes de communication par voix, navire-navire ou navire-terre. Parmi ces systèmes, les émetteurs-récepteurs VHF embarqués, terrestres ou portatifs et les téléphones portables. L'ampleur de l'impact potentiel sur la radio VHF maritime est considéré comme négligeable."

5.4.4 AIS

Les éoliennes et autres grands réflecteurs métalliques comme les grues ont le potentiel de perturber les AIS par perturbation des signaux radio VHF due au blocage et/ou à la réflexion du signal recherché. Les effets potentiels des éoliennes sur le GPS ont aussi une incidence potentielle sur les AIS. L'évaluation a montré la présence d'effets minimes pour un utilisateur situé à proximité immédiate du parc. Dans l'ensemble, l'ampleur de l'impact potentiel est considérée comme nulle.

5.4.5 Essais externes AIS

Bien que les éoliennes et autres grands réflecteurs métalliques puissent potentiellement interférer avec les AIS par perturbation du signal radio VHF ou du GNSS, les essais ont confirmé que les AIS opéraient de manière satisfaisante entre les navires, selon le suivi effectué par un poste à terre :

"Le Système d'identification automatique (AIS) embarqué à bord du MV "Norbay" et suivi par HM Coastguard MRSC Liverpool était pleinement opérationnel."

Dans l'ensemble, l'ampleur de l'impact potentiel sur les AIS est considérée comme nulle.

5.4.6 GPS / GNSS / DGNSS

Les éoliennes pourraient potentiellement affecter les GPS par blocage/réflexion des signaux envoyés par satellite vers le récepteur. L'évaluation a montré la présence d'effets extrêmement minimes pour un utilisateur situé à proximité immédiate du parc. Aucun effet n'est attendu pour les utilisateurs à terre.

5.4.7 Essais externes – GPS and GNSS

A tout moment, les GPS / GNSS reçoivent des signaux de tous les satellites visibles. Le nombre effectif de satellites visibles dépend de leur orbite et de tous les obstacles susceptibles d'empêcher la visée, par exemple une grande structure.

Pour le projet de parc éolien soumis à évaluation, le satellite INMARSAT visible (AOR-E – principalement utilisé dans le nord-ouest de l'Europe) se trouve à une élévation d'environ 30° et à un azimut de 151°. Potentiellement, donc, les navires utilisant INMARSAT peuvent se trouver dans une zone d'ombre s'ils opèrent sur le site ou à quelques centaines de mètres au nord-ouest du parc éolien. En dehors de cette zone, aucune perturbation n'est à attendre, d'autant qu'un autre satellite INMARSAT (AOR-W) est également visible depuis la zone étudiée.

Aucun autre effet n'est anticipé, et l'ampleur de l'impact potentiel est considérée comme nulle.

Les essais MCA / QinetiQ ont conclu qu'il n'existait "*aucun problème de réception ou de précision du positionnement pour les GPS classiques n'a été observé au cours des essais*". Les systèmes GPS classiques opéraient de manière satisfaisante à proximité du parc éolien, sans changement du ratio signal/bruit, ce qui indique l'absence d'interférence des turbines du parc éolien sur les signaux transmis par le satellite.

5.4.8 Identification et suivi des navires à distance – LRIT

Les éoliennes et autres grands réflecteurs métalliques comme les grues peuvent potentiellement dégrader les transmissions LRIT par blocage du signal recherché. L'évaluation a montré que de telles interférences sont peu probables et que le LRIT conçu pour fonctionner malgré des échecs occasionnels de transmission. L'ampleur de l'impact potentiel est considérée comme nulle.

5.4.9 Systèmes d'alerte et de sûreté des navires - SSAS

Les éoliennes et autres grands réflecteurs métalliques comme les grues peuvent perturber la transmission des signaux radio à proximité du fait du blocage ou de la réflexion du signal recherché. Les transmissions de satellites pourraient aussi être bloquées dans certaines conditions. L'évaluation a déterminé que des effets techniques minimes pouvaient se produire pour les navires croisant à moins de 500 m des éoliennes. Aucun autre effet n'est anticipé et l'ampleur de l'impact potentiel est considérée comme nulle.

5.4.10 Essais externes EPIRB / LRIT / SSAS / Téléphonie satellitaire

Les éoliennes et autres grands réflecteurs métalliques peuvent potentiellement perturber les communications par radio satellite du fait du blocage et/ou de la réflexion du signal recherché.

Les études conduites par le MCA et QinetiQ que les transmissions des satellites géostationnaires (INMARSAT) pouvaient être affectées dans une zone réduite de 8m autour des éoliennes. Les perturbations potentielles des transmissions de satellites en orbite terrestre basse sont les mêmes que pour les GNSS (v. **Section 5.4.7**).

5.4.11 Téléphonie mobile

Les éoliennes et autres grands réflecteurs métalliques comme les grues peuvent affecter la téléphonie mobile en bloquant/réfléchissant le signal recherché, ce qui peut potentiellement causer

un affaiblissement de la réception et affecter la qualité des appels voix. Les essais MCA / QinetiQ ont confirmé l'absence d'effet significatif sur les communications voix dans le parc ou avec le rivage.

Dans l'ensemble, l'ampleur de l'impact potentiel est considérée comme "nulle".

5.4.12 Compas magnétique

L'alinéa 19 du chapitre V de la conventions SOLAS "Systèmes et matériel de navigation de bord" dispose que :

"Tous les navires, quelle que soit leur tonnage, doivent avoir :

- *des compas magnétiques correctement étalonnés, ou d'autres moyens indépendants de toute alimentation électrique de déterminer le cap du navire et d'en afficher le relèvement au niveau du poste de pilotage ;*
- *un taximètre, un équipement porteur d'un compas ou d'autres moyens indépendants de toute alimentation électrique de relever des azimuts sur un horizon à 360°.*

5.4.13 Essais externes - Compas magnétique

Les essais n'ont relevé "aucun problème" s'agissant des compas magnétiques. Toutefois, les navires légers équipés d'un simple compas de route doivent rester vigilants lors d'une navigation à proximité d'un parc éolien.

5.5 AMPLEUR DE L'IMPACT – EXPLOITATION

Un aperçu de l'importance des impacts du parc éolien sur les systèmes de communication radio et de navigation pendant la phase d'exploitation est présenté dans le **Tableau 10**.

Tableau 10: Ampleur de l'impact: Exploitation

Système	Portée	Ampleur de l'impact potentiel	Importance de l'impact
Liaisons fixes	Régionale	Nulle	Nulle
VHF Radio Système	Départementale	Nulle	Nulle
AIS	Régionale	Nulle	Nulle
Communications satellite	Régionale	Nulle	Nulle
LRIT	Régionale	Nulle	Nulle
SSAS	Régionale	Nulle	Nulle

Téléphonie mobile	Locale	Nulle	Nulle
Compas magnétique	Locale	Nulle	Nulle

Aucune mesure spécifique d'atténuation n'est recommandée pour la phase d'exploitation du parc éolien en mer en Baie de Saint-Brieuc.

Il est néanmoins entendu qu' Ailes Marine SAS pourrait être amenée à installer une antenne-relais de téléphonie mobile sur une éolienne.

5.6 IMPACTS POTENTIELS – PHASE DE DEMANTELEMENT

Des bateaux-usine et navires de travaux similaires à ceux dont l'utilisation est envisagée pour la construction devraient être employés lors de la phase de démantèlement. Il est donc prévu que les effets sur les télécommunications pendant la phase de démantèlement soient similaires à ceux observés pendant la construction.

5.7 AMPLEUR DE L'IMPACT – DEMANTELEMENT

Un aperçu de l'importance des impacts du parc éolien sur les systèmes de communications radio et de navigation pendant la phase de démantèlement est présenté dans le **Tableau 11** ci-dessous.

Tableau 11: Ampleur de l'impact: Démantèlement

Système	Portée	Ampleur de l'impact potentiel	Importance de l'impact
Liaisons fixes	Régionale	Nulle	Nulle
Système radio VHF	Départementale	Nulle	Nulle
AIS	Régionale	Nulle	Nulle
Communications par satellite	Régionale	Nulle	Nulle
LRIT	Régionale	Nulle	Nulle
SSAS	Régionale	Nulle	Nulle
Téléphonie mobile	Locale	Nulle	Nulle

Aucune mesure d'atténuation n'est à prévoir pour le projet de parc de Saint-Brieuc.

6 CONCLUSIONS

L'analyse menée pour alimenter ce rapport a démontré que le projet d'implantation du Parc éolien de la baie de Saint-Brieuc aurait un niveau d'impact négligeable sur l'ensemble des matériels de communication radio et de navigation. Il est néanmoins entendu que suite aux discussions avec la Préfecture maritime, il est proposé à Ailes Marines SAS de mettre en place deux mesures pour améliorer la sécurité marine dans la baie de Saint Brieuc:

- Installer une station-relais de téléphonie mobile sur une éolienne adaptée ; et
- Ajouter une unité radar au projet de parc éolien afin d'améliorer la couverture pour les embarcations légères, et développer le système SPATIONOV.

ANNEXE A : Etude d'impact sur les radars Signalis (2012)

SIGNALIS
A CASSIDIAN and ATLAS ELEKTRONIK company

AILES MARINES

MARICO MARINE

PROJET DE PARC EOLIEN EN MER DE LA BAIE DE SAINT-BRIEUC

ETUDE D'IMPACT RADAR ET MESURES COMPENSATOIRES RELATIVES AU DEVELOPPEMENT DU PROJECT EOLIEN EN MER DANS LA BAIE DE SAINT-BRIEUC

Auteur: Jean-Baptiste LOPEZ Visa Qualité: Françoise AMBROS

Approuvé par: Noël LE FLOCH Autorisé par: Mark PEARSON

Référence: N°00007178 05 FR Release 02 Date: 17.05.2013

© SIGNALIS 2011 Template: 00006082 004 EN Release 03

The reproduction, distribution and utilisation of this document as well as the communication of its content to others without explicit authorisation is prohibited. Offenders will held liable for the payment of damages. All rights reserved in the event of the grant of a patent, utility model or design.

Sofrelog and ATLAS Maritime Security are now SIGNALIS

SIGNALIS S.A.S., 9, rue Louis Rameau – B.P. 70101 – 95873 BEZONS Cedex – France. S.A.S. au capital de 2 220 000 € - RCS Pontoise 306 188 814 TVA FR 25 306 188 814 – APE 6202A - Téléphone : +33 (0)1 39 96 44 44 - www.signalis.com - Télécopie : +33 (0)1 39 96 44 40

FICHE D'ÉVOLUTION

Rel.	Date	Auteur	Object de l'évolution
00a	24.01.2013	JB LOPEZ	Document projet
00b	28.02.2013	JB LOPEZ	Mise à jour et complément de documents projet
01	03.05.2013	JB LOPEZ	Mise à jour et complément de documents projet
02	17.05.2013	JB LOPEZ	Mise à jour et complément de documents projet

RESUME

Objectif de cette étude
L'objectif de cette étude est d'évaluer l'impact, sur les radars à terre et embarqués, de l'implantation d'un parc éolien mer développé par la société AILES MARINES dans la Baie de Saint Brieuc. L'impact sur les radars se traduit par des phénomènes d'interférences divers et des zones d'ombre générées par les éoliennes. Cette centrale éolienne comprendra 100 éoliennes qui seront situées au plus près à 16,2 km de la côte.

Principes du radar
Fondamentalement, un senseur radar se compose d'un émetteur, d'une antenne directionnelle rotative et d'un récepteur. Un équipement réalise l'acquisition des données reçues par le récepteur, les traite par un ensemble de filtrages pour ensuite afficher sur un moniteur ce qu'on appelle la « vidéo brute » du radar. Quand l'onde émise par le radar rencontre un objet, une proportion de l'énergie est reflétée vers l'antenne radar. Ce signal est ensuite amplifié puis traité avant d'être affiché comme image radar. La distance entre le radar et l'objet détecté se mesure en calculant le temps de parcours aller/retour de l'onde émise puis réfléchie.

Dans les signaux reçus par le radar se trouvent des réflexions en provenance d'une multitude d'objets, à la fois mobiles et stationnaires. Des signaux reflétés par des objets fixes tels que les arbres, la terre et même des éoliennes se nomment collectivement « image de fond ». La plupart des radars modernes sont conçus pour différencier le bruit de fond et les objets en mouvement, il peut toutefois y avoir beaucoup d'interférences qui contribuent à réduire les performances. Les images radar peuvent par ailleurs subir des déformations causées par des signaux dont les niveaux de réflexion anormalement élevés proviennent de grands objets fortement réfléchissants qui dépassent les limites conceptuelles du radar.

Impact des éoliennes sur les signaux radar
L'éolienne se compose de quatre éléments principaux : la fondation, le mât, la nacelle et les pales. La fondation et le mât en métal renvoient la plus grande proportion du signal reçu par le radar. Cette étude ne tiendra pas compte des parties sous-marines des éoliennes qui ne sont pas soumises au rayonnement des radars. Après simulation et estimation de la SER (Surface Equivalente Radar) des éoliennes, cette étude décrit les différentes conséquences de la présence d'éolienne à proximité des radars maritimes au sol et des radars embarqués.

Cette étude a mis en évidence que le futur parc éolien offshore impacte très peu les radars des sémaphores de Saint-Quay et St Cast, principalement en raison de la grande distance qui sépare le parc éolien des radars.

La rotation des pales des éoliennes impacte fortement les systèmes radar possédant un traitement du signal « doppler ». Ce traitement « doppler » peut créer des pistes radar sur la rotation des pales des éoliennes. Dans le cas des radars de surveillance maritime dans la baie de Saint-Brieuc, ces systèmes radars ne possèdent pas de traitement « doppler ». On peut donc prévoir que ces radars ne seront pas perturbés par la rotation des pâles des éoliennes.

Concernant l'impact potentiel sur les radars de surveillance du trafic maritime à terre, il est possible de s'affranchir de ces phénomènes en ayant recours à diverses techniques et moyens de compensation.

Ces moyens de compensation permettront entièrement de couvrir les pertes de performances éventuelles sur les radars de surveillance du trafic maritime à terre dans la région de la baie de Saint-Brieuc.

Pendant la phase de construction, la mise en place d'une signalisation AIS virtuelle temporaire et l'utilisation d'un RACON sont envisageables. La mise en place d'AtoN AIS et de RACONs aux extrémités du parc permettrait de parfaitement signaler, par tout temps, les limites de la zone d'implantation du parc. Enfin pour la phase de démantèlement, une nouvelle signalisation AIS virtuelle peut être mise en place.

Conclusions

Ce document a mis en évidence que l'ensemble des impacts potentiels sur les radars analysés dans cette étude (effet de désensibilisation radar, effet d'ombre et effet de réflexions parasites-faux échos) aura très peu d'influence sur les radars de surveillance du trafic maritime situés à terre autour de la baie de Saint-Brieuc. Cela vient principalement de la distance relativement grande (par rapport à leur portée radar) entre les radars et le parc éolien. De plus, ces radars ne sont pas en mesure de détecter les cibles de petite taille (petit bateau de pêche, à voile, etc.) à cette distance.

L'apparition potentielle de faux échos, est peut-être l'effet le plus difficile à prévoir et à évaluer dans la mesure où il dépend des formes et superstructures des bateaux navigants au voisinage du parc éolien.

Cette étude a mis en évidence les zones où peuvent potentiellement apparaitre de faux échos à la fois pour le radar de Saint-Quay et le radar de Saint-Cast. Ces zones seraient placées derrière les éoliennes dans l'alignement du chaque radar et du parc éolien. Le trafic est principalement concentré à l'ouest (chenal d'approche du Port du Légué) et à l'est (chenal d'approche du Port de St-Malo). Ce phénomène de faux échos concernera uniquement les gros bateaux navigants

au voisinage du parc éolien. Les gros navires sont aujourd'hui tous équipés de transpondeur AIS pouvant facilement compenser cet effet de faux échos radar.

Afin de maintenir le niveau de sécurité actuel et ainsi permettre aux sémaphores de Saint-Quay et de Saint-Cast de continuer d'assurer une bonne surveillance du trafic maritime dans la baie de Saint-Brieuc, SIGNALIS recommande de prendre des mesures compensatoires.

Recommandations

Plusieurs impacts ont été identifiés par cette étude. Pour les limiter SIGNALIS propose 3 recommandations :

1. **Ajout de moyens d'aides à la navigation électroniques tels que AIS virtuels, "RACON" et "AIS (AtoN)" aux extrémités du parc éolien.**

2. **Formation du personnel opérateur.**

3. **Installation éventuelle d'un radar supplémentaire et intégration de ce nouveau radar au système SPATIONAV existant.**

Remerciements

SIGNALIS adresse ses remerciements à la Capitainerie du Port du Légué de Saint-Brieuc et à la Capitainerie du Port de Saint-Quay-Portrieux pour leur collaboration à la réalisation de cette étude.

GLOSSAIRE

AIS	Automatic Identification System
AISM	Association Internationale de Signalisation Maritime (IALA en Anglais)
ARPA	Automatic Radar Plotting Aid
AtoN	Aid to Navigation
CARPET	Computer-Aided Radar Performance Evaluation Tool
Clutter	Echos radar non désirés, généralement générés par le sol, la mer et la pluie.
CLPMEM	Comité Local Pêches Maritimes de Saint-Brieuc
DAO	Dessin Assisté par Ordinateur
DRAM	Direction Régionale des Affaires Maritimes
FOSIT	Formation Opérationnelle de Surveillance et d'Information du Territoire
IALA	International Association of Lighthouse Authorities
IMO	International Maritime Organisation
IHM	Interface Homme Machine
IHO	International Hydrographic Organization
ISM	International Safety Management Code
km	Kilomètre
LAT	Lowest Astronomical Tide (Plus Basse Mer Astronomique)
m	Mètre
MARICO MARINE	Marine & Risk Consultants Ltd
MCA	Maritime and Coastguard Agency (Gardes Cote Britaniques)
MW	Méga Watt
NM	Nautical Mile (~1,852m)
PLA	Port of London Authority
RACON	RAdar beaCON (type de transpondeur radar)
RCS	Radar Cross Section (SER en Français)
SER	Surface Radar Equivalente (RCS en Anglais)
STM	Service de Trafic Maritime
VHF	Very High Frequency
VTS	Vessel Traffic Services

TABLE DES MATIÈRES

1 INTRODUCTION 1

1.1 GENERAL 1

1.2 PLAN DE L'ETUDE 1

1.3 ORGANISATION DU DOCUMENT 2

1.4 CADRE DE L'ETUDE 2

1.4.1 Environnement et objets de l'étude 3

1.4.2 Zone géographique de l'étude 5

2 DONNEES ET MODELISATION DE L'EOLIENNE M5000-135 D'AREVA (5MW) 6

2.1 L'EOLIENNE 6

2.2 MODELISATION DE L'EOLIENNE M5000-135 6

3 SURFACE EQUIVALENTE RADAR (SER) ET AUTRES CARACTERISTIQUES DES EOLIENNES 11

3.1 CARACTERISTIQUES GENERALES 11

3.2 PARC EOLIEN 11

3.3 EVALUATION DE LA SURFACE EQUIVALENTE RADAR DES EOLIENNES 12

3.3.1 Définition de la Surface Equivalente Radar (SER) 12

3.3.2 Constitution de la Surface Equivalente Radar (SER) générale de l'éolienne 13

3.3.2.1 La fondation pour les éoliennes 14

3.3.2.2 Le mât de soutien 15

3.3.2.3 Déformation du mât liée au vent et à la dilatation 16

3.3.2.4 La nacelle 16

3.3.2.5 Les pales 16

3.4 ESTIMATION DE LA SER DES EOLIENNES POUR UNE DIRECTION DE VENT PRIVILEGIEE 18

3.5 SER DE PLUSIEURS EOLIENNES 19

4 TYPES ET LISTE DES RADARS DE SURVEILLANCE MARITIME A TERRE SUR SITE 21

4.1 INVENTAIRE DE L'ENSEMBLE DES RADARS DE SURVEILLANCE MARITIME A TERRE SUSCEPTIBLES D'ETRE PERTURBES 21

4.2 LISTE DES CENTRES DE SURVEILLANCE MARITIME ET STM EXISTANTS 24

4.3 ANALYSE DE LA COUVERTURE RADAR 24

4.3.1 Calcul de la distance d'inter visibilité radar entre les radars et les éoliennes 24

4.3.2 Calcul des portées radar 26
4.3.3 Conclusion 30
4.3.4 Zones de couverture des radars fixes 31
4.3.5 Détails et caractéristiques des radars de Saint-Cast et de Saint-Quay 33
5 IMPACT DU PARC EOLIEN DE SAINT-BRIEUC SUR LES RADARS DES SEMAPHORES DE SAINT-CAST ET DE SAINT-QUAY 35
5.1 INTRODUCTION 35
5.2 EFFET DE « DESENSIBILISATION » DU RADAR 35
5.3 EFFET D'OMBRE....37
5.3.1 Effet d'ombre par beau temps sur de grandes cibles....37
5.3.2 Effet d'ombre par mauvais temps sur de petites cibles....42
5.3.3 Conclusion sur l'effet d'ombre 42
5.4 EFFETS DE REFLEXION – FAUX ECHOS 43
5.4.1 Génération de faux échos par les lobes secondaires 44
5.4.2 Génération de faux échos par multi-trajet....45
5.4.2.1 Radar du sémaphore de Saint-Quay 46
5.4.2.2 Radar du sémaphore de Saint-Cast....51
5.4.3 Conclusion sur l'effet de réflexion – faux échos 54
6 IMPACT DE LA CENTRALE EOLIENNE SUR DES RADARS EMBARQUES . 55
7 CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS 58
7.1 CONCLUSIONS....58
7.2 RECOMMANDATIONS ET MESURES COMPENSATOIRES....58
7.2.1 Ajout de moyens d'aides à la navigation électroniques telles que AIS virtuels, "RACON" et "AIS (AtoN)" aux coins du parc éolien 58
7.2.2 Formation du personnel opérateur 62
7.2.3 Installation éventuelle d'un radar supplémentaire et intégration de ce nouveau radar au système SPATIONAV existant....62
8 REFERENCES 63
8.1 DOCUMENTS DE REFERENCE 63

