

## PROCÈS VERBAL

des travaux de la grande commission nautique  
tenue le 26 septembre 2017 dans la salle de réunion de la DDTM, 16 rue Antoine Zattara à Marseille,  
relative au projet d'implantation d'un parc éolien flottant pilote au large du golfe de Fos.

### REUNION DE LA GRANDE COMMISSION NAUTIQUE

Conformément aux dispositions du décret n°86-606 du 14 mars 1986 relatif aux commissions nautiques et à la note du 05 février 2015 relative à la consultation des commissions nautique dans le cadre de la création d'installation liées aux énergies marines renouvelables, saisie ainsi par le Directeur interrégional de la mer Méditerranée, et suite à la décision du 20 septembre 2017 du Préfet des Bouches-du-Rhône portant nomination des membres temporaires de la grande commission nautique, celle-ci s'est réunie dans les locaux de la DDTM, 16 rue Antoine Zattara à Marseille, le mardi 26 septembre 2017 suite à la commission nautique locale tenue le 30 août 2017, pour émettre un avis sur le projet d'implantation d'un parc éolien flottant pilote au large du golfe de Fos, porté par la société EDF EN France SA.

La commission était composée de :

M. Olivier BODHUIN, capitaine de vaisseau, de l'inspection générale des Armées-marine	Président
M. Olivier PARVILLERS, ingénieur en chef de 1 <sup>ère</sup> classe des études et techniques de l'armement, du service hydrographique et océanographique de la marine	Secrétaire
M. Nicolas CHOMARD, administrateur en chef de 2 <sup>ème</sup> classe des affaires maritimes, chef du service Mer, Eau et Environnement des Bouches-du-Rhône à la direction départementale des territoires et de la mer des Bouches-du-Rhône	Membre de droit

#### Membres temporaires :

M. Patrick SAUZEDE	Représentant les pilotes
M. Laurent FRUCTUS	Représentant la marine de commerce
M. William TILLET	Représentant les pêcheurs professionnels
M. Yves ATTALI	Représentant les plaisanciers
M. Bernard LUBIN	Représentant la SNSM

Assistaient également à la réunion :

M. Mathieu LUBRANO	DDTM13/SMEE/Pôle Domaine Public Maritime
Mme Aurélie SHEARER	DDTM13/SMEE/Adjointe au chef de pôle maritime
M. Nicolas MAIRE	Chef du service opérations-sauvetage du CROSS LA GARDE
M. Franck MEYRONIN	Grand port maritime de Marseille, responsable de la capitainerie des bassins ouest
AC2AM Stéphane PERON	PREMAR MED / Chef du Pôle « Protection et aménagement

LV Céline VASCHETTI MTS Delphine WEPIERRE	« durable de l'espace marin » PREMAR MED/PADEM COM TOULON / Bureau approches maritimes / Cellule information nautique
M. Mikaël PIZZO M. Denis DE FAZIO	Subdivision des phares et balises de Marseille - DIRMED
M. Bernard MONLUC (CV®) M. Jean-Michel GERMA (CC ®)	Chargés d'études par la PREMAR MED
M. Stéphane GARZIANO	DIRM / Mission de coordination des politique de la mer et du littoral, adjoint au chef de service
M. Philippe VEYAN M. Hervé MONIN M. Julien SIMON	EDF EN, directeur de projets EDF EN, chef de projet usages et sécurité maritime EDF EN, Responsable ingénierie et certification du projet

Le président remercie M. Chomard et le personnel de la DDTM 13 pour l'organisation de cette réunion et l'ensemble des participants pour leur présence.

Il rappelle la composition et le fonctionnement de la commission et fait notamment remarquer que la grande commission nautique n'est compétente que pour émettre des avis sur les aspects nautiques du projet (en particulier les aspects liés à la sécurité nautique), à l'exclusion des problèmes juridiques, économiques, financiers, écologiques ou patrimoniaux.

Ce sont les représentants des usagers de la mer qui, après en avoir débattu ensemble, proposent des recommandations. Dans le cas présent, il s'agit d'étudier les deux phases du projet, la phase de travaux, puis la phase d'exploitation, et pour chacune de ces phases, s'intéresser notamment aux aspects liés au balisage et à la co-activité. Il note que la CNL du 30 août a permis aux membres de s'approprier le projet et de soulever des questions sur lesquelles la GCN va devoir se prononcer – à ce titre elle a rempli parfaitement son rôle et montre que l'articulation CNL- GCN décrite dans la note de la DAM du 5 février 2015 est bien adaptée à l'instruction des projets EMR.

Enfin, il présente M. Larrieu, administrateur en chef des affaires maritimes, chargé de mission auprès du DAM. M. Larrieu conduit une étude sur le fonctionnement de la grande commission nautique, de la commission nautique locale et de la commission des phares et balises.

M. Péron précise à son tour l'existence d'une mission à la PREMAR MED sur le développement des EMR en Méditerranée, représentée ce jour par MM. Monluc et Germa.

## SYNTHESE DU DOSSIER

### 1. INTRODUCTION ET PRESENTATION GENERALE DE L'OPERATION

M. Veyan rappelle que cette grande commission constitue la millième réunion tenue sur le projet depuis 2011. Ce projet comprendra 3 éoliennes flottantes d'une puissance unitaire de 8 MW. Il sera situé dans le Golfe de Fos, à 17 km de Port-Saint-Louis-du-Rhône. Sa durée de vie est prévue sur 20 ans. Le porteur de projet, SAS Provence Grand Large (PGL), est une filiale d'EDF EN. Son coût estimé s'élève à 200 M€. Le parc éolien est situé au large à 17 km de Port Saint Louis du Rhône. Il occupera une surface de 0,8 km<sup>2</sup>. La profondeur moyenne de la zone du projet est de 100 m. Les éoliennes seront supportées par un cylindre relié à une base en treillis dont la base sera un triangle équilatéral de côtés 80 m environ. La flottaison sera assurée par quatre flotteurs dont 3 seront reliés aux ancrs. Les éoliennes seront maintenues en position par lignes d'ancrage tendues (TLP), ce qui constituera une première mondiale dans le domaine de l'éolien offshore. 2 lignes d'ancrage par flotteur assureront la sécurité du mouillage alors qu'une seule suffirait. Le système d'ancrage est à la fois par succion et gravitaire. Les ancrs une fois posées devraient dépasser du fond de quelques mètres. Le diamètre du rotor équipé des pales mesure 154 m. L'axe du rotor sera situé 97 m au-dessus du niveau de la mer en phase de production. Le tirant d'eau des flotteurs sera de 25 m une fois en place et 10 m dans la phase de remorquage. Les éoliennes seront reliées à la terre par l'intermédiaire d'un connecteur électrique sous-marin.

L'étude d'impact montre un impact limité sur les radars de surveillance du trafic maritime, le champ étant positionné globalement en limite de portée. Il faut également s'attendre à des perturbations limitées sur les radars embarqués du fait d'un nombre réduit d'éoliennes qui plus est, alignées.

L'étude sur le trafic maritime conclut que le parc est situé dans une zone peu fréquentée du Golfe de Fos, car situé à l'écart des principales routes de navigation dont celle conduisant au port de Fos. Quelle que soit la situation, l'analyse de risque montre un niveau de risque toujours acceptable selon les matrices d'analyse de risque de l'OMI et de la DAM.

### 2. SYNTHESE DES DEBATS

Après les rappels sur la présentation du projet, les débats débutent par les précisions suivantes apportées en réponse aux questions posées en CNL :

- les autorités maritimes (PREMAR et CROSS) seront tenues informées de l'avancement du projet ;
- le remorquage sur zone des éoliennes fera l'objet d'un arrêté du PREMAR ;
- il y aura mobilisation de navires de surveillance lors de la mise en place des éoliennes ;
- il y aura rédaction d'un PIM et d'un PUM en concertation avec le PREMAR et le CROSS ;
- les ancrs seront mises en place avant l'arrivée des éoliennes et des lignes de mouillage.

Les ancrs constituant une obstruction pour les pêcheurs avant l'arrivée des éoliennes, il est demandé d'en informer très précisément les pêcheurs de la zone ou que celles-ci soient balisées en attendant l'arrivée des éoliennes.

#### **Le balisage**

Le balisage maritime sera conforme à l'AIMS, l'éolienne centrale (A02) sera équipée d'une balise AIS AtoN, et 2 balises AIS actives en cas de dérive équiperont les éoliennes A01 et A03. Des bouées jaunes marqueront chaque flotteur au sommet du triangle de la base, soit trois bouées par éolienne.

#### **Restrictions à la navigation**

Les règles de navigation proposées sont l'interdiction de la navigation dans un rayon de 150 m autour de chaque éolienne, l'interdiction de mouillage et de pêche aux arts trainants dans un couloir de 300 m de

part et d'autre des câbles inter-éoliennes, et l'interdiction de dragage et de mouillage dans un couloir de 150 m de part et d'autre du câble d'export qui sera ensouillé.

### **Moyens d'intervention**

Les moyens d'intervention pour un remorquage en urgence interviendraient en 5 h depuis Toulon (Abeille Flandre ou Jason) et en 2 h depuis Marseille (remorqueurs du port). Cependant, il apparaît que les moyens de la Marine à Toulon pourraient être indisponibles en cas de mauvaise météo car déjà sollicités ou pré-positionnés ailleurs et que les remorqueurs du port de Marseille devraient également être indisponibles car déjà engagés dans le port.

Il ressort des discussions qu'une éolienne ayant rompu ses lignes de mouillage, devrait en principe chavirer et se planter d'une façon ou d'une autre sur le fond. Toute dérive paraît peu vraisemblable. En l'absence de personne à bord, l'urgence, compte tenu des circonstances, n'est donc pas le remorquage. Néanmoins, les moyens à mettre en œuvre sont de la responsabilité de l'armateur, la Marine n'intervenant qu'après échec de la solution envisagée par l'armateur. Cette question permet de préciser que le PIM doit être écrit afin de préciser le rôle de chacun, et que le PUM doit être intégré au plan ORSEC. Le parc sera suivi en permanence par le centre de Colombier qui gère l'ensemble des parcs éoliens d'EDF en Europe.

## **3. INTERVENTIONS RELATIVES A LA SECURITE MARITIME**

L'administrateur principal des affaires maritimes Maire présente les activités du CROSS MED, les moyens d'intervention et l'accidentologie de la zone du parc éolien. Il n'y a pas eu d'accident dans la zone du parc en 2016. Il faut cependant réfléchir aux accidents que pourront générer la présence des éoliennes dans le futur, soit dans le cadre de la maintenance du champ, soit en interaction avec le trafic maritime ou aérien. L'organisation des secours devra s'appuyer sur la note de la DAM de 2013.

M. Lubin présente à son tour l'activité de la SNSM et ses moyens dans la région. Six stations équipées de moyens allant de la vedette de 9 m au canot tous temps de 17 m sont réparties autour de la zone du champ. 150 bénévoles participent aux interventions dans les Bouches-du-Rhône. Le parc éolien se situe dans la zone d'intervention des moyens SNSM.

La réalisation d'exercices d'intervention sur les éoliennes est programmée et la SNSM réfléchit à leur préparation. L'intégration de la SNSM au comité de liaison chargée de la concertation est retenue du côté du porteur de projet. L'adaptation des moyens et des pratiques de la SNSM doit être étudiée en relation avec l'expérience qui sera acquise sur les champs éoliens des autres façades tout en prenant en compte la spécificité des éoliennes flottantes de ce champ. La possibilité d'accéder à la plateforme est confirmée ainsi que la présence d'un capteur permettant d'alerter en présence de personnes « à bord ». La plateforme est positionnée suffisamment en hauteur pour mettre à l'abri les personnes qui s'y trouvent. Par contre, il est recommandé de ne pas entrer dans le mât de l'éolienne en raison des risques de chute ou d'électrocution.

Le Président s'appuie sur une précédente intervention du CF Azzis, pilote d'hélicoptère de la marine nationale, pour présenter les principes d'une intervention par hélicoptère dans un champ éolien. La présence de trois éoliennes alignées simplifiera l'accès aux éoliennes. Néanmoins, des mesures comme le marquage des pales, la possibilité de freiner jusqu'à l'arrêt les rotors, d'orienter les pales à l'arrêt en fonction du vent, l'extinction des feux de balisages de nuit, l'identification des éoliennes au niveau de la nacelle, l'existence de VHF sur chaque éolienne... sont à appliquer afin de permettre un éventuel hélitreuillage dans de bonnes conditions. L'évolution de la réglementation relative au balisage aérien des éoliennes est évoquée.

Le Président remercie l'assemblée et propose de faire un tour de table pour conclure les débats.

M. Meyronin confirme que les moyens du GPMM ne seront pas disponibles en cas de conditions météorologiques extrêmes car ils seront d'une part monopolisés pour intervenir au niveau du port et d'autre part, ils ne pourront pas affronter les conditions de mer hors du port.

M. Veyant rappelle le caractère de champ pilote et que celui-ci doit apporter un retour d'expérience utile pour le développement d'un champ plus vaste à caractère industriel.

M. Maire précise que le CROSS est prêt à travailler sur la rédaction du PIM.

M. Péron confirme que des arrêtés seront à prendre par la PREMAR lors de la mise en place des installations et appelle l'attention de l'assemblée sur l'existence de deux distances de sécurité par rapport aux câbles. Cette disposition est confirmée par le fait que les câbles inter-éoliennes ne seront pas ensouillés mais entre deux eaux alors que le câble de raccordement à la terre le sera.

Le MT Wepierre rappelle que le sémaphore de Couronne est le premier maillon de surveillance sur la zone.

M. Lubin confirme la volonté de la SNSM de participer à des exercices et à rejoindre le comité de liaison.

M. Fructus demande confirmation du nombre de bouées qui seront positionnées au-dessus des flotteurs. Il y aura bien une bouée par flotteur, soit 9 bouées pour tout le champ.

M. Attali appelle l'attention de l'assemblée sur la création du parc des Calanques et l'organisation future des jeux olympiques à proximité du champ ce qui ne sera certainement pas sans conséquence sur la fréquentation de la zone.

M. Pizzo des phares et balises souligne que les balises AIS pour signaler la dérive d'une éolienne ne seront pas utiles si celle-ci doit se retourner et se planter dans le fond. Il préconise également le même balisage lumineux synchrone pour les 3 éoliennes.

Le Président remercie à nouveau l'ensemble des participants et invite le secrétaire à rappeler les règles en matière de communication de l'information nautique et des données recueillies lors des levés géophysiques qui sont conduits à l'occasion de la création de ces champs.

#### **4. TRANSMISSION AU SHOM DES RESULTATS DES MESURES GEOPHYSIQUES**

Le porteur de projet a réalisé ou fait réaliser un ensemble de mesures géophysiques sur le site du futur parc éolien pour évaluer d'une part les modalités d'implantation des structures et d'ensouillage des câbles (mesures bathymétriques acquises aux sondeurs multifaisceaux (SMF) et/ou sonar à balayage latéral (SONAL), mesures sismiques et/ou de sondeurs de sédiments (SBP), prélèvements sédimentaires (à la benne), détection par magnétomètre ...).

En application de la loi (articles L411-3 et L413-1 du nouveau code minier, articles L251-1, 2 et 3 du code de la recherche), ces données doivent être transmises au Shom, pour la pérennisation et la tenue à jour de l'ensemble des informations relatives à la sécurité de la navigation. Les données communiquées sont utilisées au Shom pour lui permettre d'assurer ses prérogatives en matière d'hydrographie nationale (sécurité de la navigation) et de soutien opérationnel des forces aéronavales. Le dernier alinéa de l'article L.413-1 évite ainsi à l'Etat l'obligation de mobiliser des moyens coûteux pour collecter à nouveau les mêmes données sur les zones concernées. Il garantit enfin la réutilisation et la valorisation optimale des données acquises grâce au dispositif d'archivage dans la durée et de diffusion des informations mis en œuvre par le Shom et ses partenaires publics.

#### **5. INFORMATION NAUTIQUE**

M. PARVILLERS rappelle que les caractéristiques nautiques de la zone, en phase de travaux, comme à l'issue de la réalisation des nouveaux aménagements portuaires (nouveau quai, nouveau balisage, les arrêtés réglementant la navigation, et de façon plus générale toute information utile aux navigateurs) doivent être transmises au Shom pour la mise à jour de la documentation nautique.

## CONCLUSION

La grande commission nautique s'est réunie le mardi 26 septembre 2017 pour émettre un avis sur le volet sécurité de la navigation du projet d'implantation du parc éolien flottant pilote Provence Grand Large (PGL), tel que décrit dans le procès-verbal ci-joint.

La commission émet un avis favorable à l'unanimité avec les recommandations suivantes :

- a) mentionner sur les cartes marines, dès l'arrêté d'autorisation des travaux, le périmètre complet du futur parc éolien ;
- b) prévenir les usagers de la mer et de l'espace aérien sus-jacent par l'émission d'AVURNAV, de NOTAM et de MILNOTAM.

### Zones d'exclusion :

#### 1. en phase d'installation :

- créer un périmètre d'interdiction de 1 M minimum autour de la zone de travaux du parc pour l'ensemble des pêcheurs professionnels et des plaisanciers ;
- créer un périmètre d'interdiction de 2 M minimum autour de la zone de travaux du parc pour :
  - les navires soumis à la convention SOLAS ou d'une jauge supérieure à 500,
  - les navires à passagers,
  - les navires à utilisation collective (NUC).

#### 2. En phase d'exploitation du parc :

- interdire la navigation à une distance inférieure à 2 M autour du parc aux navires soumis à la convention SOLAS ou d'une jauge supérieure à 500 ;
- interdire la navigation à une distance inférieure à 0,25 M autour du parc des autres navires à passagers et navires à utilisation collective (NUC) ;
- interdire la navigation et toute autre activité nautique et subaquatique dans un rayon de 150 mètres autour de chaque éolienne, hors navires de servitude et de maintenance du site, navires de sauvetage et navires d'Etat ;
- interdire le dragage, le chalutage, la pêche à la palangre, et le mouillage dans une bande de 600 m de large autour du champ (300 m de part et d'autre de l'axe du champ) ;
- interdire le dragage et le mouillage dans une zone de 300 m de large le long du câble de raccordement (150 m de part et d'autre du câble).

### Usages particuliers à l'intérieur du parc en phase d'exploitation :

- interdire entre les éoliennes la circulation pour tout navire de taille supérieure à 25 mètres hors tout, hors navires de sauvetage et d'Etat et navires de servitude et de maintenance du site ;
- limiter la vitesse de passage entre les éoliennes à 12 nœuds sauf navires de servitude et de maintenance du site, navires de sauvetage et navires d'Etat.
- interdire les activités subaquatiques dans le parc, hors besoins de l'Etat et de l'exploitant du parc, sauf autorisations spéciales individuelles de la Préfecture Maritime ;
- interdire tout mouillage sur ancre et dérive contrôlée entre les éoliennes, hors situation d'urgence ;

Paraphes :

RS UT A BL LF OP O.B NC

- porter à l'attention des usagers de la mer la limite basse de l'extrémité des pales en position verticale (à préciser ultérieurement par l'exploitant) ;
- interdire les manifestations nautiques entre les éoliennes.

### **Balisage en phase d'installation**

- La zone des travaux fera l'objet d'un arrêté du Préfet maritime. Le cas échéant, une commission nautique locale examinera l'opportunité d'un balisage temporaire.

### **Balisage en phase d'exploitation**

- Les éoliennes nord et sud doivent être équipées de feux de signalisation SPS (portée 5 M) synchronisées entre-elles ; les rythmes retenus sont ceux déjà préconisés pour les champs de Courseulles-sur-Mer et Fécamp (SPS : 4 éclats groupés T 15 s) ;
- installer sur l'éolienne du milieu, une balise AIS AtoN et équiper les autres éoliennes de balise AIS se déclenchant uniquement en cas de déradage ;
- installer une bouée jaune à l'aplomb de chacun des trois flotteurs de chaque éolienne, soit 9 bouées.

### **Opération de recherche et de sauvetage :**

- Mettre en place un plan d'intervention maritime (PIM) qui établira les procédures d'intervention et les modalités d'entraînements réguliers des acteurs du sauvetage en mer sous la coordination du CROSS La Garde ;
- considérant les particularités d'un hélitreuillage sur une nacelle issues du retour d'expérience, garantir le blocage des pales dans le lit du vent (axe du rotor à 90° du vent, pales dans l'axe du vent ou en position Y face au vent) ; garantir également le marquage individuel jour et nuit des éoliennes et le marquage en peinture rouge des extrémités des pales pour apporter une aide visuelle aux pilotes en approche ;
- disposer d'un éclairage à intensité réglable (coupure si nécessaire) et d'une capacité VHF au niveau de la nacelle (portable au besoin).

### **Formations :**

La grande commission nautique recommande la formation des équipages SNSM et la réalisation des exercices de sauvetage nécessaires.

### **Points divers :**

- l'identification AIS des navires de service devra être explicite quant à la fonction assurée ;
- EDF-EN transmettra au Shom les résultats de l'ensemble des levés géophysiques effectués sur le parc éolien (art. L413-1 du code minier nouveau) ;
- pendant la phase d'installation, les modifications des caractéristiques nautiques des zones concernées (position des éoliennes, information sur la mise en place ou le démantèlement d'éoliennes, position des câbles électriques...) seront transmises au Shom pour la mise à jour de la documentation nautique (carte marine, instructions nautiques...);
- pendant les phases d'installation et à leur clôture, les modifications des caractéristiques des obstacles engageant l'espace aérien seront transmises aux services compétents de la DGAC et de la circulation aérienne militaire pour la mise à jour de la documentation aéronautique.

Paraphes :

PS UT ~~BL~~ JF OP. OB NC

Signature des membres

**Le président**

M. Olivier BODHUIN



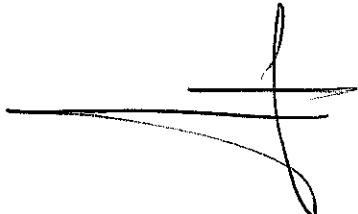
**Le secrétaire**

M. Olivier PARVILLERS



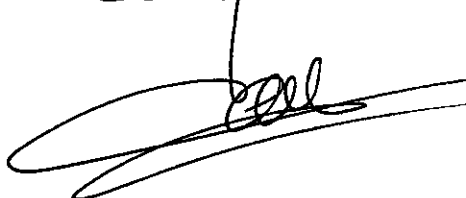
**Les membres**

M. Nicolas CHOMARD



M. François ALESSANDRI

P. SAUZEDE

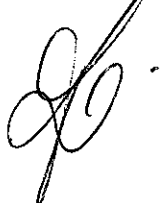


M. Jean-Loup BERTRET

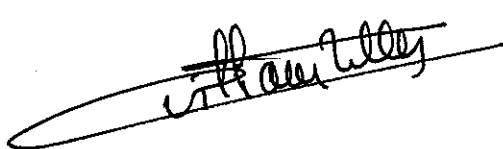
Bernard LUBIN



M. Laurent FRUCTUS



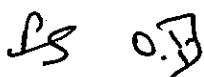
M. William TILLET



M. Yves ATTALI



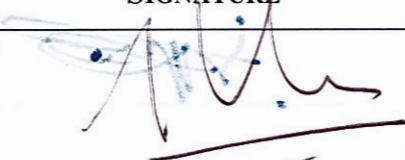




Paraphes :









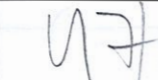




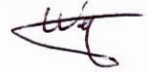

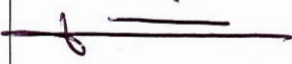

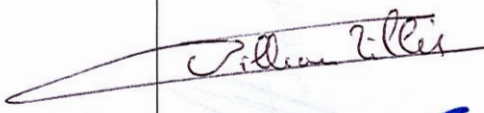

**Feuille de présence**  
**Grande commission nautique**  
**du mardi 26 septembre 2017**

concernant l'examen du projet de champ éolien flottant pilote Provence Grand Large.

ORGANISATION	NOM – PRENOM FONCTION	ADRESSE INTERNET	SIGNATURE
Inspection générale des Armées-Marine	M. le capitaine de vaisseau Olivier BODHUIN, président de la GCN	<a href="mailto:olivier.bodhuin@intradef.gouv.fr">olivier.bodhuin@intradef.gouv.fr</a>	
SHOM	M. l'ICIETA Olivier PARVILLERS, secrétaire de la GCN	<a href="mailto:olivier.parvillers@shom.fr">olivier.parvillers@shom.fr</a>	
DDTM 13	M. l'AC2AM CHOMARD, chef du service Mer, Eau et Environnement des Bouches-du-Rhône (DDTM-DML 13)	<a href="mailto:nicolas.chomard@bouches-du-rhone.gouv.fr">nicolas.chomard@bouches-du-rhone.gouv.fr</a>	
	Mme l'A2AM MAFFEO, adjointe DDTM/DML 13, chef du pôle maritime	<a href="mailto:emmanuelle.maffeo@bouches-du-rhone.gouv.fr">emmanuelle.maffeo@bouches-du-rhone.gouv.fr</a>	
	Mme Hélène MAYOT, Pôle Gens de Mer et Navires/Unité Plaisance	<a href="mailto:helene.mayot@bouches-du-rhone.gouv.fr">helene.mayot@bouches-du-rhone.gouv.fr</a>	
	M Mathieu CUBRANO Aurelia SHEARER	mathieu.cubrano @ ... aurelia.shearer @	 

ORGANISATION	NOM – PRENOM FONCTION	ADRESSE INTERNET	SIGNATURE
Représentant les pilotes	M. François ALESSANDRI X M. Patrick SAUZEDE	<a href="mailto:alessandri.fp@orange.fr">alessandri.fp@orange.fr</a> <a href="mailto:pilote13@pilotage-mrs.fr">pilote13@pilotage-mrs.fr</a>	
Représentant la SNSM	M. Jean-Loup BERTRET X M. Bernard LUBIN	<a href="mailto:jlbertret@free.fr">jlbertret@free.fr</a> <i>bernard.lubin@neuf.fr</i>	
Représentant la marine de commerce	X M. Laurent FRUCTUS M. Eric SABRAZES	<a href="mailto:laurent.fructus@maritima.cft.fr">laurent.fructus@maritima.cft.fr</a> <a href="mailto:eric.sabrazes@maritima.cft.fr">eric.sabrazes@maritima.cft.fr</a>	
Représentant les pêcheurs professionnels	X M. William TILLET M. Joseph GATTO	<a href="mailto:tillet.william@orange.fr">tillet.william@orange.fr</a> <a href="mailto:formationpeches@wanadoo.fr">formationpeches@wanadoo.fr</a>	
Représentant les plaisanciers	X M. Yves ATTALI M. André VIVALDI	<a href="mailto:attali.yves@gmail.com">attali.yves@gmail.com</a> <a href="mailto:andre.vivaldi@orange.fr">andre.vivaldi@orange.fr</a>	
Subdivision des Phares et Balises (DIRM MED)	M. Mikaël PIZZO M. Denis DE FAZIO	<a href="mailto:Mikael.Pizzo@developpement-durable.gouv.fr">Mikael.Pizzo@developpement-durable.gouv.fr</a> <a href="mailto:denis.de-fazio@developpement-durable.gouv.fr">denis.de-fazio@developpement-durable.gouv.fr</a>	

ORGANISATION	NOM – PRENOM FONCTION	ADRESSE INTERNET	SIGNATURE
CROSS La Garde	APAM Nicolas MAIRE chef du service opérations/Sauvetage  A2AM Alice BOIFFIN chef du service opérations/surveillances	<a href="mailto:main.nicolas@developpement-durable.gouv.fr">main.nicolas@developpement-durable.gouv.fr</a>	
PREMAR MED / AEM	AC2AM Stéphane PERON Chef du Pôle « Protection et aménagement durable de l'espace marin » Céline VASCHETTI LV Véronique MAGNIN Pôle ORSEC maritime FADEM Bureau sauvetage en mer	<a href="mailto:stephane.l.peron@intradef.gouv.fr">stephane.l.peron@intradef.gouv.fr</a>  <a href="mailto:veronique.magnin@premar-mediterranee.gouv.fr">veronique.magnin@premar-mediterranee.gouv.fr</a> celine.vaschetti	  
Société MGH	M. Bernard MONLUC [CV(R)]  M. Jean-Michel GERMA [CC(R)]	<a href="mailto:bm@mgh-energy.com">bm@mgh-energy.com</a>	  
GPMM	M. F. MEYRONIN responsable de la capitainerie des Bassins Ouest	<a href="mailto:Franck.Meyronin@marseille-port.fr">Franck.Meyronin@marseille-port.fr</a>	

ORGANISATION	NOM - PRENOM FONCTION	ADRESSE INTERNET	SIGNATURE
CECRED / COM	MTS WÉPIERRE Delphine Bureau approches maritimes cellule Information Nautique	delphine.wepierre@intrade.fr.gouv.fr	
EDF E.N.	VEYAN Philippe Directeur de Projets	philippe.veyan@edf-en.com	
EDF EN	MONIN Hervé Chef de projet usages et sécurité maritimes	herve.monin@edf-en.com	
EDF EN <del>Julien Simon</del>	Julien SIMON, Responsable ingénierie et certification de projet	julien.simon@edf-en.com	
Pied Houie. Péde. Mortijeu	william. Tillet. 1 <sup>er</sup> pied Houie.	tillet.william@orange.FR	
DIRT/Union de coordination des politiques de la mer et du littoral	GARZIANO Stéphane adjoit au chef de service	stephane.garziano@developpement-durable.gouv.fr	



**Parc Eolien Offshore de Provence Grand Large**

**Projet de parc éolien flottant pilote  
Provence Grand Large**

**Dossier de présentation**

**Commission Nautique Locale  
Grande Commission Nautique**

**Août 2017**



Dossier de présentation à la CNL et à la GCN du projet de parc éolien flottant pilote Provence Grand Large					
<b>Version</b>	<b>Description</b>	<b>Rédaction</b>	<b>Vérfifié</b>	<b>Approuvé</b>	<b>Date</b>
1	<i>Version finale</i>	Hervé Monin	Jean-Philippe Pagot	Philippe Veyan	23 août 2017

## Préambule

**La société Parc Eolien Offshore de Provence Grand Large sollicite une concession pour l'utilisation du domaine public maritime pour une durée de 40 ans, afin de construire et exploiter un parc éolien flottant pilote d'une capacité de 24 MW au large du golfe de Fos (Bouches-du-Rhône).**

Les demandes de concession d'utilisation du domaine public maritime font l'objet d'une enquête administrative dont les modalités sont précisées aux articles R.2124-1 et suivants du code général de la propriété des personnes publiques. L'article R.2124-6 dispose qu'à cette occasion, les projets sont soumis à l'avis de commissions nautiques.

Conformément aux dispositions du décret n° 86-606 du 14 mars 1986 relatif aux commissions nautiques et à la note ministérielle du 5 février 2015 relative à la consultation des commissions nautiques dans le cadre de la création d'installations liées aux énergies marines renouvelables, la Commission Nautique Locale (CNL) et la Grande Commission Nautique (GCN) seront saisies pour ce projet.

L'objet du présent dossier à destination des commissions nautiques concerne donc la sécurité de la navigation et des usages au sein et aux abords du parc éolien flottant Provence Grand Large (PGL).