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Figure 1 : Définition de l'espace physique du problème....3
Figure 2 : Environnement et objets de l'étude 4
Figure 3 : Emplacement de la centrale éolienne 5
Figure 4 : Représentation du modèle AutoCAD de l'éolienne M5000-135 d'AREVA (5MW) 8
Figure 5 : Modélisation numérique, vue 3D du parc éolien 10
Figure 6 : Modélisation numérique, vue 2D du parc éolien 12
Figure 7 : Types de fondation retenus pour les éoliennes....14
Figure 8 : Partie émergée des fondations par niveau de plus basse mer 15
Figure 9 : Réflexion des ondes radar par le mât de soutien de l'éolienne....16
Figure 10 : Exemple de calcul de SER d'une éolienne en fonction de l'angle d'incidence du radar 18
Figure 11 : Exemple de variation de la SER/RCS d'une éolienne en fonction de l'orientation des pales19
Figure 12 : Position des radars de surveillance du trafic maritime à terre susceptibles d'être perturbés par le parc éolien 23
Figure 13 : Distance d'inter visibilité entre le radar et l'éolienne 25
Figure 14 : Zone de couverture des radars de surveillance maritime à terre pour des cibles de type éolienne (SER = 90 000 m², 173m de hauteur)....31
Figure 15 : Zone de couverture des radars de surveillance maritime à terre pour de petites cibles (SER = 1 000 m², 10m de hauteur) 32
Figure 16 : Antennes radar des sémaphores de Saint-Cast et Saint-Quay....34
Figure 17 : Simulation de l'effet d'ombre généré par la centrale éolienne sur la couverture des deux radars de Saint-Quay et de Saint-Cast par beau temps sur de grandes cibles....41
Figure 18 : Création de faux échos par émission/réception au travers des lobes secondaires de l'antenne radar 44
Figure 19 : Image radar avec de faux échos créés par les lobes secondaires de l'antenne radar....45
Figure 20 : Schéma représentatif de la zone potentielle d'apparition des réflexions/faux échos radar pour le radar de Saint-Quay....47
Figure 21 : Schéma représentatif de la zone potentielle d'apparition des réflexions/faux échos radar pour le radar de Saint-Quay superposée avec la couverture radar de Saint-Cast 50
Figure 22 : Schéma représentatif de la zone potentielle d'apparition des réflexions/faux échos radar pour le radar de Saint-Cast....52
Figure 23 : Schéma représentatif de la zone potentielle d'apparition des réflexions/faux échos radar pour le radar de Saint-Cast superposée avec la couverture radar de Saint-Quay 53
Figure 24 : Position du parc éolien par rapport aux chenaux d'approches des Port du Légué de Saint-Brieuc et du Port de Saint-Malo 56

Figure 25 : Exemple d'un AIS AtoN 60
Figure 26 : Exemple d'un RACON 61
Figure 27 : Recommandation sur les emplacements des RACON et d'AtoN (AIS) 61

TABLE DES EQUATIONS

Equation 1 : Equation de la SER 13
Equation 2 : Formule de la distance d'inter visibilité Radar - Eolienne 25
Equation 3 : Equation du calcul de la distance Radar - Cible 48

TABLEAUX

Tableau 1 : Caractéristiques techniques de l'éolienne M5000-135 9
Tableau 2 : Liste des radars de surveillance maritime à terre susceptibles d'être perturbés par la centrale éolienne 21
Tableau 3 : Liste des Centres de Surveillance Maritime et STM reliés aux radars à terre 24
Tableau 4 : Synthèse des distances d'inter visibilité entre les radars et le haut de la pale de l'éolienne à 173m (ASL) 25
Tableau 5 : Exemple de calculs de performances de portée radar dans diverses conditions météos ... 29
Tableau 6 : Synthèse des portées des radars 31
Tableau 7 : Simulation de l'effet d'ombre généré par la centrale éolienne sur la couverture du radar de Saint-Quay par beau temps sur de grandes cibles 39
Tableau 8 : Simulation de l'effet d'ombre généré par la centrale éolienne sur la couverture du radar de Saint-Cast par beau temps sur de grandes cibles 40
Tableau 9 : Modèles de réflexion et type de performances 64

TABLE DES ANNEXES

ANNEXE 1. CARACTERISTIQUES IALA DES CIBLES RADAR. 64
ANNEXE 2. ETAT DE LA MER – TABLE DE PIERSON MOSKOWITZ 65
ANNEXE 3. LISTE DES LIENS DE COMMUNICATION 66

1 INTRODUCTION

1.1 GÉNÉRAL

Dans le cadre du projet de parc éolien offshore de Saint-Brieuc, la société AILES MARINES a pour objectif de développer une centrale éolienne en mer au large de Saint-Brieuc. La présente étude a été commandée par MARICO MARINE, dans le cadre d'une étude globale de levée de risques, pour étudier l'impact sur la sécurité et la sureté maritime dans la baie de Saint-Brieuc. Dans le cadre de ce projet, AILES MARINES envisage l'implantation de cent éoliennes situées au plus près à 16,2 kilomètres de la côte.

L'étude se concentre sur l'impact potentiel de l'installation de cette centrale éolienne sur tous les radars de surveillance du trafic maritime dans la zone de Saint-Brieuc, ainsi que sur les radars des bateaux qui pourraient naviguer dans cette zone.

SIGNALIS a réalisé et basé cette étude en prenant en considération du mieux possible l'ensemble des éléments qui lui ont été mis à disposition par AILES MARINES et cités en référence dans ce document. Si toutefois il existe des inexactitudes dans ces données, SIGNALIS ne serait pas responsable des conséquences.

1.2 PLAN DE L'ÉTUDE

Cette étude comprend les activités suivantes :

- Etablissement de la zone de couverture ainsi que les caractéristiques techniques détaillées de chacun des radars de surveillance du trafic maritime existants dans le secteur de la baie de Saint-Brieuc,
- Identification des centres de surveillance maritime et STM existants dans la zone, qui exploitent les informations de ces radars,
- Modélisation des éoliennes de ce projet pour estimer leur SER (Surface Equivalente Radar),
- Analyse des effets du futur parc éolien en mer sur les radars de surveillance du trafic maritime à terre,
- Analyse des effets du futur parc éolien sur les radars embarqués de navigation,
- Recommandations pour maintenir le niveau de performance actuel des radars de surveillance du trafic maritime à terre.

1.3 ORGANISATION DU DOCUMENT

Le document comprend les sections suivantes :

- **Section 1** : donne une introduction générale de l'étude. Cette section définit le cadre et les limites du problème à étudier.
- **Section 2** : détaille les caractéristiques techniques de l'éolienne utilisée pour le projet Offshore Saint-Brieuc et modélise l'éolienne en 3D.
- **Section 3** : évalue la SER (Surface Equivalente Radar) de l'éolienne.
- **Section 4** : liste l'ensemble des radars de surveillance du trafic maritime à terre, centre de surveillance maritimes et STM liés à ces radars.
- **Section 5** : évalue l'impact du parc éolien en mer sur les radars à terre de Saint-Quay et de Saint-Cast.
- **Section 6** : évalue l'impact du parc éolien en mer sur des radars embarqués.
- **Section 7** : apporte les conclusions de cette étude et donne des recommandations et mesures compensatoires.
- **Section 8** : liste les références utilisées dans l'étude.

1.4 CADRE DE L'ÉTUDE

Le cadre de l'étude comprend les radars, les éoliennes, les cibles devant être détectées et les objets non désirés/sans intérêt qui seront filtrés et/ou rejetés par les opérateurs radar. Les effets sur les radars provoqués par la géométrie du terrain environnant sont détaillés ci-dessous.

Sur la Figure 1, l'énergie du radar est réfléchie par tous les objets entourant le radar. Ces objets peuvent n'être d'aucun intérêt opérationnel (bâtiments, collines, arbres, etc.) ou être des cibles que le système, pour le bénéfice de l'opérateur, doit détecter. L'opérateur pourra chercher ensuite, avec les aides apportées par le système, à classifier et/ou identifier certaines de ces cibles (pistes). L'énergie reflétée par tous ces objets est reçue par le radar, puis traitée et présentée à l'opérateur qui interprète l'information.

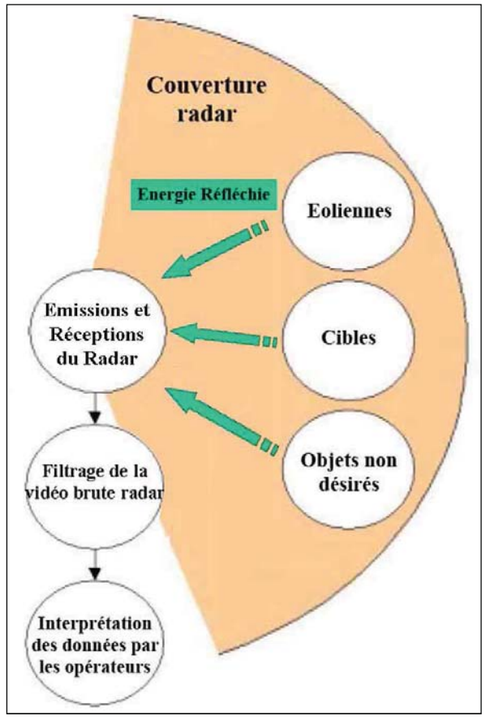


Figure 1 : Définition de l'espace physique du problème

1.4.1 Environnement et objets de l'étude

L'étude doit prendre en compte :

- les éoliennes
- les cibles (par exemple bateaux de pêche, plaisance, transport, etc.).
- l'environnement naturel, en particulier la météo et le retour[1] de mer qu'il peut générer (bruit de fond provenant de la surface de mer ou de la pluie).

Une vue en plan de la géométrie du problème et des objets associés est représentée sur la Figure 2. Un élément essentiel de cette géométrie est l'angle d'incidence entre les pales des éoliennes et le vecteur représentant la direction du lobe principale du radar.

[1] Echos radar non désirés, généralement provenant du relief terrestre, de la mer et de la pluie.

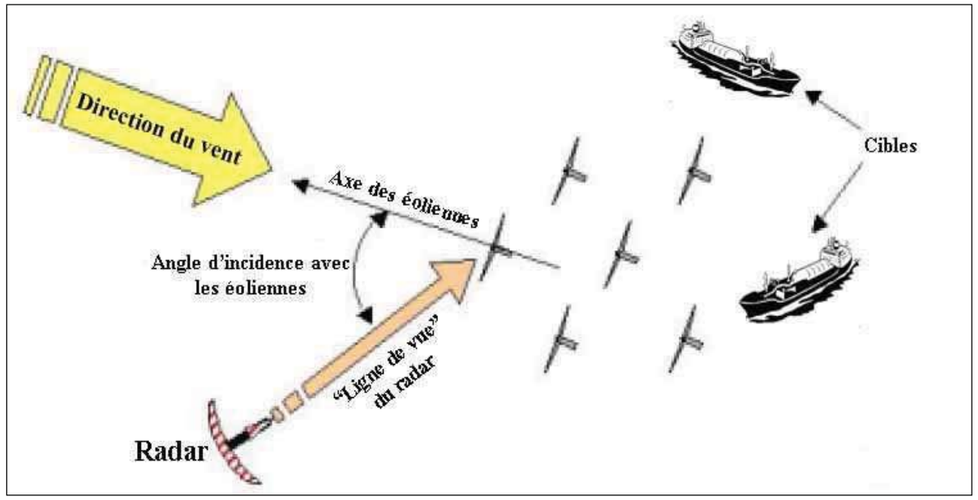


Figure 2 : Environnement et objets de l'étude

SIGNALIS
A CASSIDIAN and ATLAS ELEKTRONIK company

1.4.2 Zone géographique de l'étude

Le parc éolien comprend 100 éoliennes et 1 plateforme offshore du poste de transformation électrique, ce parc couvrira une surface de 77 km². Le parc sera situé à 16,2 kilomètres de la côte.

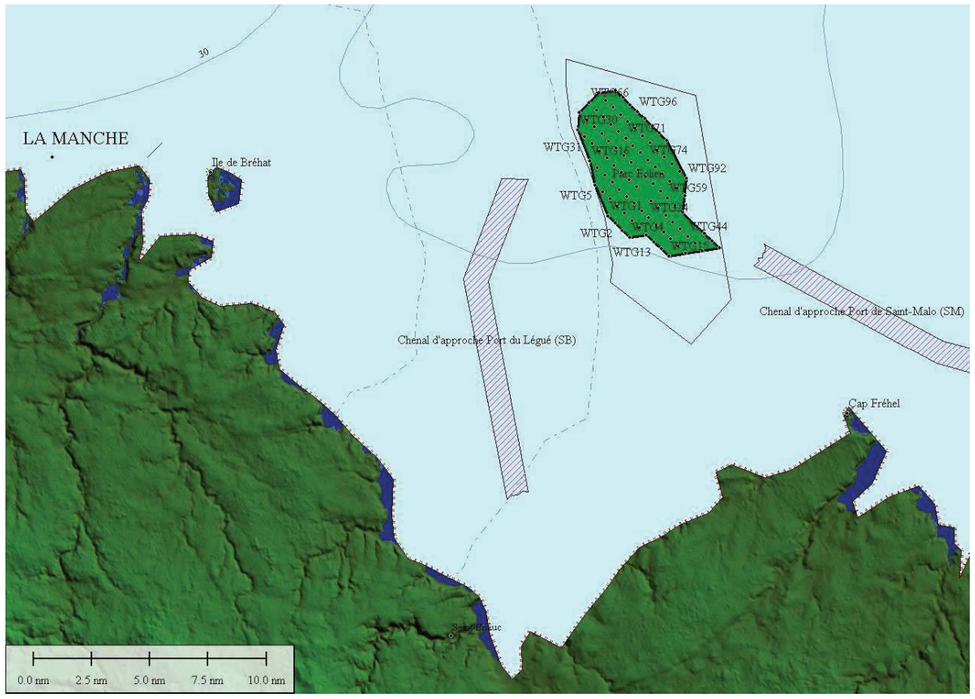


Figure 3 : Emplacement de la centrale éolienne

2 DONNEES ET MODELISATION DE L'EOLIENNE M5000-135 D'AREVA (5MW)

2.1 L'ÉOLIENNE

Il y a beaucoup de fabricants d'éoliennes, mais dans la classe des générateurs de puissance élevée, les méthodes de construction ont convergé au cours des années vers une approche commune. Les éoliennes modernes sont en général du type « à axe horizontal » avec deux ou trois pales qui tournent dans le plan vertical. L'équipement de production électrique est logé derrière l'ensemble pale-moyeu dans une nacelle qui peut tourner librement autour de l'axe vertical pour orienter les pales face au vent. Le logement est monté au-dessus d'un mât cylindrique ou graduellement effilé, habituellement construit en acier creux.

Dans le cadre du projet de parc éolien de Saint Brieuc qui nous concerne, le choix de l'industriel s'est concentré sur une éolienne dont les caractéristiques techniques sont données ci-dessous :

2.2 MODÉLISATION DE L'ÉOLIENNE M5000-135

Pour modéliser les caractéristiques de SER (Surface Equivalente Radar) d'un objet, une représentation de type DAO (Dessin Assisté par Ordinateur) est d'abord élaborée comme le représente la Figure 4. Ce modèle fournit alors un point d'entrée à l'outil de calcul du SER grâce auquel on pourra ainsi effectuer des simulations pour :

- un large éventail de bandes de fréquence radar,
- et divers angles du faisceau radar,
- ainsi que diverses orientations de vent.

Exprimée en m² (ou en dB/m²), la SER (ou RCS : Radar Cross Section) caractérise la capacité de la cible à rayonner l'énergie électromagnétique vers le radar. Elle est l'expression d'un rapport entre l'énergie réémise sur la densité d'énergie reçue par unité de surface.

La SER dépend de :

- la longueur d'onde du radar. L'ensemble des radars de notre zone d'étude, radars à terre et radars embarqués de navigation, sont des radars bande X.
- la polarisation de l'onde, avec principalement 3 types de polarisation possibles : circulaire, horizontale et verticale.

- l'aspect présenté par l'objet vis à vis du radar ; l'aspect des éoliennes va dépendre de leur orientation donc dépendre de la direction du vent.
- la géométrie de l'objet et les matériaux avec lesquels est construit l'objet.

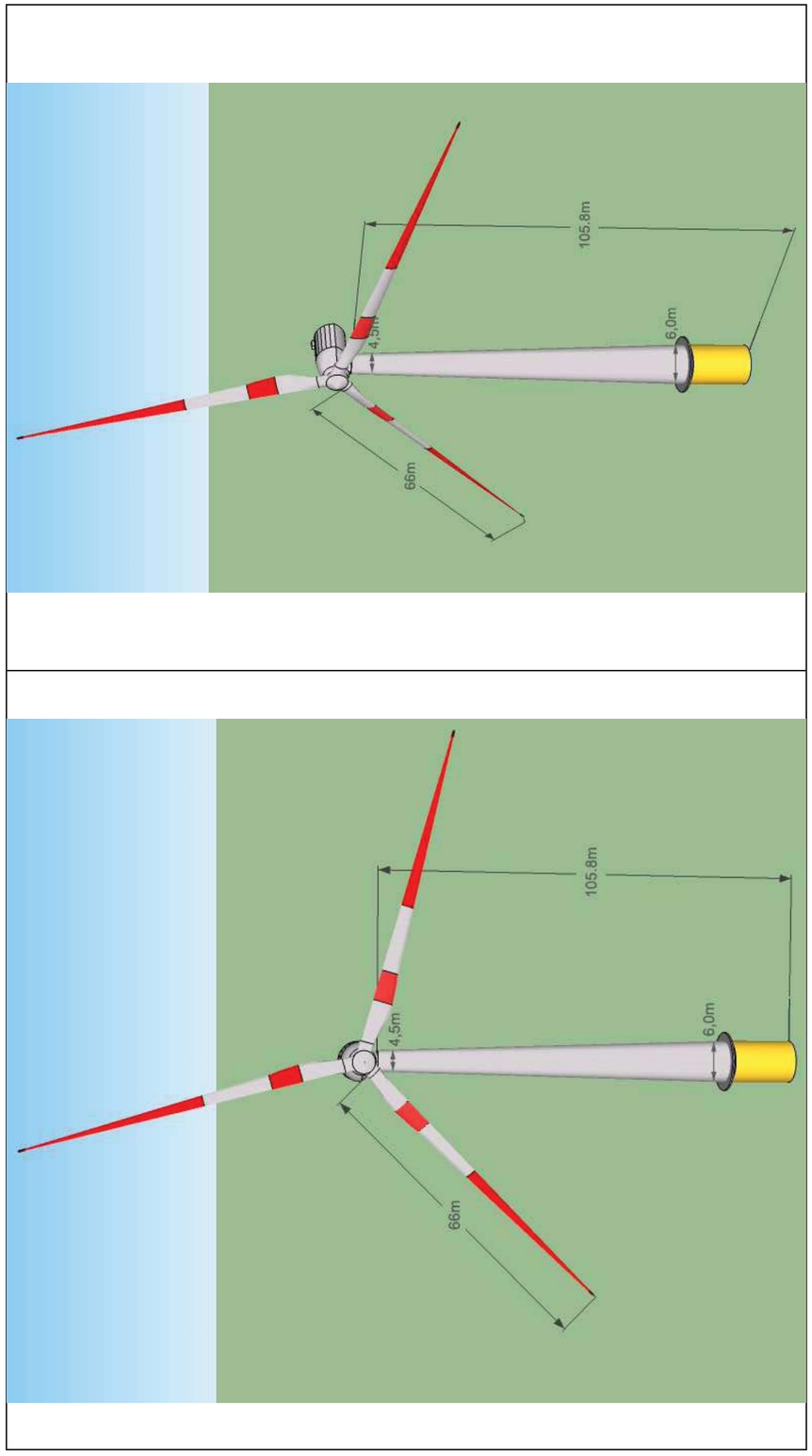


Figure 4 : Représentation du modèle AutoCAD de l'éolienne M5000-135 d'AREVA (5MW)

ROTOR	
Diamètre	135 m
Surface balayée	14 313,9 m²
Plage de fonctionnement	4 à 25 mètres/sec de vent
Type de régulation	Pitch
Orientation	Face au vent
Nombre de pâles	3
MÂT	
Type	Mât tubulaire / conique
Hauteur du moyeu	72,6 m
Diamètre du mât	6 m au pied 4,50 m au sommet
Matériau	Acier
Traitement de surface	Peint
PALES	
Principe	Demi-voilure collée sur un longeron de support
Matériaux	Fibre de verre et fibre de carbone renforcée époxy
Longueur	66 m
ALTERNATEUR	
Type	SYNC-AP
Puissance Nominale	5 MW

Tableau 1 : Caractéristiques techniques de l'éolienne M5000-135

Illustré et modélisé par la Figure 5 ci-dessous le futur parc éolien dans la Baie de Saint-Brieuc :

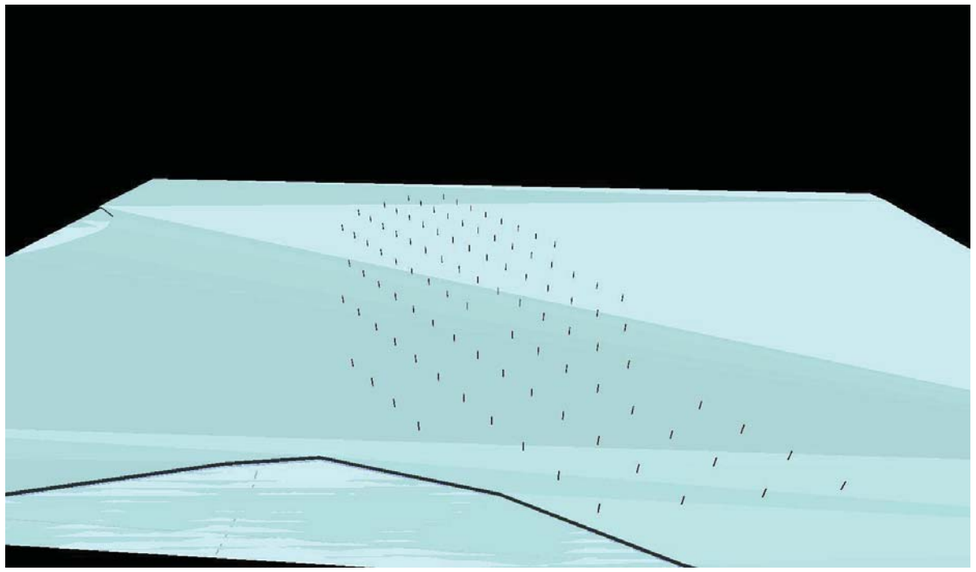


Figure 5 : Modélisation numérique, vue 3D du parc éolien

3 SURFACE EQUIVALENTE RADAR (SER) ET AUTRES CARACTERISTIQUES DES EOLIENNES

3.1 CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES

Cette partie de l'étude analyse plusieurs phénomènes physiques, caractéristiques des éoliennes AREVA qui seront installées dans le cadre du projet de parc éolien de Saint Brieuc :

- la Surface Equivalente Radar (SER ou RCS Radar Cross Section en anglais). Pour cela, on a décomposé l'éolienne en un certain nombre d'éléments qui ont été étudiés séparément pour être ensuite regroupés et considérés comme une seule et même entité,
- la modulation des réflexions des objets situés derrière l'éolienne,
- les zones d'ombres générées derrière les éoliennes,
- les re-réflexions de l'énergie radar provenant d'autres objets, par les éoliennes.