# Sommaire

---

<b>PREAMBULE .....</b>	<b>3</b>
<b>1. IDENTITE DU DEMANDEUR .....</b>	<b>8</b>
<b>2. LOCALISATION ET EMPRISE DU PROJET.....</b>	<b>9</b>
<b>3. CONTEXTE DU PROJET PROVENCE GRAND LARGE .....</b>	<b>13</b>
3.1. UN PROJET DEVELOPPE DEPUIS 2011 .....	13
3.2. L'APPEL A PROJETS DE 2015 (AAP) .....	13
<b>4. ELEMENTS CONSTITUTIFS DU PROJET .....</b>	<b>16</b>
4.1. PRESENTATION GENERALE DU PARC EOLIEN .....	16
4.2. EOLIENNES .....	16
4.3. FLOTTEUR ET ANCRAGE .....	21
<b>5. MODALITES D'INSTALLATION DU PARC PILOTE .....</b>	<b>33</b>
5.1. SITE D'ASSEMBLAGE DES EOLIENNES FLOTTANTES .....	33
5.2. PRESENTATION GENERALE DE LA SEQUENCE D'ASSEMBLAGE ET D'INSTALLATION .....	34
5.3. ASSEMBLAGE ET MISE A L'EAU DU FLOTTEUR .....	34
5.4. BESOINS DE STOCKAGE DES EQUIPEMENTS .....	36
5.5. INTEGRATION DE L'EOLIENNE SUR LE FLOTTEUR .....	37
5.6. INSTALLATION DES EOLIENNES EN MER .....	40
5.7. POSE DES CABLES ELECTRIQUES INTER-EOLIENNES.....	48
<b>6. MODALITES D'EXPLOITATION ET DE MAINTENANCE .....</b>	<b>51</b>
6.1. BASE DE MAINTENANCE COURANTE .....	51
6.2. MAINTENANCE COURANTE ET MAINTENANCE LOURDE.....	53
6.3. MOYEN LOGISTIQUE POUR LA MAINTENANCE COURANTE .....	54
6.4. CENTRE DE SUPERVISION .....	54
<b>7. PLANNING ENVISAGE .....</b>	<b>55</b>
<b>8. IMPACTS SUR LA NAVIGATION, LA SECURITE MARITIME ET SUR LES MOYENS DE SURVEILLANCE MARITIME .....</b>	<b>57</b>
8.1. EN PHASE DE CONSTRUCTION .....	57
8.2. EN PHASE D'EXPLOITATION .....	58
<b>9. MESURES PRISES POUR ASSURER LA SECURITE MARITIME.....</b>	<b>74</b>
9.1. EN PHASE DE TRAVAUX .....	74
9.2. EN PHASE D'EXPLOITATION .....	75
<b>ANNEXES .....</b>	<b>80</b>



# Table des illustrations

## Liste des figures

Figure 1 : Eolienne SWT-8.0-154 installée depuis janvier 2017 sur le site d'Østerild (© Siemens) .....	17
Figure 2 : Représentation de l'éolienne SWT-8.0-154 (Source : Siemens) (valeurs indicatives) .....	18
Figure 3 : Dimensions indicatives de la nacelle (valeurs données en mm) (Source : Siemens) .....	18
Figure 4 : Principaux composants du flotteur et de son système d'ancrage (Source SBM Offshore, 2016) .....	22
Figure 5 : Disposition du flotteur et de son système d'ancrage (dimensions en mm, SBM Offshore, 2016) .....	23
Figure 6 : Description et dimension du flotteur en mm (EL = élévation, SBM Offshore, 2016) .....	24
Figure 7 : Description des plateformes de travail de l'éolienne flottante (Source SBM Offshore, 2016) .....	25
Figure 8 : Illustration de l'accès à l'éolienne flottante (© SBM Offshore) .....	26
Figure 9 : Illustration des connecteurs d'ancrage bi-articulés à cliquet (Source SBM Offshore, 2016) .....	27
Figure 10 : Profil général de la ligne d'ancrage (Source SBM Offshore, 2016) .....	28
Figure 12 : Illustration du profil d'une ancre hybride gravitaire-succion (Source SBM Offshore, 2016) .....	30
Figure 13 : Schéma de principe du raccordement électrique du parc pilote .....	30
Figure 14 : Câble électrique inter-éoliennes (Sources : à gauche, NSW ; à droite Draka) .....	31
Figure 15 : Exemple de connecteur sous-marin type « Drymate » (© Macartney) .....	32
Figure 16 : Exemple de joint usine (© Nexans) .....	32
Figure 17 : Localisation du site Gloria .....	33
Figure 18 : Modularité du flotteur et séquence d'assemblage (Source : SBM Offshore, 2016) .....	35
Figure 19 : Illustration des deux méthodes de mise à l'eau (© SBM Offshore, 2016) .....	35
Figure 20 : Illustration de l'amarrage du flotteur bord à quai (Source : SBM Offshore) .....	36
Figure 21 : Illustration d'un véhicule de transport modulaire transportant une nacelle complète .....	37
Figure 22 : Illustration de l'intégration de l'éolienne sur le flotteur bord à quai (© SBM Offshore) .....	38
Figure 23 : Illustration de l'assemblage d'un mât d'éolienne .....	38
Figure 24 : Illustration de l'opération de levage du rotor complet d'une éolienne (© Siemens) .....	39
Figure 25 : Illustration de l'éolienne montée sur le flotteur bord à quai (© SBM Offshore) .....	40
Figure 26 : Chargement des tronçons de chaîne et des ancres (© SBM Offshore) .....	41
Figure 27 : Chargement typique des ancres sur le pont – illustration (© SBM Offshore) .....	41
Figure 28 : Ancres gravitaires sur le pont .....	42
Figure 29 : Chargement des chaînes de ballastage .....	42
Figure 30 : Mise à l'eau des ancres .....	43

Figure 31 : Déploiement des ancrs / positionnement suivi par ROV .....	43
Figure 32 : Déploiement des chaines de ballastage à l'intérieur des ancrs gravitaires.....	43
Figure 33 : Illustration du remorquage du flotteur (© SBM Offshore).....	44
Figure 34 : Vue artistique du remorquage de l'éolienne flottante (© SBM Offshore) .....	44
Figure 35 : Séquence d'immersion du flotteur (Source : SBM Offshore, 2016) .....	47
Figure 36 : Vue générale du <i>Normand Installer</i> .....	48
Figure 37 : Remorqueur d'assistance typique.....	48
Figure 38 : Exemple de navire câblé .....	49
Figure 39 : Vue mise à l'eau du câble électrique inter-éoliennes.....	49
Figure 40 : Installation des bouées .....	50
Figure 41: Vue d'un <i>hang-off</i> .....	50
Figure 42 : Schéma d'implantation de la base O&M courante .....	51
Figure 43 : Schéma de réaménagement du quai de dépotage .....	52
Figure 44 : Schéma d'implantation du moyen de levage .....	52
Figure 45 : Navire de maintenance typique (Source : <i>Navalu</i> ) .....	54
Figure 46 : Planning prévisionnel et séquençage des travaux envisagés pour le projet éolien .....	56
Figure 47 : Collision frontale et après dérive accidentelle.....	63

## **Liste des tableaux**

Tableau 1 : Identité du demandeur .....	8
Tableau 2 : Eléments de localisation du parc pilote.....	9
Tableau 3 : Références et coordonnées géographiques de la zone de concession du parc pilote .....	11
Tableau 4 : Références et coordonnées géographiques des composants du parc pilote.....	12
Tableau 5 : Principales caractéristiques du projet Provence Grand Large .....	16
Tableau 6 : Principales caractéristiques de l'éolienne Siemens SWT-8.0-154 .....	19
Tableau 7 : Principales caractéristiques du flotteur .....	23
Tableau 8 : Principales caractéristiques du dispositif d'ancrage (valeurs indicatives) .....	27
Tableau 9 : Durée estimée hors aléas météo des travaux d'installation des câbles inter-éoliennes .....	50
Tableau 10 : Durées d'installation en mer du parc pilote .....	58
Tableau 11 : Bilans annuels des échanges du GPM Marseille-Fos et estimations pour l'année 2018 issues du projet stratégique GPMM 2014-2018 (Source : <i>Tecnitas, 2017</i> ).....	61
Tableau 12 : Matrice d'acceptabilité du risque.....	69
Tableau 13 : Acceptabilité des scénarios .....	70



Tableau 14 : Echelle de gravité (SI) de la note NOR DEVT1613199.....	72
Tableau 15 : Echelle de fréquence (FI) de la note NOR DEVT1613199.....	72
Tableau 16 : Matrice d'acceptabilité du risque (RI) de la note NOR DEVT1613199.....	72
Tableau 17 : Résultats des scénarios suivant la note NOR DEVT1613199 .....	73
Tableau 18 : Plan de balisage .....	76

### **Liste des cartes**

Carte 1 : Localisation du projet Provence Grand Large et de son raccordement au réseau électrique .....	10
Carte 2 : Zone demandée en concession pour le parc en mer et configuration du parc.....	11
Carte 3 : Zone retenue pour l'AAP 2015 dans les Bouches-du-Rhône (Source : ADEME) .....	15
Carte 4 : Positions envisagées des éoliennes durant la phase de construction .....	37
Carte 5 : Balisage du parc pilote.....	78

## 1. Identité du demandeur

Le projet de parc pilote d'éoliennes flottantes Provence Grand Large est porté par la société Parc Eolien Offshore de Provence Grand Large, une société par actions simplifiée, détenue par la société EDF EN France SA.

Parc Eolien Offshore de Provence Grand Large a été désigné lauréat le 3 novembre 2016 de l'appel à projets de l'ADEME dans le cadre du Programme des Investissements d'Avenir pour la réalisation d'une ferme pilote d'éoliennes flottantes sur la zone dite de « Faraman » située au large du golfe de Fos (Bouches-du-Rhône).

<b>Nom du demandeur (maître d'ouvrage)</b>	<b>Parc Eolien Offshore de Provence Grand Large</b>
<b>Siret</b>	530 835 180 00015
<b>Siège social</b>	Cœur Défense Tour B 100 Esplanade du Général de Gaulle 92932 Paris La Défense Cedex
<b>Nom et qualité du signataire de la demande</b>	<b>Béatrice BUFFON,</b> agissant en qualité de <b>Directrice Générale Adjointe de la société EDF EN France, elle-même présidente de la société Parc Eolien Offshore de Provence Grand Large, dûment habilitée</b>
<b>Responsables du suivi du dossier</b>	Philippe VEYAN, Directeur de projets Téléphone : 04 42 29 80 05 Courriel : philippe.veyan@edf-en.com

Tableau 1 : Identité du demandeur

## 2. Localisation et emprise du projet

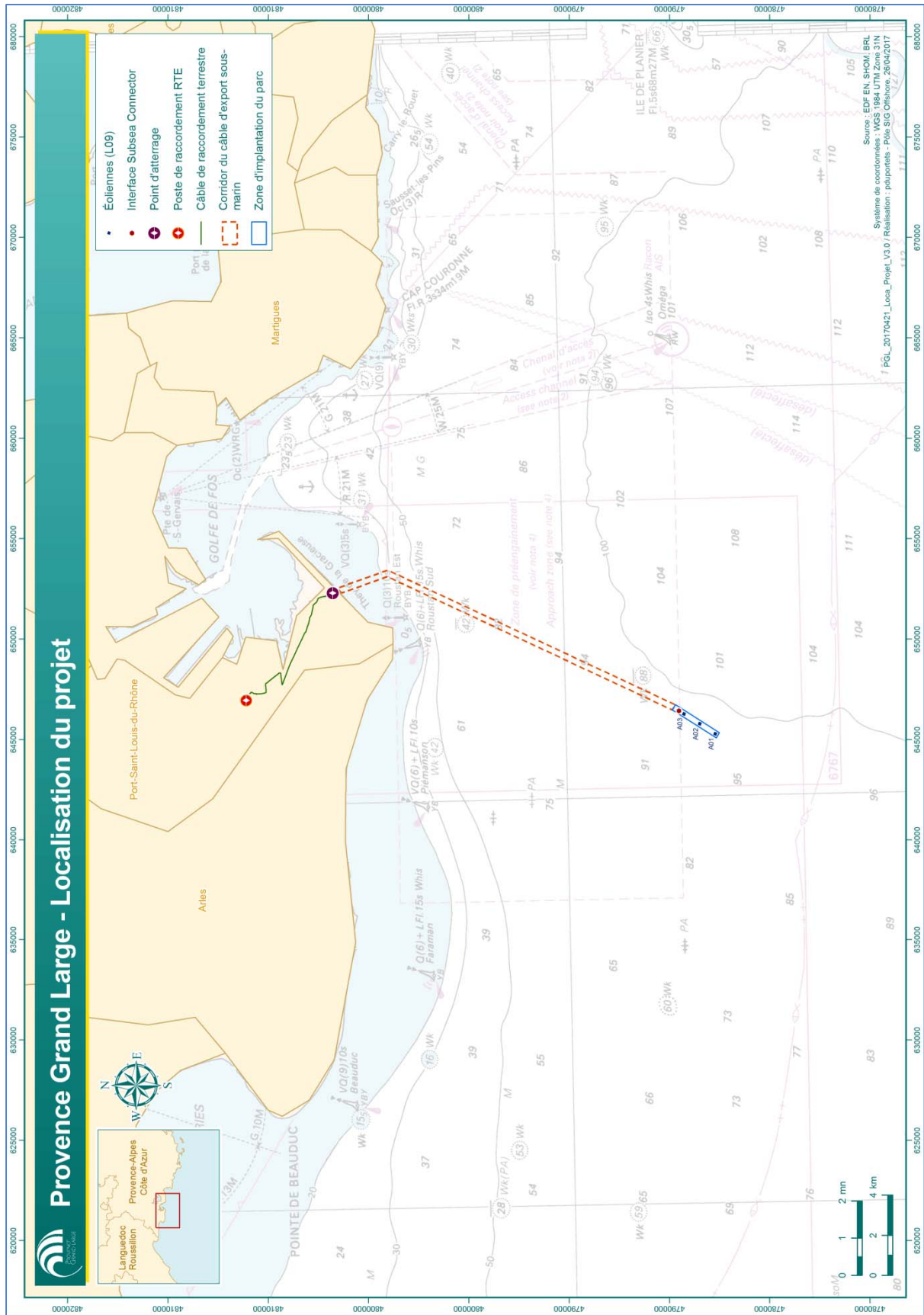
Le projet Provence Grand Large est situé en Provence-Alpes-Côte d'Azur (PACA), dans le département des Bouches-du-Rhône. Le parc pilote est composé de 3 éoliennes de 8 MW flottantes à axe horizontal, présentant une puissance installée de 24 MW. Le point le plus proche du parc pilote en mer est localisé à environ 14 km de l'embouchure du Rhône sur la commune d'Arles. Il est par ailleurs situé à 17 km de la plage Napoléon à Port-Saint-Louis-du-Rhône, où se situe également le point d'atterrissage du câble d'export (Carte 1) et à 23 km des habitations les plus proches, à Carro, sur la côte bleue.

La zone d'implantation du parc pilote en mer est au sein de la zone définie par l'Etat dans le cadre de l'appel à projets « fermes pilotes éoliennes flottantes » de l'ADEME, pour lequel le projet Provence Grand Large est un des lauréats. La localisation du parc pilote et de son raccordement électrique a été définie à l'issue d'un travail itératif mené depuis 2011 avec les autorités et les acteurs du territoire. Elle s'appuie sur plusieurs années d'études et de concertation qui confèrent au maître d'ouvrage une connaissance approfondie des caractéristiques du site et de ses enjeux.

Les principaux éléments concernant l'implantation géographique et l'emprise du parc pilote Provence Grand Large sont présentés dans le Tableau 2.

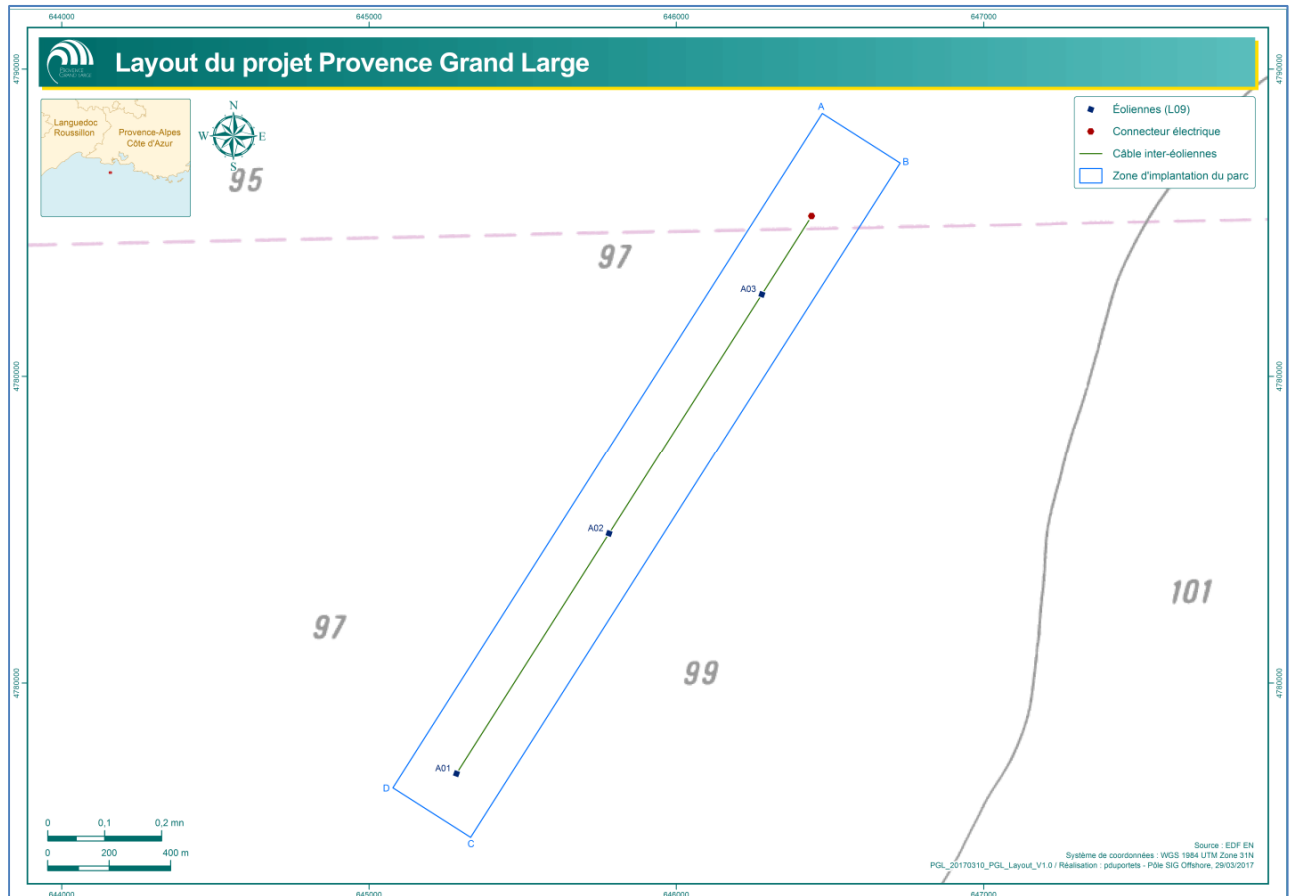
Eléments	Caractéristiques
Surface totale de la zone demandée en concession pour le parc pilote, hors raccordement au réseau d'électricité	0,78 km <sup>2</sup>
Hauteur d'eau (minimale / maximale)	98,6 m LAT (95,7 m / 101,7 m)
Distance à l'embouchure du Rhône à Arles (point le plus proche de la première éolienne du parc pilote)	~ 14 km
Distance à la plage Napoléon à Port-St-Louis-du-Rhône	~ 17 km
Distance à la côte Bleue à Carro - Martigues (secteur habité le plus proche du parc pilote)	~ 23 km
Orientation de la ligne d'éoliennes - Azimut	32,5°
Longueur totale de la liaison électrique	28 km
Port d'assemblage envisagé	Quai Gloria à Port-St-Louis-du-Rhône
Base de maintenance légère	Centrale EDF à Martigues

Tableau 2 : Eléments de localisation du parc pilote



Carte 1 : Localisation du projet Provence Grand Large et de son raccordement au réseau électrique

La zone demandée en concession pour le parc pilote en mer couvre une surface d'environ 0,78 km<sup>2</sup>. Elle comprend les trois éoliennes et leurs ancrages, les câbles électriques, ainsi que le connecteur électrique sous-marin.



**Carte 2 : Zone demandée en concession pour le parc en mer et configuration du parc**

Les coordonnées géographiques des points de référence délimitant la zone de concession du parc pilote en mer sont présentées dans le tableau suivant :

Référence	WGS 84 [DMD]		UTM 31 N [m]	
	Longitude Est	Latitude Nord	X	Y
A	4° 48,178' E	43° 12,137' N	646 475	4 784 856
B	4° 48,362' E	43° 12,047' N	646 728	4 784 695
C	4° 47,296' E	43° 10,877' N	645 331	4 782 499
D	4° 47,111' E	43° 10,967' N	645 077	4 782 660

**Tableau 3 : Références et coordonnées géographiques de la zone de concession du parc pilote**

Les positions des éoliennes sont données ci-dessous à titre indicatif. Elles sont susceptibles d'être adaptées à la marge au sein de la zone de concession (aussi appelée

« zone d’implantation du parc » dans la suite du document) en fonction des contraintes qui pourraient être identifiées lors de travaux de reconnaissance complémentaires (levés géophysiques et géotechniques, détection d’engins explosifs) prévus en 2017. Pour les positions finales, seul le plan de recollement qui sera transmis au SHOM fera foi.

Référence	WGS 84 [DMD]		UTM 31 N [m]	
	Longitude Est	Latitude Nord	X	Y
Connecteur électrique sous-marin	4° 48,147' E	43° 11,957' N	646 440	4 784 522
Eolienne A01	4° 47,265' E	43° 10,990' N	645 285	4 782 706
Eolienne A02	4° 47,644' E	43° 11,405' N	645 781	4 783 486
Eolienne A03	4° 48,023' E	43° 11,821' N	646 278	4 784 267

**Tableau 4 : Références et coordonnées géographiques des composants du parc pilote**

***Nota Bene** : les éoliennes étant flottantes, leur position peut varier de l’ordre de 15 mètres environ autour de leur position nominale.*

Les éoliennes sont alignées et espacées de 920 m au sein de la zone de concession. Les fonds marins sont compris entre 95,7 m LAT (*Lowest Astronomical Tide*) et 101,7 m LAT de profondeur. Cette configuration autour de l’isobathe 100 m a été définie en étroite collaboration avec le Comité Régional des Pêches (CRPMEM PACA) et la Prud’homie de pêche de Martigues de manière à minimiser l’impact du projet sur les activités halieutiques.



### 3. Contexte du projet Provence Grand Large

#### 3.1. Un projet développé depuis 2011

Le développement à proprement parlé d'un premier projet pilote, dénommé Provence Grand Large, a été initié par EDF EN fin 2011 dans le cadre du Programme NER 300 de la Commission Européenne dédié au déploiement de projets innovants dans le domaine des énergies renouvelables. Le projet initial se base sur une toute nouvelle technologie d'éolienne à axe vertical conçue par la société Nénuphar, et sa localisation a été définie à l'issue de plus de 2 années de concertation avec les acteurs concernés, en intégrant l'ensemble des considérations pertinentes (environnement, usages de la mer, réglementation, sécurité, ...) afin de limiter et réduire en amont l'impact du projet. Plusieurs centaines de personnes ont été associées à cette démarche, chaque rencontre ayant été l'occasion de discuter des alternatives et de prendre en compte les propositions. L'ensemble de ce processus de concertation a permis de définir et de valider la localisation du parc pilote et le tracé du raccordement fin juin 2013.

Fin 2013, sur la base des études et de la concertation réalisées, la société Parc Eolien Offshore de Provence Grand Large dépose auprès des services de l'Etat un premier dossier de demande d'autorisation « Loi sur l'eau » et de concession d'utilisation du domaine public maritime. Une première réunion avec la Grande Commission Nautique est organisée à Marseille en janvier 2014, suite à quoi une enquête publique a lieu au milieu de l'année 2014 et le projet reçoit un avis favorable du commissaire enquêteur, permettant à l'État d'achever le processus d'instruction. Fin 2014, le dossier d'autorisation est prêt à être signé.

Début 2015 cependant, le développement de la technologie d'éolienne prévue rencontre des difficultés et son planning est remis en cause, obligeant à la mi-2015 la société Parc Eolien Offshore de Provence Grand Large à prolonger la démarche de concertation sur la base d'une nouvelle technologie, tout en conservant la zone d'implantation initialement définie.

#### 3.2. L'appel à projets de 2015 (AAP)

Un appel à projets (AAP) « Fermes pilotes éoliennes flottantes » a été lancé par l'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME) en août 2015. Son objectif est d'accompagner la réalisation de fermes pilotes éoliennes flottantes en France, à l'échelle 1 et en conditions réelles d'exploitation. Il fait suite à l'appel à manifestation d'intérêt (AMI) « Energies marines renouvelables » lancé en 2009 et à l'AMI « Energies marines renouvelables – Briques et démonstrateurs » lancé en 2013 (*Source : ADEME, 2015*).

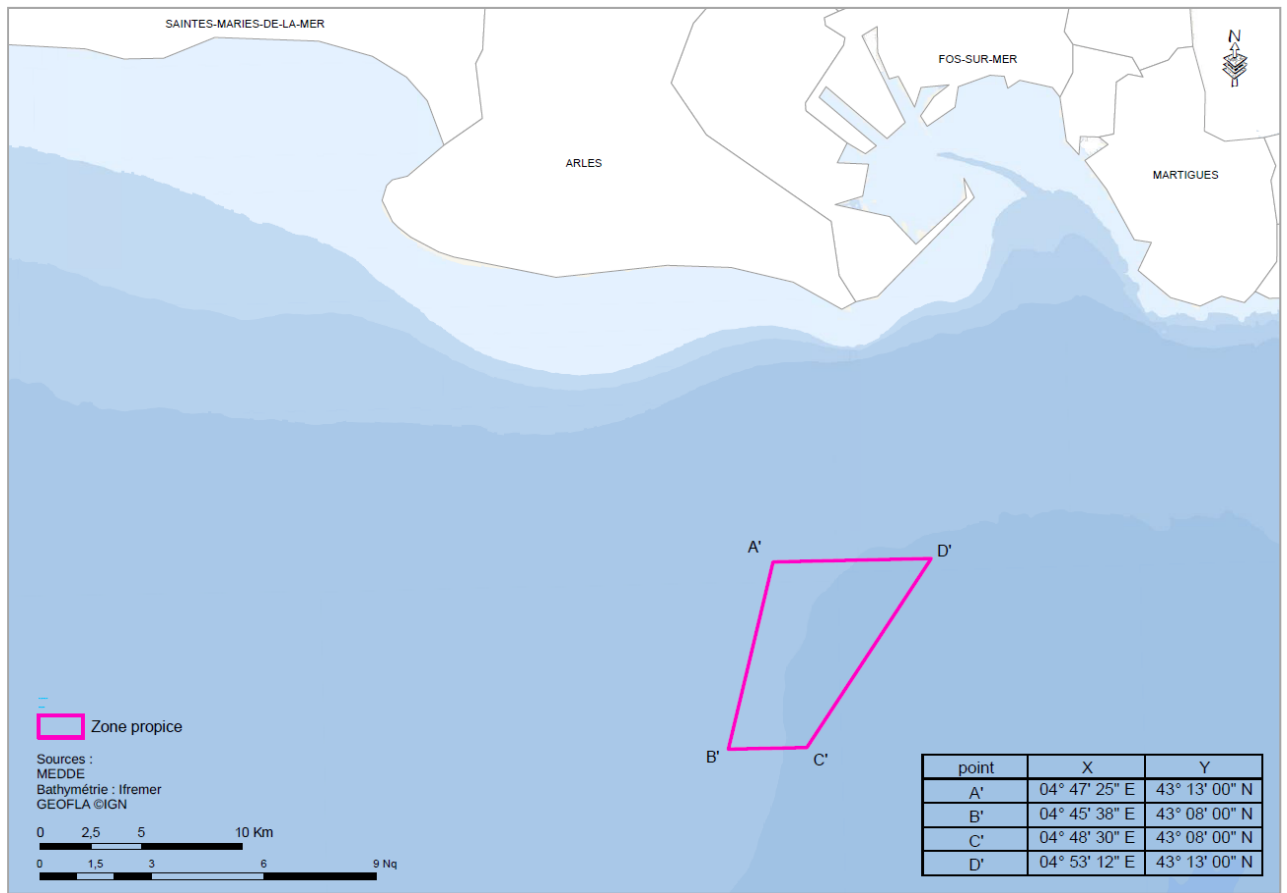
L'appel à projets (AAP) s'inscrit dans le cadre du Programme d'investissements d'avenir (PIA), plus précisément dans l'action « Démonstrateurs de la transition écologique et énergétique » qui a pour objectifs de promouvoir, dans le domaine énergétique et

écologique, des filières industrielles performantes et compétitives (*source : ADEME, 2015*).

Le parc pilote doit ainsi permettre de :

- Valider les performances et la fiabilité de l'ensemble des technologies qui la composent ;
- Apporter un retour d'expérience sur une présérie d'équipements ;
- Développer et valider les systèmes de contrôles commande d'un ensemble des machines ainsi que les nœuds d'interconnexion ;
- Valider les moyens et les méthodes d'installation ;
- Apporter un retour d'expérience dans l'exploitation et la maintenance ;
- Lever les verrous techniques propres à cette technologie ;
- Démontrer la capacité d'un parc d'éoliennes flottantes à respecter les règles imposées par le réseau électrique ;
- Apporter un retour d'expérience sur les impacts sur les autres activités et sur l'environnement ;
- Lever les risques inhérents au site ;
- Aux différents acteurs économiques d'acquérir de l'expérience qui servira à consolider le modèle économique et l'élaboration d'offres commerciales.

Cet appel à projets concerne quatre zones identifiées par le Ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer après un travail de cartographie et de concertation avec les territoires, mené sous l'égide des préfets coordinateurs de façade. L'une d'entre elles se situe en Bretagne, deux autres en Occitanie, la quatrième en région PACA au large du phare de Faraman, englobant notamment le secteur retenu pour Provence Grand Large depuis 2013. La zone identifiée au large de Provence-Alpes-Côte d'Azur, dite « zone de Faraman », est présentée sur la figure suivante.



**Carte 3 : Zone retenue pour l'AAP 2015 dans les Bouches-du-Rhône (Source : ADEME)**

Comme évoqué précédemment, dès l'été 2015, la société Parc Eolien Offshore de Provence Grand Large a engagé l'identification de nouveaux partenaires technologiques afin de poursuivre le projet. Après avoir lancé deux appels d'offres européens, l'entreprise sélectionne le groupe Siemens, spécialiste de fabrication d'éoliennes offshore, au mois de mars 2016. Le 4 avril 2016, société Parc Eolien Offshore de Provence Grand Large dépose sa candidature officielle auprès de l'ADEME. En juillet, la sélection du fournisseur des flotteurs est également opérée au profit de la société SBM Offshore en partenariat avec l'Institut de recherche IFP Energies Nouvelles. Le projet Provence Grand Large est sélectionné à l'AAP le 3 novembre 2016.

## 4. Eléments constitutifs du projet

### 4.1. Présentation générale du parc éolien

Les éoliennes développées par Siemens Wind Power sont composées d'un mât, d'une nacelle et d'un rotor, reposant sur une fondation flottante développée par SBM Offshore en partenariat avec l'IFP Energies nouvelles (IFPEN). Chaque fondation flottante est rattachée au fond marin grâce à plusieurs lignes tendues reliées à des ancres, qui sont de type hybrides gravitaire-suction.

Les principales caractéristiques du projet sont présentées dans le tableau suivant :

Eléments	Description
Type d'éolienne	Axe horizontal
Type de flotteur	Plateforme à lignes tendues
Type d'ancrage	Hybride gravitaire-suction
Nombre de lignes d'ancrage / éolienne	6 (3 x 2)
Durée d'exploitation du parc pilote	20 ans
Nombre d'éoliennes	3 éoliennes
Puissance unitaire des éoliennes et puissance totale installée	8 MW unitaire pour 24 MW de puissance totale installée
Productible du parc pilote	Equivalent à la consommation domestique moyenne en électricité d'environ 40 000 habitants

Tableau 5 : Principales caractéristiques du projet Provence Grand Large

### 4.2. Eoliennes

#### 4.2.1. Présentation de l'éolienne SWT-8.0-154

L'éolienne retenue pour le projet est le modèle SWT-8.0-154 développé par la société Siemens sur la base de la plateforme D7 de nouvelle génération. D'une puissance unitaire de 8 MW, elle est équipée d'une génératrice dite à entraînement direct, donnant ainsi davantage de robustesse et de fiabilité à l'ensemble. Pour cette éolienne, Siemens met en œuvre une technologie éprouvée pour ses précédents modèles de 6 et 7 MW. Ainsi, l'éolienne bénéficie de toutes les innovations et optimisations testées et mises en œuvre pour les éoliennes à entraînement direct de grande dimension.

La technologie d'entraînement direct permet de réduire le nombre de composants par rapport à la technologie de train d'entraînement avec multiplicateur. Cette combinaison optimale entre solidité et légèreté de la nacelle a une incidence significative sur la baisse

des coûts d'infrastructure, d'installation et de maintenance, tout en augmentant le productible sur la durée d'exploitation.



**Figure 1 : Eolienne SWT-8.0-154 installée depuis janvier 2017 sur le site d'Østerild (© Siemens)**

Le rotor de l'éolienne (partie tournante) présente un diamètre de 154 mètres, présentant une surface balayée de 18 600 m<sup>2</sup>. Il permet de maximiser le productible pour tout type de site en mer, des eaux plus calmes aux ressources de vent modérées jusqu'aux sites de haute mer les plus exposés.

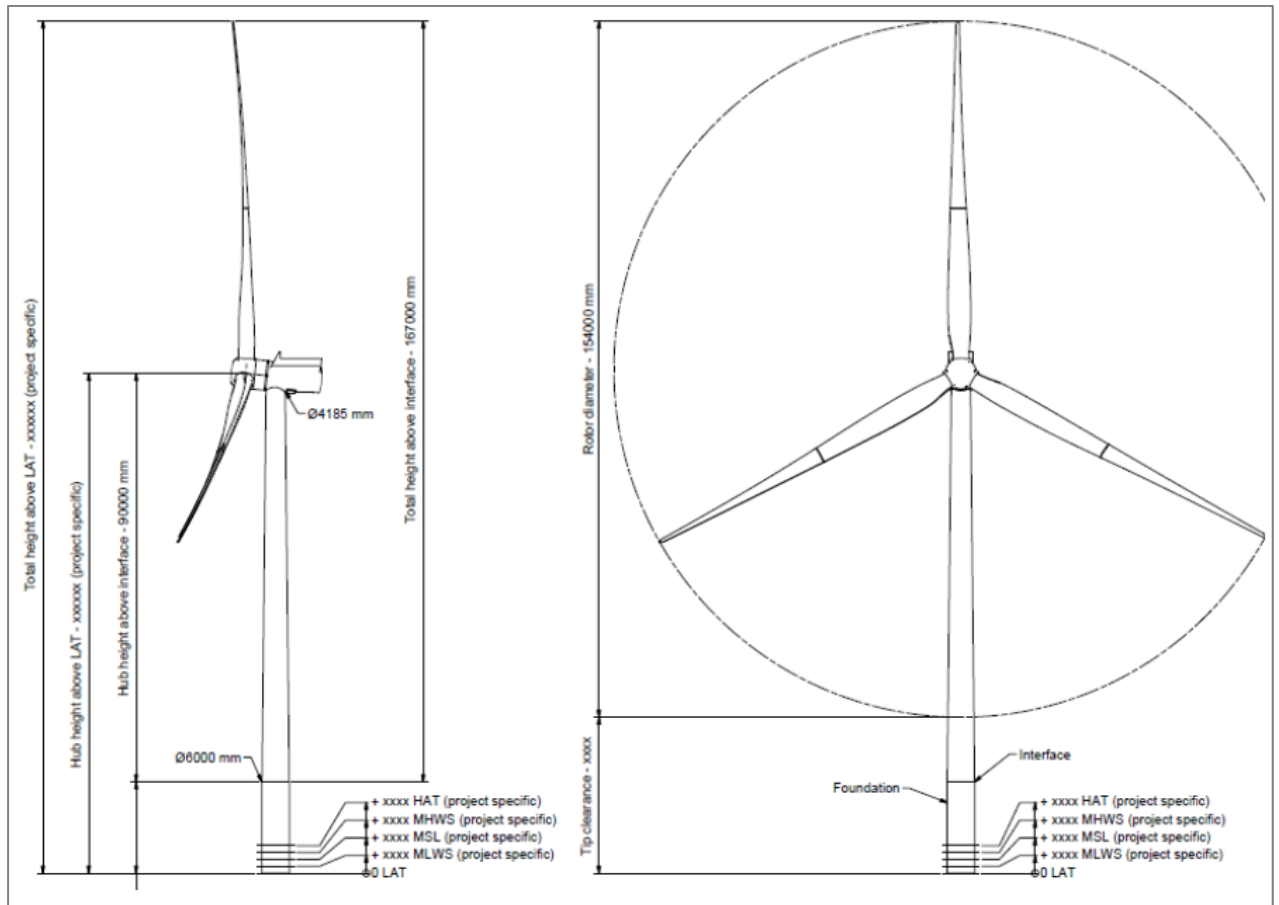


Figure 2 : Représentation de l'éolienne SWT-8.0-154 (Source : Siemens) (valeurs indicatives)

Les dimensions de la nacelle sont précisées de manière indicative sur la figure ci-après.

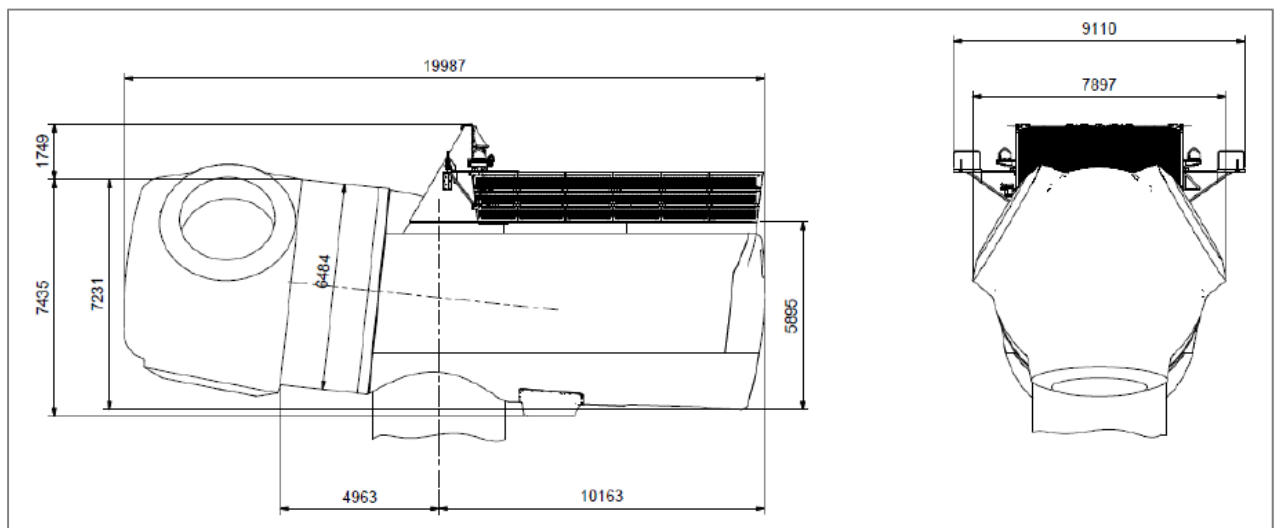


Figure 3 : Dimensions indicatives de la nacelle (valeurs données en mm) (Source : Siemens)

Les caractéristiques générales de l'éolienne Siemens SWT-8.0-154 sont présentées dans le tableau ci-dessous :

Caractéristiques générales de l'éolienne Siemens SWT-8.0-154	
Puissance nominale	8 MW
Vitesse de vent de démarrage	3-5 m/s
Vitesse de vent nominale de fonctionnement	15 m/s
Vitesse de vent maximale de fonctionnement	25 m/s
Position du rotor par rapport au mât	Rotor face au vent
Hauteur de la nacelle	97 m environ au dessus de la mer
Masse du mât	≈ 400 tonnes
Masse de la turbine (nacelle + rotor)	≈ 430 tonnes
Diamètre du rotor	154 m
Nombre de pales	3 pales, axe horizontal
Longueur des pales	75 m
Matériau des pales	Armature balsa, revêtement fibre de verre et résine époxy
Masse des pales	28 tonnes par pale
Surface balayée par les pales	18 600 m <sup>2</sup>
Plage de vitesse de rotation	0-13 tours / min
Méthode de régulation de la puissance	Système de régulation aérodynamique actif par pas variable
Freinage de la machine	Frein automatique à disque hydraulique
Type de génératrice	Synchrone à aimants permanents, entraînement direct
Système de refroidissement de la génératrice	Système de refroidissement à l'eau LiquidLink®, radiateurs de refroidissement passifs montés au sommet de la nacelle

**Tableau 6 : Principales caractéristiques de l'éolienne Siemens SWT-8.0-154**

Les dimensions indicatives de la nacelle sont d'environ 20 m x 9 m x 9 m (L x l x H) (moyeu compris). La nacelle contient des éléments structurels (châssis, couplage du rotor, roulements), des composants électromécaniques (génératrice, bloc convertisseur, système d'orientation au vent, système d'ajustement des pales, système de refroidissement) et des éléments de sécurité (éclairage, extincteurs, freins).

Les pales sont essentiellement fabriquées à partir de revêtement fibre de verre et résine époxy avec des renforts en matériaux composites.

Le mât est conique, en acier, divisé en trois tronçons. Son diamètre varie de 6 mètres à la base à 4 mètres au sommet. Le mât contient des structures secondaires internes (plateformes, échelles, monte-charge), des équipements électriques et des équipements

de sécurité (éclairage, extincteurs). Les sections de tour sont assemblées au moyen de brides boulonnées.

Une fois l'éolienne installée sur sa fondation flottante, la hauteur en bout de pale sera inférieure à 175 m au dessus du niveau moyen de la mer.

Le tirant d'air, qui correspond à la distance entre le bas des pales et le niveau moyen de l'eau, sera au minimum de 20 m au repos, c'est-à-dire pour un vent nul et une mer calme.

Les éoliennes sont configurées pour commencer à fonctionner à partir de 3 m/s de vent, et à s'arrêter automatiquement lorsque le vent dépasse 25 m/s. Sur requête du maître d'ouvrage (opérations de maintenance), des autorités maritimes (intervention de moyens de sauvetage) ou de l'opérateur du réseau d'électricité, les éoliennes peuvent être arrêtées, en particulier dans une position avec une pale le long du mât (position « Y »), ou une pale vers le haut dans le prolongement du mât (position « A »).

Pour s'arrêter, les pales de l'éolienne sont mises en drapeau (dans le lit du vent), ce qui provoque un ralentissement de la vitesse de rotation et finalement l'arrêt du rotor. Le rotor utilise un frein à disque hydraulique, la position à l'arrêt est maintenue grâce à un verrou hydraulique à 3 sécurités.

#### **4.2.2. Système de conversion de l'énergie et contrôle**

---

Chaque éolienne est équipée d'un convertisseur dédié, avec un transformateur qui assure la régulation et l'optimisation de l'énergie produite selon la vitesse de rotation du rotor. Ce convertisseur assure également la mise en sécurité de l'éolienne, sur la base de plusieurs capteurs fixés sur les principaux systèmes mécaniques et électriques.

En complément, le contrôle et le suivi à distance du parc éolien est réalisé par un système SCADA (*Supervisory Control And Data Acquisition*), qui permet de coordonner les actions sur chaque éolienne et d'équilibrer le fonctionnement.

#### **4.2.3. Prévention de la pollution**

---

Chaque éolienne, conçue pour préserver la santé et la sécurité des équipes d'intervention, est conforme aux normes internationales relatives à la sécurité des installations électriques des unités mobiles et fixes en mer. Des détecteurs de fumée sont placés dans l'ensemble des compartiments électriques de l'éolienne suivant la norme EN 54. Les systèmes automatiques d'extinction des incendies sont de type gaz inertes (Argonite, Argogène ou équivalent) ou combinaison de brouillard d'eau et de mousse à air comprimé selon le compartiment de l'éolienne. Tous les équipements principaux et auxiliaires sont supervisés et contrôlés en permanence par un système dédié, à la fois de manière automatique et par des opérateurs assurant une surveillance 24 heures sur 24 et 7 jours sur 7.

De plus, l'éolienne est dotée d'un système qui permet d'écouler les eaux pluviales sans pollution du milieu marin. Elle comporte des systèmes de rétention et de séparation des huiles et des eaux polluées au niveau de chaque composant mécanique et/ou électrique, afin de préserver le milieu marin de fuites éventuelles et de toute pollution. Les fluides issus de ces systèmes sont collectés par navires et traités à terre. Le volume de chaque



bac de rétention est conçu pour récupérer la fuite la plus importante qui pourrait se produire au niveau du composant défaillant.

### **4.3. Flotteur et ancrage**

---

#### **4.3.1. Présentation de la fondation flottante**

---

La solution plateforme à lignes tendues, dite « TLP » terme anglais qui signifie littéralement « *Tension Leg Platform* », a été retenue pour les fondations flottantes des éoliennes. La fondation flottante se compose de plusieurs parties :

- Quatre corps de bouées, aussi dénommés caissons de flottaison, qui soutiennent la masse de l'éolienne et génèrent la tension dans le système d'ancrage (principe de la poussée d'Archimède) ;
- Une structure tubulaire qui les joint ;
- Une pièce de transition sur laquelle est fixée l'éolienne ;
- Une plateforme en permanence émergée permettant l'accès à l'éolienne et formant ainsi le pont de la fondation flottante.

Le schéma de la fondation flottante, développée par la société SBM Offshore en partenariat avec l'IFPEN, est présenté sur la figure ci-dessous :

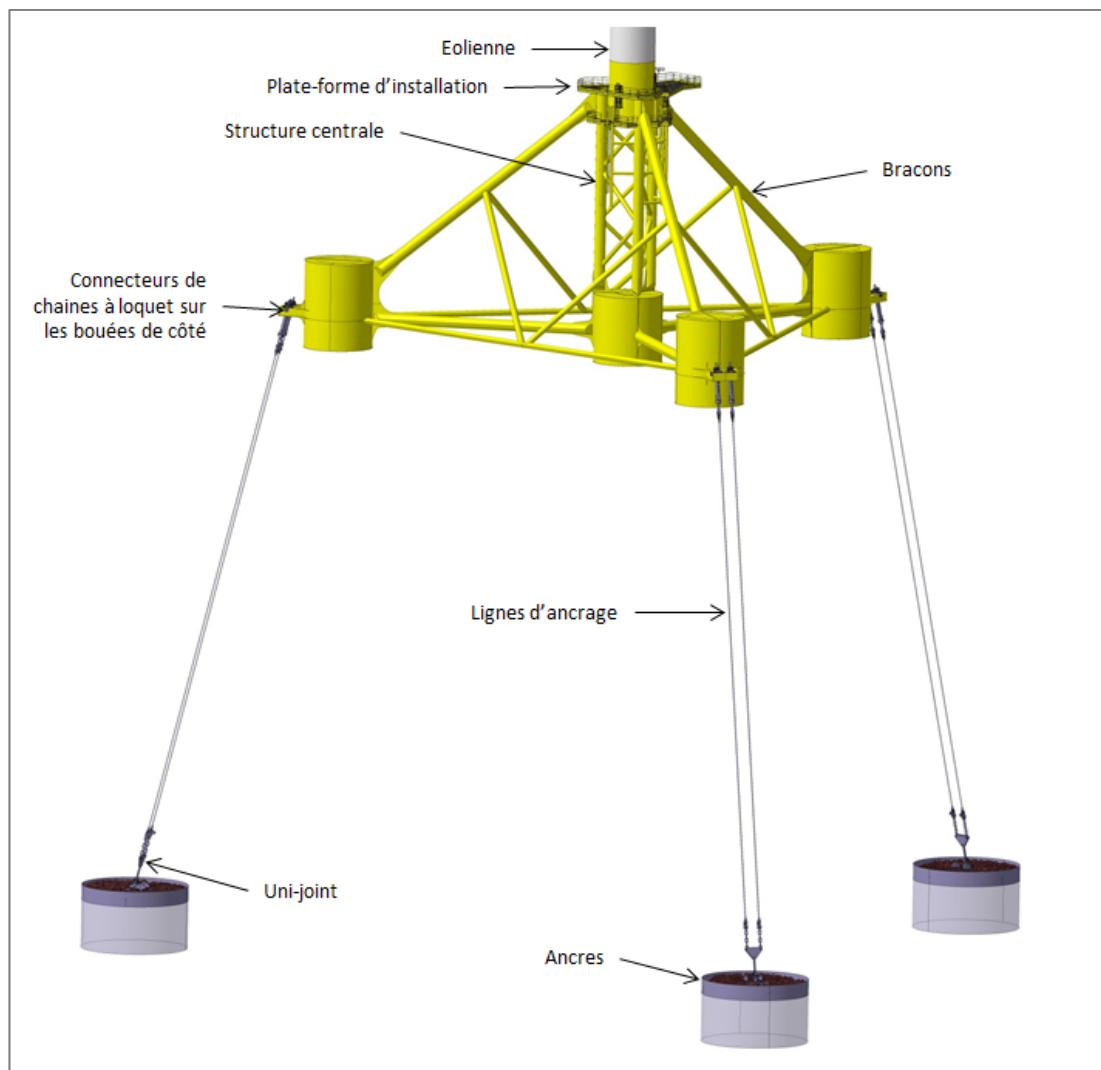


Figure 4 : Principaux composants du flotteur et de son système d'ancrage (Source SBM Offshore, 2016)

### 4.3.2. Le flotteur

#### Caractéristiques du flotteur

La fondation flottante intègre des principes conceptuels permettant d'éviter et réduire l'impact sur l'environnement et les usages (navigation, pêche,...) :

- Une excursion de l'éolienne flottante réduite en raison d'un rayon d'ancrage limité ;
- Une emprise limitée sur les habitats marins car les lignes d'ancrage ne reposent pas sur les fonds.

Le tirant d'eau du flotteur, c'est-à-dire sa partie immergée, est d'environ 25 m. Ainsi, les caissons de flottaison se trouvent bien en-dessous du niveau de la mer, limitant l'impact des vagues et évitant les collisions avec les bateaux. La partie émergée, fortement réduite, offre une faible prise au vent et aux vagues, contribuant à stabiliser l'ensemble. La liaison mécanique boulonnée (bride d'interface) entre le flotteur et la tour se trouve à environ 4 m au-dessus de la plateforme principale où l'on accède à l'éolienne.

Les principales caractéristiques du flotteur (valeurs susceptibles d'évoluer en cours d'exécution du projet) sont présentées dans le tableau suivant :

Caractéristiques générales du flotteur	
Longueur	de 80 à 90 m
Largeur	de 80 à 90 m
Tirant d'eau en phase opérationnelle	~ 25 m
Tirant d'eau en phase de remorquage	< 10 m
Matériau flotteur	Acier
Masse flotteur	de 1 500 à 1 700 tonnes
Masse flotteur incluant les équipements et ballast d'ajustement du poids de construction	de 1 700 ; 1 900 tonnes
Élévation de la plate-forme principale de travail	11 m environ par rapport au niveau de la mer
Élévation de la bride d'interface	15 m environ par rapport au niveau de la mer

Tableau 7 : Principales caractéristiques du flotteur

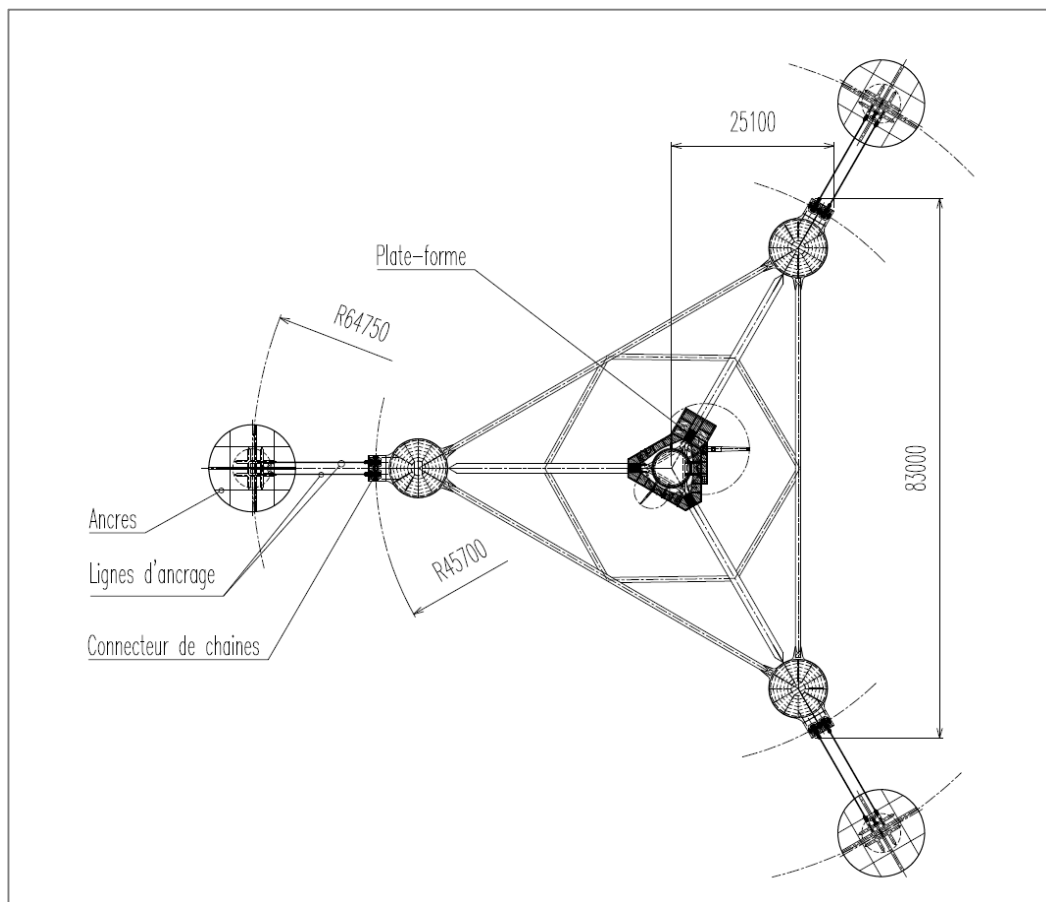


Figure 5 : Disposition du flotteur et de son système d'ancrage (dimensions en mm, SBM Offshore, 2016)

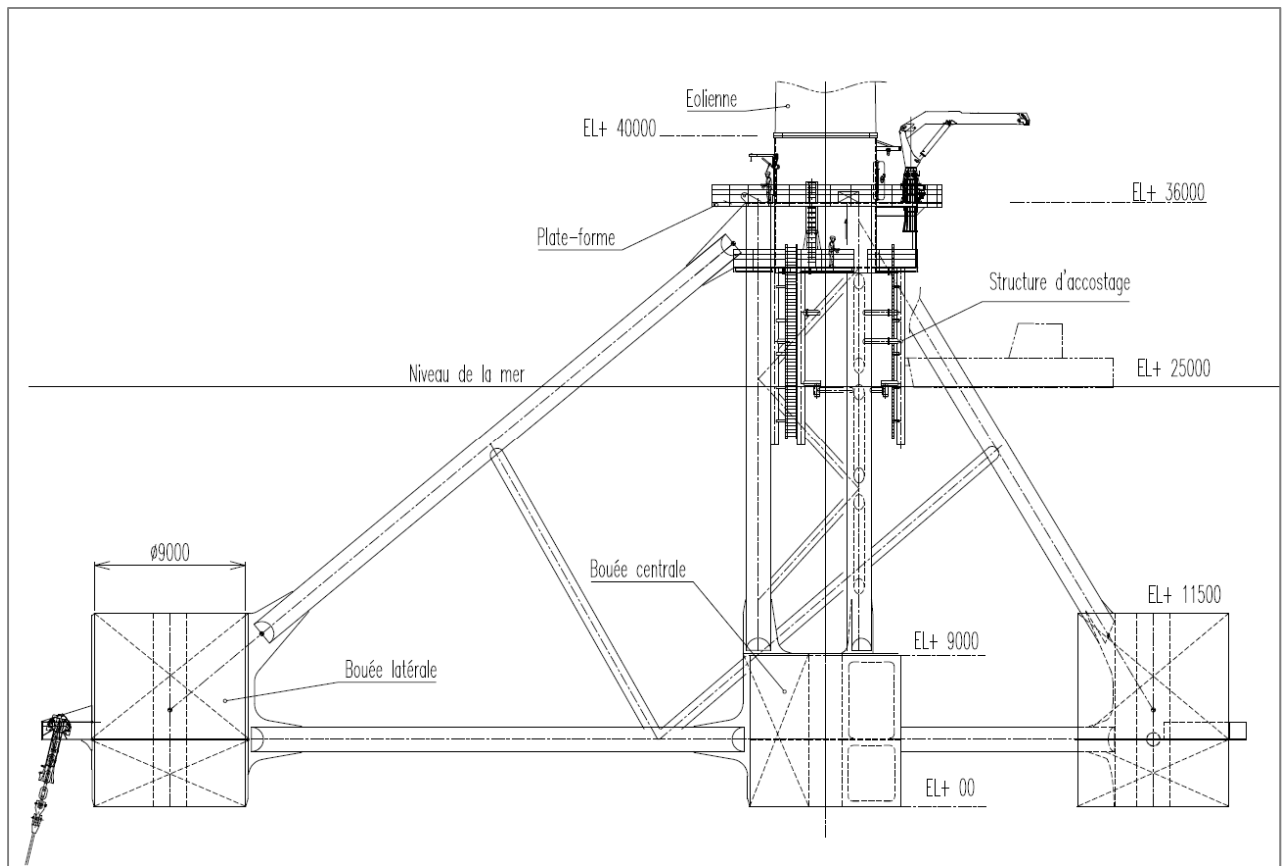


Figure 6 : Description et dimension du flotteur en mm (EL = élévation, SBM Offshore, 2016)

### **Systemes de ballast**

Le flotteur ne nécessite pas de ballastage pendant les phases d'installation ou d'exploitation.

### **Equipements**

Les éoliennes flottantes sont conçues pour fonctionner de manière autonome (sans présence de personnel sur les structures). Une interface utilisateur est présente dans le flotteur mais la supervision du parc éolien s'effectue depuis la terre. L'éolienne flottante n'est pour cette raison pas considérée comme habitée. L'éolienne flottante est pourvue des appareils mécaniques nécessaires à l'exploitation, la maintenance et l'entretien tels qu'une grue extérieure. Les deux grues situées sur la plate-forme principale de la fondation flottante assurent le chargement et le déchargement des équipements sur les navires de service.

Les éoliennes flottantes nécessitent des systèmes auxiliaires d'alimentation pour assurer la prévention et l'extinction des incendies, les alimentations de secours en cas de coupure du réseau public de transport d'électricité, la supervision ainsi que le contrôle-commande.

### **Accès au flotteur**

L'accès du personnel au flotteur se fait par bateau à l'aide de deux structures d'accostage, qui débouchent sur la plateforme secondaire au moyen d'échelles. A partir de ce niveau,

un autre jeu d'échelles permet d'atteindre la plateforme principale, sur laquelle sont situés les principaux moyens de levage et l'accès à la porte étanche au pied du mât.

Les structures d'accostage pourront accueillir d'éventuels naufragés de la mer ; cependant, pour des raisons de sécurité, l'accès à la plate-forme principale ainsi qu'à l'éolienne n'est possible que pour le personnel autorisé et habilité.

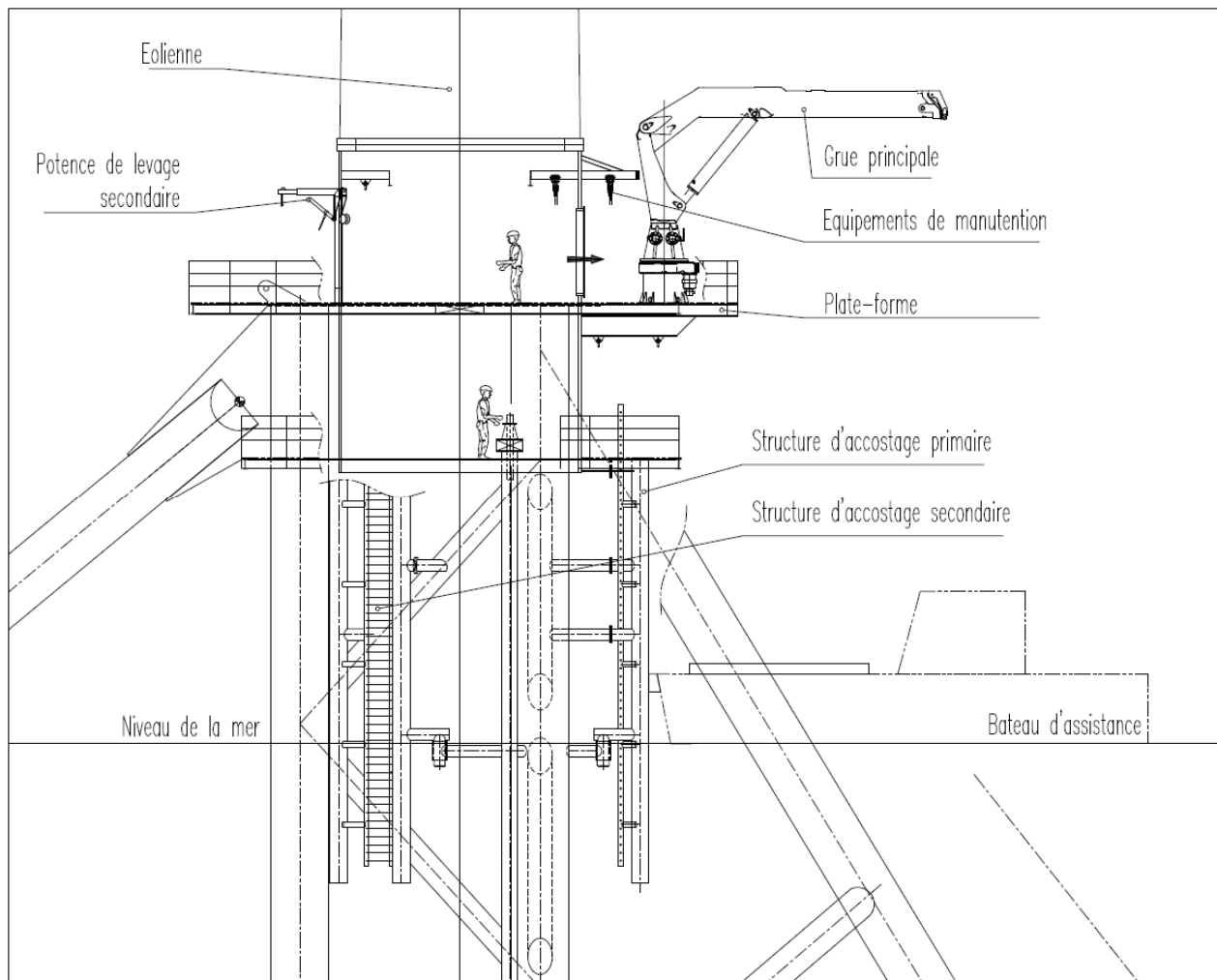


Figure 7 : Description des plateformes de travail de l'éolienne flottante (Source SBM Offshore, 2016)

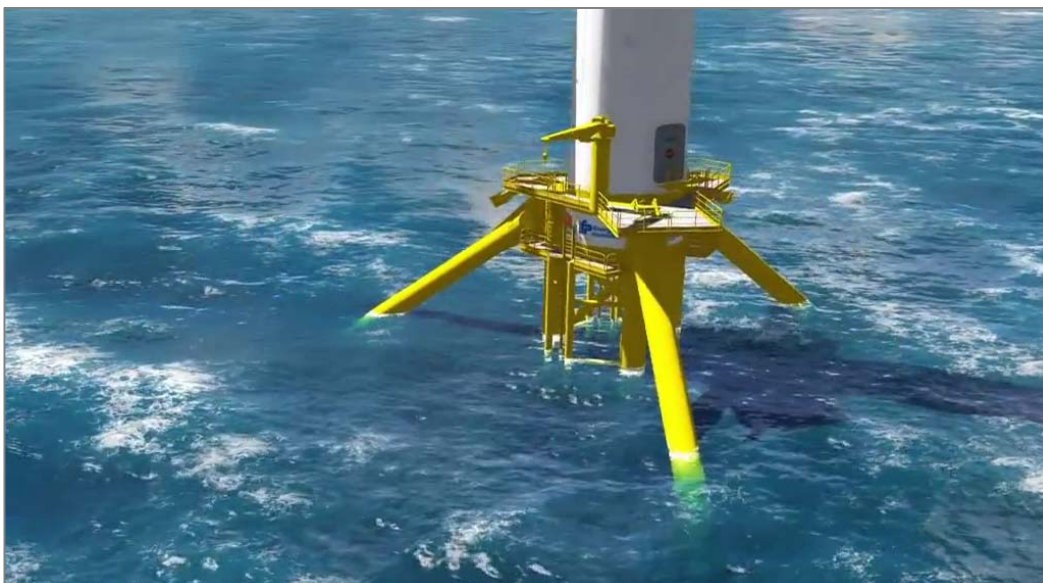


Figure 8 : Illustration de l'accès à l'éolienne flottante (© SBM Offshore)

### **Prévention de la pollution**

Chaque fondation flottante, conçue pour préserver la santé et la sécurité des équipes d'intervention, est conforme aux normes internationales relatives à la sécurité des installations électriques des unités mobiles et fixes en mer. Les systèmes automatiques d'extinction des incendies sont de type gaz inertes (Argonite, Argogène ou équivalent) ou combinaison de brouillard d'eau et de mousse à air comprimé selon le compartiment du flotteur et de l'éolienne. Tous les équipements principaux et auxiliaires sont supervisés et contrôlés en permanence par un système dédié, à la fois de manière automatique et par des opérateurs assurant une surveillance 24 heures sur 24 et 7 jours sur 7.

Le plan de gestion et maintenance dédié permet de prévenir tout risque de pollution.

#### **4.3.3. Le dispositif d'ancrage**

Les principales caractéristiques du système d'ancrage proposé sont présentées dans le tableau suivant :

Caractéristiques générales du système d'ancrage <i>(valeurs susceptibles d'évoluer en cours d'exécution du projet)</i>	
Type d'ancrage	Tendues
Matériaux lignes d'ancrage	Câble acier gainé / chaîne
Nombre de lignes	6
Disposition des lignes / flotteur	3 x 2
Masse lignes	~4 tonnes
Longueur des lignes	de 70 à 80 m
Rayon d'ancrage	de 60 à 75m
Nombre d'ancres / ligne	1 ancre pour 2 lignes
Type d'ancres	Hybride gravitaire-succion

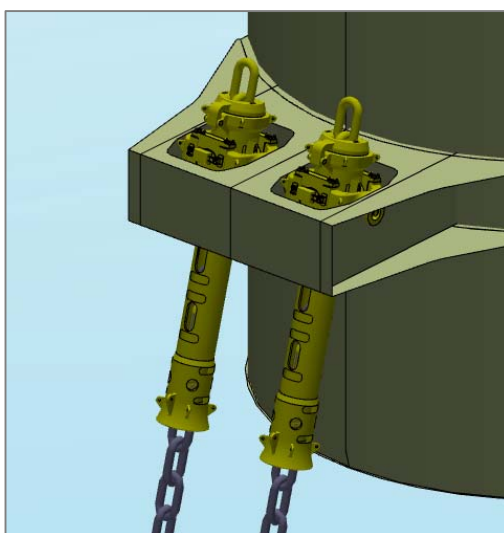
Profondeur d'enfouissement des ancrs	de 5 à 15 m
Diamètre extérieur des ancrs	de 10 à 15 m

**Tableau 8 : Principales caractéristiques du dispositif d'ancrage (valeurs indicatives)**

### **Lignes d'ancrage**

Le système d'ancrage est composé de 3 groupes, comportant chacun deux câbles d'acier tendus (câbles acier + chaînes), ce qui assure une parfaite sécurité au système en garantissant sa redondance ; en effet si l'un des deux câbles vient à casser, l'autre est en capacité de reprendre entièrement l'effort associé. Par ailleurs, ce système d'ancrage tendu permet aux câbles de reprendre toute la poussée du flotteur et de le maintenir sous la surface de l'eau.

Les lignes sont composées de chaînes, en partie supérieure, pour permettre une connexion ajustable *in situ* à la structure au niveau de chaque bouée périphérique. Cette connexion se fait au moyen de connecteurs bi-articulés à cliquet, développés par SBM pour des terminaux *offshores* et éprouvés depuis une dizaine d'années, qui permettent d'optimiser le dimensionnement des chaînes.



**Figure 9 : Illustration des connecteurs d'ancrage bi-articulés à cliquet (Source SBM Offshore, 2016)**

La conception du système d'ancrage prend en compte différentes combinaison de données météo-océaniques concernant le vent (orientation, vitesse, turbulence), les vagues (orientation, hauteur, période) et le courant (orientation, profil, vitesse). Des événements extrêmes comme un séisme sont considérés pour le dimensionnement de l'ensemble de l'éolienne flottante. L'ensemble des situations à considérer pour le dimensionnement des éoliennes flottantes et le dimensionnement associé sera confirmé et validé par un organisme certificateur avant la construction.

Pour concevoir ce système en phase amont du projet, les simulations ont pris en compte les circonstances les plus extrêmes en rapport avec le site basées sur des mesures et études : des vagues de 15 mètres de haut associées à un vent de 155 km/h et le courant le plus fort sur les 50 dernières années. Cela a permis de tester la résistance avec l'une des 6 lignes d'ancrage rompue, mais aussi de vérifier que la plateforme ne dépasse pas un rayon de 15 mètres autour de son point nominal.

Contrairement à une plateforme à lignes tendues typique du secteur pétrolier, les lignes d'ancrage sont inclinées par rapport à la verticale. Cette disposition présente plusieurs avantages :

- Atténuation des mouvements et des accélérations au niveau de la nacelle de l'éolienne, diminuant ainsi les efforts sur les pales ;
- Réduction des efforts au niveau de la bride de connexion entre la tour de l'éolienne et du flotteur ;
- Diminution des tensions dans les lignes d'ancrage.

La configuration du système d'ancrage est présentée sur la figure suivante.

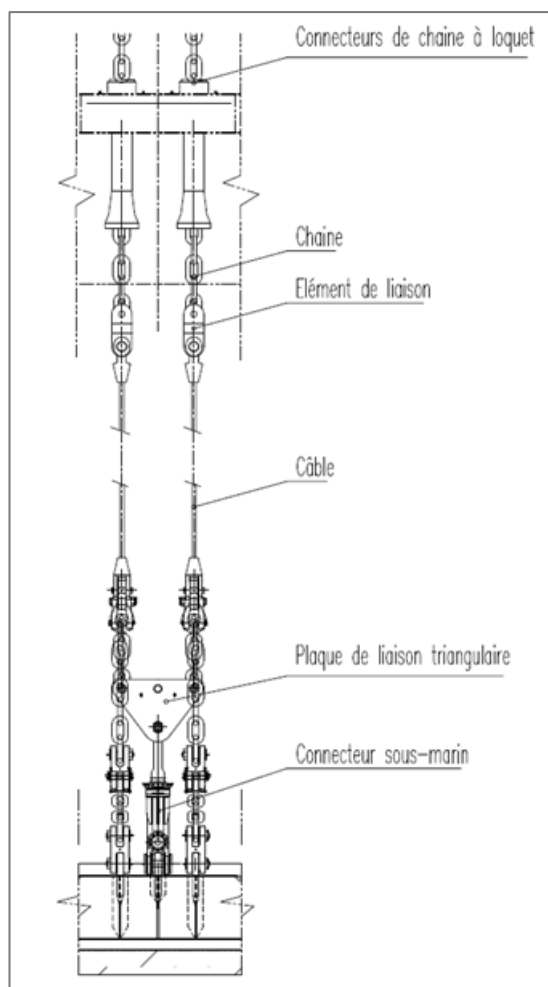


Figure 10 : Profil général de la ligne d'ancrage (Source SBM Offshore, 2016)

Une fois le flotteur installé, quelques maillons se trouvent dans la partie tendue. Le reste de la partie tendue est composé de câbles en acier gainé, de même résistance que la chaîne. Ceci permet d'optimiser le comportement dynamique de l'éolienne flottante et donc de limiter le poids de l'ensemble.

En pied de lignes, les 2 lignes se rejoignent sur une plaque triangulaire (composant mécanique) montée sur une liaison du type « uni-joint ». Des chainettes ont été ajoutées au bas des lignes d'ancrage pour proposer une redondance supplémentaire dans les lignes. Ces chainettes reprennent l'intégralité des efforts dans le cas d'une rupture du



composant mécanique. Cette composition de l'ancrage est encore susceptible d'évoluer au bénéfice de l'amélioration du système et donc de la sécurité de la structure.