3.2 PARC ÉOLIEN

Là où de nombreuses éoliennes sont installées, le secteur couvert par la centrale peut-être très vaste. Les éoliennes sont espacées de façon à réduire au minimum les perturbations de flux d'air d'une éolienne à l'autre. La topologie et la géologie du fond de la mer entrent aussi en considération pour définir leurs emplacements.

Dans le cadre du projet du parc éolien en mer au large de Saint-Brieuc, les éoliennes sont espacées en moyenne sur une distance d'environ 800 mètres sur un axe Sud-Est/Nord-Ouest, qui représente la direction des courants marins dominant. Sur l'axe Sud-Ouest/Nord-Est (axe perpendiculaire), les éoliennes sont espacées d'une distance d'environ 1000 mètres.

Figure 6 : Modélisation numérique, vue 2D du parc éolien

3.3 EVALUATION DE LA SURFACE EQUIVALENTE RADAR DES EOLIENNES

Les propriétés de réflexion de l'éolienne choisie sont décrites dans ce paragraphe. La SER représente le secteur de réflexion des ondes radar ainsi plus la SER est grande, plus le signal retourné au radar est important. Ces caractéristiques ont été dérivées en utilisant un outil standard de modélisation de la SER connu sous le nom d'"Epsilon".

3.3.1 Définition de la Surface Equivalente Radar (SER)

La SER est une propriété physique inhérente des objets indiquant l'importance relative de la surface de réflexion d'un faisceau électromagnétique qu'ils provoquent. La SER d'un objet est fonction :

- De la nature du (des) matériau(x) constituant(s) la surface de l'objet (ceci influence les facteurs d'absorption / réflexion), autrement dit la « réflectivité » de l'objet.
- De la forme de l'objet (ce qui influence la direction de réflexion), autrement dit la « directivité » de l'objet.
- De la longueur d'onde du rayonnement électromagnétique arrivant sur l'objet.

La SER est un paramètre spécifique à un objet. La SER est désignée par la lettre grecque **σ** (sigma) exprimée en m².
Bien que la SER d'un objet soit exprimée en m², la SER n'est en réalité pas la mesure de la taille physique de cet objet mais la mesure de ces caractéristiques de réflectivité aux ondes

électromagnétiques qui illuminent ce même objet. Ainsi de petits objets (physiquement petit) peuvent avoir une grande SER tel qu'un réflecteur radar par exemple, ou encore de gros objets (physiquement gros) peuvent avoir une relativement faible SER comme des avions ou navires furtifs par exemple.

Le concept de SER d'un objet peut-être représenté comme ceci :

$$\mathrm{SER}(\sigma) = \text{Taille} \times \text{Réflectivité} \times \text{Directivité}$$

Equation 1 : Equation de la SER

Taille Géométrique : Représente la surface physique frontale que présente l'objet au radar.

Réflectivité : Représente la proportion de l'énergie incidente réfléchie par la surface de l'objet illuminé. L'énergie qui n'est pas réfléchie est forcément absorbée par l'objet. La réflectivité inclut aussi les effets générés par les courants induits qui causent une re-radiation de l'énergie incidente. La réflectivité n'est donc pas uniquement la réflexion optique pure des signaux incidents. La fréquence de l'onde électromagnétique du radar va aussi influencer la réflectivité.

Directivité : La forme de la surface de l'objet illuminé va définir dans quelles directions l'énergie va être réfléchie. En fonction des courbures de la surface de l'objet, l'énergie se concentrera dans certaines directions voire se dispersera dans d'autres.

La SER d'un objet observé par un radar va donc varier en fonction de son orientation par rapport à ce même radar. Ainsi la SER d'un objet n'est pas un nombre fixe qui dépend uniquement de la forme de cet objet, mais varie en fonction de la direction sous laquelle il est observé, des matériaux constituant la surface de cet objet et dépend aussi de la fréquence de l'onde électromagnétique du radar.

3.3.2 Constitution de la Surface Equivalente Radar (SER) générale de l'éolienne

La SER générale dépend fortement des matériaux constituant l'éolienne, de sa forme générale ainsi que de toutes les parties de la structure de l'éolienne. Il est évident qu'il y aura quatre éléments principaux constituant la SER générale observée par un radar :

- la fondation sur laquelle sera fixée l'éolienne,
- le mât de soutien,
- la nacelle,
- les pales comprenant le moyeu tournant.

3.3.2.1 La fondation pour les éoliennes

Il existe différentes techniques pour fixer les éoliennes en mer. Dans le projet Offshore de Saint-Brieuc, le type de fondation n'est pas encore défini précisément, cependant 3 types de fondation ont été retenus.

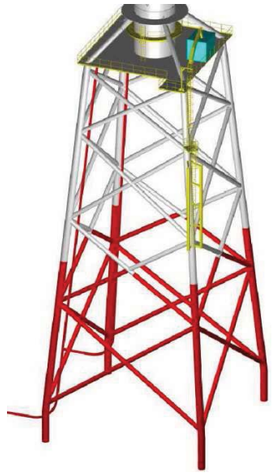
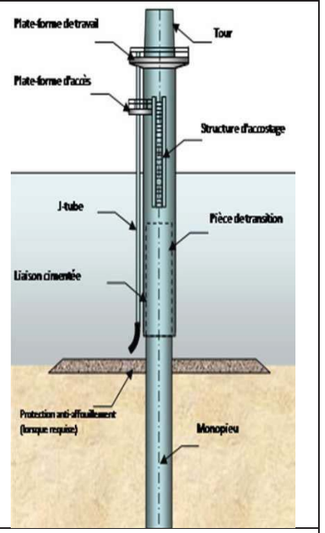
		
Fondation Gravitaire	**Fondation Jacket**	**Fondation Monopieu**

Figure 7 : Types de fondation retenus pour les éoliennes

Dans cette étude nous nous intéressons uniquement à la partie émergée de la fondation, les parties sous-marines ne sont pas soumises aux radiations des radars. En période de plus basse mer astronomique (LAT), la nacelle des éoliennes se trouvera à une hauteur de 105,8m LAT et le pied de la turbine à 28,9m LAT.

Afin d'étudier l'impact maximal nous nous placerons dans le cas de figure où la mer est à son plus bas niveau.

Les figures suivantes donnent le niveau de plus basse mer pour chaque type de fondation.

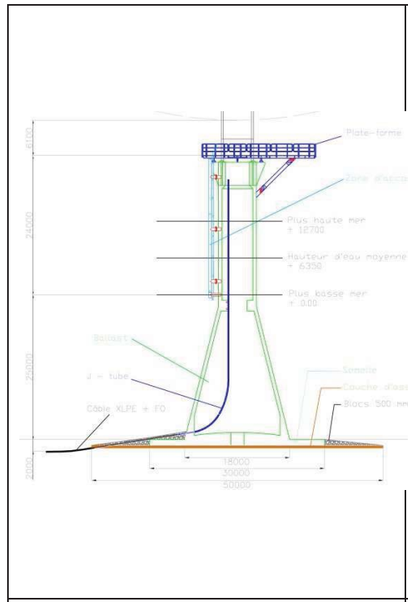
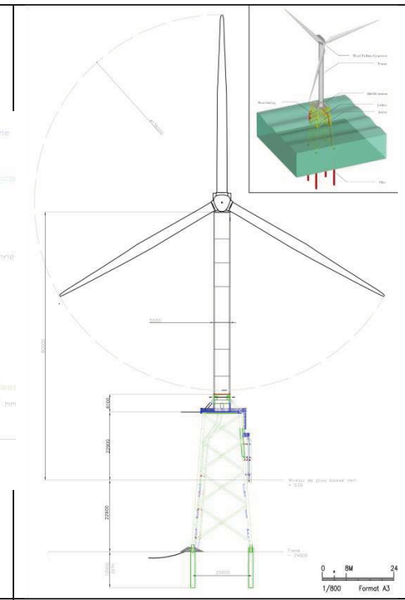
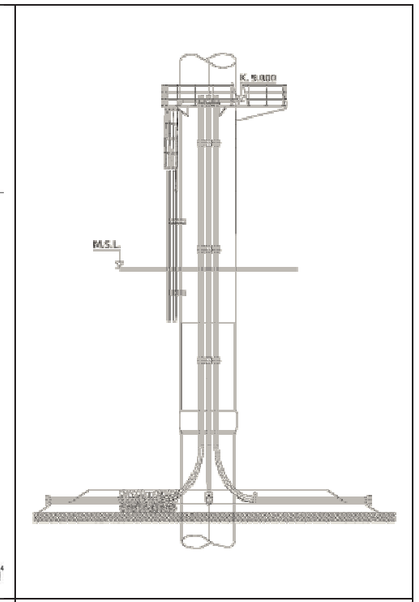
		
Dimension de la partie émergée : Cylindre - Hauteur : 24 m - Diamètre : 10 m	**Dimension de la partie émergée :** - Hauteur : 28,9 m	**Dimension de la partie émergée : Cylindre** - Hauteur : 20 m - Diamètre : 10 m
Fondation Gravitaire	**Fondation Jacket**	**Fondation Monopieu**

Figure 8 : Partie émergé des fondations par niveau de plus basse mer

Dans chacun des trois types de fondation, la partie émergée représente une partie non négligeable de l'éolienne et sera prise en compte dans l'estimation de la SER des éoliennes.

Pour la suite de cette étude, nous considèrerons le cas de figure où la SER de la fondation est la plus grande possible afin d'en étudier l'impact maximal.

3.3.2.2 Le mât de soutien

Le mât est l'élément le plus significatif dans le calcul de la SER puisqu'il est physiquement le plus grand et construit en acier qui réfléchit bien les ondes radar. Pour simplifier le calcul de la SER du mât, il sera modélisé comme un cylindre conique de 72,6 mètres de haut et ayant un diamètre de 6 mètres à la base et 4,5m au sommet.

L'énergie maximum réfléchie par le mât de l'éolienne vers le radar se produit perpendiculairement à la surface du mât, comme représenté sur la Figure 9. Du fait que le mât est circulaire, le modèle de réflexion reste le même, peu importe l'angle de l'onde radar incidente qui arrive sur le mât.

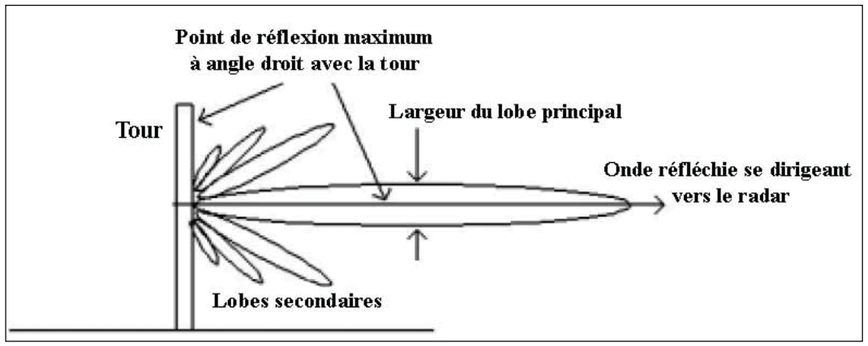


Figure 9 : Réflexion des ondes radar par le mât de soutien de l'éolienne

3.3.2.3 Déformation du mât liée au vent et à la dilatation

Le sommet du mât de 90m de hauteur pourra fléchir de 0,4 mètre horizontalement lors de conditions de vent extrêmes. De même quand le soleil chauffera (suffisamment longtemps) sur un même côté du mât, la dilatation du mât causera un mouvement similaire de fléchissement (par dilatation relative) à celui créé par le vent.

Ces mouvements causeront une courbure du mât, qui modifiera la forme de la directivité du mât (SER vs angle de vue).

On peut toutefois penser que le premier phénomène a plus de probabilité d'occurrence que le second, compte tenu des conditions météorologiques dans cette zone.

3.3.2.4 La nacelle

La nacelle est de taille assez importante. Dans notre modèle, la nacelle est représentée comme une boîte rectangulaire simple avec les côtés verticaux.

Le revêtement externe de la nacelle est constitué principalement de fibre de verre qui n'est pas un bon réflecteur des ondes électromagnétiques radar. Cependant la forme géométrique (parallélépipède rectangle droit) de la nacelle va toutefois permettre une réflexion de ces ondes.

3.3.2.5 Les pales

Les pales présentent une plus petite surface que le mât, la courbure de la surface des pales est plus complexe, ainsi les réflexions s'opèrent dans des directions diverses relativement à la pale.

Les pâles sont constituées en majorité de fibre de carbone et fibre de verre.

La rotation des pales provoque deux effets sur la SER : une modulation temporelle sur le signal de retour car les pales sont vues par le radar sous des angles variables, et une modulation ou "hachage" de la SER des objets se situant derrière les pales. Ce dernier effet est traité séparément ci-dessous.

Les variations des angles sous lesquels sont vues les pales par le radar font varier la SER de chacune des pales et, partant, de l'ensemble constitué par les trois pales; il peut arriver qu'un pic de valeur de la SER se forme pour une certaine combinaison d'angles. Alors on observe soudain un pic d'énergie réfléchie, désigné sous le nom d'un "blade flash". Ceci est provoqué par la surface incurvée de la pale, les courbures provoquent un retour caractéristique non-isotrope de l'énergie, avec des pics dans certaines directions dépendantes de l'axe des pales.

Selon l'étude « Preliminary Meteocean study for Saint-Brieuc offshore wind farm area » à l'annexe de référence [R7], le vent souffle à plus de 50% du temps dans le secteur Sud-Sud-Ouest et Ouest.

Pour cette étude nous considérerons que le vent vient du 270° par rapport au nord magnétique. Cette direction correspond à la direction moyenne du secteur dans laquelle souffle le vent mais aussi selon l'annexe A de l'étude « Preliminary Meteocean study for Saint-Brieuc offshore wind farm area » (référence [R7]) à la direction où le vent souffle le plus fort.

Pour l'estimation de la SER des éoliennes, nous nous concentrerons dans cette étude sur l'orientation du rotor à 270° (W) par rapport au nord magnétique.

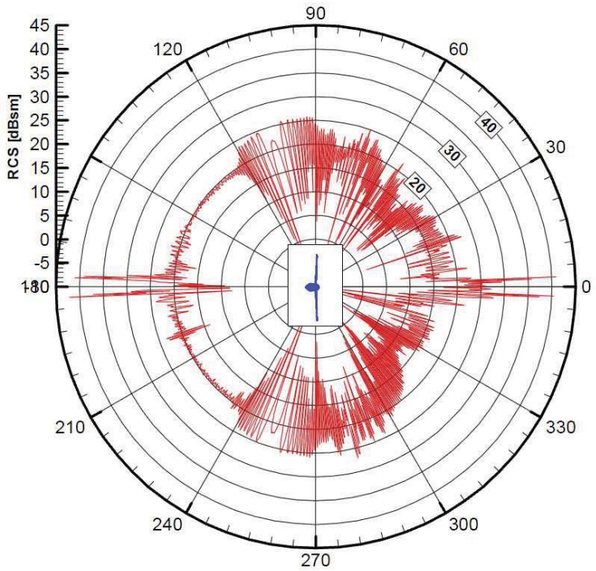


Figure 10 : Exemple de calcul de SER d'une éolienne en fonction de l'angle d'incidence du radar

La rotation des pales des éoliennes impacte fortement les systèmes radar possédant un traitement du signal « doppler ». Ce traitement « doppler » peut créer des pistes radar sur la rotation des pales des éoliennes. Les radars des sémaphores de Saint-Cast et de Saint-Quay ne possèdent pas de traitement « doppler ». On peut donc prévoir que ces deux radars ne seront pas voire très peu perturbés par la rotation des pâles des éoliennes.

Dans le programme de rénovation des radars sémaphoriques SPATIONAV v2, les radars de Saint-Quay et Saint-Cast ont été récemment remplacés par de nouveaux radars. Ces nouveaux radars ne possèdent pas de traitement « doppler ».

3.4 ESTIMATION DE LA SER DES EOLIENNES POUR UNE DIRECTION DE VENT PRIVILEGIEE

Le calcul exact de la SER d'une éolienne est très difficile à donner et pour être évalué avec précision, il nécessite une étude complète de l'ensemble des positions dans laquelle l'éolienne peut se trouver. Il faut considérer différentes positions de pales par rapport au mat de soutien et pour chacune de ces positions considérer ensuite l'angle d'attaque que possède la pale (inclinaison de la pale ou « pitch » en anglais).

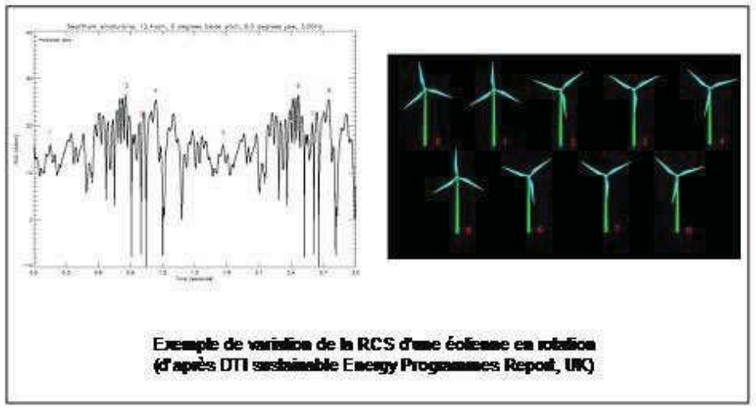


Figure 11 : Exemple de variation de la SER/RCS d'une éolienne en fonction de l'orientation des pales

La Figure 11 apporte les enseignements suivants :

- on perçoit mieux la complexité de la modélisation d'un tel objet,
- on visualise l'impact des phénomènes de réflexions multiples et d'opposition de phases des rayons réfléchis qui sont tels que, au voisinage du passage d'une pale au droit du mât de l'éolienne, il y a brusquement et successivement :
    - forte augmentation de la SER (+ 26 dB par rapport à une valeur moyenne d'environ 15 dB), immédiatement suivie par
    - forte diminution de cette SER (- 8 dB)

L'ensemble de ces données permettent d'estimer la SER d'une éolienne utilisée sur le parc éolien de Saint Brieuc entre 10 000 m² et 90 000 m². Les 90 000 m² de SER intègrent la SER d'une fondation la plus grande possible afin d'étudier l'impact maximum. Quel que soit le type de fondation choisi pour la suite du projet, cela n'aura donc pas de conséquence sur les résultats de cette étude.

3.5 SER DE PLUSIEURS ÉOLIENNES

Les éoliennes sont espacées d'une distance considérable (du point de vue de la longueur d'onde des radars bande X), aussi l'effet cumulatif sera une addition aléatoire des échos de chaque éolienne.