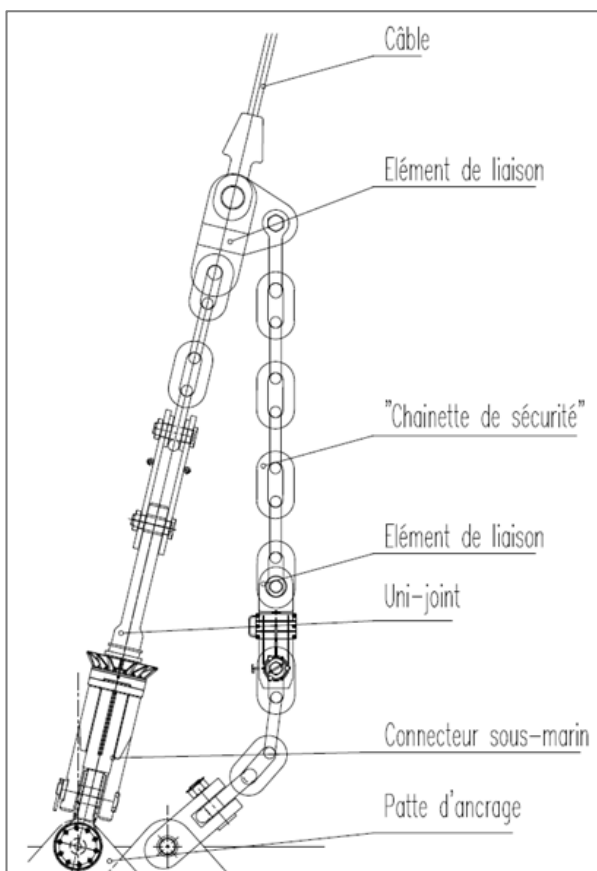


Figure 11 : Chainettes assurant une redondance au bas des lignes d'ancrage (SBM Offshore, 2016)

## Ancres

La fixation des lignes d'ancrage au fond marin se fait par l'intermédiaire d'une ancre à succion ou hybride gravitaire-succion. Les tensions et mouvements exercés par le flotteur et le câble sont ainsi absorbés, ce qui stabilise l'ensemble. La solution finale pour l'ancrage n'est pas figée à ce stade du projet et est susceptible d'évoluer lors de la phase d'ingénierie détaillée, notamment afin de trouver une solution optimale en fonction de l'adéquation aux conditions de sol, ainsi que des modalités de fabrication et d'installation. L'évolution potentielle de l'ancre ne devrait être néanmoins que mineure. La structure primaire de la fondation et notamment la dimension maximale du système ne devrait pas être modifiée.

Les ancres seront protégées contre la corrosion avec une 'corrosion allowance'<sup>1</sup> ou bien avec une combinaison de peinture et 'corrosion allowance'. Ceci n'est pas encore figé à ce stade du développement du projet. La jupe pénétrant le sol ne sera pas peinte.

<sup>1</sup> La 'corrosion allowance', terme anglais qui signifie littéralement « surépaisseur de corrosion », est une épaisseur du matériau du corps d'un composant de la fondation flottante, prévue en sus de l'épaisseur minimale requise, afin d'en augmenter la résistance à la corrosion. Cette surépaisseur est déterminée afin de garantir une épaisseur minimale sur toute la durée de vie du projet.

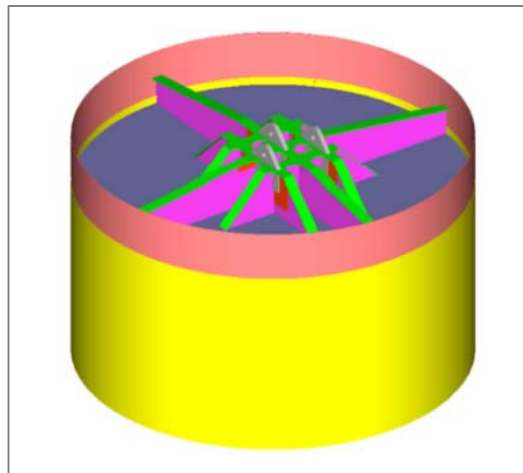


Figure 12 : Illustration du profil d'une ancre hybride gravitaire-suction (Source SBM Offshore, 2016)

#### 4.3.4. Architecture électrique du parc pilote

L'architecture électrique retenue pour le projet de parc éolien flottant pilote Provence Grand Large est schématisée en Figure 13. Elle est définie pour raccorder l'ensemble des 3 éoliennes formant le réseau électrique interne à un câble électrique d'export. La connexion du réseau électrique interne avec le câble d'export sous-marin se fait par un connecteur sous-marin ou équivalent.

Au point d'atterrissage, le câble de raccordement sous-marin est connecté à un câble terrestre dans une chambre de jonction. Une fois acheminée à terre, l'énergie est transmise au réseau de transport par un poste de livraison électrique.

On retrouve donc dans la partie maritime du parc pilote :

- Les trois éoliennes raccordées entre elles par des câbles électriques inter-éoliennes dynamiques, formant un réseau électrique interne ;
- Un connecteur sous-marin ou équivalent reliant le réseau électrique interne à un câble électrique d'export transportant l'énergie vers la terre ;
- Un câble d'export, dimensionné pour exporter la puissance maximale du parc pilote.

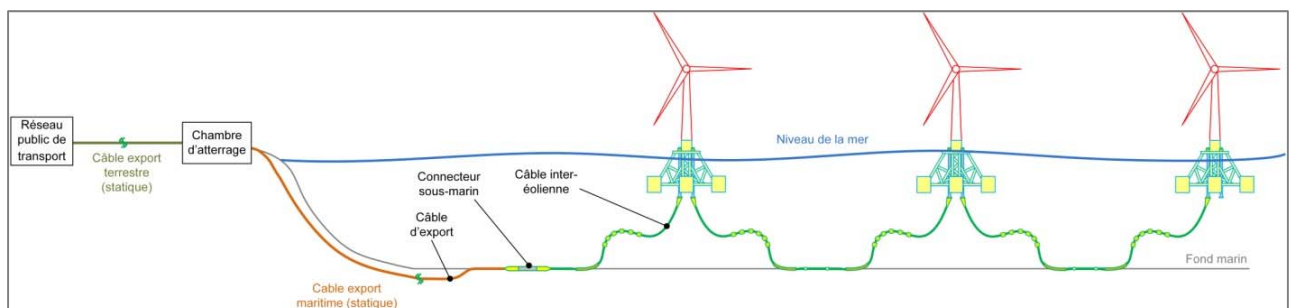


Figure 13 : Schéma de principe du raccordement électrique du parc pilote

#### 4.3.5. Câbles électriques inter-éoliennes dynamiques

Le réseau électrique inter-éolien du parc éolien pilote a pour rôle de relier électriquement les éoliennes à un câble électrique d'export, par l'intermédiaire d'un connecteur sous-

marin ou équivalent, dans lesquels circule un courant électrique alternatif et triphasé, à une tension nominale de 66 kV. Ce réseau contient également les fibres optiques nécessaires à la transmission d'informations au sein du parc éolien.

Les 3 éoliennes sont raccordées en une seule grappe. Le dimensionnement préliminaire des câbles prévoit d'utiliser une seule section pour les âmes des conducteurs, à savoir 150 mm<sup>2</sup>, ce qui correspond à un diamètre extérieur du câble compris entre environ 15 cm à 20 cm et à un poids d'environ 40 kg par mètre. L'intensité maximale du courant électrique transitant le câble est de l'ordre de 250 A.

La Carte 2 page 11 montre le cheminement-type des câbles. A noter que celui-ci est susceptible d'évoluer légèrement en fonction des futurs travaux de reconnaissance (géophysiques, géotechniques, engins explosifs) prévus en 2017.

Le câble électrique inter-éoliennes dynamique part de la fondation flottante et plonge vers le sol en suivant une courbe en « S » appelée « *lazy wave* ». Chaque liaison dynamique reliant deux éoliennes aura une longueur comprise entre 1 300 m et 1 500 m environ. La longueur totale de l'ensemble des câbles inter-éoliennes reposant sur le fond marin sera d'environ 2,5 km.

Comme le montre la figure ci-après, chaque câble est constitué de trois conducteurs positionnés en « trèfle », dans lesquels transitent des courants électriques déphasés de 120° les uns par rapport aux autres. Chaque conducteur est composé d'une âme en aluminium ou en cuivre, gainée par un matériau hautement isolant permettant une utilisation jusqu'à un niveau de tension de 66 kV. L'ensemble (âme + isolant) est entouré d'un écran métallique conducteur et d'une gaine de protection. Une double armure métallique constituée notamment de tresses en acier galvanisé sert à protéger le câble des éventuelles agressions mécaniques extérieures. Elle regroupe les trois conducteurs et un faisceau de fibres optiques pour former un câble d'un seul tenant. La gaine extérieure empêche son abrasion et limite la corrosion.

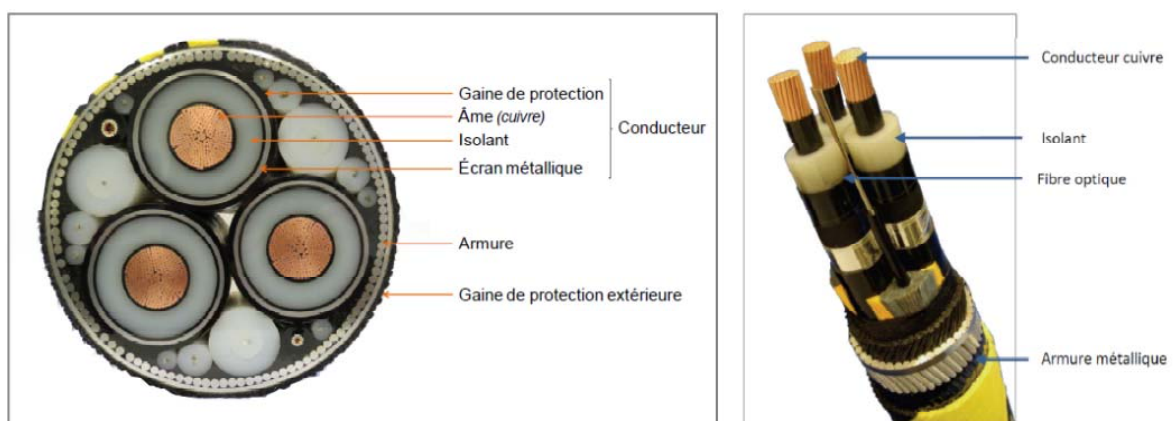


Figure 14 : Câble électrique inter-éoliennes (Sources : à gauche, NSW ; à droite Draka)

Chaque liaison dynamique sera composée d'un câble électrique dynamique et de différents accessoires sous-marins permettant de garantir son intégrité et de former la courbe en « S ».

Les principaux accessoires sont :

- Le limiteur de courbure « *bend stiffener* » en polyuréthane qui assure la protection du rayon de courbure du câble au niveau de sa connexion à la plateforme flottante ;
- Les bouées en polyuréthane qui assurent la forme de « *Lazy-Wave* » du câble ;
- Des coquilles en polyuréthane qui protègent le câble localement contre l'abrasion au niveau de son contact sur le fond marin (« *touchdown point* »).

#### 4.3.6. Connecteur sous-marin

L'un des 2 câbles électrique dynamique de l'éolienne de tête sera raccordé au câble électrique d'export sous-marin (statique), sous maîtrise d'ouvrage RTE, *via* un connecteur sous-marin type « *dry mate* » ou un joint usine.

Le connecteur sous-marin type « *dry mate* » ou le joint usine sera déposé sur le fond marin sans système de fixation.

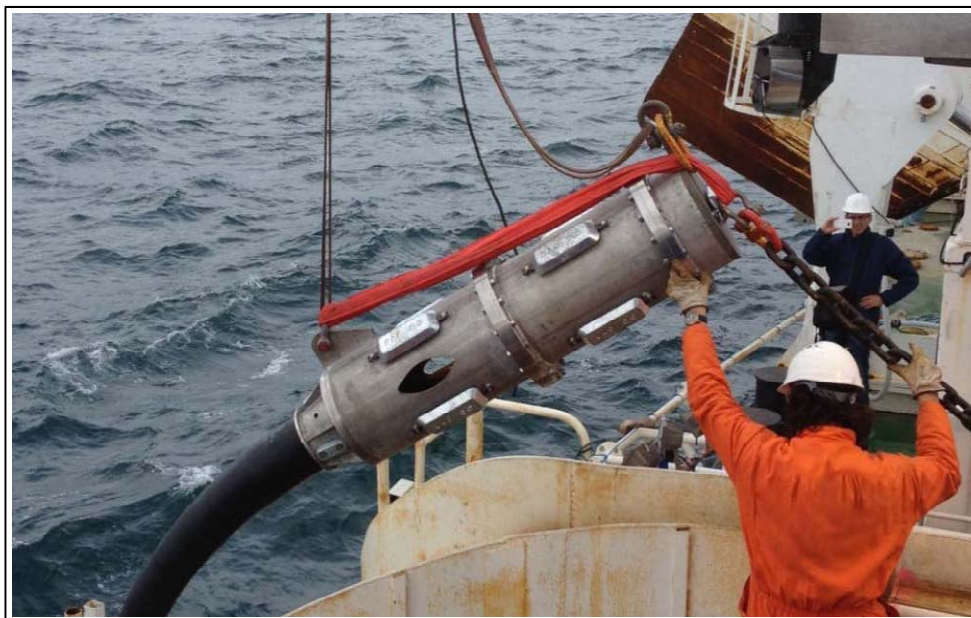


Figure 15 : Exemple de connecteur sous-marin type « *Drymate* » (© *Macartney*)

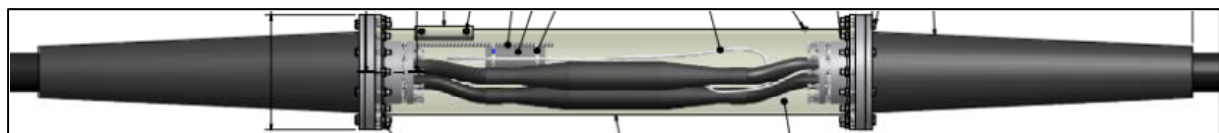


Figure 16 : Exemple de joint usine (© *Nexans*)

Les caractéristiques principales du connecteur sous-marin sont les suivantes (ordre de grandeur) :

- Longueur : ~10m
- Diamètre : < 1m
- Poids : ~ 1500 kg
- Matériau : Polyuréthane et acier inoxydable pour la chambre de jonction

Le connecteur sera pourvu de quelques anodes galvaniques qui garantissant sa protection cathodique.

## 5. Modalités d'installation du parc pilote

### 5.1. Site d'assemblage des éoliennes flottantes

La présence à proximité des infrastructures portuaires du Grand Port Maritime de Marseille (GPM) constitue un atout essentiel pour le projet Provence Grand Large, puisqu'elles sont globalement en capacité d'accueillir les opérations d'assemblage qui doivent être réalisées à quai.

Parmi les sites possibles, une analyse combinant de multiples critères a conduit à l'identification d'un site localisé en darse 3 des bassins Ouest du GPM. Il s'agit du quai Gloria, sur la commune de Port-Saint-Louis-du-Rhône. Néanmoins, des études complémentaires, menées en concertation avec le Grand Port Maritime de Marseille, les exploitants locaux, les collectivités locales et les autorités concernées ainsi que le comité de liaison du projet, devront confirmer définitivement l'intérêt de cette localisation.



Figure 17 : Localisation du site Gloria

## 5.2. Présentation générale de la séquence d'assemblage et d'installation

A ce stade du développement du projet, la solution retenue pour l'installation des éoliennes flottantes sur le site en mer repose sur les étapes suivantes :

- Etape 1 : Assemblage des flotteurs sur le quai ;
- Etape 2 : Mise à l'eau des flotteurs, stockage *et éventuellement remorquage des flotteurs au quai d'intégration (uniquement dans le cas où la zone d'assemblage des flotteurs et d'installation des éoliennes sont différentes)* ;
- Etape 3 : Opérations de levage et d'installation de l'éolienne sur le flotteur bord à quai ;
- Etape 4 : Remorquage des éoliennes flottantes vers le quai d'armement et d'essais puis le site d'implantation en mer ;
- Etape 5 : Installation des éoliennes flottantes.



1. Quai Gloria :  
Assemblage des  
flotteurs
2. Darse 3 :  
Stockage des  
flotteurs au  
mouillage
3. Quai Gloria :  
Installation des  
éoliennes sur les  
flotteurs
4. Quai minéralier :  
Stockage en bord  
à quai des  
éoliennes  
installées sur leur  
flotteur
5. Remorquage des  
éoliennes vers le  
site d'installation

## 5.3. Assemblage et mise à l'eau du flotteur

Les différents besoins liés à la construction navale, la mise à l'eau du flotteur ainsi que la possibilité de le remorquer facilement jusqu'au site d'installation de l'éolienne ont été pris en compte dès la conception du flotteur. C'est pourquoi sa structure est faite de plusieurs éléments modulaires, nécessitant des moyens de levage standards disponibles sur la plupart des chantiers de fabrication.



Figure 18 : Modularité du flotteur et séquence d'assemblage (Source : SBM Offshore, 2016)

Pour le projet pilote Provence Grand Large, il n'est pas prévu de développer une infrastructure dédiée à l'assemblage des flotteurs. Les différents modules composant le flotteur seront assemblés sur un chantier dit « forain » avant d'être mis à l'eau. A ce stade du projet, la localisation du chantier pour cette phase d'assemblage n'est pas définie. Le chantier sera localisé sur un site industriel déjà en place aujourd'hui. Quelque soit le lieu retenu, il n'est pas attendu d'interaction particulière entre ce chantier temporaire et l'environnement (le milieu marin en particulier).

Une fois assemblés sur un site de construction, les flotteurs seront successivement mis à l'eau. Pour cette étape, différentes options sont étudiées par SBM, par exemple le chargement sur une barge à l'aide de remorques motorisées, le lancement via des rampes de mise à l'eau, le chargement sur une barge par ripage, en tirant avec des treuils sur des poutres métalliques. Le faible tirant d'eau des flotteurs permet d'éviter une construction en cale sèche, qui aurait été très contraignante.

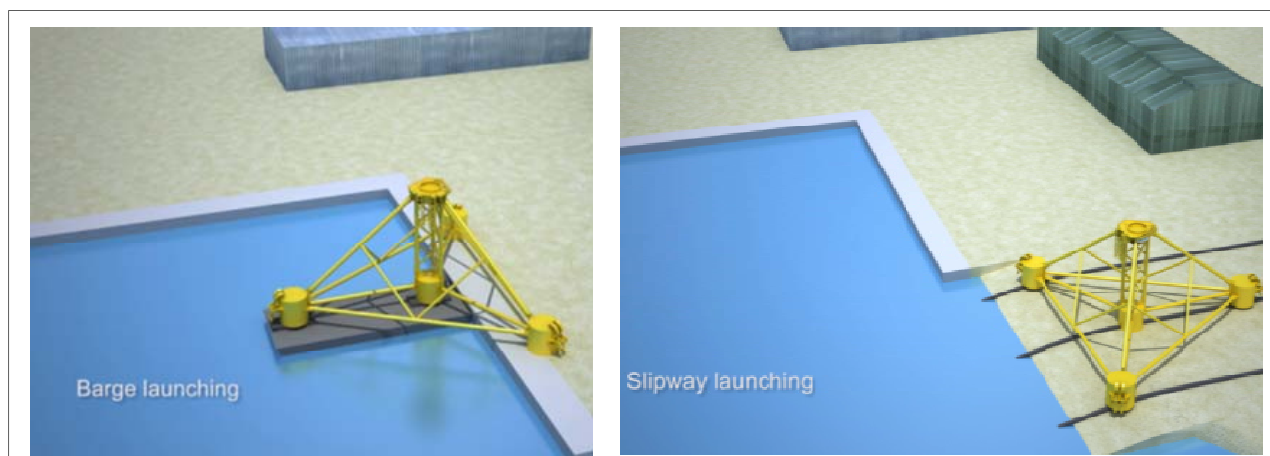


Figure 19 : Illustration des deux méthodes de mise à l'eau (© SBM Offshore, 2016)

Les flotteurs seront remorqués jusqu'au site d'intégration (si différent) avant d'être amarrés au quai en attendant l'assemblage des éoliennes.

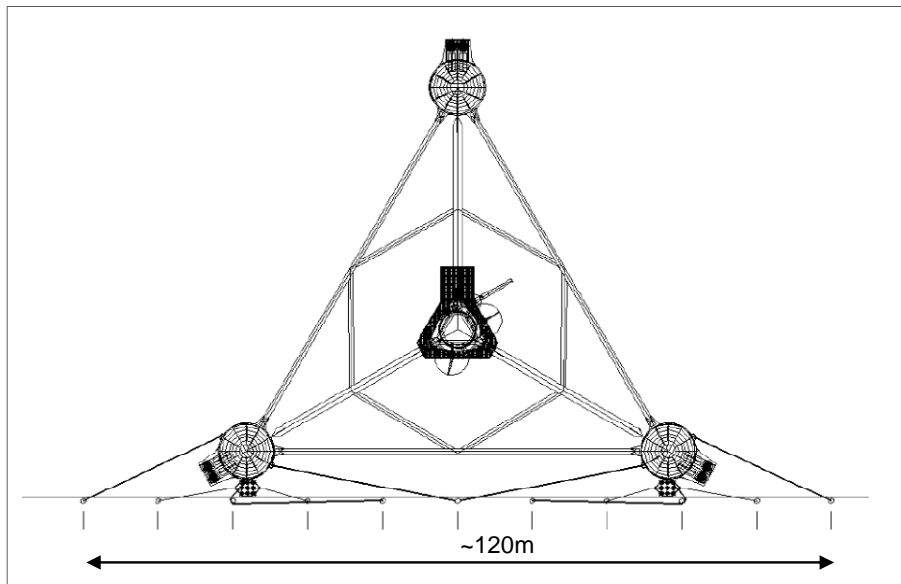


Figure 20 : Illustration de l'amarrage du flotteur bord à quai (Source : SBM Offshore)

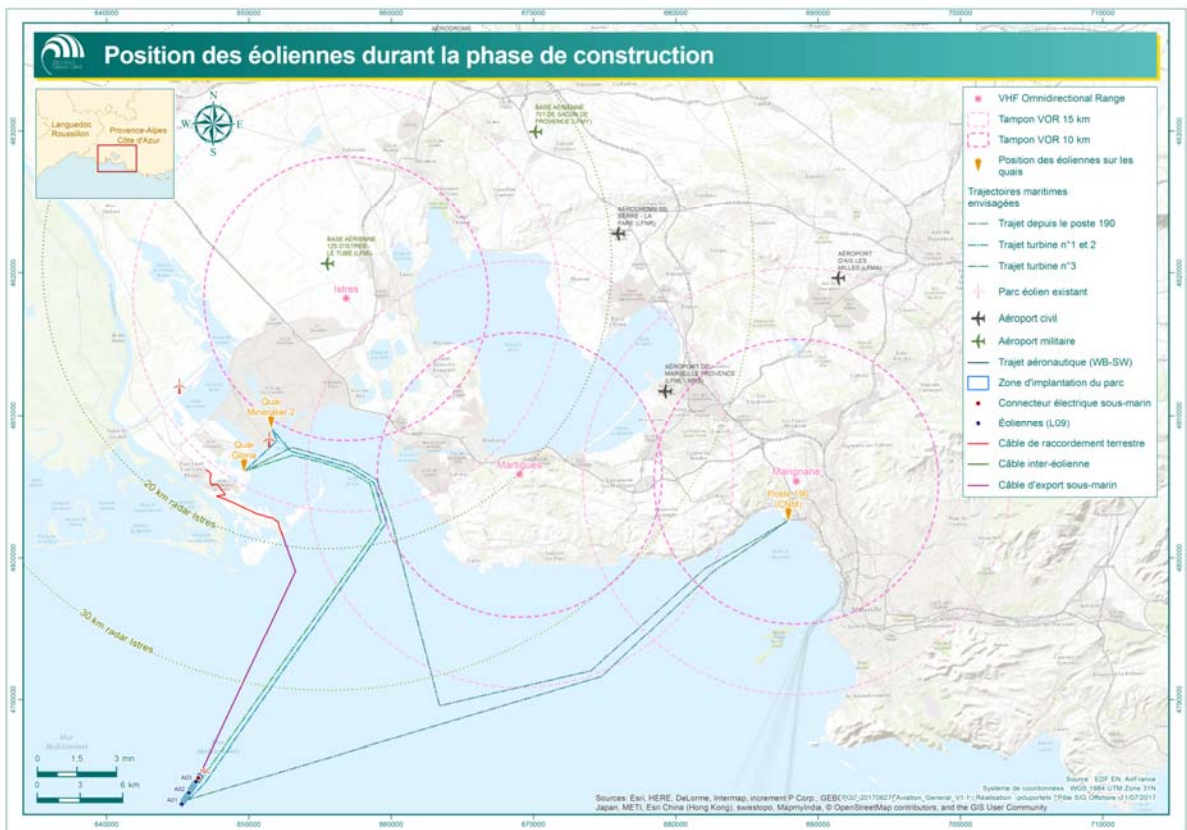
#### 5.4. Besoins de stockage des équipements

Pour ce qui concerne le stockage des flotteurs nus le cas le plus probable est un stockage de quelques semaines amarré à des pieux en darse 3 des bassins Ouest du port. Alternativement un stockage à quai, au niveau du terminal minéralier en darse 2 est également étudié.

Pour ce qui concerne le stockage des ensembles complets (éoliennes montées sur flotteurs, voir ci-dessous), le cas le plus probable est là encore l'utilisation du quai minéralier pendant quelques semaines. Est également étudié la possibilité, en alternative ou en complément du quai minéralier, d'effectuer le stockage à la Digue du Large à Marseille.

La carte ci-dessous précise les localisations concernées et les mouvements prévus pour les transferts des équipements.





Carte 4 : Positions envisagées des éoliennes durant la phase de construction

## 5.5. Intégration de l'éolienne sur le flotteur

### 5.5.1. Moyens utilisés pendant l'assemblage des éoliennes

Chacun des composants constituant une éolienne sera manipulé et déplacé à l'aide d'équipements adaptés tels que des grues mobiles ou encore des modules de transport automoteurs pour charges lourdes (véhicules modulaires SPMT).

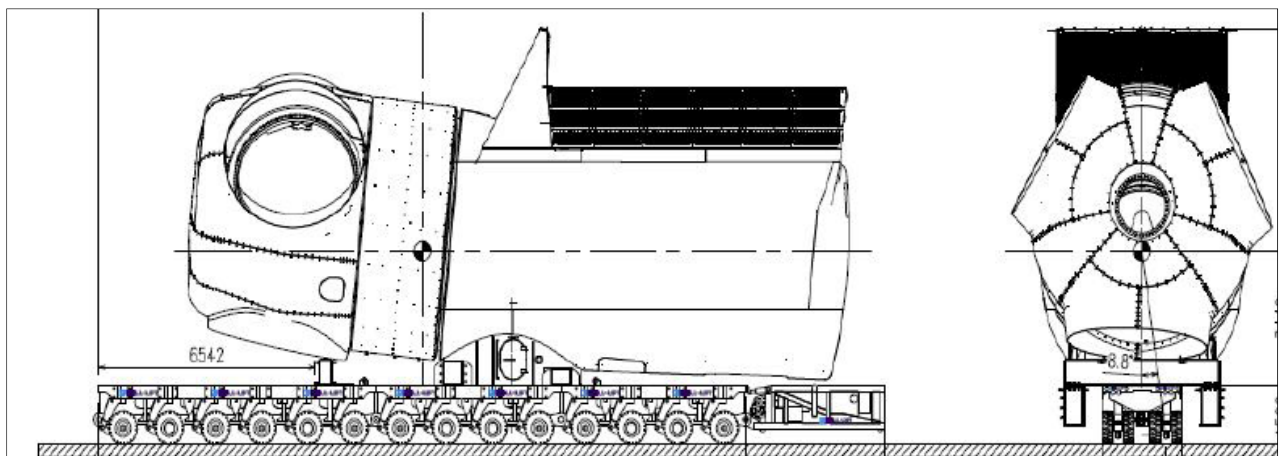


Figure 21 : Illustration d'un véhicule de transport modulaire transportant une nacelle complète

Des châssis ainsi que des outils spécifiques permettent le stockage et la manipulation des composants en toute sécurité.

La grue mobile principale a la capacité de placer la nacelle au sommet du mât de l'éolienne sur le flotteur.

### 5.5.2. Séquence d'intégration de l'éolienne sur le flotteur

Les éléments constitutifs des trois éoliennes qui équiperont le parc pilote seront acheminés depuis leur site de fabrication jusqu'au site d'intégration.

Une option favorisée à ce stade est pour le montage du rotor est un montage en « étoile », c'est-à-dire avec un pré-montage du rotor sur le quai à plat. Pour un levage à terre et avec des équipements « terrestres », l'approche en étoile présente l'avantage d'être une procédure éprouvée et permettant de limiter la mobilisation de moyens de levage spéciaux.



Figure 22 : Illustration de l'intégration de l'éolienne sur le flotteur bord à quai (© SBM Offshore)

Les éléments constitutifs du mât de l'éolienne seront intégrés et assemblés sur la fondation flottante avec la grue mobile principale.

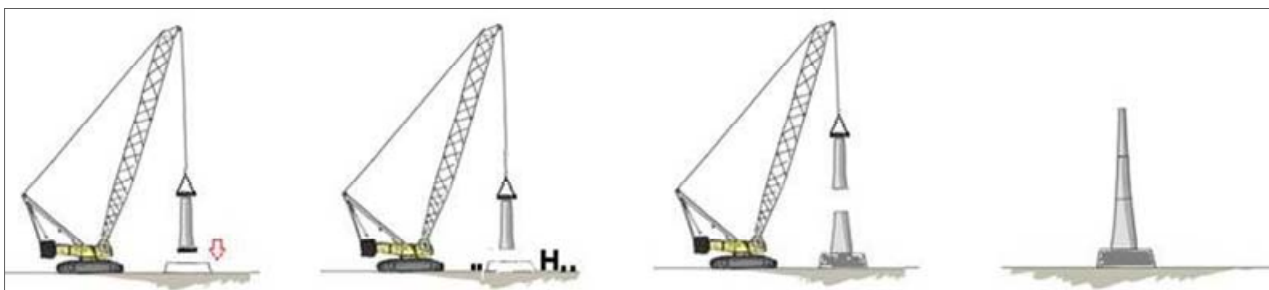


Figure 23 : Illustration de l'assemblage d'un mât d'éolienne

La nacelle sera ensuite levée et installée en extrémité du mât. C'est l'opération de levage la plus contraignante pour la grue principale.

Enfin le rotor complet sera levé et intégré à la nacelle en utilisant la grue principale assistée de la grue secondaire qui supportera l'une des pales lors de la phase de levage.

Chaque opération de levage peut prendre plusieurs heures en raison des dimensions hors normes des composants de l'éolienne et des conditions de sécurité à respecter.



Figure 24 : Illustration de l'opération de levage du rotor complet d'une éolienne (© Siemens)



Figure 25 : Illustration de l'éolienne montée sur le flotteur bord à quai (© SBM Offshore)

Le schéma logistique envisagé pour l'intégration et l'assemblage de l'éolienne sur le flotteur nécessite :

- une plateforme de travail de l'ordre de 4 ha pour le stockage des composants de l'éolienne (mât, nacelle, pales, ...) ;
- une grue mobile de forte capacité pour assurer l'assemblage des pales sur le rotor et le montage final de l'éolienne sur le flotteur bord à quai.

## **5.6. Installation des éoliennes en mer**

---

### **5.6.1. Mode opératoire**

---

Une fois l'intégration de l'éolienne sur le flotteur effectuée, l'installation des éoliennes en mer se déroulera en respectant les étapes suivantes :

- Campagne de pré-inspection avant de commencer les travaux d'installation ;
- Installation des ancres ;
- Remorquage des éoliennes flottantes du quai d'intégration de l'éolienne jusqu'au site en mer ;
- Connexion des lignes d'ancrage et connexion aux ancres ;
- Opérations de mise sous tension des lignes d'ancrage ;
- Mise en service des éoliennes ;
- Inspection finale du site une fois les travaux d'installation terminés.

Les principales étapes de l'installation en mer sont illustrées ci-après. Elles sont susceptibles de changement au cours du développement de l'ingénierie de détail :

### **1<sup>ère</sup> étape : Chargement des ancrs et des chaînes de ballastage à Fos-sur-Mer**

Un des quais de Fos-sur-Mer sera utilisé comme base logistique pour la campagne de pré-installation des ancrs. Les ancrs seront chargés par le navire d'installation directement depuis le quai ou le moyen naval qui acheminera les ancrs et le ballast.

La durée approximative pour le chargement de 3 ancrs et des équipements associés sur le navire est de 2 jours pour chaque flotteur.



Figure 26 : Chargement des tronçons de chaîne et des ancrs (© SBM Offshore)



Figure 27 : Chargement typique des ancrs sur le pont – illustration (© SBM Offshore)



Figure 28 : Ancres gravitaires sur le pont



Figure 29 : Chargement des chaînes de ballastage

## **2<sup>ème</sup> étape : Installation des ancrs et des lignes d'ancrage**

La pose des ancrs sera réalisée directement par le navire de transport. Le positionnement de l'ancre sera assuré à l'aide d'un robot sous-marin (ROV). Le ballast sera alors déployé à l'intérieur des ancrs gravitaires, qui pénétreront dans le sol grâce à leurs propres poids ; une phase additionnelle de pompage à l'intérieur des ancrs peut être nécessaire afin de créer une dépression qui améliore l'effet de succion et contribue ainsi à l'enfoncement final des ancrs jusqu'à la profondeur cible (inférieure à 15 mètres) et à la tenue sur le fond. La profondeur d'enfouissement exacte sera précisée ultérieurement en phase de conception de détail du projet.

La durée approximative pour l'installation des 3 ancrs au fond de l'eau depuis le navire est de 5 jours pour chaque flotteur.