Les signaux réfléchis se combineront dans l'antenne radar mais du fait que les phases et les amplitudes de ces signaux seront très variables, l'addition aléatoire des impulsions variera

entre une addition complète, une annulation complète et toutes les valeurs comprises dans cet intervalle.

En conclusion, il est très difficile voire impossible de simuler cette combinaison des signaux réfléchis et par suite de simuler la SER globale du champ d'éoliennes. On ne prendra pas en compte à ce stade les effets cumulatifs.

4 TYPES ET LISTE DES RADARS DE SURVEILLANCE MARITIME A TERRE SUR SITE

4.1 INVENTAIRE DE L'ENSEMBLE DES RADARS DE SURVEILLANCE MARITIME A TERRE SUSCEPTIBLES D'ETRE PERTURBES

La liste de l'ensemble des radars à terre, à la connaissance de SIGNALIS, susceptibles d'être perturbés par le futur parc éolien est donnée par le tableau ci-dessous.

Radars	Opérateurs	Position (WGS84)		Hauteur de l'antenne	Bande de Fréquence	Puissance de l'émetteur	Distance du parc éolien	
		Latitude	Longitude					
Sémaphore de Bréhat	Marine Nationale	48° 51,38' N	3° 0,18' O	23 m	Bande X	25 KW	30 km	16,2 NM
Sémaphore de Saint-Quay	Marine Nationale	48° 39,46' N	2° 49,62' O	53,5 m	Bande X	25 KW	25,6 km	13,8 NM
Sémaphore de Saint-Cast	Marine Nationale	48° 39,08' N	2° 15,29' O	55 m	Bande X	25 KW	24,5 km	13,2 NM
Sémaphore du Roc Granville	Marine Nationale	48° 50,10' N	1° 36,8' O	40,15 m	Bande X	25 KW	61,5 km	33,2 NM
Corbière	Port de Jersey	49° 10' 48,00" N	2° 15' 3,00" O	23 m	Bande X	25 KW	37,3 km	20,1 NM
La Colette	Port de Jersey	49° 10' 22,87" N	2° 7' 2,42" O	8 m	Bande X	25 KW	43,2 km	23,3 NM
CROSS Jobourg	CROSS	49° 41,04' N	1° 54,45' O	205 m	Bande X	25 KW	100 km	54,0 NM

Tableau 2 : Liste des radars de surveillance maritime à terre susceptibles d'être perturbés par la centrale éolienne

L'ensemble des sémaphores et la côte française et les CROSS sont actuellement reliés au système national de contrôle des approches côtières (système SPATIONAV).

Les sémaphores et CROSS listés dans le Tableau 2 transmettent leurs données radar à un centre de control régional, le COM Brest, et génèrent aussi une image du trafic maritime local. Ainsi chaque opérateur de sémaphore ou CROSS possède 2 écrans de contrôle :

- 1 pour une situation maritime opérationnelle locale, comprenant la vidéo brute du radar local ainsi que les pistes générées localement,
- 1 pour une situation maritime opérationnelle à l'échelle de la façade maritime (ici Manche/Atlantique), comprenant des pistes provenant de la fusion des données de l'ensemble des radars et AIS connectés au système SPATIONAV.

Projets et évolutions futures des systèmes radar listés dans le Tableau 2 :

Dans le cadre du projet SPATIONAV V2 concernant la rénovation des équipements radar, les radars des sémaphores de Bréhat, Saint-Quay, Saint-Cast et du Roc Granville seront remplacés par des modèles radars équivalents (caractéristiques générales équivalentes) mais plus modernes. Ces évolutions ne nécessiteront pas de mise à jour de cette étude.

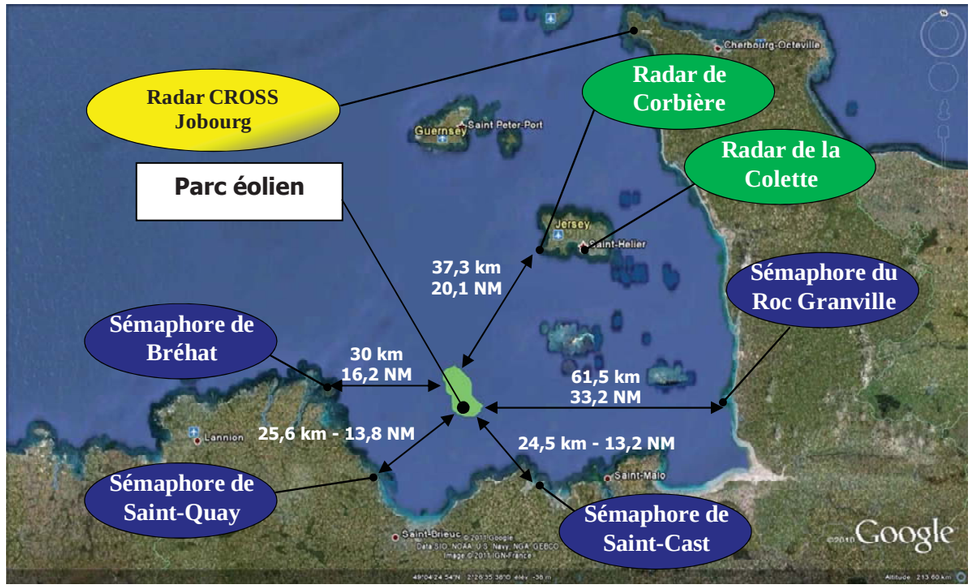


Figure 12 : Position des radars de surveillance du trafic maritime à terre susceptibles d'être perturbés par le parc éolien

4.2 LISTE DES CENTRES DE SURVEILLANCE MARITIME ET STM EXISTANTS

Cette liste des centres de surveillance maritime et STM (Service de Trafic Maritime) reliés aux radars fixes susceptibles d'être perturbés par la centrale éolienne est donnée par le tableau ci-dessous :

Centre de Surveillance Maritimes et STM	Adresse	Web	Téléphone
CROSS Jobourg	Route d'Auderville 50 440 JOBOURG	http://www.mer.equipement.gouv.f/	+33 (0) 2 3352-7823
Sémaphore de Bréhat	22570 ILE DE BRÉHAT	http://www.defense.gouv.fr/marine	+33 (0) 2 9620-0012
Sémaphore de Saint-Quay	1 rue du président Le Senecal 22 410 SAINT-QUAY-PORTRIEUX	http://www.defense.gouv.fr/marine	+33 (0) 2 9670-4218
Sémaphore de Saint-Cast	Rue du sémaphore 22 380 SAINT-CAST-LE-GUILDO	http://www.defense.gouv.fr/marine	+33 (0) 2 9641-8530
Sémaphore du Roc Granville	Pointe du Roc 50 400 GRANVILLE	http://www.defense.gouv.fr/marine	+33 (0) 2 3350-0585
Port de Jersey	Jersey Harbours Marine House La route du Port Elizabeth Saint Helier JERSEY JE1 1HB	http://www.portofjersey.je	+44 (0) 1534 447788

Tableau 3 : Liste des Centres de Surveillance Maritime et STM reliés aux radars à terre

4.3 ANALYSE DE LA COUVERTURE RADAR

4.3.1 Calcul de la distance d'inter visibilité radar entre les radars et les éoliennes

Les effets perturbateurs obtenus sur des éoliennes seront répétés autant de fois que le faisceau radar interceptera les éoliennes lors de sa rotation et de son exploration en distance.

La distance d'inter visibilité entre le radar et l'éolienne est une distance purement géométrique qui est représentée sur la Figure 10. La distance maximale entre le radar et la surface de l'eau représente l'horizon radar.

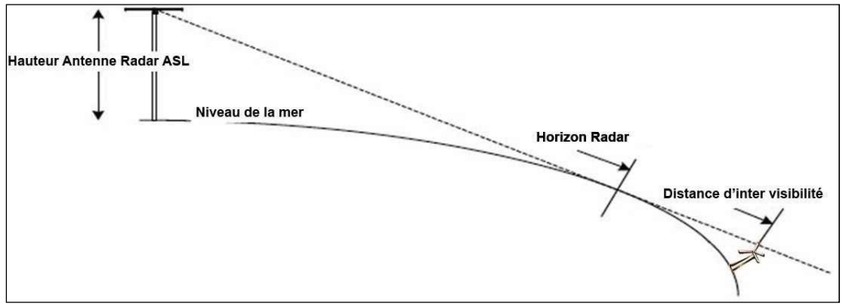


Figure 13 : Distance d'inter visibilité entre le radar et l'éolienne

La formule utilisée pour le calcul de la distance d'inter visibilité est la suivante :

$$\textit{Distance d' inter visibilité [nm]} = 2{,}2\left(\sqrt{\text{Hauteur Antenne Radar}} + \sqrt{\text{Hauteur éolienne}}\right)$$

Equation 2 : Formule de la distance d'inter visibilité Radar - Eolienne

Le coefficient 2,2 prend en compte à la fois les effets moyens de réfraction pour les ondes électromagnétiques ainsi que le coefficient de rotondité de la terre en France.

Ainsi nous obtenons pour chaque radar le tableau suivant :

Radars	Hauteur Antenne	Horizon Radar	Distance d'inter visibilité entre le radar et le haut de la pale de l'éolienne à 173m (ASL)
Radar Sémaphore de Bréhat	23 m	10,5 NM	**39,4 NM**
Radar Sémaphore de Saint-Quay	53,5 m	16,0 NM	**45,0 NM**
Radar Sémaphore de Saint-Cast	55 m	16,3 NM	**45,2 NM**
Radar Sémaphore de Granville	40,15 m	13,9 NM	**42,8 NM**
Radar de Corbière	23 m	10,5 NM	**39,4 NM**
Radar de la Colette	8 m	6,2 NM	**35,1 NM**
Radar du CROSS Jobourg	205 m	31,5 NM	**60,4 NM**

Tableau 4 : Synthèse des distances d'inter visibilité entre les radars et le haut de la pale de l'éolienne à 173m (ASL)

Ce calcul de la distance d'inter visibilité théorique et purement géométrique entre un radar et une éolienne ne prend en compte aucune atténuation liée au milieu de propagation des ondes électromagnétiques comme l'air, le retour de mer, la pluie, etc...

Dans le paragraphe suivant nous allons calculer les portées radar en utilisant des modèles de calcul plus réalistes.

4.3.2 Calcul des portées radar

Les performances des portées radar sont calculées à partir de l'outil de simulation CARPET (Computer-Aided Radar Performance Evaluation Tool), outil le plus couramment utilisé pour ce type de calcul. Il permet, à partir des paramètres représentatifs du radar, de son environnement (hauteur de l'antenne mais aussi conditions météorologiques), de la cible (Surface Equivalente Radar (SER) et hauteur), de déterminer les probabilités de détection du radar et donc de déduire des performances de couverture pour plusieurs configurations et hypothèses opérationnelles.

Ainsi, sur une figure de simulation CARPET, pour une hauteur de cible donnée (ordonnée), on vient déterminer, en fonction de la couleur représentant cette détection (du rouge foncé pour une excellente probabilité, au bleu pour une très faible probabilité), la distance de détection prévue de la cible (abscisse).

Il faut cependant savoir que dans une simulation de type CARPET, il est nécessaire de configurer plus de 90 paramètres différents, certains ayant une grande importance et donc un fort impact sur le résultat de la simulation (en absolu : hauteur de l'antenne radar par rapport au niveau 0, ou en relatif : état de la mer versus SER de la cible).

Dans le cadre de cette étude, 3 types de calculs de portées radar seront effectués selon les hypothèses suivantes :

1. 1^{ier} type de calcul de portée :

Pour chaque radar, il sera calculé la portée radar, par mer calme, sans pluie, pour une cible équivalente à une éolienne (173m de hauteur et une SER de 90 000m²).

2. 2nd type de calcul de portée :

Pour les radars qui ont peu de chances d'être concernés par l'installation du parc éolien, il sera calculé la portée radar, par mer calme, sans pluie, pour une cible avec une très forte SER de 10 000 m².

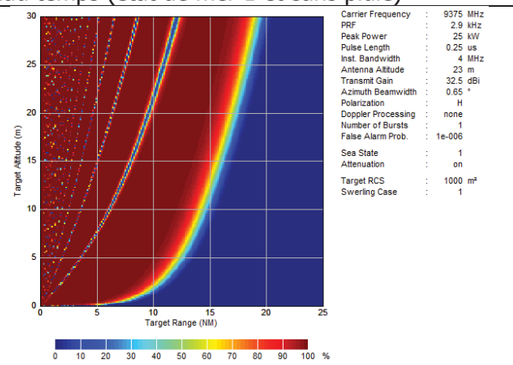
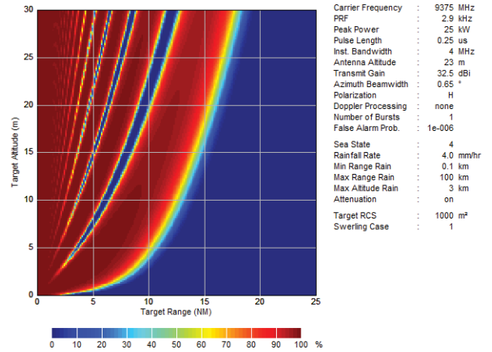
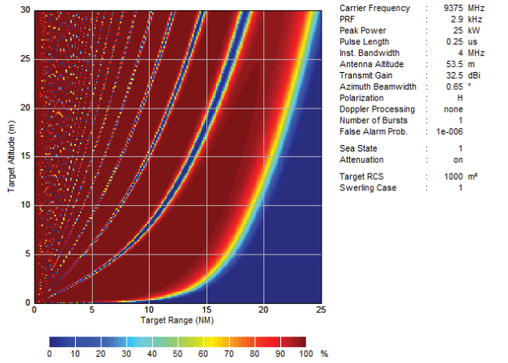
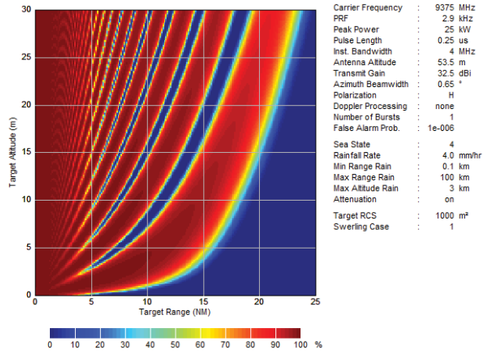
3. 3ième type de calcul de portée :

Pour les radars impactés par les grosses cibles, nous rechercherons aussi s'ils le sont pour de plus petites cibles (1 000 m² de SER, 10 m de hauteur) et alors de manière illustrative nous étudierons leur couverture pour de petites cibles avec un fort état de mer.

Le tableau ci-dessous donne un certain nombre d'exemples de simulations de performances, pour chacun des radars.

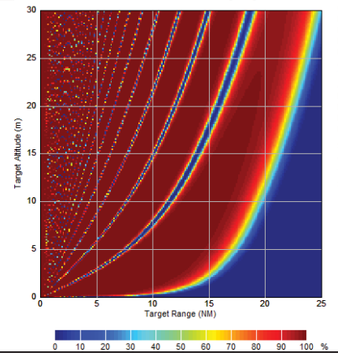
Ces exemples sont calculés :

- par mer calme (Etat de la mer 1) cf. ANNEXE 2
- par mer forte et pluie (Etat de la mer 4 et 4 mm par heure de pluie) cf. ANNEXE 2
- pour une cible de SER égale à 1 000 m², cf. ANNEXE 1

Le radar du sémaphore de Bréhat	
Beau temps (état de mer 1 et sans pluie)	Mauvais temps (état de mer 4 avec 4 mm/h de pluie)
	
Le radar du sémaphore de Saint-Quay	
Beau temps (état de mer 1 et sans pluie)	Mauvais temps (état de mer 4 avec 4 mm/h de pluie)
	

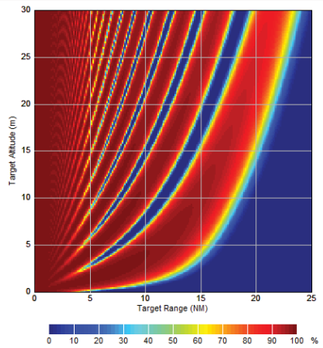
Le radar du sémaphore de Saint-Cast

Beau temps (état de mer 1 et sans pluie)



Carrier Frequency	:	9375 MHz
PRF	:	2.9 kHz
Peak Power	:	25 kW
Pulse Length	:	0.25 us
Inst. Bandwidth	:	4 MHz
Antenna Altitude	:	55 m
Transmit Gain	:	32.5 dBi
Azimuth Beamwidth	:	0.65 °
Polarization	:	H
Doppler Processing	:	none
Number of Bursts	:	1
False Alarm Prob.	:	1e-006
Sea State	:	1
Attenuation	:	on
Target RCS	:	1000 m²
Swerling Case	:	1

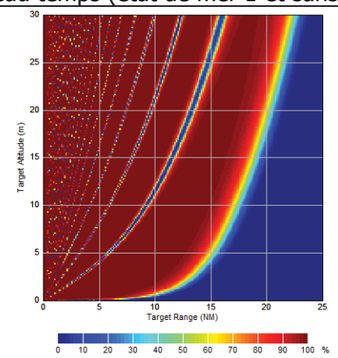
Mauvais temps (état de mer 4 avec 4 mm/h de pluie)



Carrier Frequency	:	9375 MHz
PRF	:	2.9 kHz
Peak Power	:	25 kW
Pulse Length	:	0.25 us
Inst. Bandwidth	:	4 MHz
Antenna Altitude	:	55 m
Transmit Gain	:	32.5 dBi
Azimuth Beamwidth	:	0.65 °
Polarization	:	H
Doppler Processing	:	none
Number of Bursts	:	1
False Alarm Prob.	:	1e-006
Sea State	:	4
Rainfall Rate	:	4.0 mm/hr
Min Range Rain	:	0.1 km
Max Range Rain	:	100 km
Max Altitude Rain	:	3 km
Attenuation	:	on
Target RCS	:	1000 m²
Swerling Case	:	1

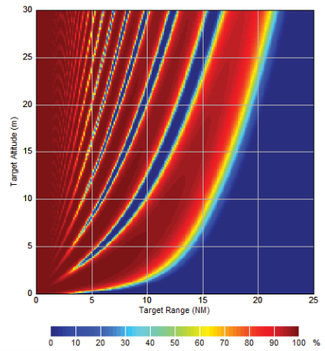
Le radar du sémaphore du Roc Granville

Beau temps (état de mer 1 et sans pluie)



Carrier Frequency	:	9375 MHz
PRF	:	2.9 kHz
Peak Power	:	25 kW
Pulse Length	:	0.25 us
Inst. Bandwidth	:	4 MHz
Antenna Altitude	:	40.1 m
Transmit Gain	:	32.5 dBi
Azimuth Beamwidth	:	0.65 °
Polarization	:	H
Doppler Processing	:	none
Number of Bursts	:	1
False Alarm Prob.	:	1e-006
Sea State	:	1
Attenuation	:	on
Target RCS	:	1000 m²
Swerling Case	:	1

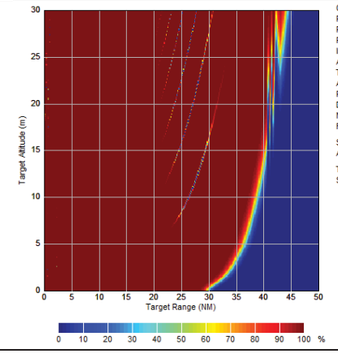
Mauvais temps (état de mer 4 avec 4 mm/h de pluie)



Carrier Frequency	:	9375 MHz
PRF	:	2.9 kHz
Peak Power	:	25 kW
Pulse Length	:	0.25 us
Inst. Bandwidth	:	4 MHz
Antenna Altitude	:	40.1 m
Transmit Gain	:	32.5 dBi
Azimuth Beamwidth	:	0.65 °
Polarization	:	H
Doppler Processing	:	none
Number of Bursts	:	1
False Alarm Prob.	:	1e-006
Sea State	:	4
Rainfall Rate	:	4.0 mm/hr
Min Range Rain	:	0.1 km
Max Range Rain	:	100 km
Max Altitude Rain	:	3 km
Attenuation	:	on
Target RCS	:	1000 m²
Swerling Case	:	1

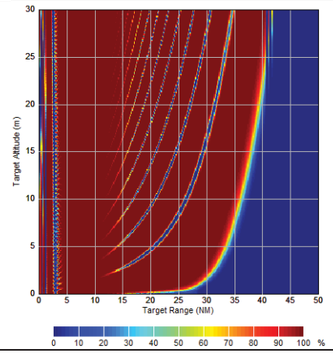
Le radar du CROSS Jobourg

Beau temps (état de mer 1 et sans pluie)



Carrier Frequency	:	9250 MHz
PRF	:	2 kHz
Peak Power	:	37.5 kW
Pulse Length	:	0.33 us
Inst. Bandwidth	:	3 MHz
Antenna Altitude	:	205 m
Transmit Gain	:	44.8 dBi
Azimuth Beamwidth	:	0.33 °
Polarization	:	H
Doppler Processing	:	none
Number of Bursts	:	2
False Alarm Prob.	:	1e-003
Sea State	:	1
Attenuation	:	on
Target RCS	:	10000 m²
Swerling Case	:	2

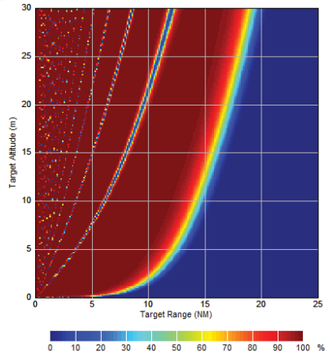
Mauvais temps (état de mer 4 avec 4 mm/h de pluie)