Figure 30 : Mise à l'eau des ancrs

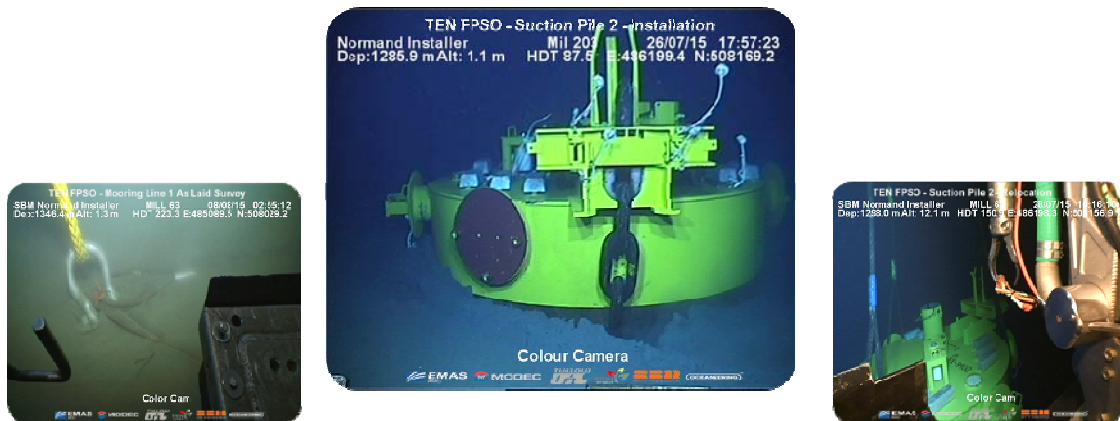


Figure 31 : Déploiement des ancrs / positionnement suivi par ROV

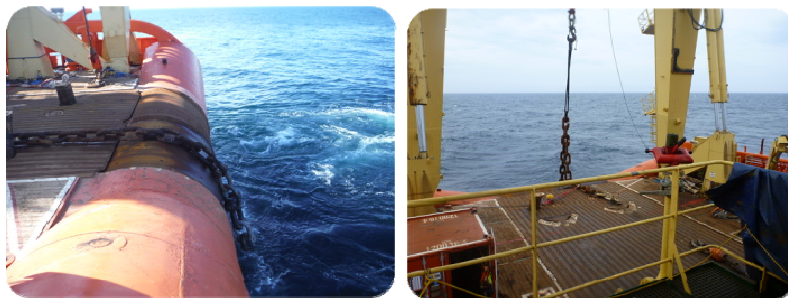


Figure 32 : Déploiement des chaînes de ballastage à l'intérieur des ancrs gravitaires

### 3<sup>ème</sup> étape : Remorquage des éoliennes et connexion des lignes d'ancrage

Une fois l'ensemble (flotteur et éolienne) assemblé à quai, l'éolienne est amenée en mer jusqu'au parc pilote à l'aide d'un ou plusieurs remorqueur(s). La durée approximative pour ce remorquage est inférieure à 1 jour pour chaque flotteur.

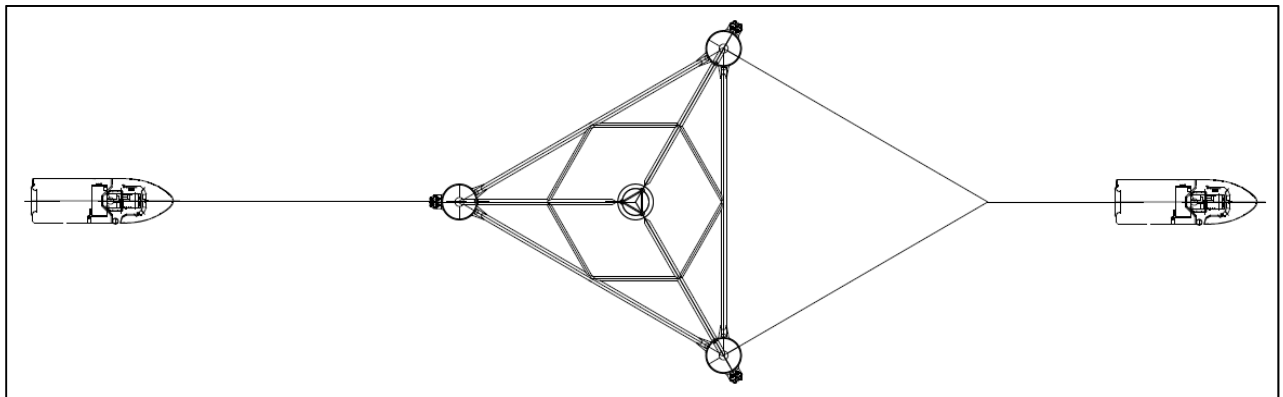


Figure 33 : Illustration du remorquage du flotteur (© SBM Offshore)



Figure 34 : Vue artistique du remorquage de l'éolienne flottante (© SBM Offshore)

Une fois sur la zone d'implantation, le navire d'installation connecte chaque ligne d'ancrage reliant le flotteur aux ancrages préinstallés.

#### **4<sup>ème</sup> étape : Mise en tension des lignes d'ancrage et immersion du flotteur**

La mise sous tension des 3 paires de lignes d'ancrage se fait au moyen de treuils de tirage (1 pour chaque paire), préinstallés sur la plateforme principale. Cette étape se fait par séquence sur chacun des 3 groupes de lignes, jusqu'à atteinte du tirant d'eau opérationnel. La durée approximative de cette phase de connexion et mise en tension des lignes d'ancrage est de l'ordre de 2 jours pour chaque flotteur.

Le séquençage des opérations d'immersion du flotteur est présenté dans les illustrations suivantes.



**Etape 3 :**

Connexion des lignes  
d'ancrage



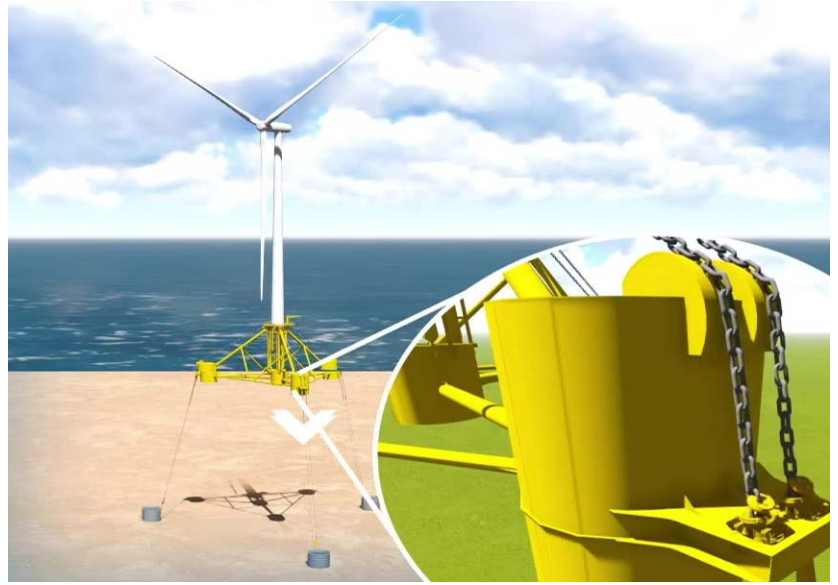
**Etape 4a :**

Mise en tension du  
groupe de lignes 1



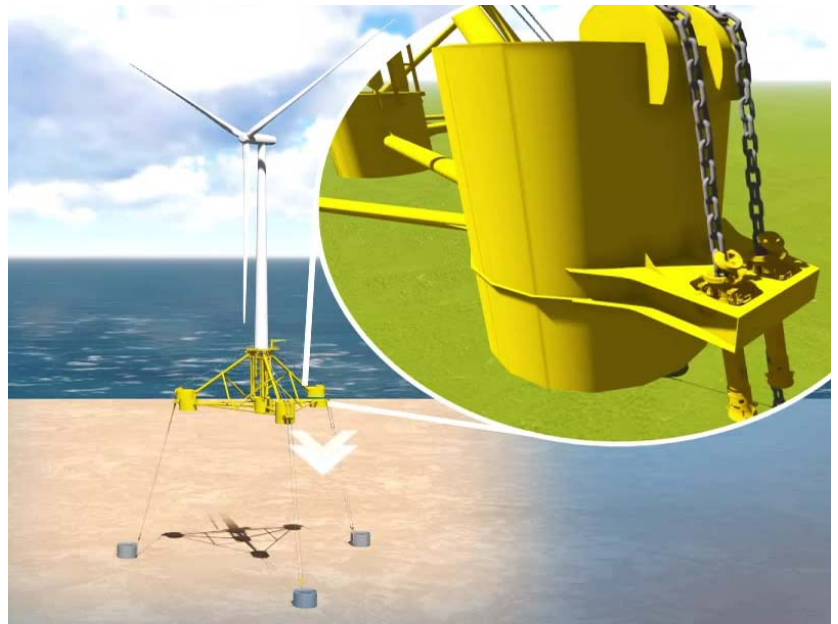
Etape 4b :

Mise en tension du  
groupe de lignes 2



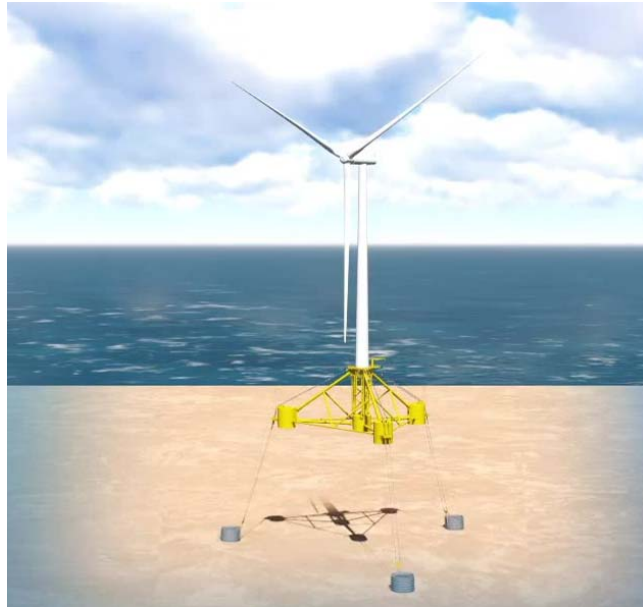
Etape 4c :

Mise en tension du  
groupe de lignes 3



**Etape 4d :**

Les étapes 4a, 4b et 4c sont répétées plusieurs fois afin d'immerger le flotteur à son tirant d'eau opérationnel



**Etape 5 :**

Installation des 3 éoliennes flottantes sur le parc



Figure 35 : Séquence d'immersion du flotteur (Source : SBM Offshore, 2016)

### 5.6.2. Moyens maritimes utilisés pendant le remorquage et l'installation des éoliennes flottantes

L'installation du système d'ancrage ainsi que la phase de connexion et de mise sous tension seront réalisées au moyen du bateau d'installation *SBM Normand Installer* ou équivalent. Ce navire a été spécialement conçu et développé par SBM Offshore pour les activités d'installation d'ancrages offshore.



Figure 36 : Vue générale du *Normand Installer*

Pour la phase de connexion des flotteurs, le *Normand Installer* (ou navire équivalent) sera assisté de remorqueurs.



Figure 37 : Remorqueur d'assistance typique

### **5.7. Pose des câbles électriques inter-éoliennes**

---

Un navire câblé (Figure 38) adapté au site du parc pilote, ayant la capacité de transport et d'installation, acheminera sur site les câbles électriques inter-éoliennes et accessoires de raccordement décrits précédemment.



Figure 38 : Exemple de navire câblier

### **Procédure d'installation du câble électrique inter-éoliennes sur le flotteur**

Une fois les éoliennes installées sur le site, un navire spécialisé vient poser les liaisons inter-éoliennes (câble dynamique). C'est lors de cette opération de pose que seront installées les bouées sur les câbles électriques dynamiques. L'opération pourra nécessiter l'utilisation d'un robot sous marin et/ou de plongeurs.

Afin de fixer le câble dynamique à la fondation, une tête de tirage sera connectée à celui-ci. Une fois le câble électrique inter-éoliennes attaché au câble de tirage, l'équipe sur le flotteur commencera à tirer le câble de tirage à l'aide du treuil. En parallèle, le tendeur du navire câblier libèrera le câble électrique inter-éoliennes.

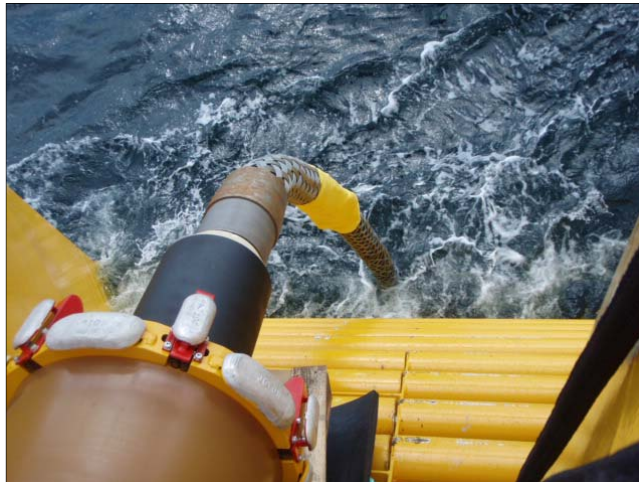


Figure 39 : Vue mise à l'eau du câble électrique inter-éoliennes

Au fur et à mesure de la descente du câble électrique, les accessoires formant la « lazy wave<sup>2</sup> » seront installés (Figure 40).

---

<sup>2</sup> Voir définition partie 4.3.5 du présent document.

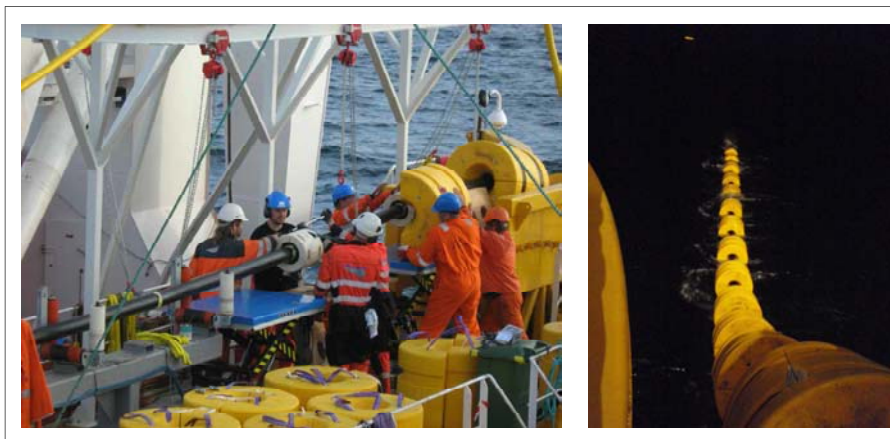


Figure 40 : Installation des bouées

Une fois le câble électrique tiré au travers le I-tube, il sera fixé au niveau du presse-étoupe, ou *hang-off* (Figure 41), puis déséquipé de sa tête de tirage, afin que le câble électrique soit préparé pour être raccordé à l'éolienne.



Figure 41: Vue d'un *hang-off*

Par la suite, le navire câblé se positionnera à proximité de la deuxième éolienne pour pouvoir installer le câble électrique. L'opération décrite précédemment sera renouvelée pour relier la deuxième éolienne.

La durée estimative (hors aléas météorologiques) de chaque étape de la pose des câbles électriques inter-éoliens est indiquée dans le tableau suivant :

Tâche	Durée
Installation d'une liaison inter-éolienne	1 jour
Préparation au raccordement et tests électriques d'une liaison inter-éoliennes avant la mise sous tension	5 jours

Tableau 9 : Durée estimée hors aléas météo des travaux d'installation des câbles inter-éoliennes

## 6. Modalités d'exploitation et de maintenance

### 6.1. Base de maintenance courante

Un parc éolien en mer nécessite des infrastructures portuaires permettant d'assurer les opérations d'exploitation et de maintenance pendant toute la période d'exploitation. Pour les opérations de maintenance lourde, ponctuelles et exceptionnelles par nature, il sera fait appel au cas par cas aux capacités portuaires utilisées pour la construction du parc, qui sont adaptées aux moyens maritimes lourds.

La base de maintenance courante est avant tout une plateforme logistique par laquelle transitent les outillages, pièces détachées et consommables utilisés en mer. L'activité est donc constituée par leur acheminement par voie terrestre, leur stockage, la préparation du matériel avant expédition en mer et le chargement pour expédition vers le parc éolien. Au retour du parc, les outillages, déchets et équipements défectueux sont déchargés pour être soit stockés soit, redirigés vers les filières adaptées.

Pour les opérations de maintenance courante, les infrastructures sont constituées :

- Des bâtiments techniques (stockage, manutention des pièces détachées, stockage des déchets) et administratif (bureaux, salle de réunion, sanitaires, vestiaires, ...) ;
- D'une zone bord à quai et d'un appontement permettant l'amarrage du navire de maintenance et le transfert du personnel et des équipements à bord.

Dans ce cadre, la base de maintenance sera implantée sur le site de la centrale EDF de Martigues, en profitant autant que possible des infrastructures existantes dans un objectif de réduction des impacts associés. En effet, dans le cadre de la reconversion du site de cette ancienne centrale au fioul, des possibilités de réaménagement en adéquation avec les besoins d'une base de maintenance ont été identifiées.



Figure 42 : Schéma d'implantation de la base O&M courante

La possibilité d'un réaménagement de l'ancien quai de dépotage est envisagée pour permettre la circulation du personnel, de moyens de manutention et l'installation de moyen de levage pour transférer les colis sur le navire de maintenance.

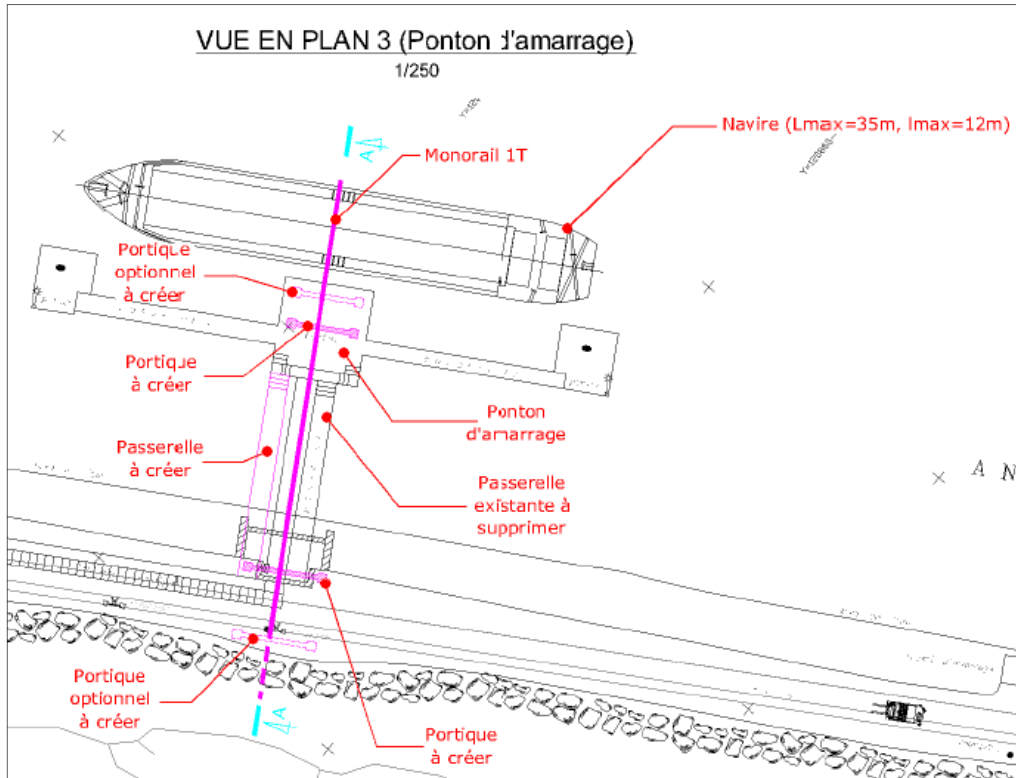


Figure 43 : Schéma de réaménagement du quai de dépotage



Figure 44 : Schéma d'implantation du moyen de levage



## **6.2. Maintenance courante et maintenance lourde**

---

Les opérations de maintenance sont divisées en deux grandes catégories : la maintenance courante et la maintenance lourde.

### **6.2.1. Maintenance courante**

---

La maintenance courante regroupe les activités de maintenance préventive (entretien) et corrective (dépannages) qui sont réalisées par des équipes positionnées de la base de maintenance.

#### **Maintenance préventive**

La maintenance préventive sera planifiée et réalisée selon les spécifications des fournisseurs des composants de l'installation et seront regroupées en visites annuelles. Ces visites seront généralement effectuées par une équipe de 3 à 4 techniciens sur une période d'environ 5 jours par éolienne.

#### **Maintenance des infrastructures associées à l'éolienne**

Les flotteurs et leurs lignes d'ancrage ainsi que les câbles inter-éoliennes dynamiques sont des systèmes passifs par rapport aux performances de l'éolienne. Le but des inspections et des opérations de maintenance est de veiller à l'intégrité structurelle et au bon état des différentes infrastructures ainsi qu'au bon fonctionnement de tous les systèmes installés dans le but d'assurer une disponibilité et une production optimales de l'éolienne.

La stratégie de maintenance des infrastructures sous-marines reposera essentiellement sur des inspections effectuées par des moyens spécialisés (relevés bathymétriques, inspections à distance par ROV, etc.).

#### **Maintenance corrective légère**

La maintenance corrective légère correspond à des inspections de contrôle en cas d'alarme et aux réparations qui peuvent être réalisées avec les moyens logistiques disponibles de manière permanente sur place (navire de maintenance et moyens de levage propres des éoliennes et des flotteurs).

### **6.2.2. Maintenance lourde**

---

La maintenance corrective lourde correspond au remplacement exceptionnel des composants majeurs de l'éolienne (pales, génératrice, roulements principaux, etc.) mais qui peut également concerner les lignes d'ancrage (remplacement de chaîne, remplacement totale de la ligne et de son ancre) et les câbles inter-éoliennes dynamiques (rupture).

Il s'agit d'opérations fortuites qui requièrent des moyens d'intervention lourds et la mise en place d'une logistique maritime spécifique.

Un des avantages de la technologie flottante est de permettre le rapatriement de l'éolienne défaillante à terre pour la réalisation de certaines opérations, afin d'éviter la mobilisation de navire ou barge auto-élévateur (jack-up) dont la disponibilité et les coûts associés sont très importants.

### **6.3. Moyen logistique pour la maintenance courante**

---

Un navire sera utilisé pour transférer le personnel depuis la base de maintenance jusqu'au parc éolien. Ce navire sera soit positionné de manière permanente sur la base de maintenance ou sera mobilisé en fonction des besoins, moyennant un délai pré-défini à l'avance.

Le navire répondra aux contraintes de l'éolien en mer, c'est-à-dire qu'il devra pouvoir transporter jusqu'à 12 personnes, supporter de l'ordre de 5 tonnes de charge utile sur le pont, avoir une vitesse nominale d'environ 20 nœuds, et être à même d'effectuer des transferts de personnel dans des conditions de houle significative comprises entre 1,5 m et 2 m. La base de maintenance étant située à 14 milles nautiques (environ 25 km), le temps de trajet jusqu'au parc éolien sera d'environ 45 minutes.



Figure 45 : Navire de maintenance typique (Source : Navalu)

### **6.4. Centre de supervision**

---

La supervision du parc éolien pourra être réalisée depuis le centre de téléconduite d'EDF Energies Nouvelles à Colombiers. Il est opérationnel en continu (24h/24) pour assurer le bon fonctionnement, répondre à l'apparition de défauts éventuels, gérer et surveiller les accès aux infrastructures.

## 7. Planning envisagé

L'installation des éoliennes est prévue pour commencer au second semestre 2020, sans qu'il soit exclu de devoir commencer plus tardivement. La séquence d'installation est la suivante :

1. Mobilisation du quai, installation des bureaux et équipement du quai (éclairage, barrières, etc.). Réception des équipements de l'éolienne et organisation de l'espace de stockage.

Cette étape dure environ 3 semaines.

2. Séquence type d'assemblage d'une éolienne :
  - a. Pré-montage du rotor (cas de base, à confirmer selon les techniques du moment)
  - b. Réception du flotteur bord à quai et mouillage
  - c. Montage de la tour, de la nacelle et du rotor
  - d. Déplacement de l'éolienne sur un 2<sup>ème</sup> espace pour la préparation de l'installation (tests préliminaires de mise en service, finalisation du raccordement entre le flotteur et l'éolienne, etc.)
  - e. Pour chaque étape, une provision pour attente de créneau météo doit être considérée selon la saison et les contraintes des travaux

La durée pour l'assemblage des 3 éoliennes est de 6 semaines environ incluant l'aléa météo considéré.

3. Séquence d'installation en mer :
  - a. Installation des lignes d'ancrage sur le flotteur
  - b. Transport sur site des 3 ensembles éoliennes + flotteurs
  - c. Raccordement des lignes d'ancrage
  - d. Inspection de fin d'installation

Pour chaque étape, une provision pour attente de créneau météo doit être prise en compte selon la saison et les contraintes des travaux. La durée totale estimée est de 3 semaines environ.

4. Les travaux d'installation du câble électrique d'export se réalisent de telle manière que cela soit continu avec l'installation des câbles électriques inter-éoliennes. Cette organisation doit en effet éviter le temps d'attente du navire d'installation des câbles électriques.

Une durée d'environ 18 mois est prévue pour les travaux de la liaison d'export terrestre et sous-marine, incluant 7 mois environ de travaux dans le poste électrique existant de Port-Saint-Louis-du-Rhône.

5. Après raccordement des éoliennes, les travaux de mise en service commencent. Une durée de 20 jours est prévue. La mise en service prévisionnelle est envisagée fin 2020.

Le planning prévisionnel ci-après résume la séquence concernant les activités du parc éolien pilote en intégrant les aléas météorologiques.

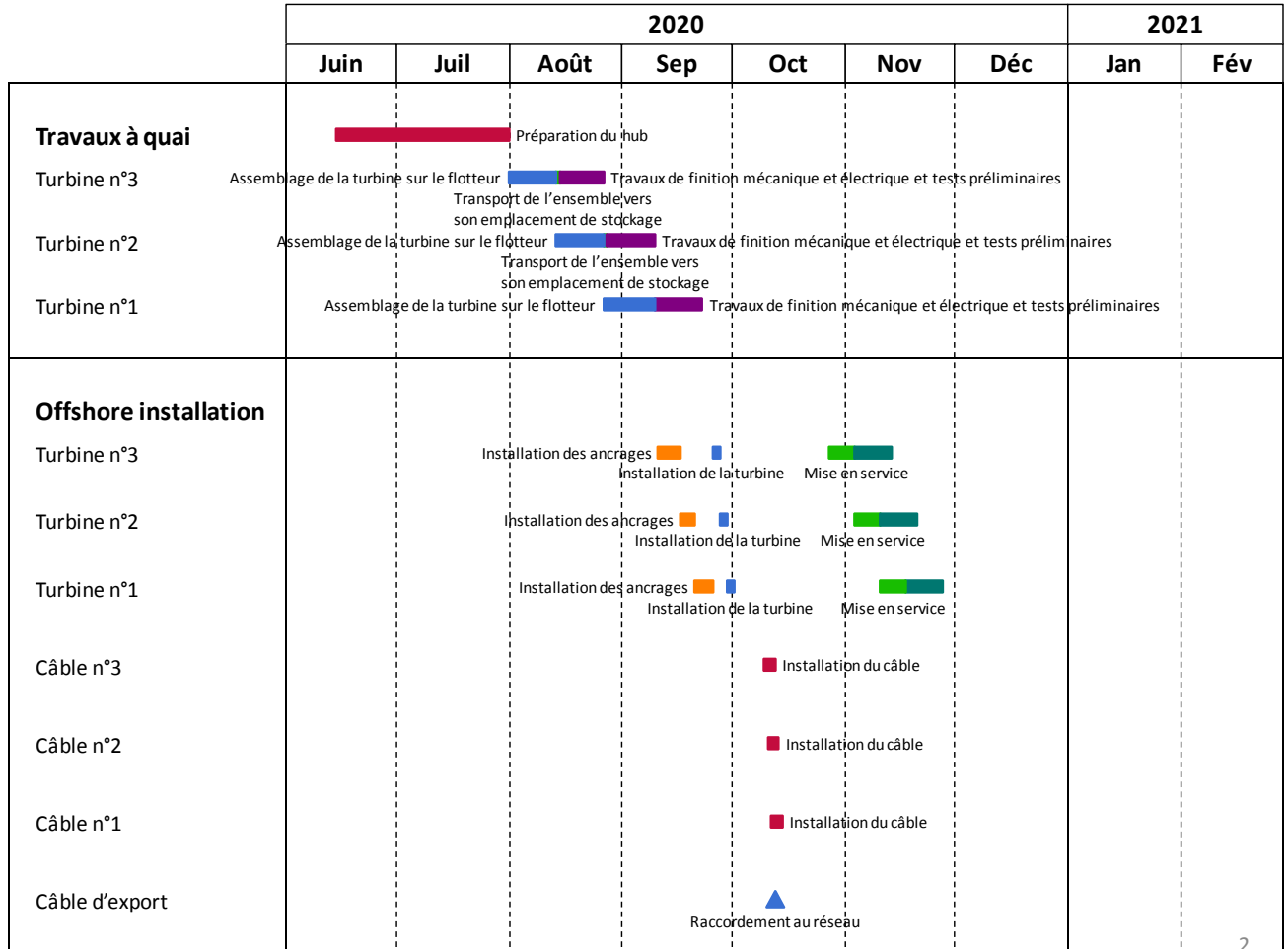


Figure 46 : Planning prévisionnel et séquençage des travaux envisagés pour le projet éolien

## 8. Impacts sur la navigation, la sécurité maritime et sur les moyens de surveillance maritime

### 8.1. En phase de construction

En phase chantier, les opérations seront à l'origine :

- d'une augmentation temporaire de trafic associé aux allers-retours des navires de chantier,
- d'une gêne temporaire et localisée de la navigation pour les navires fréquentant le secteur qui devront contourner la zone de travaux.

#### 8.1.1. Contournement de la zone de chantier balisée

Le site de projet se situe bien au large et n'interfère ni avec le chenal d'accès aux bassins ouest du Grand Port Maritime de Marseille, ni avec les zones de mouillage de part et d'autre de ce chenal qui se situent en zone plus côtière aux abords immédiats du Golfe de Fos, ni avec les principales routes de navigation des navires de commerce et de passagers. Compte tenu du faible nombre d'éoliennes à installer, la surface de la zone d'action balisée est réduite et son orientation (environ 2 km dans le sens est-ouest et 7 km dans le sens nord-est / sud-ouest) limitera la distance de contournement pour les navires en direction des bassins du GPMM (navires de commerce, de passagers). Le chantier ne représentera pas une forte contrainte à la navigation.

Les modifications des caractéristiques nautiques des zones concernées (limites du parc pilote, position des éoliennes flottantes, information sur la mise en place ou le démantèlement d'éoliennes,...) lors des phases de travaux et à la clôture de cette dernière seront transmises au SHOM pour mettre à jour la documentation nautique (carte marine, instructions nautiques,...).

#### 8.1.2. Trafic des navires intervenant sur le chantier

En phase de chantier, les opérations seront à l'origine d'une gêne temporaire et localisée de la navigation.

Le chantier maritime nécessitera l'intervention de quelques navires seulement (remorqueurs des éoliennes flottantes, navire d'installation des ancrages, navire câblé). Pour rappel, les durées d'installation en mer des composants du parc pilote sont les suivantes :

Opération	Durée
Installation des ancrages par le navire de transport	Environ 5 jours / flotteur (3 ancrages)
Remorquage de chaque éolienne sur le site en mer	< 1 jour
Connexion et mise sous tension des lignes d'ancrage	Environ 2 jours / flotteur
Installation d'un câble inter-éoliennes	1 jour

Préparation au raccordement et tests électriques d'une liaison inter-éoliennes avant mise sous tension	5 jours
Séquence totale d'installation en mer d'une éolienne	Environ 3 semaines

**Tableau 10 : Durées d'installation en mer du parc pilote**

Peu de navires seront présents de manière simultanée et leur intervention sera de durée relativement courte. Aucune augmentation significative du trafic maritime n'est donc attendue. L'impact potentiel de la mise en place du site sur le trafic maritime local sera donc minime au regard de l'intensité du trafic actuel lié aux activités portuaires du Golfe de Fos et de l'emprise réduite du chantier.

En lien avec les autorités maritimes, le maître d'ouvrage proposera un plan de coordination maritime.

**Les effets du projet sur la navigation maritime en phase de construction seront donc négatifs, directs, temporaires et faibles.**

## **8.2. En phase d'exploitation**

### **8.2.1. Impact sur le trafic maritime**

L'impact attendu sera d'une part lié à l'emprise du parc pilote éolien sur le domaine maritime et à la réglementation de navigation associée. La surface limitée de la concession après optimisation du projet (passage de 14 km<sup>2</sup> à 0,78 km<sup>2</sup> environ) et sa localisation en dehors des principaux axes de navigation limitent les impacts sur la navigation.

Les d'éoliennes flottantes seront signalées par des feux de balisages maritimes. Le parc sera également signalé en tant que nouvelle zone d'accès réglementée sur les cartes maritimes.

Le Préfet Maritime réglementera la navigation et les usages au sein du projet après avis de la Grande Commission Nautique. L'architecture du projet et l'espacement entre les éoliennes (920 mètres) devraient permettre le transit à travers le parc des navires d'une longueur hors-tout inférieure à 25 mètres. Cela limitera fortement les impacts sur les routes de navigation de cette catégorie de navire (notamment les plaisanciers et la plupart des navires de pêche du secteur).

L'interdiction de passage pour les navires de longueur supérieure dans la zone impliquera le changement et l'allongement des routes des navires, avec pour corollaire l'augmentation de la consommation en énergie primaire et les coûts d'usage. De plus, les manœuvres d'évitement peuvent avoir pour conséquence un report des navires sur d'autres routes, d'où un accroissement de trafic et des risques liés. La taille réduite du parc n'est pas de nature à entraîner des perturbations de ce type importantes et un report des navires sur d'autres routes générant un risque supplémentaire significatif des risques liés (collisions).

Une enquête sur le site hollandais Egmond aan Zee estime que l'effet sur la navigation en dehors du parc est négligeable. Une enquête réalisée à Nysted conclut que le trafic

commercial est peu affecté par la présence des parcs, bien que le trafic général soit chiffré à 48 000 navires au sud du parc<sup>3</sup>.

Compte tenu de l'existence d'un trafic non nul de navires de grandes dimensions dans la zone et de la taille des ancres utilisées (potentiellement plusieurs tonnes), il a par ailleurs été proposé aux autorités portuaires que le mouillage soit interdit le long du tracé du câble afin d'éviter d'endommager ce dernier. Selon la capitainerie du GPMM, cette disposition ne devrait pas impacter de manière notable les activités portuaires, notamment la zone de pré-engainement (ou zone d'attente) du port de Fos-sur-Mer en limite Nord du parc.

### **8.2.2. Impacts sur les moyens de surveillance maritime**

---

**Une étude portant sur les moyens de surveillance maritime a été réalisée par Signalis en 2017. Cette étude figure en annexe 1 du document.**

- **Impact sur les radars de surveillance du trafic maritime**

L'étude a identifié et évalué l'impact sur les radars de surveillance du trafic maritime à terre que représenterait la réalisation du projet Provence Grand Large dans le Golfe de Fos.