Carrier Frequency	:	9250 MHz
PRF	:	2 kHz
Peak Power	:	37.5 kW
Pulse Length	:	0.33 us
Inst. Bandwidth	:	3 MHz
Antenna Altitude	:	205 m
Transmit Gain	:	44.8 dBi
Azimuth Beamwidth	:	0.33 °
Polarization	:	H
Doppler Processing	:	none
Number of Bursts	:	2
False Alarm Prob.	:	1e-003
Sea State	:	4
Rainfall Rate	:	4.0 mm/hr
Min Range Rain	:	0 km
Max Range Rain	:	100 km
Max Altitude Rain	:	3 km
Attenuation	:	on
Target RCS	:	10000 m²
Swerling Case	:	2

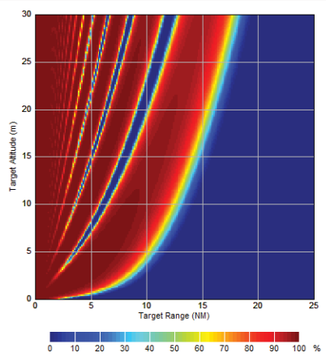
Le radar de Corbière

Beau temps (état de mer 1 et sans pluie)



Carrier Frequency	:	9375 MHz
PRF	:	2.9 kHz
Peak Power	:	25 kW
Pulse Length	:	0.25 us
Inst. Bandwidth	:	4 MHz
Antenna Altitude	:	23 m
Transmit Gain	:	32.5 dBi
Azimuth Beamwidth	:	0.65 °
Polarization	:	H
Doppler Processing	:	none
Number of Bursts	:	1
False Alarm Prob.	:	1e-006
Sea State	:	1
Attenuation	:	on
Target RCS	:	1000 m²
Swerling Case	:	1

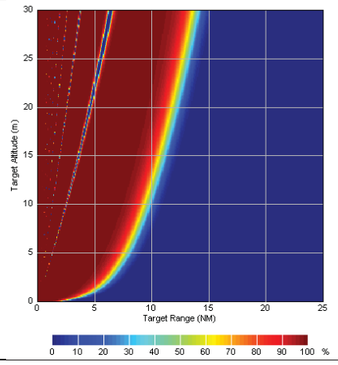
Mauvais temps (état de mer 4 avec 4 mm/h de pluie)



Carrier Frequency	:	9375 MHz
PRF	:	2.9 kHz
Peak Power	:	25 kW
Pulse Length	:	0.25 us
Inst. Bandwidth	:	4 MHz
Antenna Altitude	:	23 m
Transmit Gain	:	32.5 dBi
Azimuth Beamwidth	:	0.65 °
Polarization	:	H
Doppler Processing	:	none
Number of Bursts	:	1
False Alarm Prob.	:	1e-006
Sea State	:	4
Rainfall Rate	:	4.0 mm/hr
Min Range Rain	:	0.1 km
Max Range Rain	:	100 km
Max Altitude Rain	:	3 km
Attenuation	:	on
Target RCS	:	1000 m²
Swerling Case	:	1

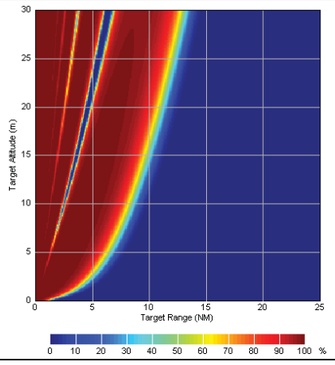
Le radar de la Colette

Beau temps (état de mer 1 et sans pluie)



Carrier Frequency	:	9410 MHz
PRF	:	1.8 kHz
Peak Power	:	25 kW
Pulse Length	:	0.25 us
Inst. Bandwidth	:	20 MHz
Antenna Altitude	:	8 m
Antenna Gain	:	31.0 dBi
Azimuth Beamwidth	:	1.00 °
Polarization	:	H
Doppler Processing	:	none
Number of Bursts	:	1
False Alarm Prob.	:	1e-004
Sea State	:	1
Wind Speed	:	3.2 m/s
Attenuation	:	on
Cosmic Noise	:	on
Target RCS	:	1000 m²
Swerling Case	:	1

Mauvais temps (état de mer 4 avec 4 mm/h de pluie)



Carrier Frequency	:	9410 MHz
PRF	:	1.8 kHz
Peak Power	:	25 kW
Pulse Length	:	0.25 us
Inst. Bandwidth	:	20 MHz
Antenna Altitude	:	8 m
Antenna Gain	:	31.0 dBi
Azimuth Beamwidth	:	1.00 °
Polarization	:	H
Doppler Processing	:	none
Number of Bursts	:	1
False Alarm Prob.	:	1e-004
Sea State	:	4
Wind Speed	:	9.6 m/s
Rainfall Rate	:	4.0 mm/hr
Min Range Rain	:	0.0 km
Max Range Rain	:	1000 km
Max Altitude Rain	:	3 km
Attenuation	:	on
Cosmic Noise	:	on
Target RCS	:	1000 m²
Swerling Case	:	1

Tableau 5 : Exemple de calculs de performances de portée radar dans diverses conditions météos

4.3.3 Conclusion

L'ensemble de ces prévisions de portée radar peut être synthétisé par le tableau ci-dessous :

- Dans ce tableau les petites cibles comme de petits bateaux de pêches ont une SER de 10m² et une hauteur de 2m au-dessus de la mer.
- Les grosses cibles comme des caboteurs ont une SER de 1 000m² et une hauteur de 10m.
- Les éoliennes ont une SER de 90 000m² et une hauteur de 173m au plus haut de la pale.

Type de radar	Etat de Mer	Pluie [mm/h]	SER cible [m²]	Hauteur cible [m]	Portée Radar [NM]	
Radar sémaphore de Bréhat **Hauteur Antenne : 23 m**	1	0	10	2	**6,4**	**Beau temps**
	1	0	1 000	10	**13,2**	
	1	0	90 000	173	**37,7**	
	4	4	10	2	**0,1**	**Mauvais temps**
	4	4	1 000	10	**11,3**	
	4	4	90 000	173	**35,9**	
Radar sémaphore de Saint-Quay **Hauteur Antenne : 53,5 m**	1	0	10	2	**9,4**	**Beau temps**
	1	0	1 000	10	**18,0**	
	1	0	90 000	173	**42,4**	
	4	4	10	2	**0**	**Mauvais temps**
	4	4	1 000	10	**16,5**	
	4	4	90 000	173	**41,2**	
Radar sémaphore de Saint-Cast **Hauteur Antenne : 55 m**	1	0	10	2	**9,5**	**Beau temps**
	1	0	1 000	10	**18,2**	
	1	0	90 000	173	**42,9**	
	4	4	10	2	**0**	**Mauvais temps**
	4	4	1 000	10	**16,6**	
	4	4	90 000	173	**41,7**	
Radar sémaphore de Granville **Hauteur Antenne : 40,15 m**	1	0	10	2	**8,3**	**Beau temps**
	1	0	1 000	10	**16,1**	
	1	0	90 000	173	**40,3**	
	4	4	10	2	**0**	**Mauvais temps**
	4	4	1 000	10	**14,5**	
	4	4	90 000	173	**39,2**	
Radar du CROSS Jobourg **Hauteur Antenne : 205 m**	1	0	10	2	**27,6**	**Beau temps**
	1	0	10 000	25	**40,0**	
	1	0	90 000	173	**58,7**	
	4	4	10	2	**14,0**	**Mauvais temps**
	4	4	10 000	25	**40,0**	
	4	4	90 000	173	**55,8**	

Radar de Corbière **Hauteur Antenne : 23 m**	1	0	10	2	**6,2**	**Beau temps**
	1	0	1 000	10	**12,8**	
	1	0	90 000	173	**37,0**	
	4	4	10	2	**0,1**	**Mauvais temps**
	4	4	1 000	10	**10,8**	
	4	4	90 000	173	**35,1**	
Radar de la Colette **Hauteur Antenne : 8 m**	1	0	10	2	**3,9**	**Beau temps**
	1	0	1 000	10	**9,6**	
	1	0	90 000	173	**32,7**	
	4	4	10	2	**2,3**	**Mauvais temps**
	4	4	1 000	10	**7,9**	
	4	4	90 000	173	**30,5**	

Tableau 6 : Synthèse des portées des radars

4.3.4 Zones de couverture des radars fixes

En reprenant les valeurs de portées radar du Tableau 6, il est possible de tracer les couvertures radar associées :

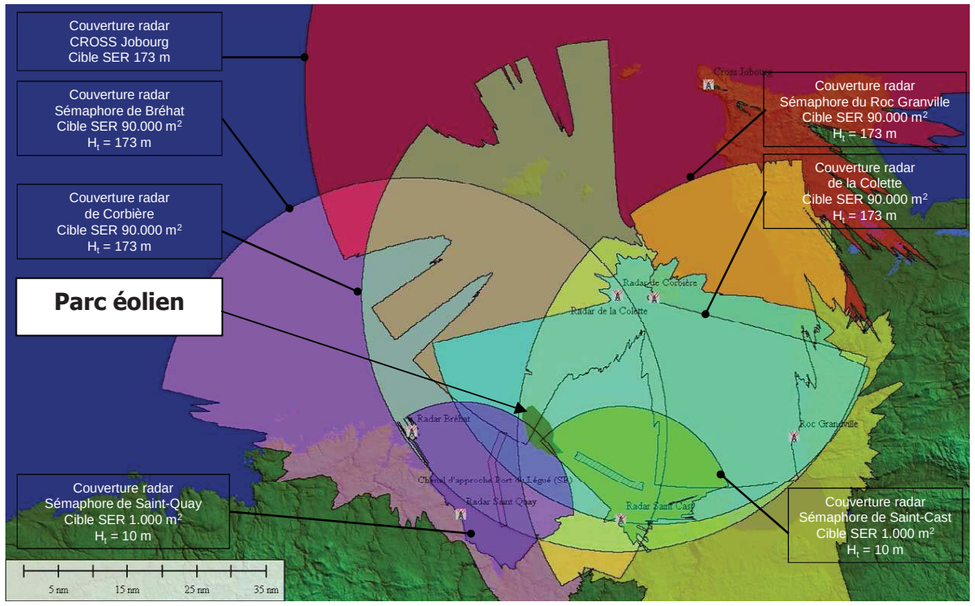


Figure 14 : Zone de couverture des radars de surveillance maritime à terre pour des cibles de type éolienne (SER = 90 000 m², 173m de hauteur)

Sur cette figure on remarque que chaque radar sera en mesure de détecter les éoliennes du futur parc éolien par beau temps. La détection des éoliennes par les radars n'est pas un effet perturbateur puisque le rôle des radars maritimes est bien de détecter et de localiser les cibles placées en mer, fixes ou mobiles. Seuls les effets secondaires à cette détection seront considérés comme des effets perturbateurs.

Pour les radars du CROSS Jobourg et du sémaphore du Roc Grandville, on remarque que le parc éolien se trouve en limite de portée. Ces radars n'auront donc que très peu, voir aucun effet secondaire généré par la présence des éoliennes. De plus, à cette distance (100 km pour le radar du CROSS Jobourg et 65 km pour le radar du sémaphore du Roc Granville), ces radars ne peuvent pas détecter de plus petites cibles comme le montre la Figure 15.

Pour les radars des sémaphores de Bréhat, Saint-Quay, Saint-Cast et les radars de Corbière et de la Colette, beaucoup plus proches du parc éolien, il est nécessaire de poursuivre cette analyse de couverture radar avec des cibles plus petites afin de déterminer si les éoliennes créeront des zones d'ombres.

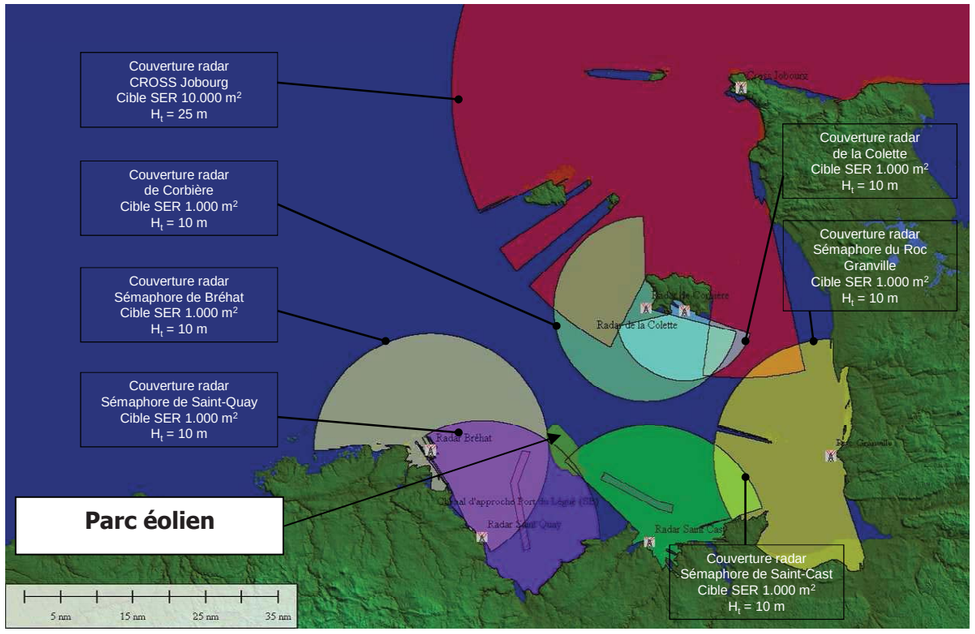


Figure 15 : Zone de couverture des radars de surveillance maritime à terre pour de petites cibles (SER = 1 000 m², 10m de hauteur)

Comme le montre la Figure 15, les radars de surveillance du trafic maritime à terre qui finalement ne seront pas perturbés par le parc éolien sont :

- **Le radar du sémaphore de Bréhat,**
- **Le radar du sémaphore du Roc Granville,**
- **Le radar du CROSS Jobourg,**
- **Le radar de Corbière,**
- **Le radar de la Colette.**

L'impact du parc éolien en mer sur ces radars est nul.
Ces radars pourront détecter les éoliennes mais ils sont placés trop loin des éoliennes pour détecter et suivre de plus petites cibles qui navigueraient derrière ou dans le parc éolien.

Comme l'indique la Figure 15, les radars de surveillance maritime à terre qui seront certainement perturbés à divers degrés par le parc éolien en mer sont :

- **Le radar du sémaphore de Saint-Quay,**
- **Le radar du sémaphore de Saint-Cast.**

L'impact du parc éolien sur ces deux radars est détaillé dans la suite de cette étude.

4.3.5 Détails et caractéristiques des radars de Saint-Cast et de Saint-Quay

Les sémaphores de Saint-Cast et Saint-Quay sont équipés du même système radar. Ce système radar est constitué d'un émetteur-récepteur RACAL DECCA, modèle BRIDGEMASTER :

- Puissance d'émission : 25 kW.
- Fréquence d'émission : bande-X, 9 410 MHz.
- 3 durées d'impulsion avec les fréquences de récurrence (PRF) suivantes :
  - 50 ns, PRF=1 800 Hz
  - 250 ns, PRF=1 800 Hz
  - 750 ns, PRF=785 Hz

L'émetteur récepteur radar est couplé à une antenne radar à fentes SPERRY MARINE de 8 pieds, bande-X :

- l'ouverture horizontale du faisceau est de 1,0° à -3dB,
- le gain est de 31 dB,
- la polarisation est horizontale,
- son envergure est de 2,40m,
- la vitesse de rotation de l'antenne est de 28 tours/min,
- la recopie de la rotation d'antenne est faite pour le déport par un codeur incrémental fournissant un top nord, et 4 096 incréments par tour d'antenne.

Antenne radar du sémaphore de Saint-Cast	Antenne radar du sémaphore de Saint-Quay

Figure 16 : Antennes radar des sémaphores de Saint-Cast et Saint-Quay

Ces deux radars sont aujourd'hui connectés au système SPATIONAV de la Marine Nationale.

5 IMPACT DU PARC EOLIEN DE SAINT-BRIEUC SUR LES RADARS DES SEMAPHORES DE SAINT-CAST ET DE SAINT-QUAY

5.1 INTRODUCTION

Il y a deux effets de base qui doivent être considérés dans l'évaluation des impacts du futur parc éolien en mer sur les radars de Saint-Cast et de Saint-Quay :

- La réduction des performances de détection,
- La génération de fausses alarmes.

La définition de fausse alarme est complexe, dans la mesure où elle dépend du type d'application du radar. Dans le cas de figure des radars de Saint-Cast et de Saint-Quay, les fausses alarmes peuvent provenir principalement du bruit du signal de réception, de la détection du « clutter » de pluie ou de mer, du mouvement des bateaux, etc. Chaque source de fausses alarmes sera étudiée et si possible quantifiée.

L'étude d'impact a permis de déterminer 3 principaux effets sur les radars :

1- **Effet de « désensibilisation » du signal radar,** la forte quantité d'énergie réfléchie par les éoliennes va engendrer au niveau du traitement du signal sur le récepteur radar, une limitation de l'amplitude du signal. Cette limitation va générer une distorsion du signal et une réduction de la sensibilité du radar. Cet effet peut-être pénalisant pour assurer la détection des petites cibles aux abords des éoliennes.

2- **Effet d'ombre**, les futures éoliennes de par leurs superstructures génèrent des zones d'ombres radar qui seront évaluées et dimensionnées ici.

3- **Effet de réflexion - faux échos radar**, est l'effet le plus difficile à prévoir et évaluer. Toutefois il est possible de faire quelques prédictions sur les zones où peuvent apparaitre de faux échos.

5.2 EFFET DE « DÉSENSIBILISATION » DU RADAR

La présence future du parc éolien dans la Baie de Saint Brieuc va engendrer une forte réflexion du signal radar. Ce phénomène est aussi lié au fait que chaque éolienne du parc est constituée de structures fortement réfléchissantes telles que le mât en acier.

Les radars de Saint-Quay et Saint-Cast possèdent la fonctionnalité d'ajuster automatiquement les paramètres suivants :

- Sensitivity Time Controlled (STC)
- Offset Time Controlled (OTC)

Ces paramètres permettent de réduire la puissance du signal analogique radar reçu et ainsi limiter les phénomènes de saturation. Le problème est qu'en limitant l'amplitude du signal radar, il y a des risques de réduire la probabilité de détection et la capacité de discrimination.

De plus chaque radar est connecté à un boitier d'acquisition radar (Coffret de Numérisation - CN) qui à son tour possède des seuils de débit d'acquisition et de débit de diffusion de la vidéo brute radar. Ces paramètres permettent de limiter la quantité d'information radar sur le réseau en fonction de la bande passante disponible.

La présence du parc éolien va générer un signal radar important du fait des fortes réflexions qui apparaîtront sur la vidéo brute radar. Ainsi ces réflexions vont accroitre la quantité d'information sur la vidéo brute dépassant potentiellement les seuils de débit d'acquisition et de débit de diffusion. Si la vidéo brute radar est trop importante, le boitier d'acquisition des données radar va donc automatiquement filtrer cette information causant potentiellement une perte du suivi des petites cibles.

Conclusion sur l'effet de « désensibilisation » du radar :

La forte réflexion du signal radar engendrée par le futur parc éolien en mer dans la Baie de Saint-Brieuc va opérer un effet de « désensibilisation » sur le traitement du signal radar au voisinage de chaque éolienne. Ce phénomène est provoqué par les systèmes de filtrage du signal radar qui veillent à ce que chaque radar ne soit jamais trop ébloui par de forts échos.
Cet effet aura donc pour conséquence une détérioration de la détection des petites cibles aux abords de chaque éolienne (moins de 300m).

Cet effet de « désensibilisation » du signal du radar :

- **n'impactera pas la détection des gros bateaux,**
- **pourrait impacter la détection des petits bateaux. Toutefois les petits bateaux ne seront pas détectés par les radars de Saint-Quay et de Saint-Cast au voisinage du parc éolien, du fait d'une trop grande distance entre le parc éolien et chacun des 2 radars.**

On peut donc conclure que cet effet de « désensibilisation » du radar aura très peu d'impact sur les radars des sémaphores de Saint-Quay et de Saint-Cast.

5.3 EFFET D'OMBRE

L'analyse du masquage généré par les éoliennes sur la couverture radar est réalisée en considérant successivement le masquage créé par un mât d'éolienne, puis par une pale et enfin le masquage global.

La présence d'une éolienne créera deux zones de masquage de la couverture radar :

1. une zone de masquage constante, de forte atténuation (20 dB et plus), créée par le mât de l'éolienne qui s'étendra sur plusieurs kilomètres derrière l'éolienne et sur un angle vu du radar de l'ordre de quelques centièmes de degré de large,
2. une zone de masquage à éclipse, provenant des pâles de l'éolienne, s'étendant sur plusieurs kilomètre en distance derrière l'éolienne sur un angle vu du radar de l'ordre de quelques degrés de large. Ce deuxième masquage est beaucoup moins intense (de l'ordre de 0,34 dB) mais plus large angulairement (de l'ordre de quelques dixièmes de degré).