Sur l'ensemble des radars de control du trafic maritime à terre étudiés dans le secteur sont directement impactés les radars présents dans le Golfe de Fos :

- le radar du sémaphore de Couronne,
- le radar de Couronne (GPMM),
- le radar Gloria – Darse 3 (GPMM)

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 les effets d'ombre ont un impact minime sur chacun des 3 radars cités ci-dessus si l'on considère chaque radar de façon individuel. Le fait que les radars du GPMM sont tous connectés au même système VTS de control du trafic maritime, cet effet n'aura au final aucun impact sur l'image globale du trafic maritime du système VTS du GPMM.**

**Le radar du Sémaphore de Couronne ne pourra pas compenser cet effet d'ombre mais l'orientation favorable des éoliennes fait que l'impact sur la couverture est infime et donc négligeable.**

**La distance importante entre les éoliennes, les radars et le chenal d'accès au GPMM font qu'il n'est pas possible de voir apparaître de faux échos sur les radars du Golfe de Fos.**

- **Impact sur les radars embarqués**

---

<sup>3</sup> Elsam Engineering et ENERGI E2, 2005

Pour évaluer l'impact des éoliennes sur les radars embarqués dans le Golfe de Fos, 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 connaît un trafic de 40 à 50 navires par jour.

La géométrie globale du parc 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 zone d'implantation du projet Provence Grand Large 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.

De tels phénomènes surviendront probablement aux abords du projet Provence Grand Large notamment pour les navires navigants dans le chenal d'approche montant et descendant du GPMM.

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 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 réfléchi 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 navigants 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.

### 8.2.3. Risques de collision avec les éoliennes du parc

Les éoliennes en mer constituent des obstacles susceptibles d'être heurtés par les navires suite à plusieurs causes initiatrices. Une étude a été menée par le bureau d'études TECNITAS pour apprécier le risque de collision de navires avec les éoliennes du parc pilote en cas d'avarie ou d'incident de navigation. **Cette étude figure en annexe 2 du document.**

- **Prévisions de trafic à l'horizon 2030 :**

Pour évaluer les risques de collision, il apparaît important de prendre en compte l'évolution du trafic maritime durant la période d'exploitation du parc éolien (2020 à 2040). Pour cela, TECNITAS a considéré l'année 2030 comme celle correspondant le mieux au trafic moyen sur l'ensemble de la période d'exploitation du parc éolien. Les résultats obtenus avec ce trafic moyen sont ensuite multipliés par le nombre d'années d'exploitation (20).

Le cabinet TECNITAS a, dans un premier temps, réalisé des prévisions à l'horizon 2030 pour les navires avec routes maritimes (c'est-à-dire les cargos, tankers et navires à passagers).

Les prévisions de trafic pour les navires avec route maritime sont estimées avec les données du Grand Port Maritime de Marseille-Fos (bilans annuels de 2013 à 2016 et projet stratégique 2014-2018 pour l'estimation en 2018).

	2012	2013	2014	2015	2016	2018
<b>Tonnage brut total</b>	<b>85 632 693</b>	<b>79 953 641</b>	<b>78 520 233</b>	<b>81 730 592</b>	<b>80 626 669</b>	<b>86 500 000</b>
<b>Vracs liquides (tonnes)</b>	<b>56 121 145</b>	<b>49 486 252</b>	<b>47 335 597</b>	<b>49 933 256</b>	<b>49 207 929</b>	<b>45 200 000</b>
<b>Vracs solides (tonnes)</b>	<b>17 780 460</b>	<b>13 173 083</b>	<b>13 447 987</b>	<b>13 894 855</b>	<b>17 957 607</b>	<b>22 000 000</b>
<b>Total Vracs (tonnes)</b>	<b>68 401 605</b>	<b>62 659 335</b>	<b>60 783 579</b>	<b>63 828 111</b>	<b>62 165 531</b>	<b>67 200 000</b>
<b>Marchandises diverses (tonnes)</b>	<b>17 731 078</b>	<b>17 794 306</b>	<b>17 736 654</b>	<b>17 907 481</b>	<b>18 461 138</b>	<b>19 400 000</b>
<b>Nombre d'escalas</b>	<b>15 670</b>	<b>15 654</b>	<b>15 487</b>	<b>15 254</b>	<b>14 920</b>	
<b>Nombre de passagers</b>	<b>2 441 663</b>	<b>2 618 681</b>	<b>2 464 682</b>	<b>2 547 341</b>	<b>2 713 850</b>	<b>3 300 000</b>
<b>Nombre de conteneurs</b>	<b>658 039</b>	<b>683 438</b>	<b>726 239</b>	<b>749 036</b>	<b>-</b>	
<b>Nombre d'EVP</b>	<b>1 061 193</b>	<b>1 099 247</b>	<b>1 179 910</b>	<b>1 223 071</b>	<b>1 251 744</b>	<b>1 500 000</b>

Tableau 11 : Bilans annuels des échanges du GPM Marseille-Fos et estimations pour l'année 2018 issues du projet stratégique GPMM 2014-2018 (Source : Tecnitas, 2017)

A partir de ces données, TECNITAS note une diminution régulière du tonnage brut total, de 6 % entre 2012 et 2016 alors que les prévisions donnent une augmentation de 1 % entre 2012 et 2018. TECNITAS note aussi une diminution du nombre d'escales de 5 % entre 2012 et 2016.

La catégorie « Cargo » représentée par les vracs solides, les marchandises diverses et les conteneurs montre une augmentation du trafic respectivement entre 2012 et 2016 de 6 %, 7 % et 18 % puis pour les prévisions entre 2012 et 2018 respectivement 79,1 %, 12,6 % et 41,4 %. TECNITAS pose l'hypothèse que le trafic de la catégorie « **Cargo** » augmentera de 60 % entre les années de références 2015 – 2016 et 2030.

Malgré une diminution des vracs liquides (produits pétroliers, gaz, produits chimiques,...) de 12 % entre 2012 et 2016 (et une baisse estimée de 19,5 % entre 2012 et 2018) TECNITAS retient un trafic stable en ce qui concerne la catégorie « **Tanker** » entre 2015 et 2030. En effet, les fluctuations entre le pétrole brut et les produits raffinés ainsi que le développement de l'avitaillement en GNL permettent de poser l'hypothèse d'un équilibrage.

Le nombre de passagers est en augmentation de 11 % entre 2012 et 2016 et serait en augmentation de 35,2 % entre 2012 et 2018 selon les prévisions. En considérant les lignes régulières nationales à un volume stabilisé à 1 million de passagers, les lignes régulières internationales stabilisées à 500 000 passagers et une augmentation du volume des croisières à 3,6 millions de passagers, TECNITAS retient l'hypothèse d'une augmentation de trafic de la catégorie « **Passagers** » de 100 % entre les années de références 2015–2016 et 2030.

En ce qui concerne les navires sans route maritime (principalement les navires de pêche et les navires de plaisance), TECNITAS pose l'hypothèse que le trafic restera stable entre les années de références 2015 – 2016 et 2030.

Etant donné que la flotte de navires de pêche décline depuis des décennies, TECNITAS retient l'hypothèse conservatrice (pour la densité de présence) selon laquelle la densité des navires de pêche n'évoluera pas jusqu'à 2030.

- **Scénarios de collision étudiés :**

**Sur la durée de vie du parc éolien (20 ans), différents scénarios** de collision sur le mât de l'éolienne ou le flotteur ont été analysés par le cabinet TECNITAS pour les navires avec ou sans route maritime.

TECNITAS a retenu comme hypothèse de règle de circulation dans le parc un rayon d'exclusion de 100 mètres autour de chaque éolienne..

Au regard de ces hypothèses, de l'activité et des vitesses de navigation, trois types de situations initiales ont été considérées :

- le navire est « de passage » (plus ou moins au voisinage du parc pilote), c'est-à-dire suivant son itinéraire prévu,
- le navire effectue des accostages aux éoliennes (ici, seuls les navires dédiés à la maintenance sont pris en compte),

- le navire est éloigné du parc mais sera amené sur le parc par une dérive.

Par ailleurs, deux types de collision sont différenciés :

- les collisions frontales pour lesquelles le navire entrant en collision le fait quand il est en route (propulsion non défaillante) et en direction du parc éolien flottant,
- les collisions suite à dérive accidentelle pour lesquelles le navire entrant en collision heurte une éolienne du fait de la dérive dirigée par les vents et les courants.

En fonction du type de collision (collision frontale ou collision après dérive accidentelle), les caractéristiques géométriques de l'impact entre le navire qui entre en collision et l'éolienne sont très différentes. Le navire qui entre en collision peut impacter l'éolienne par son bulbe (avant) ou par son bordé (coté).

Pour l'étude, les collisions frontales et après dérive (sur le flotteur ou le mât de l'éolienne) ont été considérées dans l'étude car elles sont les plus significatives en termes d'impacts. Par contre, le scénario de choc frontal pour les navires de servitude qui seront dédiés à la maintenance des éoliennes a été exclu. La mission de ces navires est en effet d'intervenir sur le parc pilote. Leur équipage est, plus que quiconque, conscient de la présence des éoliennes, habitué à la navigation au sein du parc éolien et adopte des vitesses et des trajectoires d'approche adaptées. Qui plus est, la manœuvrabilité de ces unités réduit le risque de choc frontal. TECNITAS ne retient que le risque d'une erreur lors de l'accostage.

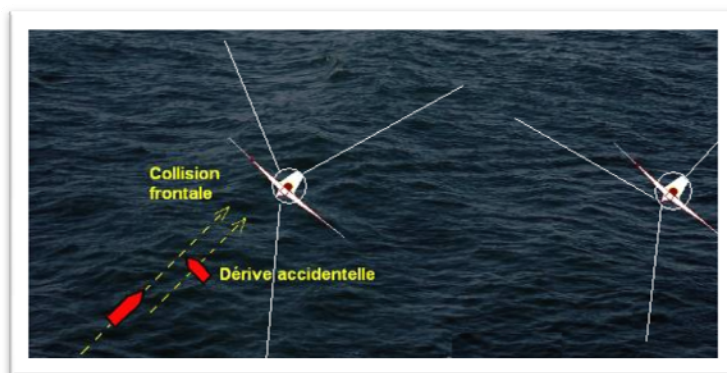


Figure 47 : Collision frontale et après dérive accidentelle

Les conditions océano-météorologiques (courants, vents et houles) ont également été prises en compte pour la détermination des probabilités d'incidents et la modélisation des conséquences d'un incident. Par exemple, la probabilité d'apparition d'une avarie de propulsion s'accroît avec les conditions météorologiques plus sévères. En raison de la différence de vitesse de dérive sous différentes conditions de vent, la longueur de la trajectoire de dérive peut varier impactant alors la probabilité de collision avec une des éoliennes. La vitesse de dérive donne l'énergie impliquée dans la collision, qui est le facteur le plus important dans le dommage au navire et à l'éolienne.

Pour l'analyse de risques de collision, les scénarii sélectionnés sont présentés ci-après. L'analyse quantitative des scénarii de collision a été effectuée grâce au logiciel DRIFTEC, hormis le scénario de collision des navires de maintenance (scénario C1) qui a été calculé manuellement.

### **Navires sans route maritime :**

Scénario n°	Type de collision	Condition initiale	Type de navire
C1	Collision frontale	Erreur de navigation (lors de l'approche ou de l'accostage)	Navire de servitude dédié à la maintenance des éoliennes
C2	Collision frontale	Erreur de navigation	Tout type de navires navigant à proximité du parc pilote
D1	Dérive accidentelle	Perte de manœuvrabilité	Navigant à proximité du parc pilote

**Scénario C1** : il s'agit d'un scénario de collision des navires de servitude dédiés à la maintenance du parc pilote. Ce scénario de collision est calculé manuellement sur la base d'une probabilité d'erreur d'accostage estimée pour une installation offshore à  $6.0 \times 10^{-6}$  par navire et par visite. Cette valeur correspond à la probabilité pour les accostages des navires de servitude à une installation offshore<sup>4</sup>. Le Maître d'ouvrage prévoit de réaliser 50 visites par an.

**Scénario C2** : il s'agit d'un scénario de collision frontale suite à erreur de navigation d'un navire navigant à proximité du parc pilote. Il prend en compte le trafic de navires sans route maritime (navires de pêche non munis d'AIS et autres navires) qui, passant à proximité, dévient sur une éolienne à cause d'une erreur de navigation.

**Scénario D1** : il s'agit d'un scénario de collision liée à une dérive accidentelle suite à perte de manœuvrabilité. Ce scénario prend en compte le trafic de navires sans route maritime (navires de pêche non munis d'AIS et autres navires) passant dans une large zone autour du parc qui y dérive à cause d'une avarie.

#### Navires avec route maritime :

Scénario n°	Type de collision	Condition initiale	Type de navire
C3	Collision frontale	Erreur de navigation	Tout type de navires navigant à proximité du parc pilote
D2	Dérive accidentelle	Perte de manœuvrabilité	Navigant à proximité du parc pilote

**Scénario C3** : il s'agit d'un scénario de collision frontale suite à erreur de navigation d'un navire navigant à proximité du parc pilote. Il prend en compte le trafic de navires avec route maritime (cargos, tankers et navires à passagers) qui, passant à proximité, dévient sur une éolienne à cause d'une erreur de navigation.

<sup>4</sup> CMPT, 1999, A Guide to Quantitative Risk Assessment for Offshore Installations, ISBN



**Scenario D2** : il s'agit d'un scénario de collision liée à une dérive accidentelle suite à perte de manœuvrabilité. Ce scénario prend en compte le trafic de navires avec route maritime passant dans une large zone autour du parc qui y dérive à cause d'une avarie.

- **Résultats de l'étude de risque de collision :**

**Navire sans route maritime :**

L'analyse donne les résultats suivants pour les navires sans route maritime :

		Probabilités qu'un navire sans route maritime entre en collision avec une éolienne du parc pilote en 20 ans				
Scénario	Type de collision	Navire de maintenance	Navires de pêche	Autres navires	Total	soit une fois tous les... ans
C1	Collision frontale	6.00E00E-03			6.00E00E-03	33333333
C2	Collision frontale		2.32E-06	1.01E01E-03	1.01E01E-03	1980219802
D1	Dérive accidentelle		33.51E-04	11.77E-01	1.77E77E-01	113113
	<b>Total</b>	<b>6.00E00E-03</b>	<b>33.53E-04</b>	<b>1.78E78E-01</b>	<b>11.84E-01</b>	<b>2320323203</b>
	Une fois tous les ... ans	33333333	5660656606	112112		

La catégorie « Autres navires » contribue principalement au risque de collision des navires sans route maritime.

La dérive accidentelle est la responsable prépondérante de cette probabilité de risque.

Il faut noter que les navires de pêche doté d'AIS, de manière obligatoire ou volontaire, sont comptés à la fois dans le calcul navires de pêche par densité de présences (d'après les données IFREMER) et aussi dans le calcul de la catégorie « Autres navires ». On remarque donc que l'importance de la catégorie « Autres navires » serait due aux autres navires de cette catégorie (plaisance, navires de service,...).

L'erreur de navigation, pour les navires de pêche et les navires de servitude dédiés aux activités locales, est très conservative puisque les marins de ces types de navires connaissent au mieux les zones où ils évoluent régulièrement.

Ces valeurs doivent être considérées avec une extrême prudence, car, par nature, les navires sans route maritime ont des routes peu prévisibles (non répétitives) dans le temps. On ne peut prévoir si les pêcheurs ou plaisanciers jugeront opportun de passer près du parc éolien, au regard du risque qu'ils encourent ou bien préféreront prendre une marge de sécurité.

### Navire avec route maritime :

L'analyse donne les résultats suivants pour les navires avec route maritime :

		Probabilité qu'un navire avec route maritime entre en collision avec une éolienne du parc pilote en 20 ans				
Scénario	Type de collision	Cargo	Tankers	Passagers	Total	soit une fois tous les... ans
C3	Collision frontale	4.48E-04	1.28E-04	3.95E-05	6.16E-04	32494
D2	Dérive accidentelle	5.31E-02	2.70E-02	4.13E-07	8.01E-02	250
	<b>Total</b>	<b>5.35E-02</b>	<b>2.71E-02</b>	<b>3.99E-05</b>	<b>8.07E-02</b>	<b>248</b>
	Une fois tous les ... ans	373	737	501090		

Les tankers et les navires de type cargo sont les navires qui présentent le plus de risque de collision avec le site éolien.

Les navires à passagers présentent un risque nettement moindre dans la zone.

Les valeurs pour les navires avec route maritime sont inférieures aux valeurs des navires sans route maritime.

- **Commentaires sur les fréquences de collision et discussion qualitative sur les conséquences :**

Il est important de souligner qu'un risque de collision n'est pas synonyme de risque grave. La fréquence trouvée est à relativiser avec le type de collision et le type de navires. La gravité de la conséquence dépend en effet du type de navire, de l'énergie cinétique convertie lors du choc, etc. Pour exemple, les navires de pêche sont souvent petits (en Méditerranée 93% font moins de 15m) et la collision, particulièrement si elle est en dérive, n'aura le plus souvent aucune conséquence.

Très peu de collisions frontales suite à erreur de navigation sont attendues. Les navires impliqués dans les collisions après dérive accidentelle sont majoritairement de type « autres navires », des navires qui sont par définition de petite taille par rapport aux navires avec route maritime.

- **Domages possibles pour l'éolienne et/ou le navire :**

En raison de l'absorption limitée de l'énergie par l'objet subissant la collision (l'éolienne), toute l'énergie cinétique du navire impactant ne sera pas absorbée. Le comportement d'effondrement de l'éolienne serait à étudier.

Quatre scénarios principaux sont possibles :

- Scénario 1 : Le navire emporte l'éolienne, avec rupture possible des ancrages de l'éolienne, qui peut donc elle-même se mettre à dériver,
- Scénario 2 : Le navire déstabilise l'éolienne (le couple généré par la collision déséquilibre l'éolienne) qui chavire par manque de stabilité suffisante,
- Scénario 3 : Le navire endommage le flotteur de l'éolienne qui n'est plus à l'équilibre à gîte nulle. Dans le meilleur des cas, celle-ci retrouve un équilibre avec une gîte acceptable. Dans le pire des cas, celle-ci chavire (à l'eau ou sur le navire),
- Scénario 4 : Le navire rompt le mât de l'éolienne qui tombe à l'eau ou sur le navire.

En termes de conséquences, l'éolienne peut donc être soumise à une dérive, chavirer ou avoir son mât brisé ou laisser tomber un de ces éléments constitutifs.

#### Dommmages environnementaux :

En cas de collision frontale ou frontale/latérale de l'éolienne, il y aura de (sérieux) dommages sur la proue du navire, mais pas de (sérieux) dommages sur le flanc du navire, où sont situées les citernes de cargaison. La structure d'un navire dans la zone de collision frontale est très rigide, ce qui y limite les dommages. Cela ne causera donc pas une fuite des hydrocarbures transportés ou du carburant.

En cas de frottement sur la partie rigide autour de la proue, le navire absorbe l'énergie cinétique sans subir beaucoup de dommages. Des dommages peuvent survenir en raison de la chute du mât sur le pont.

Aucun dommage environnemental n'est attendu en cas de collision frontale, le mât étant construit de façon à ce qu'aucune partie ne se sépare et ne déchire la coque du navire, provoquant une fuite d'hydrocarbures et/ou produits chimiques.

Des dommages environnementaux (pollution,...) peuvent survenir en cas de collision par dérive, là où la coque du navire peut être déchirée (impact sur le bordé) par une partie rigide du mât ou du flotteur. Cela peut provoquer une fuite d'hydrocarbures et/ou produits chimiques. Cependant pour atteindre une double-coque l'impact doit-être important.

#### Dommmages personnels :

Des dommages personnels (blessures, accidents mortels) ne sont attendus que lorsque le mât et/ou une partie de la turbine s'écrase sur le pont.

En cas de contact, les petits navires ne feront généralement que « frotter » contre le mât et ne le percuteront pas frontalement. Il est à noter que les navires les plus probables pour une collision sont les navires sans route maritime de la catégorie « Autres navires », puis les catégories « Tankers » et « Cargos ». Ces deux types de navires ont des équipages relativement réduits (de 2-3 personnes pour des navires de plaisance à une douzaine de personnes pour des navires de marchandises).

Les ferries et autres grands navires à passagers ont un risque proche de zéro d'entrer en collision avec les éoliennes du parc, du fait de leur quasi absence de la zone voisine et de la fiabilité de leur système propulsif.



Toutefois, un développement touristique du site pourrait entraîner l'exploitation de petits navires à passagers.

Acceptabilité du risque :

Les conséquences des collisions ne sont pas quantifiées. L'acceptabilité de certains scénarii ne peut être déterminée *a priori*. Nous proposons néanmoins des critères d'acceptation formalisés selon deux approches.

- *Première approche - PGL*

Une première approche consiste en l'adoption d'une matrice d'acceptabilité identique à celle utilisée dans la première étude PGL qui correspond à la même acceptation du risque que celle du site d'essai Mistral.

La durée de vie du projet Provence Grand Large (20 ans) permet d'« accepter » quatre fois plus d'occurrences que le projet Mistral (dont la durée de vie était de 5 ans).

La définition des fréquences d'occurrences est adaptée des Guidelines de l'IMO (FSA : Formal Safety Assessment process) :

		Conséquences sur éolienne / navire impactant / environnement				
		N°1 Brèche dans la coque du navire sans pollution/ Eolienne endommagée/	N°2 Blessures légères/ Pollution mineure/ Eolienne chavirée ou détruite	N°3 Pollution majeure/ Rupture double coque / explosion/Perte certaine du navire	N°4 Décès	
Nombre d'occurrences durant la durée de vie du champ expérimental	Fréquent	$4 < n < 10^{+2}$	Inacceptable	Inacceptable	Inacceptable	Inacceptable
	Raisonnalement probable	$10^{-2} < n < 4$	Acceptable	Inacceptable	Inacceptable	Inacceptable
	Rare	$10^{-4} < n < 10^{-2}$	Acceptable	Acceptable	Inacceptable	Inacceptable
	Extrêmement rare	$n < 4 * 10^{-4}$	Acceptable	Acceptable	Acceptable	Inacceptable

**Tableau 12 : Matrice d'acceptabilité du risque**

Les scénarii de collision jugés acceptables sont identifiables par la couleur verte dans le tableau ci-dessous.

L'acceptabilité des scénarii C2, C4 et D3 n'a pas été évaluée en raison du manque d'éléments permettant de qualifier avec précision les conséquences de ce type de collision.

Scenario n°	Type de collision	Description	Nombre d'occurrences pendant la durée de vie du parc (20 ans)	Conséquences probables estimées
C1	Collision frontale	Accostant à l'éolienne	6.00E00E-03 Rare	Petit navire adapté aux accostages d'éoliennes. Peu de dommages attendus (niveau 1).
C2	Collision frontale	Navigant à proximité du parc (navires sans route maritime)	1.01E01E-03 Rare	Les navires concernés sont des petits navires.  L'impact de ces navires n'impliquera pas de dégâts importants sur l'éolienne mais peut avoir des conséquences importantes sur le navire en lui-même et sur son équipage (entre le niveau 2 et le niveau 3).
C3	Collision frontale	Navigant à proximité du parc (navires avec route maritime)	66.16E-04 Rare	Les navires de type « Cargo » et « Tankers » sont les principaux navires concernés. L'énergie impliquée dans une collision frontale d'un navire de marchandise peut avoir des conséquences importantes sur l'éolienne (niveau 2) mais resteront limitées sur le navire (niveau 1 à 2)
D1	Dérive accidentelle	Navigant à proximité du parc (navires sans route maritime)	11.77E-01 Raisonnement probable	Petit navire. Peu de dommage attendu du fait de la vitesse d'impact limitée (niveau 1).
D2	Dérive accidentelle	Navigant à proximité du parc (navires avec route maritime)	8.01E-02 Raisonnement probable	Les navires de type « Cargo » et « Tankers » sont les principaux navires concernés. L'énergie impliquée dans une collision par dérive d'un navire de marchandises peut avoir des conséquences limitées sur l'éolienne (niveau 1 à 2) et resteront limitées sur le navire (niveau 1).

Tableau 13 : Acceptabilité des scénarios

- *Seconde approche - NOR DEVT1613199*

A titre de comparaison, une deuxième approche est proposée par l'adoption d'une matrice d'acceptabilité éditée par le Ministère de l'environnement, de l'énergie et de la mer (Note technique du 11 juillet 2016 relative aux mesures de sécurité maritime applicables à la



planification d'un champ éolien en mer NOR DEVT1613199, texte non paru au journal officiel).

Les échelles de gravité (SI) et de fréquence sont les suivantes :

SI	GRAVITÉ	EFFETS SUR LA SÉCURITÉ des personnes	EFFETS sur les biens	S (équivalent-morts/an)
1	Mineure	Lésions corporelles simples ou légères	Domage localisé au matériel	0,01
2	Significative	Lésions corporelles multiples ou graves	Domage peu important	0,1
3	Grave	Un mort ou des lésions corporelles multiples graves	Domage grave	1
4	Catastrophique	Plusieurs morts	Perte totale	10

Tableau 14 : Echelle de gravité (SI) de la note NOR DEVT1613199

FI	FRÉQUENCE	DÉFINITION	F (fréquence par année dans la zone d'étude)
7	Fréquent	Susceptible de se produire une fois par mois	10
5	Raisonnement probable	Susceptible de se produire une fois par an	0,1
3	Rare	Susceptible de se produire une fois tous les 5 ans	0,001
1	Extrêmement rare	Susceptible de se produire une fois sur une période de 20 ans	0,0001

Tableau 15 : Echelle de fréquence (FI) de la note NOR DEVT1613199

FI	FRÉQUENCE	GRAVITÉ SI			
		1	2	3	4
		Mineure	Significative	Grave	Catastrophique
7	Fréquent – 10	8	9	10	11
6	1	7	8	9	10
5	Raisonnement probable – 0,1	6	7	8	9
4	0,01	5	6	7	8
3	Rare – 0,001	4	5	6	7
2	0,0001	3	4	5	6
1	Extrêmement rare – 0,00001	2	3	4	5

Tableau 16 : Matrice d'acceptabilité du risque (RI) de la note NOR DEVT1613199

Légende :

La couleur rouge correspond à un niveau de risque inacceptable.

La couleur jaune correspond à un niveau de risque acceptable ALARP.

La couleur verte correspond à un niveau de risque acceptable.

Les résultats de l'étude pour chaque scénario, traités selon les critères de cette note, donnent les résultats suivants

Scénario n°	Type de collision	Description	Fréquence par an	Fréquence FI	Gravité SI	Risque RI
C1	Collision frontale	Accostant à l'éolienne	3.00E-04	3	2	5
C2	Collision frontale	Navigant à proximité du parc (navires sans route maritime)	5.06E-05	2	3	5
C3	Collision frontale	Navigant à proximité du parc (navires avec route maritime)	3.08E-05	2	3	5
D1	Dérive accidentelle	Navigant à proximité du parc (navires sans route maritime)	8.87E-03	4	2	6
D2	Dérive accidentelle	Navigant à proximité du parc (navires avec route maritime)	4.01E-03	4	3	7

Tableau 17 : Résultats des scénarios suivant la note NOR DEVT1613199

Les scénarios étudiés sont tous classés avec un niveau de risque acceptable ALARP<sup>5</sup>.

**L'ensemble des résultats (acceptabilité initiale et acceptabilité à partir de la note NOR DEVT1613199) montre que le risque de collision généré par l'implantation du parc éolien Provence Grand Large est acceptable sous réserve de démontrer que toutes les mesures raisonnables sont mises en place.**

<sup>5</sup> ALARP (As Low As Reasonably Practicable) désigne un risque acceptable s'il est considéré aussi faible que cela est raisonnablement possible.

## 9. Mesures prises pour assurer la sécurité maritime

### 9.1. En phase de travaux

#### 9.1.1. Sécurité de la navigation lors des opérations d'installation

Le remorquage et l'installation des éoliennes en mer seront en conformité avec les dispositions du décret n°2014-330 du 13 mars 2014 portant publication de la résolution A. 765 de l'Organisation Maritime Internationale relative aux directives sur la sécurité des navires et autres objets flottants remorqués, y compris les installations, ouvrages et plates-formes en mer, adoptée à Londres le 4 novembre 1993.

Pendant toute la phase des travaux, une zone de sécurité sera définie autour des opérations. Elle sera définie et arrêtée par le Préfet Maritime. Si les autorités maritimes l'estiment nécessaires, le maître d'ouvrage procédera au balisage des zones ainsi réglementées

#### 9.1.2. Information des autorités maritimes et des usagers

Le calendrier des opérations d'installation du projet sera transmis au Centre des Opérations de la Marine (COM) et le Centre Régional Opérationnel de Surveillance et de Sauvetage Méditerranée (CROSS MED) dans des délais compatibles avec l'émission d'avis urgent aux navigateurs pour l'installation des éoliennes

De plus, en amont des travaux, Provence Grand Large SAS transmettra au Service Hydrographique et Océanographique de la Marine (SHOM) les coordonnées des différents éléments du parc afin de les faire figurer sur les cartes marines et dans les instructions nautiques.

De surcroît, une information ciblée sera effectuée vers les différents usagers de la mer (notamment les pêcheurs et plaisanciers) afin de les informer des travaux et des contraintes associées.

#### 9.1.3. Mobilisation de navires de surveillance

La surveillance du plan d'eau pendant la période de travaux sera assurée par le maître d'ouvrage grâce à la mobilisation de navires de surveillance dits « chiens de garde ».

#### 9.1.4. Définition des procédures d'urgence en phase de travaux

Elles concernent les modalités d'intervention en cas d'événements exceptionnels de type accident maritime (collision, panne et risque de dérive...) ou encore en cas de pollution accidentelle. Pour chacun de ces événements, des consignes opérationnelles seront définies dans un guide opérationnel, pour comprendre :

- les modalités pour l'intervention d'urgence sur le site par le personnel disponible,
- une liste de personnes et/ou services à informer d'urgence.

Ces consignes seront reportées dans un Plan d'Intervention Maritime (PIM), qui sera imposé aux entreprises attributaires. Il sera établi en collaboration avec les responsables chargés de traiter les accidents de navigation. Il sera composé notamment :

- d'une évaluation du risque initial fondée sur :
  - la prise en compte des recommandations liées à la sécurité de la navigation ;
  - la connaissance des enjeux environnementaux du site ;
- d'une réponse aux situations d'urgence

Ce plan ainsi que le plan de sécurité propre aux navires sélectionnés seront communiqués à la Préfecture Maritime avant intervention.

## **9.2. En phase d'exploitation**

---

### **9.2.1. Dispositif de balisage et de signalisation des éoliennes**

---

#### **9.2.1.1. Balisage aérien**

---

La réglementation actuellement en vigueur pour le balisage aérien est l'arrêté du 13 novembre 2009<sup>6</sup> relatif à la réalisation du balisage des éoliennes situées en dehors des zones grevées de servitudes aéronautiques.

La législation indique également que le balisage aérien doit être soumis au directeur général de l'Aviation civile et au directeur de la circulation aérienne militaire pour validation. Chaque éolienne du parc sera de couleur blanche (RAL 7035 ou équivalent) et sera signalée par un balisage aérien comprenant :

- De jour : des feux d'obstacle moyenne intensité de type A (feux à éclats blancs de 20 000 candelas [cd]) positionnés sur le sommet de la nacelle, assurant la visibilité de l'éolienne dans tous les azimuts (360°) ;
- De nuit : des feux d'obstacle moyenne intensité de type B (feux à éclats rouges de 2 000 cd) positionnés sur le sommet de la nacelle, assurant la visibilité de l'éolienne dans tous les azimuts (360°) ;
- Jour et nuit : des feux d'obstacles basse intensité de type B (rouges fixes 32 cd) positionnés sur le mât à 45 m au-dessus du niveau moyen de la mer, assurant la visibilité de l'éolienne dans tous les azimuts (360°).

Les hauteurs de fixation des feux sont exprimées par rapport au niveau des plus basses marées astronomiques (LAT : *Lowest Astronomical Tide*, niveau de plus basse mer). Toutes les éoliennes disposeront d'un balisage défini dans le tableau suivant.

---

<sup>6</sup> NOR: DEVA0917931A

Type de feu	Caractéristiques	Période	Portée nominale	Azimut	Localisation sur l'éolienne
Feu de moyenne intensité (MI) de type A	Feu à éclats blancs	Jour	16 milles (20000 cd)	3 feux de 120° de manière à éclairer à 360°	Nacelle
Feu de moyenne intensité (MI) de type B	Feu à éclats rouges	Nuit	11 milles (2000 cd)	3 feux de 120° de manière à éclairer à 360°	Nacelle
Feu de basse intensité (BI) de type B	Feu fixe rouge	Jour et nuit	4 milles (32 cd)	3 feux de 120° de manière à éclairer à 360°	Mât

Tableau 18 : Plan de balisage

Le passage du balisage lumineux de jour au balisage de nuit sera réalisé automatiquement dès que la luminosité sera inférieure à 50 cd/m<sup>2</sup>. En cas de défaillance, l'alimentation électrique desservant le balisage lumineux sera remplacée automatiquement dans un délai de 15 secondes par un système de secours autonome. De plus, le balisage sera télé-surveillé et en cas de défaillance ou de simple interruption, l'exploitant le signalera dans les plus brefs délais à l'autorité de l'aviation civile compétente.

L'arrêté du 13 novembre 2009 prévoit également que le balisage des éoliennes côtières ou installées en mer ne doit pas interférer avec le balisage maritime. Or, le balisage aérien est plus présent et plus intense que le balisage maritime. Le maître d'ouvrage a donc sollicité les Directions des Affaires Maritimes, du transport aérien et de la circulation aérienne militaire pour qu'une réflexion soit menée afin de satisfaire aux besoins de sécurité des navigateurs maritimes et aériens. Un programme d'essai de nouveaux balisages, qui pourrait permettre également de réduire l'effet de la source lumineuse sur l'environnement, a été ainsi mis en place en coopération avec les services de l'État sur le mât de mesures au large de Fécamp qui a été installé pour le projet de parc éolien en mer « posé » issue de l'appel d'offres de l'Etat de 2011.

Le maître d'ouvrage a sollicité les mêmes autorités s'agissant du balisage à mettre en place au profit des activités spécifiques des hélicoptères de secours ou de travail aérien, qui ne bénéficient pas, à ce jour, de règle identifiée.

En conséquence, les éoliennes seront signalées par des balisages conformes aux réglementations de l'aviation civile et de la navigation maritime en vigueur.



### 9.2.1.2. Balisage maritime

---

Deux recommandations de l'Association Internationale de Signalisation Maritime (AISM) sont applicables au balisage des parcs éoliens en mer :

- la recommandation AISM O-139 sur la signalisation des structures artificielles en mer ;
- la recommandation E-110 sur les caractères rythmiques des feux d'aide à la navigation.

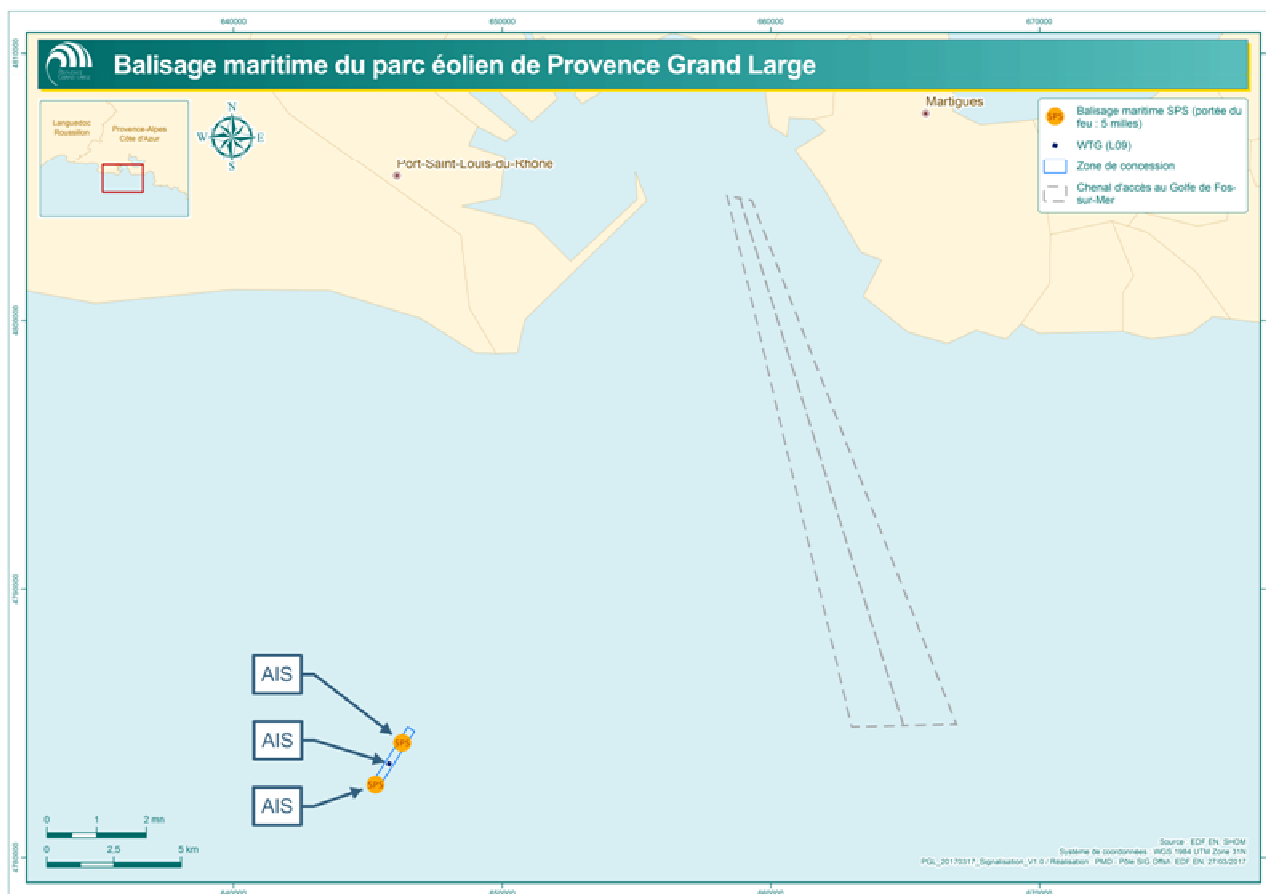
Ces recommandations définissent notamment les dimensions, formes, couleur du balisage et caractère des signaux lumineux ou électromagnétiques à mettre en place.

**Le plan de signalisation maritime, défini en lien avec le service des Phares et Balises de la Direction Inter-Régionale de la Mer (DIRM) Méditerranée, soumis à l'avis de la GCN consiste à signaler les éoliennes A01 et A03 avec un balisage maritime SPS (Structure Périphérique Significative – feux jaunes d'une portée d'au moins 5 milles marins, visibles de toutes les directions).**

**De plus, conformément à la recommandation AISM O-139, les fondations seront peintes en jaune.**

**Enfin, il est proposé d'installer une aide à la navigation AIS (AtoN) type 1 sur chaque éolienne.** 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.



Carte 5 : Balisage du parc pilote

### 9.2.2. Définition de règles de circulation et d'usages maritimes

Afin de permettre à des navires tiers de circuler et également de pêcher en toute sécurité à l'intérieur et aux abords du parc pilote, il est proposé de :

- **Mettre en place une zone d'interdiction à la navigation de 100 mètres de rayon autour de chaque éolienne**
- **Interdire le mouillage et la pratique de la pêche aux arts trainants de part et d'autre du câble inter-éoliennes** (et les autoriser le long du câble d'export sous-marin entièrement ensouillé)

### 9.2.3. Définition des procédures d'urgence en phase d'exploitation

Un Plan d'Intervention Maritime (PIM) sera établi pour la phase d'exploitation et de maintenance sur le modèle de celui qui sera établi pour la phase d'installation. Le PIM est un document au service de l'exploitant du parc éolien prévoyant l'organisation à mettre en œuvre par ce dernier pour faire face aux conséquences, en termes de sécurité des personnes et de protection de l'environnement et des biens, d'un événement se déroulant sur le site et/ou à ses abords lors de la phase d'exploitation et de maintenance.

Le PIM couvrira notamment les événements et situations suivants :

- accidents et incidents spécifiques à la maintenance du parc éolien,
- pollutions maritimes dans le parc, liées à un événement impliquant les moyens et les actions de l'exploitant ou de ses sous-traitants,



- conséquences, pour le parc et les moyens mis en œuvre pour son exploitation et sa maintenance, d'accidents et d'incidents maritimes (y compris pollution) à proximité du parc éolien et n'impliquant pas les moyens de l'exploitant ou de ses sous-traitants.

Il sera approuvé par le Préfet Maritime et régulièrement tenu à jour.

Des entrainements et des exercices de secours maritime avec les organismes impliqués dans l'Action de l'Etat en Mer (Marine Nationale, Sécurité Civile, Société Nationale de Sauvetage en Mer...) seront régulièrement organisés afin de maintenir en condition opérationnelle le PIM.



## Annexes

## **EDF-ENERGIES NOUVELLES**

### **PROJET PROVENCE GRAND LARGE**

# **ETUDE D'IMPACT RADAR ET MESURES COMPENSATOIRES RELATIVES AU DEVELOPPEMENT DU SITE D'ESSAI EN MEDITERRANEE DEDIE A L'EOLIEN FLOTTANT**

Auteur: Jean-Baptiste LOPEZ

Visa Qualité: Eric DESEEZ

Approuvé par: Mathieu AILLERIE

Autorisé par: Mark PEARSON

Référence: N°00007243 05 FR Release 01

Date: 05.05.2017

© 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



## 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.
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
m	Mètre
MARICO MARINE	Marine & Risk Consultants Ltd
MCA	Maritime and Coastguard Agency (Gardes Cote Britanniques)
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

<b>1 INTRODUCTION .....</b>	<b>1</b>
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
<b>2 DONNEES SUR LES EOLIENNES .....</b>	<b>6</b>
2.1 LES EOLIENNES.....	6
2.2 CARACTERISTIQUES TECHNIQUES DE L'EOLIENNE SIEMENS ET DE LA STRUCTURE FLOTTANTE SBM OFFSHORE .....	7
2.2.1 Modélisation du projet Provence Grand Large : .....	9
<b>3 SURFACE EQUIVALENTE RADAR (SER) ET AUTRES CARACTERISTIQUES DES EOLIENNES .....</b>	<b>10</b>
3.1 CARACTERISTIQUES GENERALES .....	10
3.2 PARC EOLIEN .....	10
3.3 EVALUATION DE LA SURFACE EQUIVALENTE RADAR DES EOLIENNES .....	11
3.3.1 Définition de la Surface Equivalente Radar (SER) .....	11
3.3.2 Constitution de la Surface Equivalente Radar (SER) générale de l'éolienne SIEMENS .....	13
3.3.2.1 La fondation flottante des éoliennes .....	13
3.3.2.2 Le mât de soutien .....	13
3.3.2.3 Déformation du mât liée au vent et à la dilatation .....	14
3.3.2.4 La nacelle .....	14
3.3.2.5 Les pales .....	14
3.4 ESTIMATION DE LA SER DES EOLIENNES SIEMENS.....	17
<b>4 TYPES ET LISTE DES RADARS DE SURVEILLANCE MARITIME A TERRE SUR SITE.....</b>	<b>19</b>
4.1 INVENTAIRE DE L'ENSEMBLE DES RADARS DE SURVEILLANCE MARITIME A TERRE SUSCEPTIBLES D'ETRE PERTURBES .....	19
4.2 LISTE DES CENTRES DE SURVEILLANCE MARITIME ET STM EXISTANTS .....	22
4.3 ANALYSE DE LA COUVERTURE RADAR .....	22
4.3.1 Calcul de la distance d'inter visibilité radar entre les radars et les éoliennes .....	22



4.3.2	Calcul des portées radar .....	23
4.3.3	Conclusion .....	28
4.3.4	Zones de couverture actuelle des radars de surveillance maritime à terre .....	29
<b>5</b>	<b>IMPACT DU PROJET PROVENCE GRAND LARGE SUR LES RADARS DE CONTROL DU TRAFIC MARITIME A TERRE DANS LE SECTEUR DE FOS .....</b>	<b>35</b>
5.1	INTRODUCTION .....	35
5.2	EFFET DE « DESENSIBILISATION » DU RADAR .....	35
5.3	EFFET D'OMBRE.....	36
5.3.1	Effet d'ombre généré par les éoliennes .....	37
5.3.2	Conclusion sur l'effet d'ombre généré par les éoliennes .....	42
5.4	EFFETS DE REFLEXION – FAUX ECHOS .....	43
5.4.1	Génération de faux échos par les lobes secondaires .....	43
5.4.2	Génération de faux échos par multi-trajet.....	45
<b>6</b>	<b>IMPACT DES EOLIENNES DU PROJET PROVENCE GRAND LARGE SUR LES RADARS EMBARQUES .....</b>	<b>48</b>
<b>7</b>	<b>CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS.....</b>	<b>51</b>
7.1	CONCLUSIONS.....	51
7.2	RECOMMANDATIONS ET MESURES COMPENSATOIRES.....	51
7.2.1	Balisage des éoliennes : Ajout de balisage électronique de type AIS AtoN.....	52
7.2.2	Formation du personnel opérateur .....	53
<b>8</b>	<b>REFERENCES .....</b>	<b>54</b>
8.1	DOCUMENTS DE REFERENCE .....	54

## 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 du parc éolien, projet Provence Grand Large.....	5
Figure 4 : Vue satellite, projet Provence Grand Large .....	5
Figure 5 : Vue d'artiste d'une éolienne SIEMENS sur une structure flottante SBM Offshore.....	6
Figure 6 : Modélisation numérique, vue 3D du site Provence Grand Large.....	9
Figure 7 : Modélisation numérique, vue 2D du parc éolien .....	10
Figure 8 : Réflexion des ondes radar par le mât de l'éolienne .....	14
Figure 9 : Données statistiques de distribution et force du vent sur la Plage Napoléon sur une année complète.....	16
Figure 10 : Exemple de calcul de SER d'une éolienne en fonction de l'angle d'incidence du radar .....	17
Figure 11 : Exemple de variation de la SER/RCS d'une éolienne en fonction de l'orientation des pales	18
Figure 12 : Position des radars de surveillance du trafic maritime à terre à proximité du projet Provence Grand Large.....	21
Figure 13 : Distance d'inter visibilité entre le radar et l'éolienne .....	22
Figure 14 : Zone de couverture actuelle des radars de surveillance maritime à terre des Basins Est du GPMM pour des cibles de type éolienne (SER = 100 000 m <sup>2</sup> , 180m de hauteur) .....	30
Figure 15 : Zone de couverture actuelle des radars de surveillance maritime à terre des Basins Est du GPMM pour des cibles de SER = 1 000 m <sup>2</sup> et 10m de hauteur .....	31
Figure 16 : Zone de couverture actuelle des radars de surveillance maritime à terre des Basins Ouest du GPMM pour des cibles de SER = 1 000 m <sup>2</sup> et 10m de hauteur .....	32
Figure 17 : Zone de couverture actuelle des radars de Couronne du GPMM et du Sémaphore de Couronne pour des cibles de SER = 1 000 m <sup>2</sup> , 10m de hauteur .....	33
Figure 18 : Zone de couverture actuelle des radars de surveillance maritime à terre pour de petites cibles de SER = 10 m <sup>2</sup> et 2m de hauteur .....	34
Figure 19 : Simulation de l'effet d'ombre généré par les éoliennes sur la couverture de l'ensemble des radars du GPMM présents dans le Golfe de Fos et du radar du Sémaphore de Couronne.....	41
Figure 20 : Création de faux échos par émission/réception au travers des lobes secondaires de l'antenne radar .....	44
Figure 21 : Image radar avec de faux échos créés par les lobes secondaires de l'antenne radar .....	44
Figure 22 : Schéma représentatif des distances entre les éoliennes et le chenal d'accès au GPMM et le radar de Gloria du GPMM.....	46
Figure 23 : Position de la zone d'implantation du projet Provence Grand Large par rapport au chenal d'approche du GPMM (Fos) .....	49
Figure 24 : Exemple d'un AIS AtoN.....	53

## **TABLE DES EQUATIONS**

Equation 1 : Equation de la SER .....	11
Equation 2 : Formule de la distance d'inter visibilité Radar - Eolienne .....	23

## TABLEAUX

Tableau 1 : Caractéristiques techniques de l'éolienne à axe horizontal SIEMENS SWT-8.0-154 .....	8
Tableau 2 : Caractéristiques techniques de la structure flottante SBM Offshore .....	8
Tableau 3 : Liste des radars de surveillance maritime à terre susceptibles d'être perturbés par les éoliennes du projet Provence Grand Large .....	19
Tableau 4 : Liste des Centres de Surveillance Maritime et STM reliés aux radars à terre .....	22
Tableau 5 : Synthèse des distances d'inter visibilité entre les radars et le haut de l'éolienne à 180m (ASL) .....	23
Tableau 6 : Exemple de calculs de performances de portée radar dans diverses conditions météo ...	27
Tableau 7 : Synthèse des portées des radars .....	29
Tableau 8 : Simulation de l'effet d'ombre généré par les éoliennes sur la couverture radar grandes cibles (1 000m <sup>2</sup> ; 10m) du Sémaphore de Couronne.....	38
Tableau 9 : Simulation de l'effet d'ombre généré par les éoliennes sur la couverture radar grandes cibles (1 000m <sup>2</sup> ; 10m) du radar de Couronne (GPMM).....	39
Tableau 10 : Simulation de l'effet d'ombre généré par les éoliennes sur la couverture radar grandes cibles (1 000m <sup>2</sup> ; 10m) du radar Gloria – Darse 3 (GPMM).....	40
Tableau 11 : Modèles de réflexion et type de performances .....	55

## TABLE DES ANNEXES

<b>ANNEXE 1. CARACTERISTIQUES IALA DES CIBLES RADAR. ....</b>	<b>55</b>
<b>ANNEXE 2. ETAT DE LA MER – TABLE DE PIERSON MOSKOWITZ .....</b>	<b>56</b>

# 1 INTRODUCTION

## 1.1 GÉNÉRAL

Dans le cadre du projet PROVENCE GRAND LARGE, la société EDF-EN a été désignée lauréate de l'appel à projets « fermes pilotes pour l'éolien flottant » de l'ADEM en novembre 2016. Le projet PROVENCE GRAND LARGE a pour objectif de développer un parc éolien flottant au large de Fos.

La présente étude a été commandé par EDF-EN pour lui permettre de déposer au cours de l'année 2017, une nouvelle étude d'impact sur la sécurité et la sureté maritime dans le secteur de Marseille-Fos afin d'obtenir les autorisations administratives nécessaires pour la réalisation de ce projet. EDF-EN envisage dans ce projet l'implantation de trois éoliennes flottantes situées à environ 16 kilomètres de la côte.

L'étude se concentre sur l'impact potentiel généré par les installations de ce parc éolien en mer sur tous les radars de surveillance du trafic maritime dans la zone de Marseille-Fos, ainsi que sur les radars embarqués des navires 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 EDF-EN 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 Marseille-Fos,
- 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

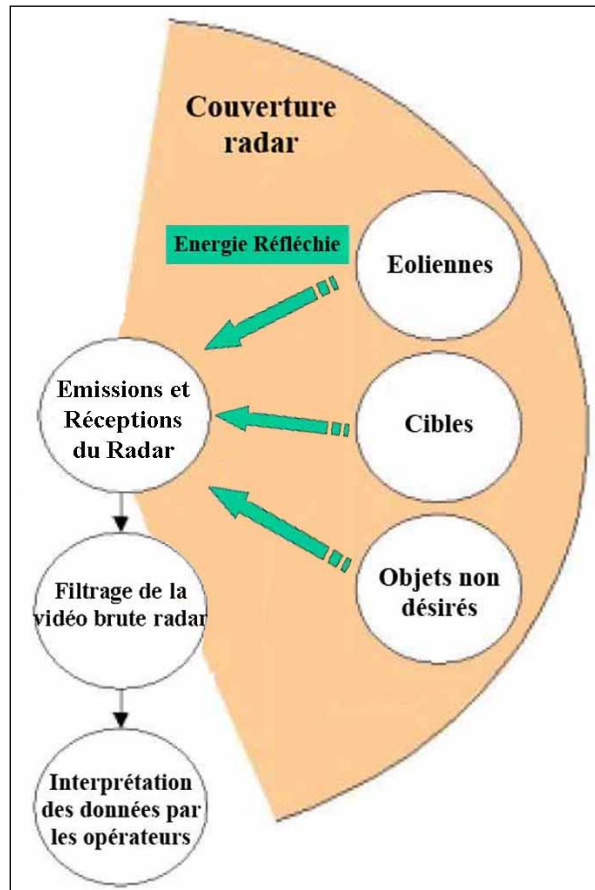
Le document comprend les sections suivantes :

- **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 des éoliennes utilisées pour le projet Provence Grand Large.
- **Section 3** : évalue la SER (Surface Equivalente Radar) des éoliennes.
- **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 des éoliennes en mer sur les radars de control du trafic maritime à terre.
- **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 réfléchiée 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**

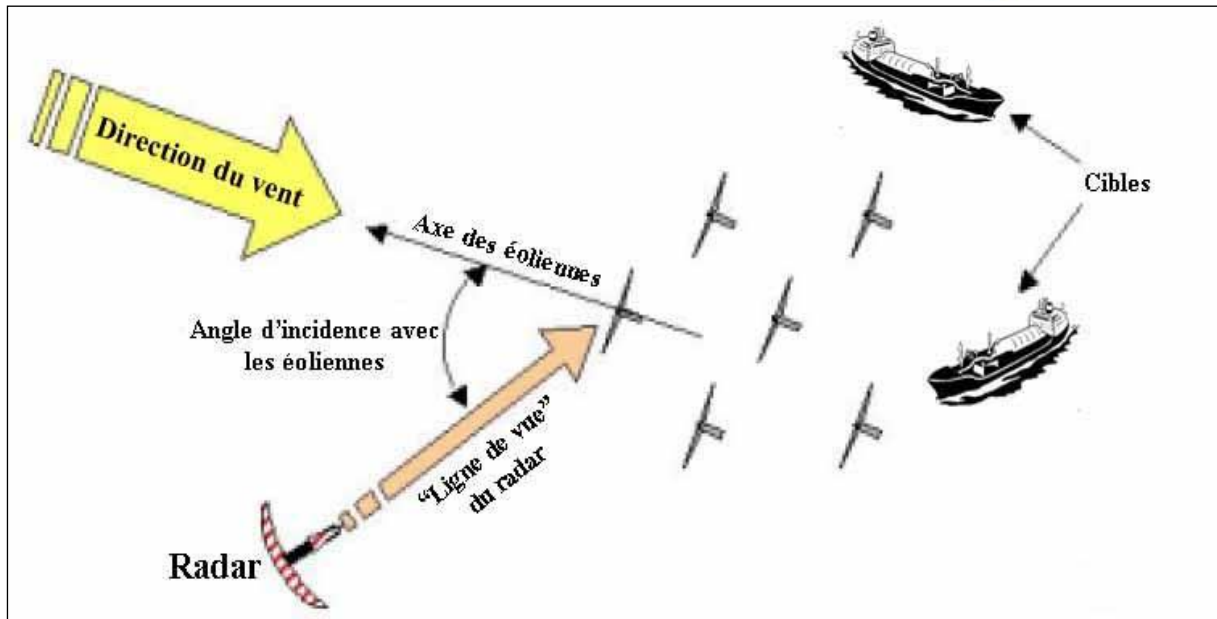
### 1.4.1 Environnement et objets de l'étude

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 clutter<sup>1</sup> de mer qu'il peut générer (bruit de fond provenant de la surface de mer ou de la pluie).

Une vue 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.

<sup>1</sup> Echos radar non désirés, généralement provenant du relief terrestre, de la mer et de la pluie.

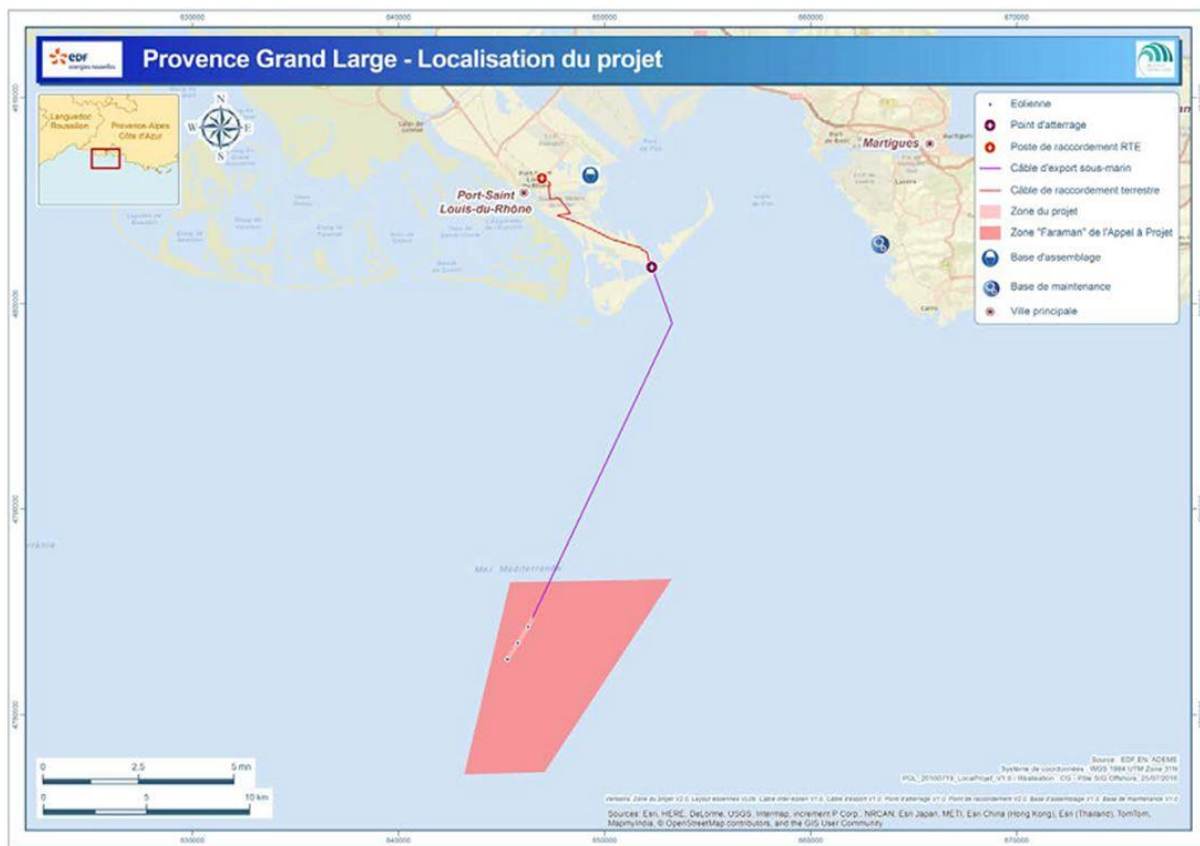


**Figure 2 : Environnement et objets de l'étude**



### 1.4.2 Zone géographique de l'étude

Le parc éolien comprend 3 éoliennes implantées dans une zone géographique s'étalant de 43° 10,990' à 43° 11,821' de latitude Nord et de 4° 47,265' à 4° 48,023' de longitude Est. Les éoliennes seront situées à environ 16 kilomètres de la côte.



**Figure 3 : Emplacement du parc éolien, projet Provence Grand Large**



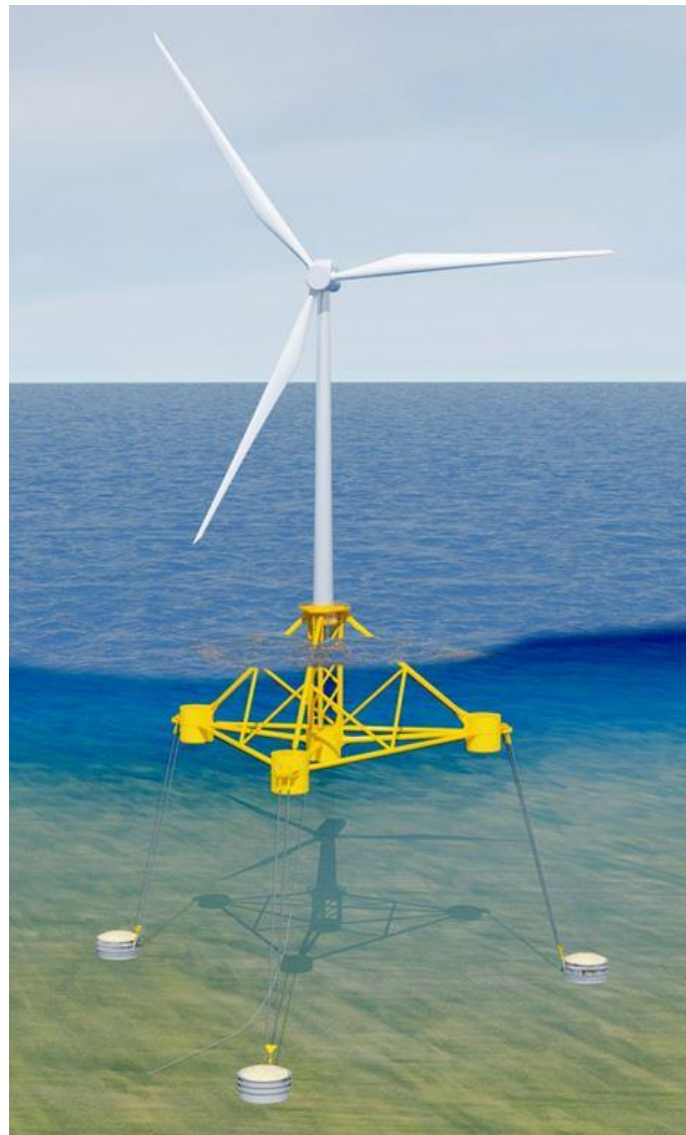
**Figure 4 : Vue satellite, projet Provence Grand Large**

## 2 DONNEES SUR LES EOLIENNES

### 2.1 LES ÉOLIENNES

Dans le cadre du projet Provence Grand Large, EDF-EN envisage d'utiliser le site pour installer des éoliennes à « axe horizontal » avec 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.

Les turbines seront des éoliennes SIEMENS d'une puissance unitaire de 8 MW. Elles seront installées sur des fondations flottantes développées par la société SBM Offshore.



**Figure 5 : Vue d'artiste d'une éolienne SIEMENS sur une structure flottante SBM Offshore**

## **2.2 CARACTERISTIQUES TECHNIQUES DE L'ÉOLIENNE SIEMENS ET DE LA STRUCTURE FLOTTANTE SBM OFFSHORE**

L'objectif de ce paragraphe est de définir les caractéristiques de SER (Surface Equivalente Radar) des différents types d'éoliennes considérées dans cette étude. La valeur de la SER des éoliennes sera ensuite utilisée pour évaluer l'impact de ces mêmes éoliennes sur les radars de surveillance du trafic maritime.

Exprimée en  $m^2$  (ou en  $dB/m^2$ ), 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.

Dans le cadre du projet Provence Grand Large, EDF-EN envisage d'utiliser l'éolienne SIEMENS SWT-8.0-154 avec les caractéristiques suivantes :

<b>ROTOR</b>	
<b>Diamètre</b>	154 m
<b>Surface balayée</b>	18 625 m <sup>2</sup>
<b>Type de régulation</b>	Pitch
<b>Orientation</b>	Face au vent
<b>Nombre de pâles</b>	3
<b>MÂT</b>	
<b>Type</b>	Mât tubulaire / conique
<b>Hauteur du moyeu</b>	~100 m
<b>Air gap entre la fondation et les pâles</b>	~30 m
<b>Diamètre du mât</b>	5 m
<b>Matériau</b>	Acier
<b>Traitement de surface</b>	Peint
<b>PALES</b>	
<b>Principe</b>	Demi-voilure collée sur un longeron de support
<b>Matériaux</b>	Fibre de verre et fibre de carbone renforcée époxy
<b>Longueur</b>	77 m
<b>ALTERNATEUR</b>	
<b>Puissance Nominale</b>	8 MW

**Tableau 1 : Caractéristiques techniques de l'éolienne à axe horizontal SIEMENS SWT-8.0-154**

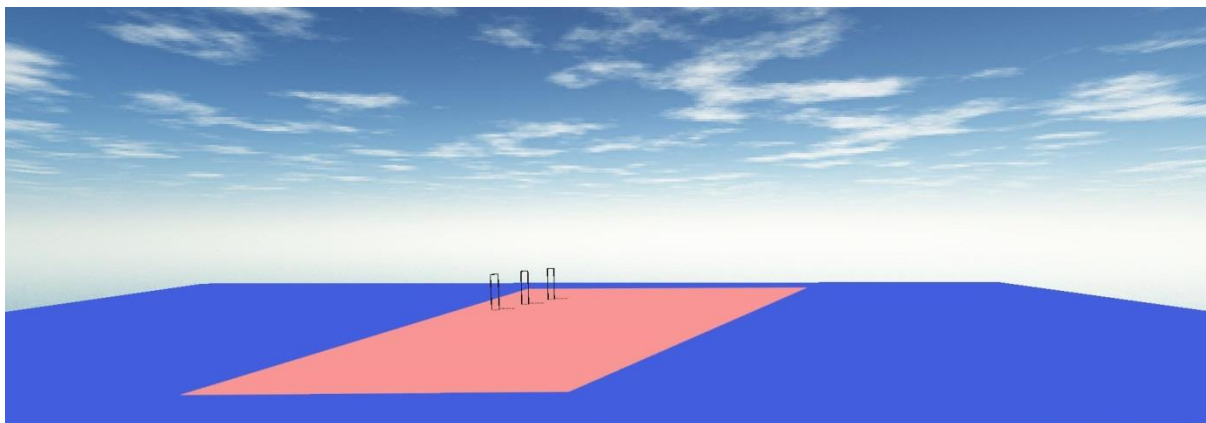
La structure flottante utiliser sera conçu par la société SBM Offshore avec les caractéristiques suivantes :

<b>Flotteur de type Plateforme à Ligne Tendues (TLP)</b>	
<b>Poids</b>	~1600 tonnes
<b>Tirant d'eau</b>	25 m
<b>Partie submergée</b>	20 m
<b>Ancrage tendu :</b>	
<b>Câble acier gainé/chaine</b>	
<b>Lignes redondantes</b>	3 x 2
<b>Rayon</b>	~70 m

**Tableau 2 : Caractéristiques techniques de la structure flottante SBM Offshore**

### 2.2.1 Modélisation du projet Provence Grand Large :

Illustré et modélisé par la Figure 6 ci-dessous le futur parc éolien du projet Provence Grand Large :



**Figure 6 : Modélisation numérique, vue 3D du site Provence Grand Large**

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

#### 3.1 CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES

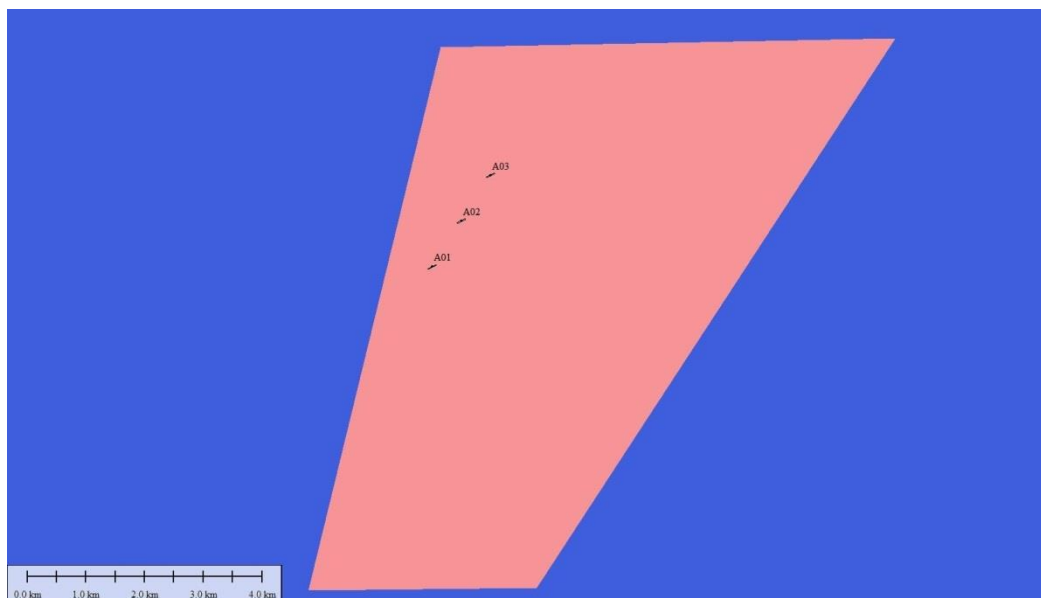
Cette partie de l'étude analyse plusieurs phénomènes physiques, caractéristiques des éoliennes SIEMENS qui seront installées dans le cadre du projet Provence Grand Large :

- 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 le parc éolien 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.

Dans le cadre du projet Provence Grand Large, les éoliennes sont espacées d'une distance d'environ 925 mètres.