Dans ces deux cas, la distance sur laquelle ces pertes de détection auront lieu est fonction de la distance éolienne/radar et de la valeur de la SER du navire à détecter. Le Tableau 6 des portées radar montre aussi que les portées sont directement liées aux conditions météorologiques. Afin d'étudier au mieux l'effet d'ombre que pourrait générer la centrale éolienne, cette étude va considérer les différentes conditions météorologiques que connait la Baie de Saint-Brieuc soit par beau temps sur de grandes cibles puis par mauvais temps sur de petites cibles.

5.3.1 Effet d'ombre par beau temps sur de grandes cibles

Le Tableau 6 donne les portées radar par beau temps. Nous allons nous baser sur ces valeurs pour évaluer l'effet d'ombre des éoliennes. Par beau temps l'état de mer est donné à 1 ce qui représente des vagues de 30 centimètres selon la table de Pierson Moskowitz en ANNEXE 2.

Selon l'étude « Preliminary Meteocean study for Saint-Brieuc offshore wind farm area » en référence [R7], la Baie de Saint-Brieuc connait des hauteurs de vague de 30 centimètres environ 30% du temps soit à peu près 120 jours sur une année complète.

Les figures du Tableau 7 et du Tableau 8 ci-dessous représentent les simulations de l'effet d'ombre provoqué par la centrale éolienne sur chaque radar perturbé par beau temps sur de grandes cibles. Cette simulation prend en compte l'orientation des pales des éoliennes liée à la direction du vent. En raison des phénomènes de diffraction, cette variation d'orientation n'a que peu d'influence sur la délimitation des zones d'ombres. Nous donnons par conséquent les résultats pour un vent venant de la direction 270°.

Le Tableau 7 et le Tableau 8 donnent aussi une évaluation en pourcentage de la perte de couverture radar engendrée par le parc éolien. Cette perte est mesurée par le rapport entre la zone perturbée sur la zone de surveillance actuelle du radar.

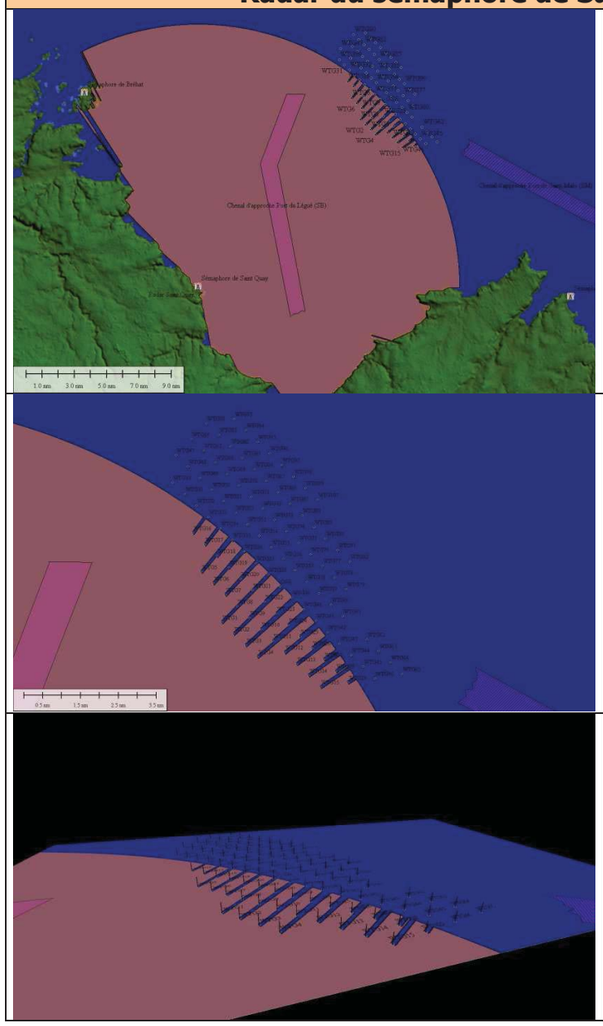
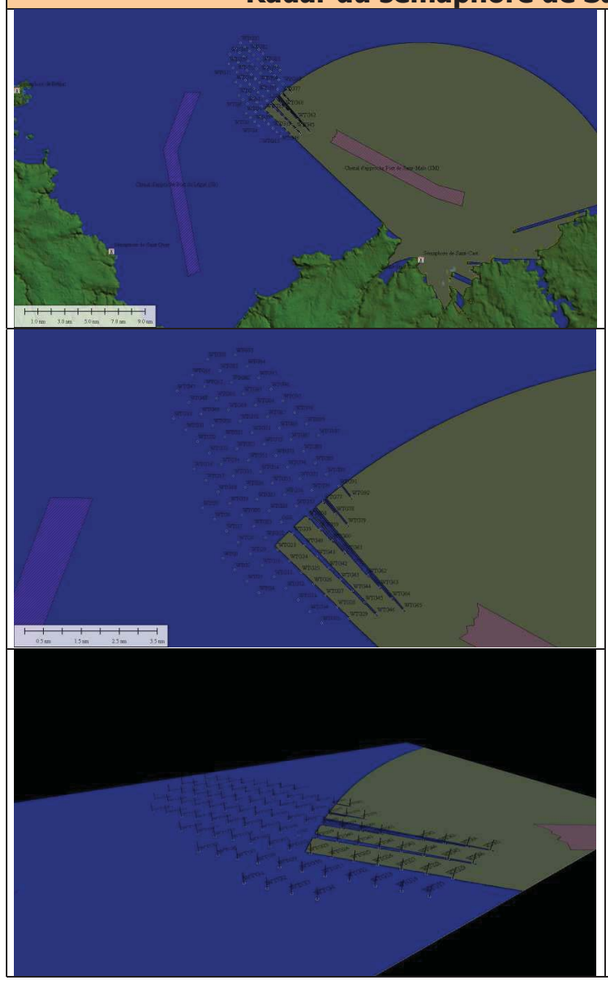
Radar du sémaphore de Saint-Quay	
	La zone de surveillance du radar du sémaphore de Saint-Quay est l'ensemble de la Baie de Saint-Brieuc. **La zone d'ombre générée par les éoliennes représente une perte de 3% sur la couverture initiale du radar du sémaphore de Saint-Quay. La couverture radar sur les chenaux d'approche au Port du Légué à Saint-Brieuc ne semble pas impactée.**

Tableau 7 : Simulation de l'effet d'ombre généré par la centrale éolienne sur la couverture du radar de Saint-Quay par beau temps sur de grandes cibles

Radar du sémaphore de Saint-Cast



La zone de surveillance du radar du sémaphore de Saint-Cast est l'ensemble de la Baie de Lancieux ainsi que le chenal d'approche du port de St Malo.

La zone d'ombre générée par les éoliennes représente une perte de 2% sur la couverture initiale du radar du sémaphore de Saint-Cast. La couverture radar sur le chenal d'approche au port de Saint-Malo ne semble pas impactée.

Tableau 8 : Simulation de l'effet d'ombre généré par la centrale éolienne sur la couverture du radar de Saint-Cast par beau temps sur de grandes cibles

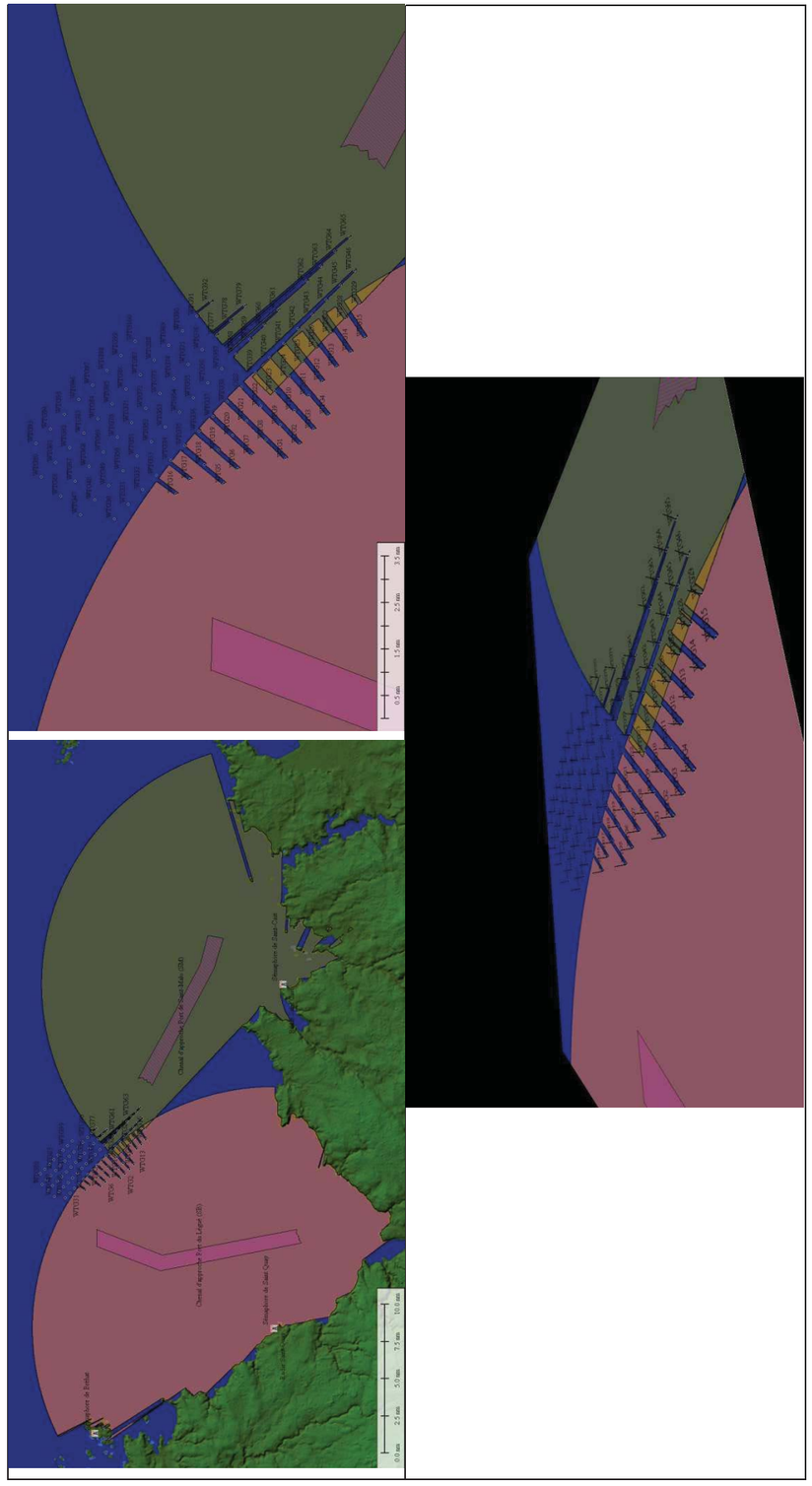


Figure 17 : Simulation de l'effet d'ombre généré par la centrale éolienne sur la couverture des deux radars de Saint-Quay et de Saint-Cast par beau temps sur de grandes cibles

5.3.2 Effet d'ombre par mauvais temps sur de petites cibles

Le Tableau 6 des portées radar montre que par mauvais temps les radars dans la Baie de Saint-Brieuc ne détectent pas les petites cibles. A la fois la pluie et le retour de mer (état de mer 4 selon la table de Pierson Moskowitz en ANNEXE 2) font que les radars n'ont pas la capacité de détecter de petits bateaux tels que de petits bateaux de pêche.

Selon l'étude « Preliminary Meteocean study for Saint-Brieuc offshore wind farm area » en référence [R7], la Baie de Saint-Brieuc connait un état de mer 4 environ 2% du temps soit à peu près 6 jours sur une année complète.

Dans ces conditions, la portée de chacun des radars n'atteint pas la centrale éolienne de ce fait l'effet d'ombre est inexistant.

5.3.3 Conclusion sur l'effet d'ombre

Cet effet d'ombre aura très peu d'impact sur la couverture des radars de Saint-Quay et de Saint-Cast parce que le parc éolien se situe hors de portée radar pour les petites bateaux et au 2/3 de la portée pour les plus gros bateaux.

Radars	Distances Radar/Parc Eolien	Portées Radar: Petites cibles / Grandes cibles
St-Cast	13,2 NM	9,5 NM / 18,2 NM
St-Quay	13,8 NM	9,4 NM / 18,0 NM

La forme de la zone d'ombre créée par chaque éolienne est très fine. Ainsi seuls les petits navires seraient masqués par une telle zone d'ombre mais ils sont hors de portée radar. Pour les gros bateaux (dont la longueur est supérieure à 30m), il n'y aura pas de perte de détection.

Selon l'étude « Preliminary Meteocean study for Saint-Brieuc offshore wind farm area » en référence [R7], la Baie de Saint-Brieuc connait un état de mer variant de 0 à 2 (soit 0 à 1 mètre de hauteur de vague) 85% du temps ce qui représente à peu près 315 jours sur une année complète.

Dans ces conditions météorologiques, la détection radar est très similaire au cas étudié par beau temps dans le paragraphe 5.3.1 ci-dessus.

Ainsi la zone d'ombre générée par les éoliennes représente une perte de 3% sur la couverture initiale du radar du sémaphore de Saint-Quay et de 2% sur la

couverture initiale du radar du sémaphore de Saint-Cast. La couverture radar sur les chenaux d'approche au Port du Légué à Saint-Brieuc et au Port de Saint-Malo ne semble pas être impactée.

Par mauvais temps, soit un état de mer 3 les performances de détection radar seront dégradées, limitant ainsi l'effet d'ombre uniquement que pour les grosses cibles telles que des caboteurs.

Par très mauvais temps, soit au-delà d'un état de mer 4, les radars de la Baie de Saint-Brieuc ne possèdent pas les performances nécessaires pour assurer la détection des petites cibles. Dans ce cas l'effet d'ombre est inexistant. Cette situation météorologique n'est présente unique que 2% du temps dans la Baie de Saint-Brieuc

5.4 EFFETS DE RÉFLEXION – FAUX ÉCHOS

Les matériaux utilisés pour les mâts des éoliennes sont de bons réflecteurs des ondes électromagnétiques radar (tel que l'acier), pour cette raison les éoliennes ont une très forte signature radar. Il est donc possible que les éoliennes génèrent des échos parasites (ou fausses cibles) selon deux principes :

1. Par les lobes secondaires de l'antenne du radar. Ces échos parasites, apparaissent à quelques degrés à droite et à gauche de l'éolienne et à la même distance que celle-ci.

2. Par multi-trajet. Les multi trajets proviennent du fait que l'énergie radar est réfléchie par le mât ainsi que par des objets se situant autour de l'éolienne. Ces multi-trajets vont générer des fausses cibles de bateaux lorsque ceux–ci passeront à proximité des éoliennes.

Prévoir avec précision les effets causés par de multi-trajets est très difficile du fait que l'on ne connait pas encore précisément la forme géométrique finale de l'ensemble des éléments qui constitueront les éoliennes. Une analyse détaillée de l'état du trafic dans la Baie de Saint-Brieuc et autour du futur parc éolien, permettra de comprendre et de définir un type de multi-trajet pouvant potentiellement former de faux échos.

5.4.1 Génération de faux échos par les lobes secondaires

Une antenne radar à fente comme celle utilisée aux sémaphores de Saint-Quay et de Saint-Cast possède un diagramme d'émission qui comprend un pic central représentant le lobe principal du radar, ainsi que des pics secondaires appelés lobes secondaires.

Le fait que les éoliennes possèdent une très forte signature radar, de faux échos peuvent apparaitre à quelques degrés à droite et à gauche de l'éolienne et à la même distance que celle-ci, selon le phénomène décrit sur la Figure 18.

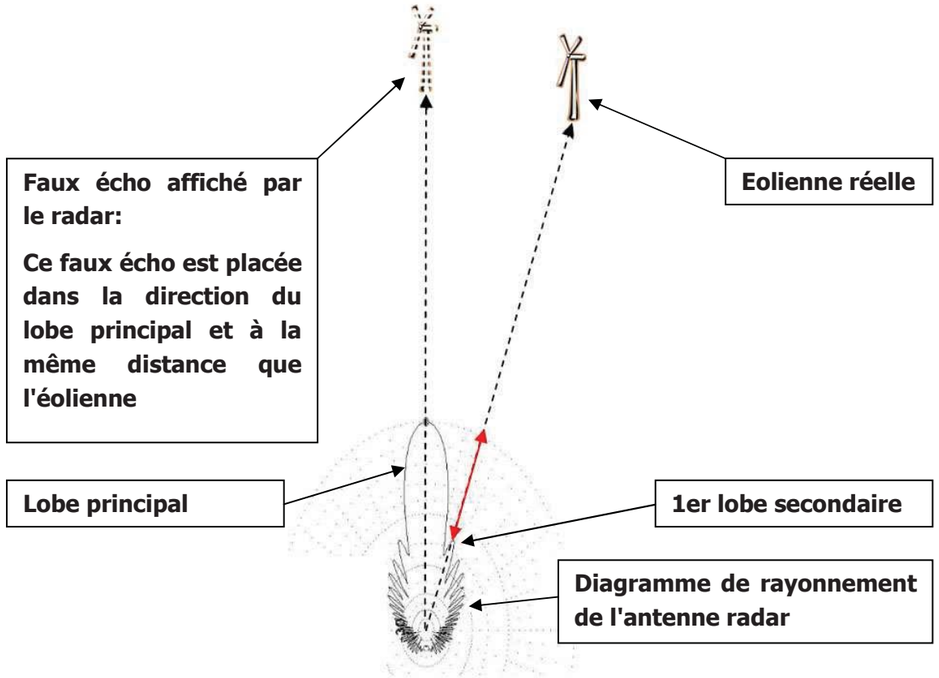


Figure 18 : Création de faux échos par émission/réception au travers des lobes secondaires de l'antenne radar

En extrapolant ce principe de faux échos au travers des lobes secondaires sur un tour complet de l'antenne radar, voici ce que pourrait représenter l'image radar résultante.

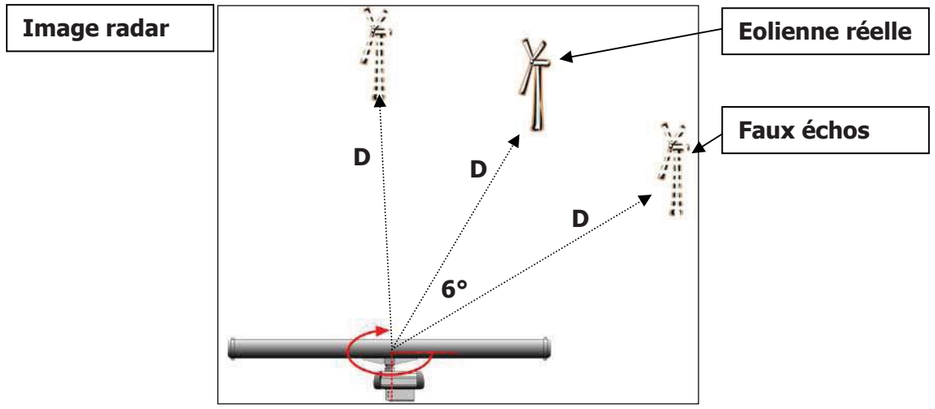


Figure 19 : Image radar avec de faux échos créés par les lobes secondaires de l'antenne radar

Par leur nombre, ces fausses cibles contribueront à brouiller l'analyse de l'opérateur sur la présence/absence de vraies cibles sur les côtés ou au sein du parc éolien.

Cependant, plus la distance entre les éoliennes et le radar est importante moins la génération de faux échos par les lobes secondaires sera probable dans la mesure où la puissance d'émission du lobe secondaire n'est pas assez forte pour atteindre les éoliennes qui sont à plus de 20 KM de distance dans le cas de figure des radars de Saint-Cast et de Saint-Quay.

Pour conclure, la génération de faux échos par les lobes secondaires pour les radars de Saint-Cast et de Saint-Quay est fort peu probable du fait de la distance (environ 25 KM) entre chacun des 2 radars et les éoliennes.

5.4.2 Génération de faux échos par multi-trajet

Cet effet sera créé par les éventuels multi-trajets avec réflexion sur les éoliennes pouvant générer dans certaines conditions :

1. un étalement temporel de la réponse de la cible entraînant donc une dégradation de la résolution distance des radars sur la cible utile,
2. des duplications des cibles existantes qui peuvent introduire des confusions entre cibles réelles et multi trajets.

La valeur relative de la puissance de tous les multi-trajets et trajets directs augmente lorsque :

- soit le bateau est proche de l'éolienne,
- soit l'éolienne est proche du radar.

La distance importante entre les radars et le parc éolien fait que cette étude se concentrera sur le cas de figure où "le bateau est proche de l'éolienne".

La génération de faux échos par multi-trajet sera d'abord analysée pour le radar du sémaphore de Saint-Quay puis la même analyse sera conduite sur le radar du sémaphore de Saint-Cast.

5.4.2.1 Radar du sémaphore de Saint-Quay

L'analyse du trafic maritime permet de définir où et comment peuvent se former de faux échos pour le radar de Saint-Quay. Ce type de formation de faux échos peut se définir comme la réflexion des ondes radar par un bateau en direction des éoliennes. Ce signal va se réfléchir sur une éolienne puis revenir sur le radar tout ceci dans un seul et même tour d'antenne. Le système radar va interpréter ce signal comme une cible étant positionnée derrière l'éolienne comme indiqué sur la Figure 20 :

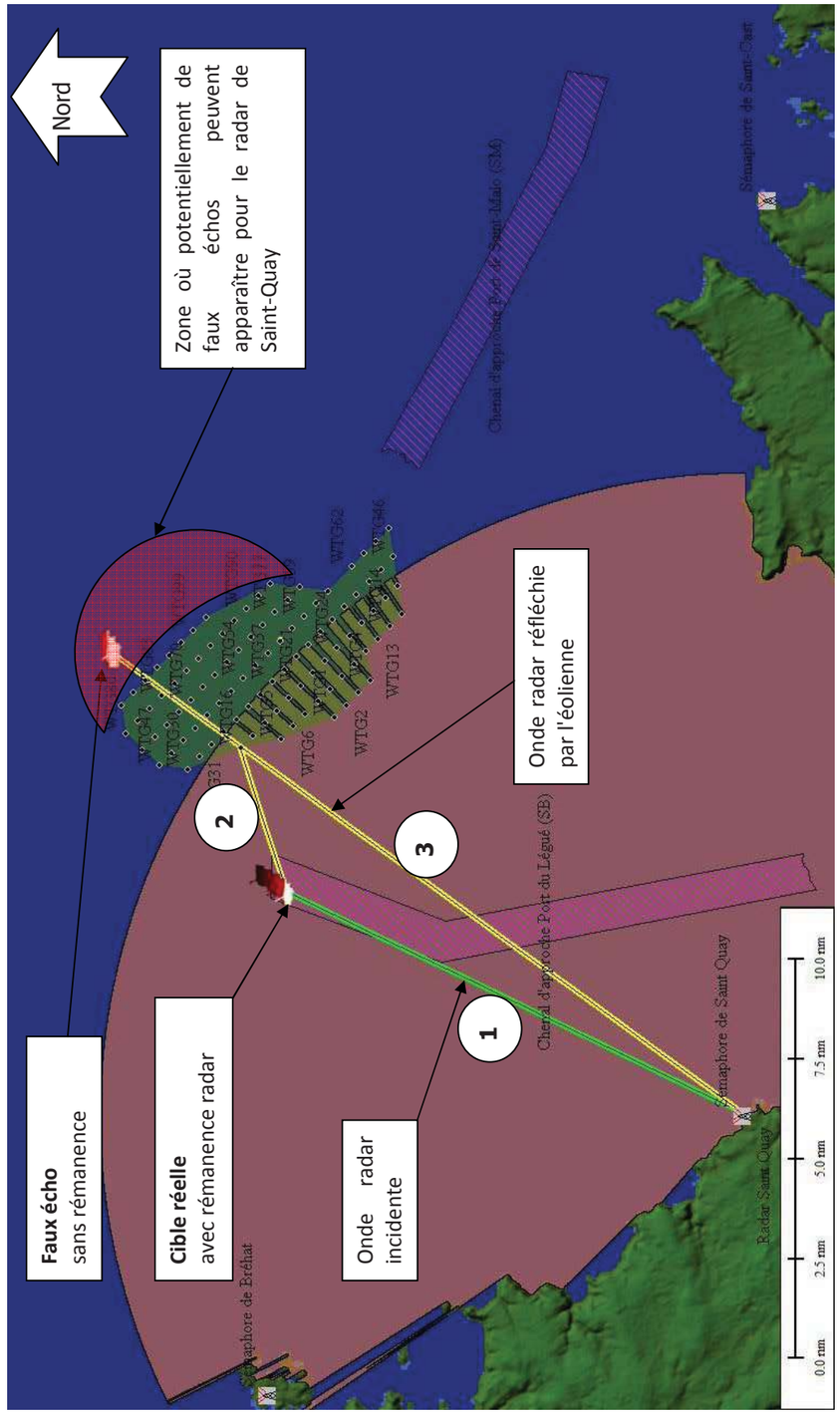


Figure 20 : Schéma représentatif de la zone potentielle d'apparition des réflexions/faux échos radar pour le radar de Saint-Quay

Sur la Figure 20, la zone où peuvent potentiellement apparaitre de faux échos (zone en violet sur la figure), est placée dans l'alignement du radar de Saint-Quay et des éoliennes, derrière les éoliennes. Le trafic maritime étant principalement concentré à l'ouest de cette zone là où se trouve le chenal d'accès au port du Légué.

Pour chaque écho, le radar de Saint-Quay va mesurer :

- un angle (dans lequel il voit l'écho par rapport au à la référence Nord),
- et une distance (distance entre le radar et l'écho).

Avec ces deux informations, il est possible de localiser l'écho.

La distance est calculée à partir du temps de transit (aller et retour) d'une brève "impulsion radioélectrique" ***t***, émise et de sa vitesse de propagation c_0. La distance de l'écho (calculée par le radar) est la distance en ligne droite entre l'antenne du radar et la cible. Le temps mesuré par le radar est le temps nécessaire à l'impulsion pour aller de l'antenne à la cible, puis de la cible vers l'antenne après réflexion. Chaque impulsion revenant au radar a parcouru deux fois la distance radar-cible. La formule permettant de calculer cette distance est donc la suivante :

$$\text{Distance Radar - Cible} = \frac{c_0 \times t}{2}$$

c_0 = vitesse de la lumière = 3.10^8 m/s
t = temps mesuré en seconde

Equation 3 : Equation du calcul de la distance Radar - Cible

Ainsi pour comprendre où peuvent apparaitre de faux échos, il faut additionner le temps de transit d'une "impulsion radioélectrique" pour parcourir le trajet **1** du radar vers la cible (voir la Figure 20), puis le trajet **2** entre la cible et l'éolienne enfin le trajet **3** de retour vers le radar de Saint-Quay.

La somme de ces 3 trajets fait que la distance Radar-Faux écho sera toujours supérieure à la distance Radar-Eolienne. Ceci explique pourquoi les faux échos apparaitront toujours derrière les éoliennes comme indiqué par la zone violette sur la Figure 20, et placés dans l'alignement du radar et des éoliennes.

Ce phénomène de faux échos concernera uniquement les gros bateaux navigants à proximité des éoliennes. Comme souligné précédemment, les petits bateaux ne sont pas détectés par le radar de Saint-Quay au voisinage du parc éolien.

Ce phénomène est directement lié aux formes des superstructures des bateaux qui seront plus ou moins favorables à la réflexion des ondes radar en direction des éoliennes puis du

radar. Ainsi un gros bateau pourra lors de son passage auprès des éoliennes générer de façon intermittente ou plus rarement continu de faux échos.

En ajoutant la couverture radar du sémaphore de Saint-Cast à la Figure 20, on obtient la Figure 21. On remarque que la zone où potentiellement de faux échos peuvent apparaître pour le radar de Saint-Quay, n'est pas couverte par le radar de Saint-Cast. Ainsi si de faux échos apparaissent dans cette zone, l'information ne peut pas être corrélée/validée par le radar de Saint-Cast.

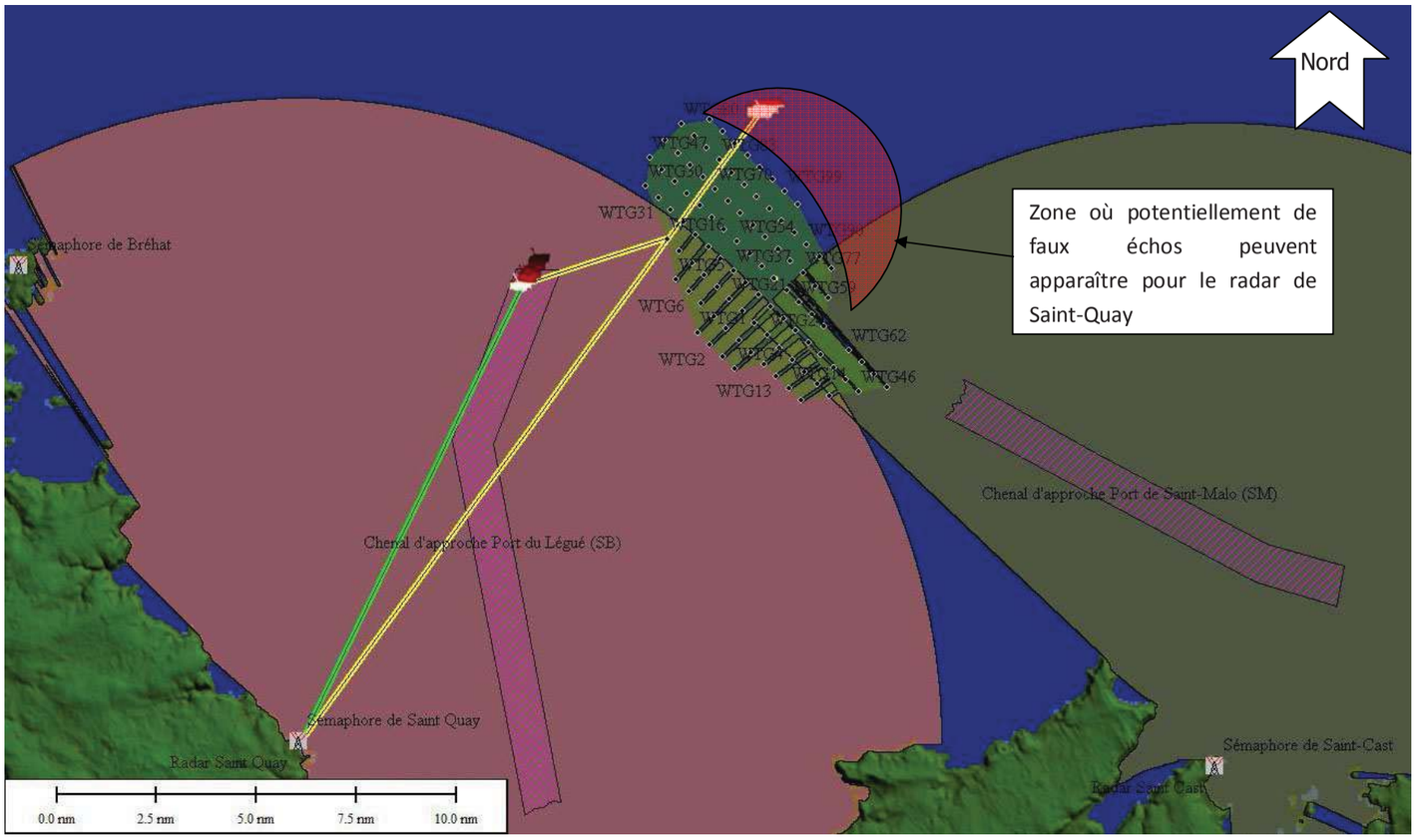


Figure 21 : Schéma représentatif de la zone potentielle d'apparition des réflexions/faux échos radar pour le radar de Saint-Quay superposée avec la couverture radar de Saint-Cast

5.4.2.2 Radar du sémaphore de Saint-Cast

De même que dans le paragraphe précédent, l'analyse du trafic maritime va permettre de définir où et comment peuvent se former de faux échos pour le radar de Saint-Cast. La Figure 22 permet d'expliquer cet effet :

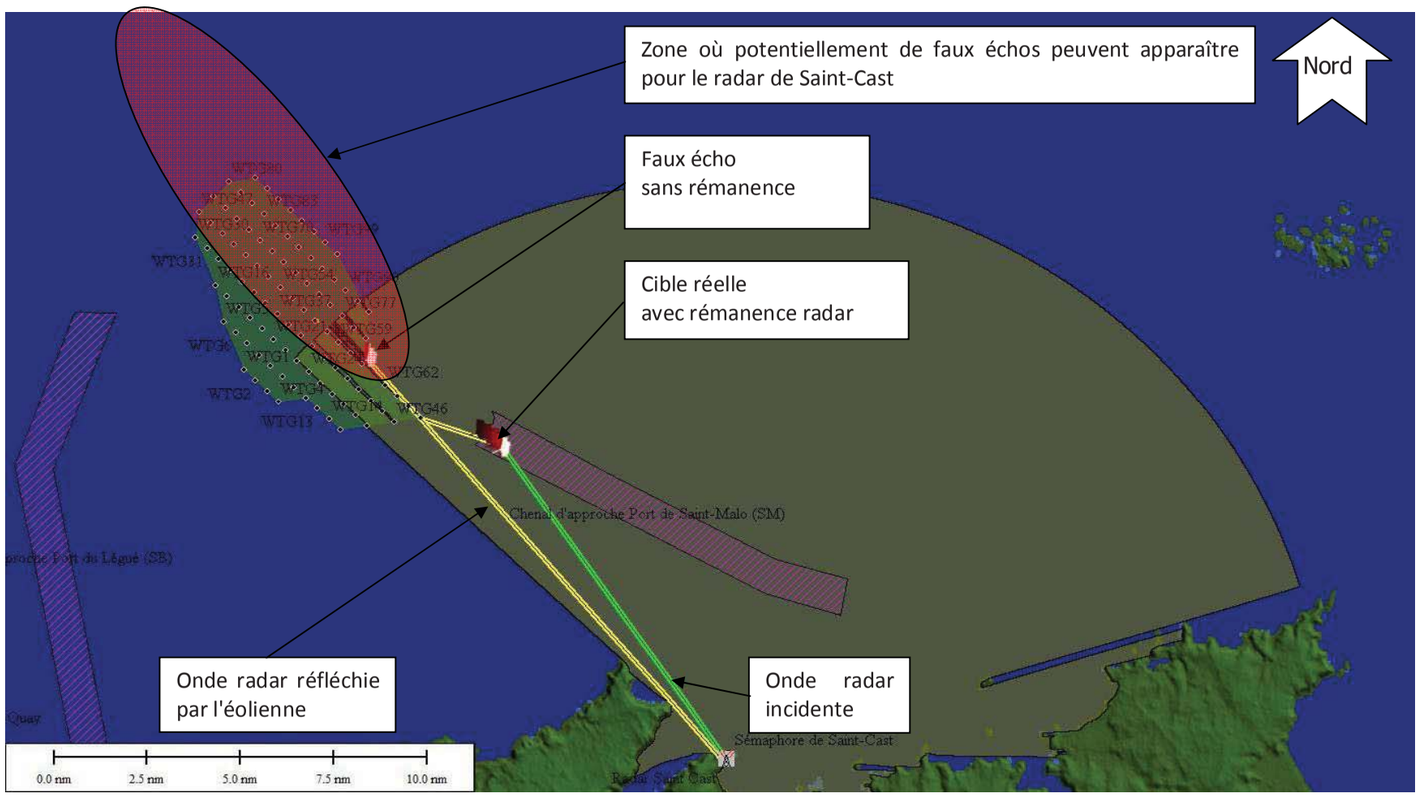


Figure 22 : Schéma représentatif de la zone potentielle d'apparition des réflexions/faux échos radar pour le radar de Saint-Cast

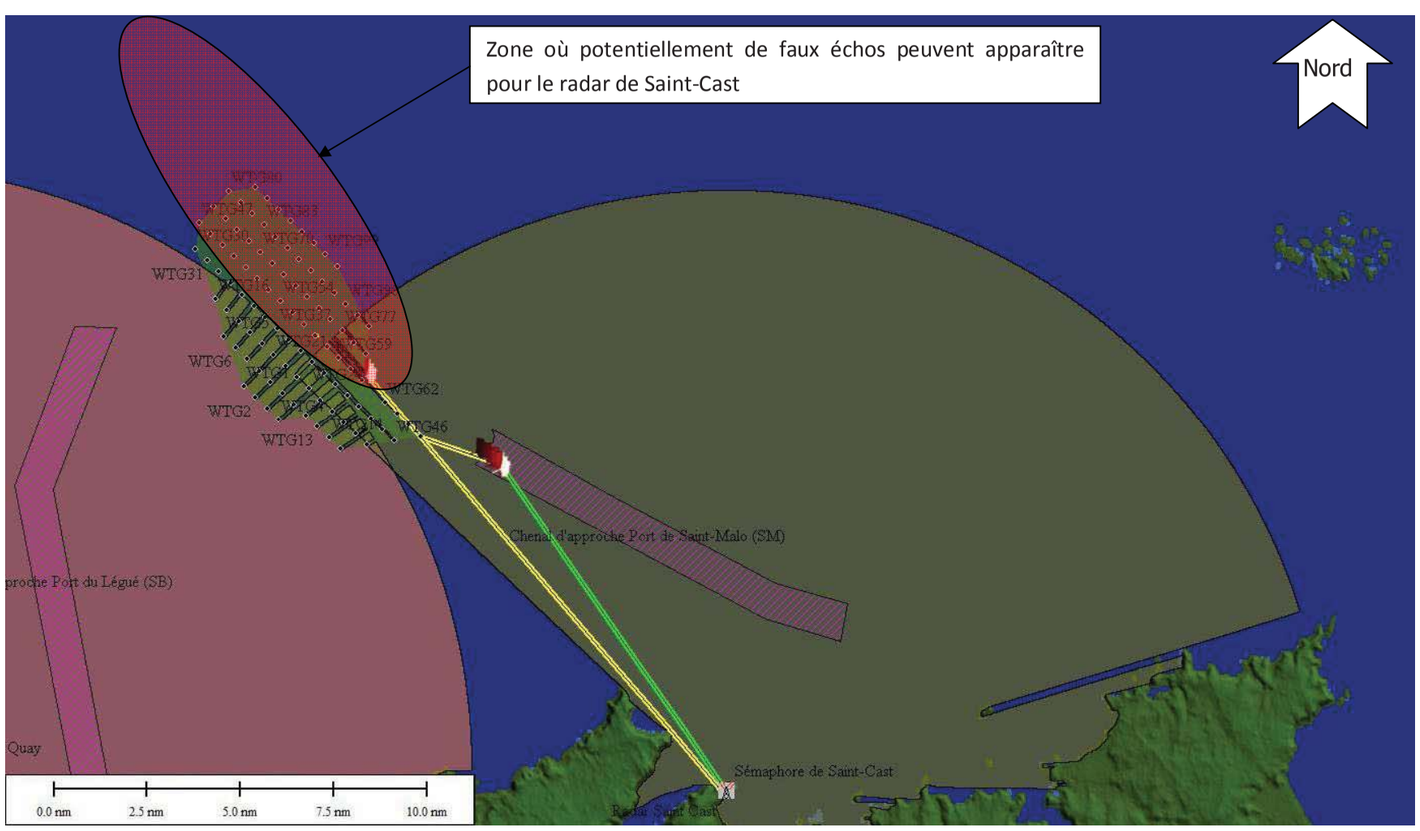


Figure 23 : Schéma représentatif de la zone potentielle d'apparition des réflexions/faux échos radar pour le radar de Saint-Cast superposée avec la couverture radar de Saint-Quay

Tout comme pour le radar de Saint-Quay, ce phénomène de faux échos concernera uniquement les gros bateaux naviguant à proximité du parc éolien car les petits bateaux ne sont pas détectés par le radar de Saint-Cast au voisinage du parc.

En ajoutant la couverture radar du sémaphore de Saint-Quay Figure 23, on remarque que la zone où potentiellement de faux échos peuvent apparaître pour le radar de Saint-Cast, n'est pas couverte par le radar de Saint-Quay. Ainsi si de faux échos apparaissent dans cette zone, l'information ne peut pas être corrélée/validée par le radar de Saint-Quay.

5.4.3 Conclusion sur l'effet de réflexion – faux échos

Le parc éolien de Saint-Brieuc est placé à une distance importante des radars de Saint-Cast et de Saint-Quay par rapport à leur portée radar maximale. Ainsi la génération de faux échos par les lobes secondaires est fort peu probable.

Toutefois, il est probable que des effets de réflexion/faux échos radar par multi-trajet peuvent apparaitre. Ces zones seraient placées dans l'alignement des radars et des éoliennes, derrière les éoliennes. Cette étude a permis de mettre en évidence, voir les zones violettes sur la Figure 20 et la Figure 22.

Seuls les très gros bateaux passant à proximité du parc éolien pourraient potentiellement générer un tel phénomène dans la mesure où les petits bateaux ne sont pas détectés à cette distance. La superstructure de ces gros bateaux favorable ou pas à la réflexion des ondes radar en direction des éoliennes est à l'origine de ces faux échos.

On peut donc conclure que ce phénomène de faux échos radar n'aura que très peu d'impact sur la sécurité du trafic maritime aux abords du parc éolien parce qu'il concernera uniquement les gros navires qui sont aujourd'hui tous équipés de transpondeur AIS. L'information AIS disponible dans le système SPATIONAV peut facilement compenser cet effet.

6 IMPACT DE LA CENTRALE EOLIENNE SUR DES RADARS EMBARQUES

Pour évaluer l'impact de la centrale éolienne sur les radars embarqués dans la Baie de Saint-Brieuc, SIGNALIS a recueilli le retour sur expérience du Port of London Authority (PLA) concernant la centrale éolienne en mer de Kentish Flats.

La centrale de Kentish Flats est située dans l'estuaire de la Tamise et comprend 30 éoliennes disposées en diamant. Les premières éoliennes se situent à moins d'1 mile nautique au sud du chenal « Princes Channel » qui connait un trafic de 40 à 50 navires par jour.

La géométrie globale de la centrale éolienne joue un rôle important concernant les perturbations sur les radars embarqués.

D'après PLA, l'impact sur les radars embarqués est plus significatif que sur les radars fixes.

Les phénomènes susceptibles d'être détectés sur les écrans radar à proximité de la future centrale éolienne de la Baie de Saint-Brieuc sont listés ci-dessous par ordre croissant d'importance :

1. **Réflexions linéaires dans plusieurs secteurs**
2. **Déformations de secteur**
3. **Images « miroirs »**
4. **Détection de cibles de façons intermittentes entre les éoliennes**
5. **Déformations radiales**
6. **Zones d'ombre**
7. **Réflexions – Faux échos**

Les phénomènes de réflexions linéaires et de déformations de secteur sont assez difficiles à prévoir. **Par contre, il y a de très fortes chances d'observer les quatre autres phénomènes qui sont : images miroirs, détection de cibles de façon intermittentes entre les éoliennes, déformations radiales et zones d'ombre. Cette étude ne s'attardera donc pas sur ces 4 phénomènes.**

De tels phénomènes surviendront probablement aux abords du futur parc éolien de la Baie de Saint-Brieuc notamment pour les navires navigants dans le chenal d'approche du Port du Légué de Saint-Brieuc (SB) et le chenal d'approche du Port de Saint-Malo (SM).

Le chenal d'approche du Port du Légué étant situé à 2,8 NM à l'ouest du parc éolien et le chenal d'approche du Port de Saint-Malo étant situé à 1,6 NM au Sud Est.

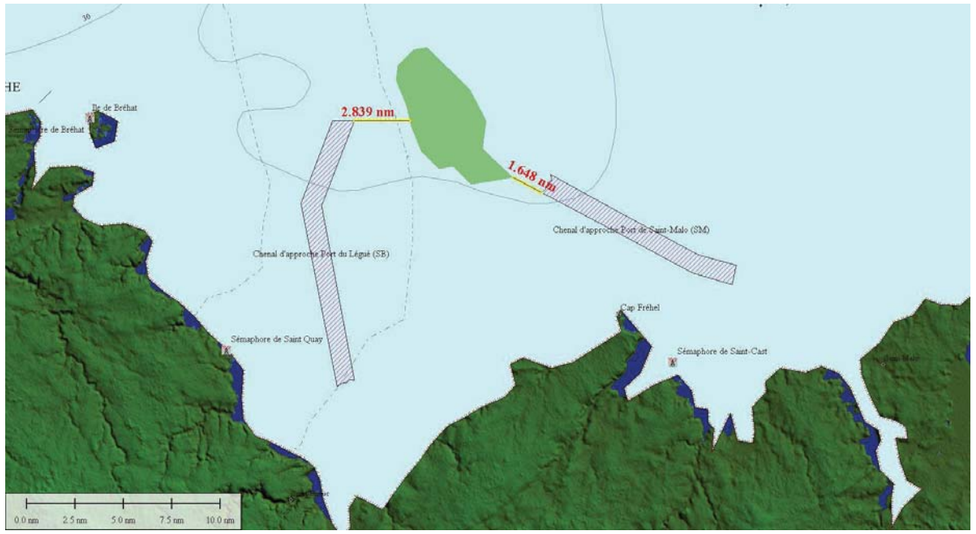


Figure 24 : Position du parc éolien par rapport aux chenaux d'approches des Port du Légué de Saint-Brieuc et du Port de Saint-Malo

Les effets de réflexion – faux échos sur les radars embarqués seront certainement beaucoup plus fréquents que dans le cas des radars maritimes au sol. Les phénomènes décris pour les radars au sol dans le paragraphe 5.4 seront donc encore plus effectifs pour les pour les radars mobiles.

L'ensemble de ces phénomènes sont largement repris et expliqués dans le document Kentish Flats Radar Study – BWEA – Examining the effect of offshore wind farms on radar navigation [R3] dont les conclusions sur l'impact des éoliennes sur les radars embarqués sont les suivantes :

- Les effets observés étaient dans certains cas en rapport avec la vitesse des navires passant à proximité de la centrale éolienne.
- De faux échos sont souvent apparus provenant des structures métalliques des bateaux conduisant l'étude. Ces phénomènes furent accentués par la forte quantité d'énergie électromagnétique réfléchie par les éoliennes.
- De petits bateaux navigant à proximité de la centrale éolienne furent détectés par le radar embarqué du navire effectuant le test et étant placé de l'autre côté de la

centrale éolienne. Le signal radar de retour semblait ne pas trop avoir été perturbé par son passage au travers de la centrale. Toutefois, les radars équipés d'un réglage du niveau de gain normal ou automatique peuvent effectivement ne pas détecter de très petites cibles.
- Sur des radars embarqués équipés d'un plotting automatique, des échos de petits bateaux naviguant à proximité de la centrale éolienne peuvent s'associer avec de gros échos générés par les éoliennes. Ces effets sont brefs et durent le temps que les bateaux s'éloignent de l'éolienne.

7 CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

7.1 CONCLUSIONS

Cette étude a identifié et évalué l'impact sur les radars de surveillance du trafic maritime à terre et les radars embarqués que représenterait la réalisation du projet de centrale éolienne en mer au large de Saint-Brieuc.

Deux radars de surveillance maritime à terre sont directement impactés :

- le radar du sémaphore de Saint-Quay,
- le radar du sémaphore de Saint-Cast.

Trois effets d'impact potentiel sur les radars ont été étudiés :

- effet de "désensibilisation" du radar,
- effet d'ombre,
- effet de réflexion - faux échos.

L'étude a montré que ces effets étudiés n'auront qu'un impact minime sur la performance de détection et la représentation du trafic maritime par les radars des sémaphores de Saint-Cast et de Saint-Quay au voisinage du futur parc éolien. Des réflexions - faux échos peuvent être observés mais concerneront uniquement les gros navires qui sont aujourd'hui tous équipés de transpondeur AIS.

7.2 RECOMMANDATIONS ET MESURES COMPENSATOIRES

Afin de limiter les problèmes causés par le parc éolien sur les radars de control du trafic maritime à terre et les radars de navigations embarqués dans la zone de Saint-Brieuc, SIGNALIS propose 3 recommandations :

7.2.1 Ajout de moyens d'aides à la navigation électroniques telles que AIS virtuels, "RACON" et "AIS (AtoN)" aux coins du parc éolien

Aujourd'hui les parcs éoliens en mer ne sont pas dispensés du balisage vis-à-vis de la navigation aérienne, et celui-ci doit être complété par un balisage vis-à-vis de la navigation maritime. Ces deux balisages ne doivent pas interférer entre eux. En matière de navigation maritime, les préconisations de balisage de parcs éoliens en mer sont données dans le cadre de la recommandation O-139 sur "La signalisation des structures artificielles en mer" édition 1 de l'AISM de décembre 2008, à l'annexe de référence [R5].

Dans la section 6 de cette étude sur l'impact du parc éolien sur les radars de navigation embarqués, il a été démontré que de nombreux impacts affecteront ces radars aux abords du parc éolien. Un des moyens de compensation possible est d'augmenter la signalisation du parc éolien par des aides à la navigation électroniques en plus des balisages lumineux et sonore obligatoires.

Dans le cas du parc éolien de Saint-Brieuc, et en suivant le déroulement des phases de construction puis d'exploitation du parc, SIGNALIS recommande les installations suivantes :

1. **Mise en place d'un balisage AIS virtuel et d'un RACON pendant la phase de construction du parc éolien.**

Pendant la phase de chantier, en plus d'un balisage flottant cardinal qui doit être défini sur la zone, SIGNALIS recommande de mettre en place une signalisation AIS virtuelle judicieusement positionnée pour indiquer les zones de travaux en mer sans surcharge d'information AIS. Cette signalisation virtuelle sera mise en place par le CETMEF responsable aujourd'hui du réseau AIS en France.

L'AIS virtuel est idéal pour des signalisations maritimes temporaires car il offre plus de flexibilité pour sa mise en place et sa configuration.

Ainsi les bateaux munis d'un équipement AIS, seront en mesure de voir et de localiser les différentes éoliennes en construction.

Cette étude a montré que les éoliennes de par leur traille importante sont déjà de bons réflecteurs radar. Toutefois lors de la phase de construction, où seulement des piles de fondations sortiront de l'eau, SIGNALIS recommande l'installation d'un RACON, soit sur une bouée soit sur une pile d'éolienne en construction afin de mieux signaler la présence des structures en construction aux radars de navigation des bateaux navigants à proximité. Une fois la phase de construction terminée, ce RACON pourra être repositionné pendant la phase d'exploitation comme indiqué dans le paragraphe 3 ci-dessous.

2. **Mise en place d'aide à la navigation AIS (AtoN) type 1 aux quatre coins du parc éolien pour la phase d'exploitation.**

Pendant la phase d'exploitation du parc éolien, SIGNALIS recommande d'installer des AtoN AIS type 1 aux 4 extrémités du parc éolien, soit sur les éoliennes WTG15, WTG30, WTG65 et WTG93.

Un AtoN est un système d'aide à la navigation électronique qui fonctionne sur la même bande de fréquence VHF que l'AIS et par tout temps. Ce dispositif est équipé d'une antenne GPS qui permet ainsi de transmettre sa position avec une grande précision. Il fonctionne comme un transpondeur et transmet sa position sur la bande de fréquence VHF AIS à intervalles de temps régulier.

Grace à cet équipement, les bateaux munis d'un AIS seront en mesure de voir et de localiser précisément ce dispositif de signalisation.

Un AtoN est aussi capable de transmettre des messages sur les conditions météos ainsi que les informations sur l'état des équipements installés sur l'éolienne (comme les feux et autres balises).

Figure 25 : Exemple d'un AIS AtoN

3. **Mise en place d'aide à la navigation RACON à deux extrémités du parc éolien pour la phase d'exploitation.**

Aujourd'hui tous les bateaux ne sont pas équipés d'AIS. Ainsi il est indispensable de compléter le dispositif de signalisation par 2 RACON à 2 extrémités du parc éolien, soit sur les éoliennes WTG15 et WTG93.

Un RACON est un système d'aide à la navigation électronique qui renvoie aux radars de navigation des informations de distance et d'angle par tout temps. Ainsi un système radar de navigation passant à proximité du RACON sera en mesure de localiser avec précision la position de l'éolienne.

Le RACON fonctionne sur différentes bandes de fréquences radar telles que les bandes X et S.

Grace à cet équipement, les bateaux munis d'un radar de navigation seront en mesure de voir et de localiser précisément ce dispositif de signalisation.

Figure 26 : Exemple d'un RACON

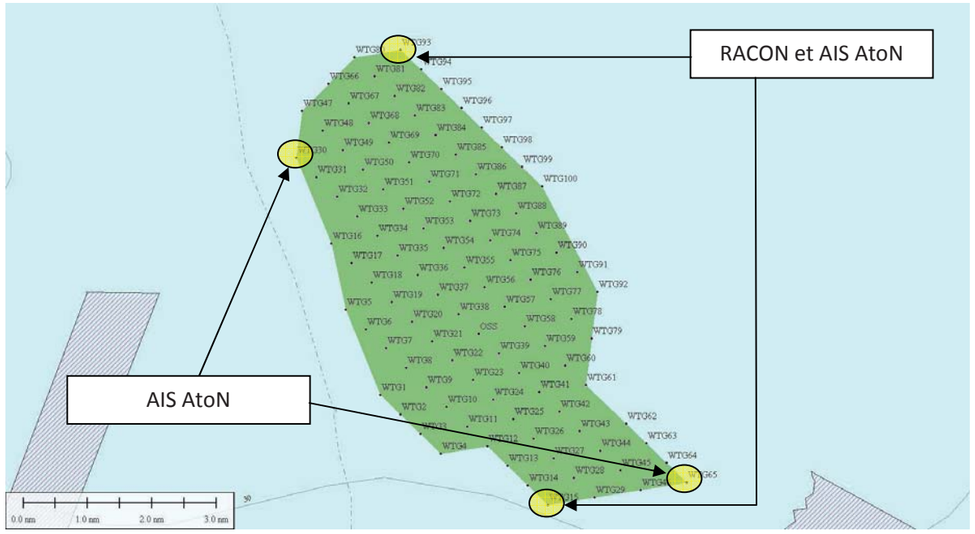


Figure 27 : Recommandation sur les emplacements des RACON et d'AtoN (AIS)

4. **Mise en place d'un nouveau balisage AIS virtuel pendant la phase de démantèlement du parc éolien.**

Tout comme la phase de construction du parc éolien, pendant la phase de démantèlement SIGNALIS recommande de mettre en place une signalisation AIS virtuelle sur chacune des éoliennes en cours de démontage.

7.2.2 Formation du personnel opérateur

Le personnel doit être en mesure de comprendre et d'analyser par tout temps les divers phénomènes de perturbation créés par le parc éolien. Ceci dans le but d'aider du mieux possible les marins navigant sur la zone de Saint-Brieuc. Une formation complémentaire des opérateurs concernés des sémaphores pourra être proposée.

7.2.3 Installation éventuelle d'un radar supplémentaire et intégration de ce nouveau radar au système SPATIONAV existant

Ailes Marines devrait engager des discutions avec les autorités compétentes concernant l'installation éventuelle d'un radar supplémentaire installé en mer et intégré au système SPATIONAV existant. Bien que les impacts du parc éolien sur les radars de control du trafic maritime à terre soient mineurs, cette discussion avec les autorités permettra de déterminer si ces impacts sur les radars existants justifient une telle installation.

Si l'ajout d'un tel radar est jugé approprié, ce nouveau système de radar supplémentaire sera relié au système de SPATIONAV existant de telle sorte que les informations fournies par ce nouveau radar seront disponibles au CROSS Corsen et sur l'ensemble des sémaphores chargés de surveiller cette zone. En outre, ce radar supplémentaire ne sera pas seulement utilisé à des fins d'atténuation, mais aussi pour la gestion du trafic maritime à l'intérieur et autour du futur parc éolien.

8 RÉFÉRENCES

8.1 DOCUMENTS DE RÉFÉRENCE

[R1] Manuel Qualité – Référence SIGNALIS N°001468 02 Indice 10.

[R2] Rapport de la CCE5 n°3 : Perturbations du fonctionnement des radars fixes maritimes, fluviaux et portuaires par les éoliennes - Version 1 du 26/02/2008.

[R3] Kentish Flats Radar Study – BWEA – Examining the effect of offshore wind farms on radar navigation.

[R4] Position des éoliennes du projet du Parc Eolien Offshore de la baie de Saint-Brieuc – pFRAsbr018_Layout_area.shp.

[R5] La recommandation O-139 sur "La signalisation des structures artificielles en mer" édition 1 de l'AISM - Décembre 2008.

[R6] Bulletin officiel des Armées, circulaire 27814, Instruction n° 284/DEF/EMM/ORJ relative aux missions et à l'organisation des sémaphores de la Marine Nationale - 13/01/2009.

[R7] Preliminary Meteocean study for Saint-Brieuc offshore wind farm area – Référence: STB-WND-R-AM-0007 – 11/01/2013.

[R8] Results of the electromagnetic investigations and assessments of marine radar, communications and positioning systems undertaken at the North Hoyle wind farm by QinetiQ and the Maritime and Coastguard Agency – Reference: QUINETIQ/03/00297/1/1 – Reference: MCA MNA 53/10/366 – 22/11/2004.

Fin du document

ANNEXE 1. CARACTERISTIQUES IALA DES CIBLES RADAR.

	TARGET	Type of Capability			Design Requirements		
		Basic	Standard	Advanced	Radar cross section		Height of Target
					S-band	X-band	
1	Aids to Navigation etc. – without radar reflector. Small open boats, fibreglass, wood or rubber with outboard motor and at least 4 meters long, small speedboats, small fishing vessels, small sailing boats and the like.			X		1 m^2	1 m ASL
2	Inshore fishing vessels, sailing boats, speedboats and the like.			X		3 m^2	2 m ASL
3	Aids to Navigation with radar reflector.		X	X	4 m^2	10 m^2	3 m ASL
4	Small metal ships, fishing vessels, patrol vessels and the like.	X	X	X	40 m^2	100 m^2	5 m ASL
5	Coasters and the like.	X	X	X	400 m^2	1,000 m^2	8 m ASL
6	Large coasters, bulk carriers, cargo ships and the like.	X	X	X	4,000 m^2	10,000 m^2	12 m ASL
7	Container carriers, tankers etc.	X	X	X	40,000 m^2	100,000 m^2	18 m ASL

Note: The figures in the above table are typical examples and as an average only.

Tableau 9 : Modèles de réflexion et type de performances

Tableau IALA tiré du document « IALA Recommendation V-128 On Operational and Technical Performance Requirement for VTS Equipment » Edition 3.0 June 2007

ANNEXE 2. ETAT DE LA MER – TABLE DE PIERSON MOSKOWITZ

Wind Speed (Kts)	Sea State	Significant Wave (Ft)	Significant Range of Periods (Sec)	Average Period (Sec)	Average Length of Waves (FT)
3	0	<.5	<.5 - 1	0.5	1.5
4	0	<.5	.5 - 1	1	2
5	1	0.5	1 - 2.5	1.5	9.5
7	1	1	1 - 3.5	2	13
8	1	1	1 - 4	2	16
9	2	1.5	1.5 - 4	2.5	20
10	2	2	1.5 - 5	3	26
11	2.5	2.5	1.5 - 5.5	3	33
13	2.5	3	2 - 6	3.5	39.5
14	3	3.5	2 - 6.5	3.5	46
15	3	4	2 - 7	4	52.5
16	3.5	4.5	2.5 - 7	4	59
17	3.5	5	2.5 - 7.5	4.5	65.5
18	4	6	2.5 - 8.5	5	79
19	4	7	3 - 9	5	92
20	4	7.5	3 - 9.5	5.5	99
21	5	8	3 - 10	5.5	105
22	5	9	3.5 - 10.5	6	118
23	5	10	3.5 - 11	6	131.5
25	5	12	4 - 12	7	157.5
27	6	14	4 - 13	7.5	184
29	6	16	4.5 - 13.5	8	210
31	6	18	4.5 - 14.5	8.5	236.5
33	6	20	5 - 15.5	9	262.5
37	7	25	5.5 - 17	10	328.5
40	7	30	6 - 19	11	394
43	7	35	6.5 - 21	12	460
46	7	40	7 - 22	12.5	525.5
49	8	45	7.5 - 23	13	591
52	8	50	7.5 - 24	14	566
54	8	55	8 - 25.5	14.5	722.5
57	8	60	8.5 - 26.5	15	788
61	9	70	9 - 28.5	16.5	920
65	9	80	10 - 30.5	17.5	1099
69	9	90	10.5 - 32.5	18.5	1182

Sea State = Etat de la mer

ANNEXE 3. LISTE DES LIENS DE COMMUNICATION

Sites	Saint-Cast (Sémaphore)	Saint-Quay (Sémaphore)	Bréhat (Sémaphore)
Radar	Sperry Marine VisionMaster: 9410 MHz / 25KW	Sperry Marine VisionMaster: 9410 MHz / 25KW	Sperry Marine VisionMaster: 9410 MHz / 25KW
AIS	AIS Saab R40 base station;	Aucun	AIS Saab R40 base station;
HF	TRBM 16; Freq : 2–30 MHz ; 100W	TRBM 16; Freq : 2–30 MHz ; 100W	Aucun
VHF	**VHF 1:** VHF ASN Sailor RT 4822 DSC; Freq: Freq: 110-144 MHz – 156-160 MHz ; 25W **VHF 2:** VHF SAILOR type RT 144c; Freq: 110-144 MHz – 156-160 MHz ; 25W Ecoute sur le ch 16 (SAR) Ecoute sur le ch 12 (commercial traffic) Canal de travail: ch 10 Pour communiquer avec le CROSS Corsen: ch 67 & 68	**VHF 1:** VHF ASN Sailor RT 4822 DSC; Freq: Freq: 110-144 MHz – 156-160 MHz ; 25W **VHF 2:** VHF SAILOR type RT 144c; Freq: 110-144 MHz – 156-160 MHz ; 25W **VHF3:** Fireman Freq: 83 to 88 MHz; 20W Ecoute sur le ch 16 (SAR) Ecoute sur le ch 12 (commercial traffic) Canal de travail: ch 10 Pour communiquer avec le CROSS Corsen: ch 67 & 68 Port of Saint Quay: ch 9	**VHF 1:** VHF ASN Sailor RT 4822 DSC; Freq: Freq: 110-144 MHz – 156-160 MHz ; 25W **VHF 2:** VHF SAILOR type RT 144c; Freq: 110-144 MHz – 156-160 MHz ; 25W **VHF3:** Fireman Freq: 83 to 88 MHz; 20W Ecoute sur le ch 16 (SAR) Ecoute sur le ch 12 (commercial traffic) Canal de travail: ch 10 Pour communiquer avec le CROSS Corsen: ch 67 & 68
Radio Gonio	Aucun	TAIYO Rx only: 156,025 to 157,425 MHz 160,625 to 160,950 MHz 161,550 to 162,025 MHz 162,500 to 162,525 MHz + single freq : 155,625 MHz - 155,775 MHz - 155,825 MHz - 155,525 MHz - 162,55 MHz - 162,400 MHz - 121,5 MHz	TAIYO Rx only: 156,025 to 157,425 MHz 160,625 to 160,950 MHz 161,550 to 162,025 MHz 162,500 to 162,525 MHz + single freq : 155,625 MHz - 155,775 MHz - 155,825 MHz - 155,525 MHz - 162,55 MHz - 162,400 MHz - 121,5 MHz
Lien FH	**To St-Malo**: Tx: 4808 MHz; Rx: 4906 MHz Power: 30 dBm	**To Trédaniel**: Tx: 7428 MHz; Rx: 7589 MHz Power: 27 dBm	**To Paimpol**: Tx: 14516,75 MHz; Rx: 14936,75 MHz Power: 21 dBm
GPS	Antenne GPS GA24X	Aucun	Aucun
GSM	Aucun	Antenne relais (voir http://www.cartoradio.fr)	Antenne relais (voir http://www.cartoradio.fr)