**Figure 7 : 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  $\sigma$  (sigma) exprimée en  $m^2$ .

Bien que la SER d'un objet soit exprimée en  $m^2$ , 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 :

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

**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 réfléchiée par la surface de l'objet illuminé. L'énergie qui n'est pas réfléchiée 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 réfléchi. 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 SIEMENS**

La SER générale observée par un radar sera fonction de :

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

#### 3.3.2.1 La fondation flottante des éoliennes

La fondation flottante retenue pour le projet Provence Grand Large sera une fondation construite par la société SBM Offshore.

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. La fondation est émergée sur une hauteur d'environ 20m.

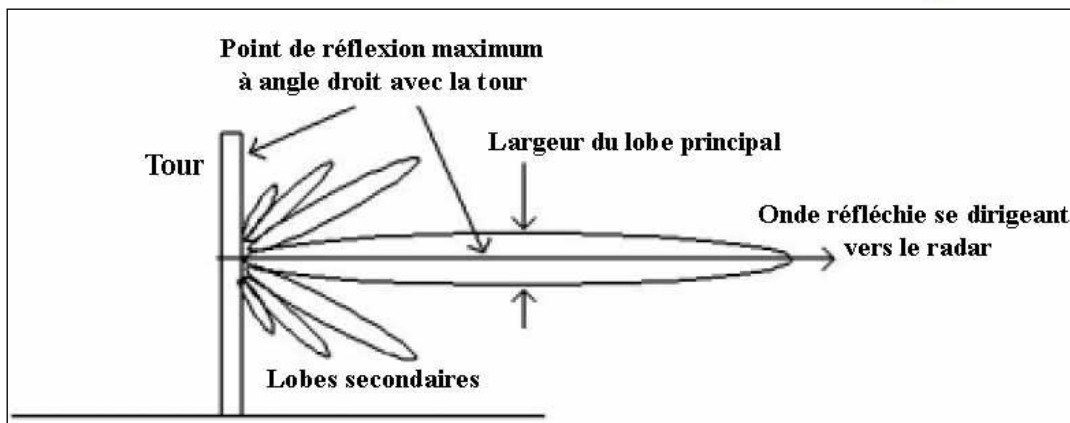
La partie émergée de la fondation représente une partie non négligeable de l'éolienne et sera prise en compte dans l'estimation de la SER des éoliennes.

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 100 mètres de haut et ayant un diamètre de 5 mètres sur toute sa longueur.

L'énergie maximum réfléchi par le mât de l'éolienne vers le radar se produit perpendiculairement à la surface du mât, comme représenté sur la Figure 8. 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 8 : Réflexion des ondes radar par le mât de l'éolienne**

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

Le sommet du mât de 100m 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 donc réfléchissent bien les ondes électromagnétiques des radars.

La rotation des pales provoque deux effets sur la SER; une modulation de temps sur le signal de retour comme 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 réfléchi, 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 dépendants de l'axe des pales.

Le site Internet Windfinder (<http://fr.windfinder.com/>) fournit des statistiques de direction et force du vent sur l'ensemble de territoire français. Ce site Internet possède des données sur la Plage Napoléon située à 4,5 km en face de la zone d'implantation du projet Provence Grand Large. Cette étude se basera ainsi sur les données de vent de la Plage Napoléon qui seront appliquées à la zone du projet éolien.

Selon le graphique de distribution des vents sur une année, Figure 9, le vent provient la majorité du temps du secteur Nord-Nord-Ouest.

### Statistiques du vent et climat Cap Couronne



#### Plage Napoléon

Ces statistiques de vent ont été calculées par les observations de vent à la station météo la plus proche et ne correspondent pas nécessairement aux conditions à Plage Napoléon .  
 Retour à la prévision de vent pour Plage Napoléon  
 Retour au SuperForecast pour Plage Napoléon

**Profil de spot**

Lever du soleil: 7:10  
Coucher de soleil: 20:13

**Vigilance météo**

Heure locale: 01:02 (UTC +2)  
Élévation: 35 m  
Le temps pour d'autres sites web

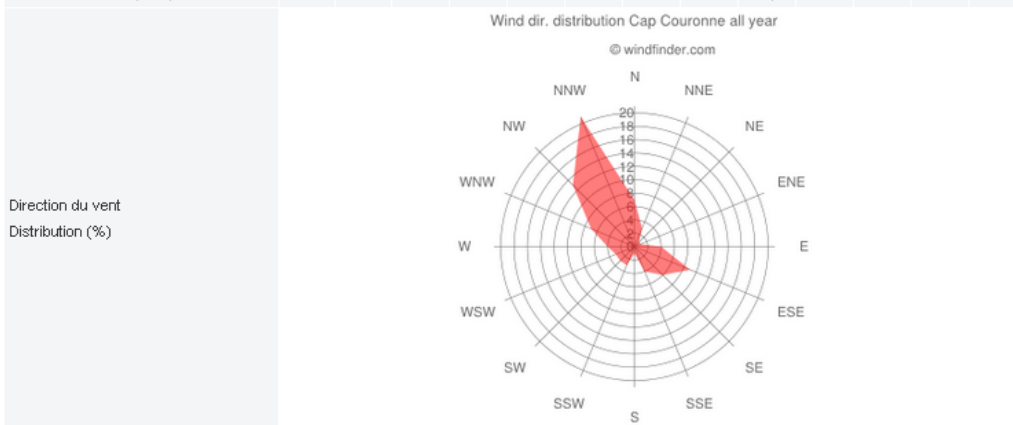
Alertes météo par **meteo media**

**Top Webcam**

[Statistiques du vent](#) | 
 [Observation](#) | 
 [Prévision](#) | 
 [Superforecast](#) | 
 [Webcams](#) | 
 [Cartes](#)

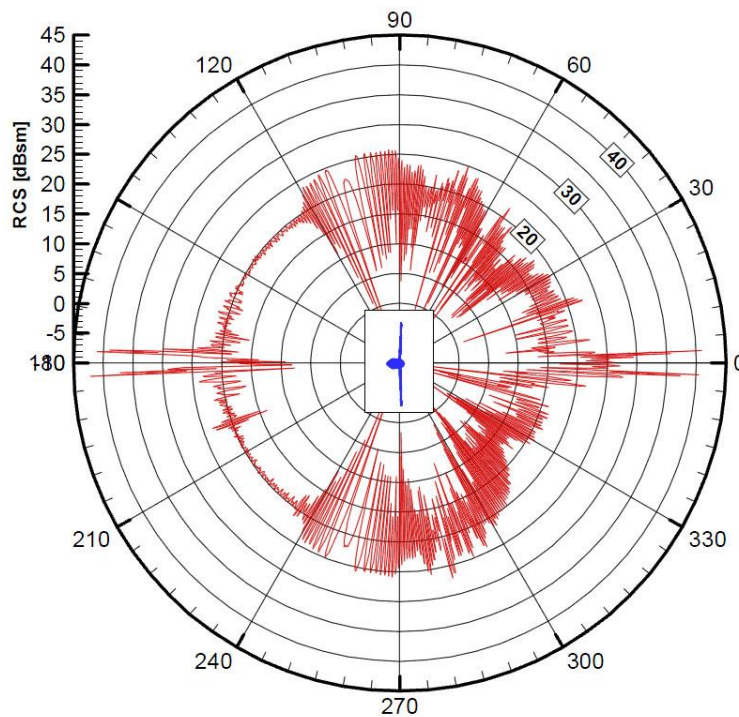
Les statistiques basent sur les observations entre 12/2011 - 3/2013 tous les jours de 7h à 19h, heure locale. Vous pouvez commander les données vent et météo historiques en Excel sur notre site [demande des données historiques](#).

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Jui	Aoû	Sep	Oct	Nov	Dec	TOT
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	1-12
Direction du Vent dominant	↙	↙	↙	↙	↙	↙	↙	↙	↙	↙	↙	↙	↙
Probabilité du vent >= 4 Beaufort (%)	63	69	53	70	49	62	51	29	34	57	48	61	53
Vitesse du vent (kts)	14	15	13	15	12	13	12	9	10	13	12	14	12
Température de l'air moyenne (°C)	10	8	12	14	17	22	23	26	22	18	14	10	16
Sélectionnez mois (Aide)	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Jui	Aoû	Sep	Oct	Nov	Dec	An



**Figure 9 : Données statistiques de distribution et force du vent sur la Plage Napoléon sur une année complète**

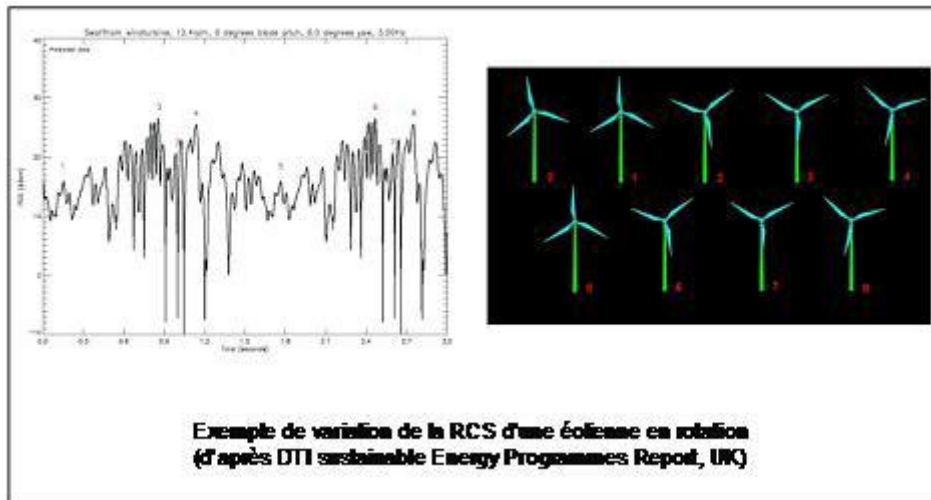
Pour cette étude nous considérerons que le vent vient du 337° (NNW) par rapport au nord magnétique.



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

### **3.4 ESTIMATION DE LA SER DES EOLIENNES SIEMENS**

Le calcul précis de la SER d'une éolienne nécessite une étude complète de l'ensemble des positions dans laquelle l'éolienne peut se trouver. Il faut de plus 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 :
  - o forte augmentation de la SER (+ 26 dB par rapport à une valeur moyenne d'environ 15 dB), immédiatement suivie par
  - o forte diminution de cette SER (- 8 dB)

**L'ensemble de ces données permettent d'estimer la SER d'une éolienne utilisée sur le projet Provence Grand Large entre 10 000 m<sup>2</sup> et 100 000 m<sup>2</sup>. Les 100 000 m<sup>2</sup> de SER intègrent la SER de la structure flottante.**

## 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'ÊTRE 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 de la zone d'étude - Provence Grand Large	
		Latitude	Longitude					
Sémaphore de Couronne	Marine Nationale	43° 19' 59,73"N	5° 3' 7,53" E	54,8 m	Bande X	25 KW	25,5 km	13,8 NM
St Cassien	GPM	43° 19' 8,14" N	5° 21' 43" E	25 m	Bande X	25 KW	47,6 km	25,7 NM
Vigie Nord	GPM	43° 20' 2,21" N	5° 20' 25,23" E	30 m	Bande X	25 KW	46,5 km	25,1 NM
Vigie Sud	GPM	43° 17' 57,50" N	5° 21' 27,62" E	18 m	Bande X	25 KW	46,7 km	25,2 NM
Couronne	GPM	43° 19' 31,92" N	5° 3' 11,04" E	35 m	Bande X	25 KW	25,1 km	13,6 NM
Capitainerie CRI – Port de Bouc	GPM	43° 23' 51,76" N	4° 58' 54,66" E	30 m	Bande X	25 KW	26,8 km	14,5 NM
Fos Pétrole	GPM	43° 25' 39,10" N	4° 49' 52,12" E	27 m	Bande X	25 KW	25,6 km	13,8 NM
Gloria – Darse 3	GPM	43° 23' 35,31" N	4° 51' 6,01" E	30 m	Bande X	25 KW	22,1 km	11,9 NM

**Tableau 3 : Liste des radars de surveillance maritime à terre susceptibles d'être perturbés par les éoliennes du projet Provence Grand Large**

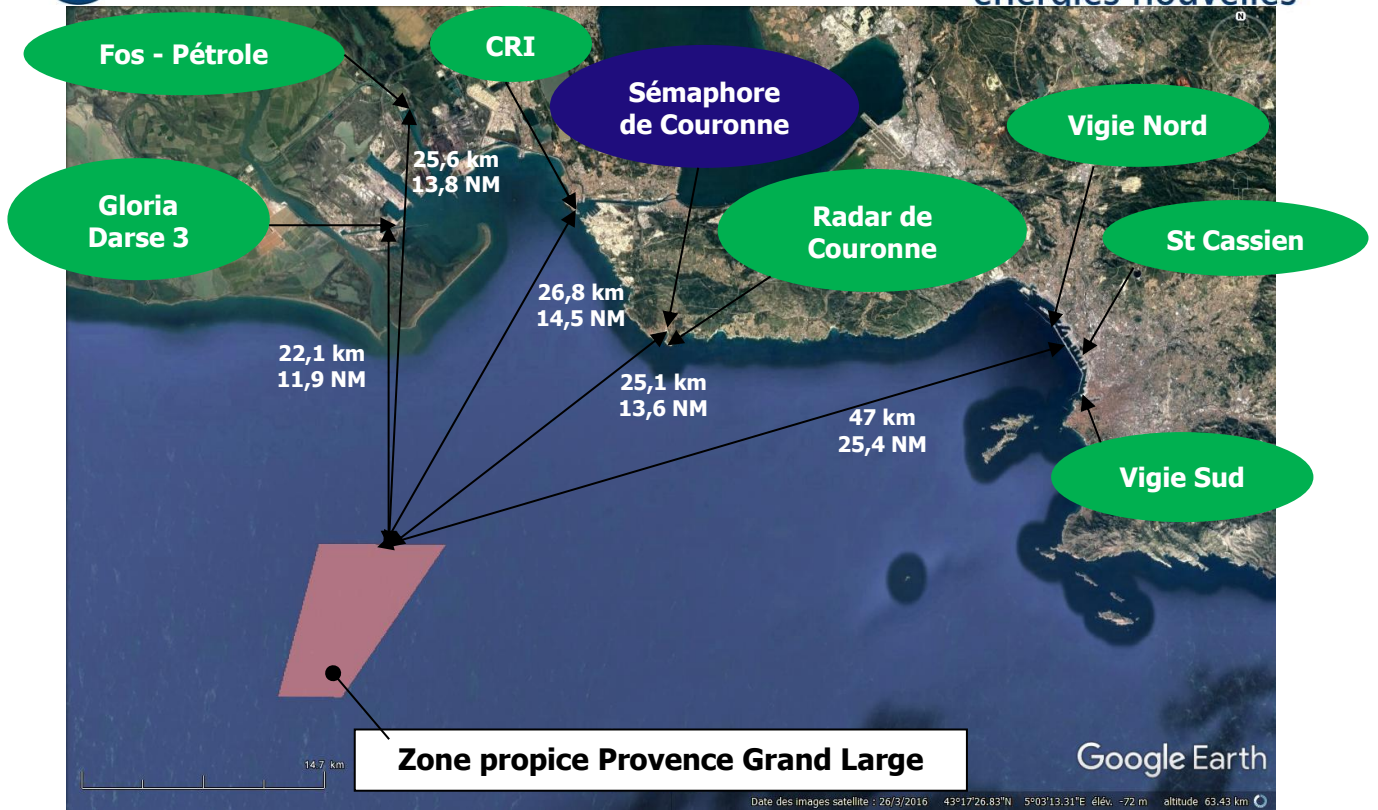
L'ensemble des sémaphores et la côte française et les CROSS sont actuellement reliés au système national de contrôle des approches côtières (système SPATIONAV).



Le sémaphore de Couronne listé dans le Tableau 3 transmet ces données radar à un centre de control régional le COM Toulon, 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.





**Figure 12 : Position des radars de surveillance du trafic maritime à terre à proximité du projet Provence Grand Large**

## 4.2 LISTE DES CENTRES DE SURVEILLANCE MARITIME ET STM EXISTANTS

La liste des centres de surveillance maritime et STM (Service de Trafic Maritime) reliés aux radars fixes susceptibles d'être perturbés par les éoliennes du projet Provence Grand Large est donnée par le tableau ci-dessous :

Centre de Surveillance Maritimes et STM	Adresse	Web	Téléphone
Sémaphore de Couronne	44 Chemin du Sémaphore 13500 MARTIGUES	<a href="http://www.defense.gouv.fr/marine">http://www.defense.gouv.fr/marine</a>	+33 (0) 4 4280-7067
CROSS MED	Chemin du Fort Sainte-Marguerite, 83130 LA GARDE	<a href="http://www.dirm.mediterranee.developpement-durable.gouv.fr/cross-med-r43.html">http://www.dirm.mediterranee.developpement-durable.gouv.fr/cross-med-r43.html</a>	+33 (0) 4 9461-7110
Grand Port Maritime de Marseille (GPMM)	12 rue St Cassien 13002 MARSEILLE	<a href="http://www.marseille-port.fr/">http://www.marseille-port.fr/</a>	+33 (0) 4 9152-2751

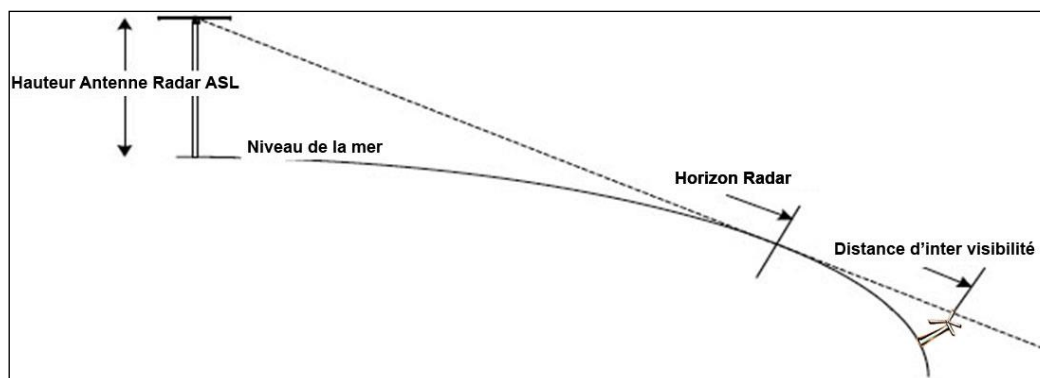
**Tableau 4 : Liste des Centres de Surveillance Maritime et STM reliés aux radars à terre**

## 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 :

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

**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 l'éolienne à 180m (ASL)
<b>Radar Sémaphore de Couronne</b>	54,8 m	16,2 NM	<b>45,8 NM</b>
<b>Radar St Cassien</b>	25 m	11,0 NM	<b>40,5 NM</b>
<b>Radar Vigie Nord</b>	30 m	12,0 NM	<b>41,6 NM</b>
<b>Radar Vigie Sud</b>	18 m	9,3 NM	<b>38,8 NM</b>
<b>Radar de Couronne</b>	35 m	13,0 NM	<b>42,5 NM</b>
<b>Radar Capitainerie CRI – Port de Bouc</b>	30 m	12,0 NM	<b>41,6 NM</b>
<b>Radar Fos – Pétrole</b>	27 m	11,4 NM	<b>40,9 NM</b>
<b>Radar Gloria – Darse 3</b>	30 m	12,0 NM	<b>41,6 NM</b>

**Tableau 5 : Synthèse des distances d'inter visibilité entre les radars et le haut de l'éolienne à 180m (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 clutter 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<sup>er</sup> 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 (180m de hauteur et une SER de 100 000m<sup>2</sup>).

2. 2<sup>nd</sup> 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 forte SER de 1 000 m<sup>2</sup>.

3. 3<sup>ième</sup> 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 (10 m<sup>2</sup> de SER, 2 m de hauteur).

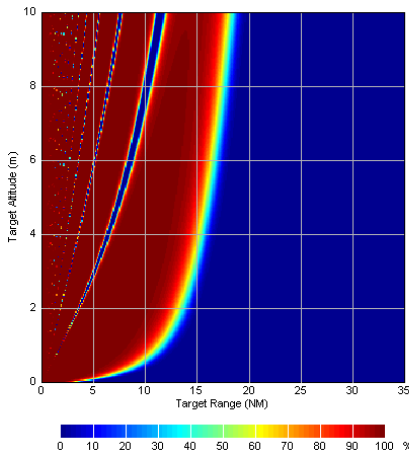
Le tableau ci-dessous donne un certain nombre d'exemples de simulations de performances, pour chacun des radars.

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 m<sup>2</sup>, cf : ANNEXE 1

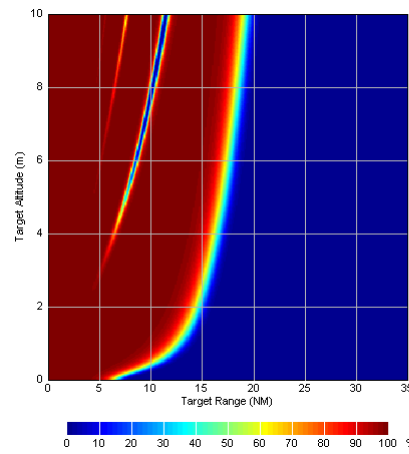
### Le radar du sémaphore de Couronne

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 : 54.8 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 m<sup>2</sup>  
 Swerling Case : 1

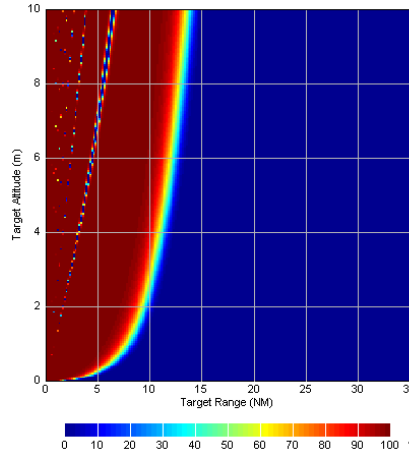
Mauvais temps (état de mer 4 avec 4 mm/h de pluie)



Carrier Frequency : 9410 MHz  
 PRF : 1.8 kHz  
 Peak Power : 25 kW  
 Pulse Length : 50 ns  
 Inst. Bandwidth : 20 MHz  
 Antenna Altitude : 54.8 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 km  
 Max Range Rain : 1000 km  
 Max Altitude Rain : 3 km  
 Attenuation : on  
 Cosmic Noise : on  
 Target RCS : 1000 m<sup>2</sup>  
 Swerling Case : 1

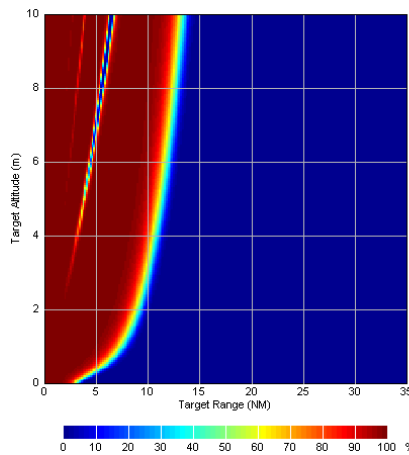
### Le radar de St Cassien

Beau temps (état de mer 1 et sans pluie)



Carrier Frequency : 9375 MHz  
 PRF : 2 kHz  
 Peak Power : 25 kW  
 Pulse Length : 70 ns  
 Inst. Bandwidth : 20 MHz  
 Antenna Altitude : 25 m  
 Antenna Gain : 34 dBi  
 Azimuth Beamwidth : 0.45 °  
 Polarization : H  
 Doppler Processing : none  
 Number of Bursts : 1  
 False Alarm Prob. : 1e-006  
 Sea State : 1  
 Wind Speed : 3.2 m/s  
 Attenuation : on  
 Cosmic Noise : on  
 Target RCS : 1000 m<sup>2</sup>  
 Swerling Case : 1

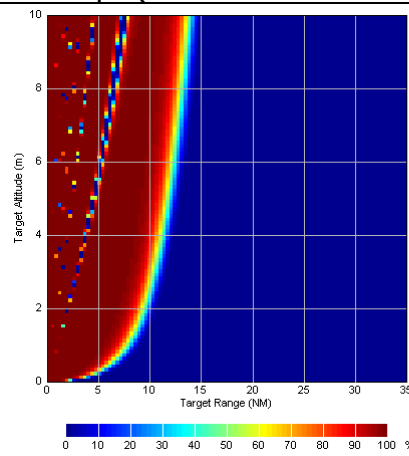
Mauvais temps (état de mer 4 avec 4 mm/h de pluie)



Carrier Frequency : 9375 MHz  
 PRF : 2 kHz  
 Peak Power : 25 kW  
 Pulse Length : 70 ns  
 Inst. Bandwidth : 20 MHz  
 Antenna Altitude : 25 m  
 Antenna Gain : 34.0 dBi  
 Azimuth Beamwidth : 0.45 °  
 Polarization : H  
 Doppler Processing : none  
 Number of Bursts : 1  
 False Alarm Prob. : 1e-006  
 Sea State : 4  
 Wind Speed : 9.6 m/s  
 Rainfall Rate : 4.0 mm/hr  
 Min Range Rain : 0 km  
 Max Range Rain : 1000 km  
 Max Altitude Rain : 3 km  
 Attenuation : on  
 Cosmic Noise : on  
 Target RCS : 1000 m<sup>2</sup>  
 Swerling Case : 1

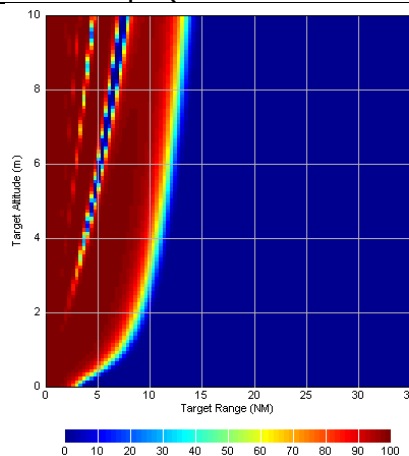
### Le radar de la Vigie Nord

Beau temps (état de mer 1 et sans pluie)



Carrier Frequency : 9410 MHz  
 PRF : 2.2 kHz  
 Peak Power : 25 kW  
 Pulse Length : 80 ns  
 Inst. Bandwidth : 28 MHz  
 Antenna Altitude : 30 m  
 Antenna Gain : 31.0 dBi  
 Azimuth Beamwidth : 1 °  
 Polarization : H  
 Doppler Processing : none  
 Number of Bursts : 1  
 False Alarm Prob. : 1e-006  
 Sea State : 1  
 Wind Speed : 3.2 m/s  
 Attenuation : on  
 Cosmic Noise : on  
 Target RCS : 1000 m<sup>2</sup>  
 Swerling Case : 1

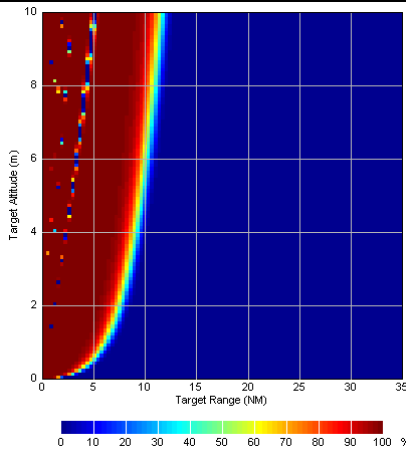
Mauvais temps (état de mer 4 avec 4 mm/h de pluie)



Carrier Frequency : 9410 MHz  
 PRF : 2.2 kHz  
 Peak Power : 25 kW  
 Pulse Length : 80 ns  
 Inst. Bandwidth : 28 MHz  
 Antenna Altitude : 30 m  
 Antenna Gain : 31.0 dBi  
 Azimuth Beamwidth : 1.00 °  
 Polarization : H  
 Doppler Processing : none  
 Number of Bursts : 1  
 False Alarm Prob. : 1e-006  
 Sea State : 4  
 Wind Speed : 9.6 m/s  
 Rainfall Rate : 4.0 mm/hr  
 Min Range Rain : 0 km  
 Max Range Rain : 1000 km  
 Max Altitude Rain : 3 km  
 Attenuation : on  
 Cosmic Noise : on  
 Target RCS : 1000 m<sup>2</sup>  
 Swerling Case : 1

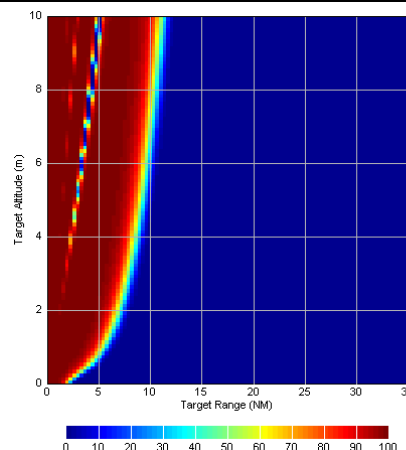
### Le radar de la Vigie Sud

Beau temps (état de mer 1 et sans pluie)



Carrier Frequency : 9410 MHz  
 PRF : 2.2 kHz  
 Peak Power : 25 kW  
 Pulse Length : 80 ns  
 Inst. Bandwidth : 28 MHz  
 Antenna Altitude : 18 m  
 Antenna Gain : 31.0 dBi  
 Azimuth Beamwidth : 1.00 °  
 Polarization : H  
 Doppler Processing : none  
 Number of Bursts : 1  
 False Alarm Prob. : 1e-006  
 Sea State : 1  
 Wind Speed : 3.2 m/s  
 Attenuation : on  
 Cosmic Noise : on  
 Target RCS : 1000 m²  
 Swerling Case : 1

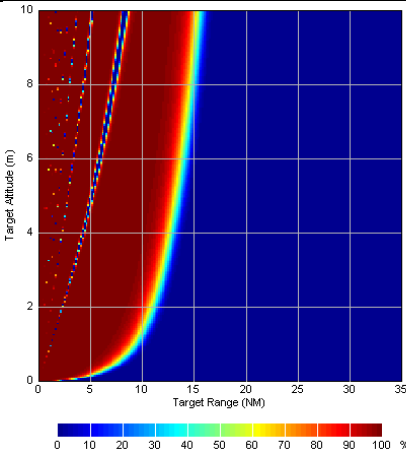
Mauvais temps (état de mer 4 avec 4 mm/h de pluie)



Carrier Frequency : 9410 MHz  
 PRF : 2.2 kHz  
 Peak Power : 25 kW  
 Pulse Length : 80 ns  
 Inst. Bandwidth : 28 MHz  
 Antenna Altitude : 18 m  
 Antenna Gain : 31.0 dBi  
 Azimuth Beamwidth : 1.00 °  
 Polarization : H  
 Doppler Processing : none  
 Number of Bursts : 1  
 False Alarm Prob. : 1e-006  
 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

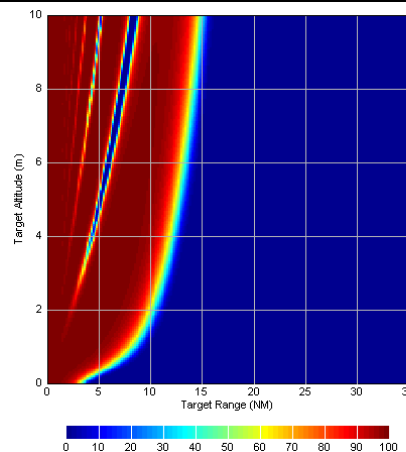
### Le radar de Couronne

Beau temps (état de mer 1 et sans pluie)



Carrier Frequency : 9375 MHz  
 PRF : 1 kHz  
 Peak Power : 25 kW  
 Pulse Length : 0.30 us  
 Inst. Bandwidth : 20 MHz  
 Antenna Altitude : 35 m  
 Antenna Gain : 34.0 dBi  
 Azimuth Beamwidth : 0.45 °  
 Polarization : H  
 Doppler Processing : none  
 Number of Bursts : 1  
 False Alarm Prob. : 1e-006  
 Sea State : 1  
 Wind Speed : 3.2 m/s  
 Attenuation : on  
 Cosmic Noise : on  
 Target RCS : 1000 m²  
 Swerling Case : 1

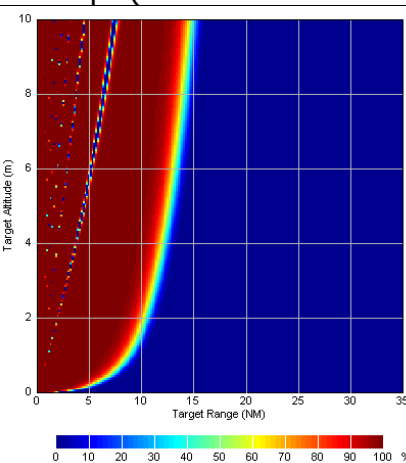
Mauvais temps (état de mer 4 avec 4 mm/h de pluie)



Carrier Frequency : 9375 MHz  
 PRF : 1 kHz  
 Peak Power : 25 kW  
 Pulse Length : 0.30 us  
 Inst. Bandwidth : 20 MHz  
 Antenna Altitude : 35 m  
 Antenna Gain : 34.0 dBi  
 Azimuth Beamwidth : 0.45 °  
 Polarization : H  
 Doppler Processing : none  
 Number of Bursts : 1  
 False Alarm Prob. : 1e-006  
 Sea State : 4  
 Wind Speed : 9.6 m/s  
 Rainfall Rate : 4.0 mm/hr  
 Min Range Rain : 0 km  
 Max Range Rain : 1000 km  
 Max. Altitude Rain : 3 km  
 Attenuation : on  
 Cosmic Noise : on  
 Target RCS : 1000 m²  
 Swerling Case : 1

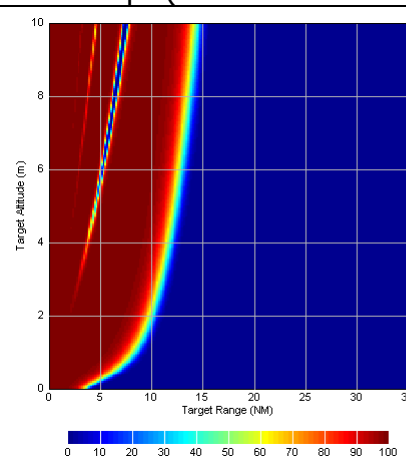
### Le radar de la Capitainerie CRI – Port de Bouc

Beau temps (état de mer 1 et sans pluie)



Carrier Frequency : 9375 MHz  
 PRF : 2 kHz  
 Peak Power : 25 kW  
 Pulse Length : 70 ns  
 Inst. Bandwidth : 20 MHz  
 Antenna Altitude : 30 m  
 Antenna Gain : 34.0 dBi  
 Azimuth Beamwidth : 0.45 °  
 Polarization : H  
 Doppler Processing : none  
 Number of Bursts : 1  
 False Alarm Prob. : 1e-006  
 Sea State : 1  
 Wind Speed : 3.2 m/s  
 Attenuation : on  
 Cosmic Noise : on  
 Target RCS : 1000 m²  
 Swerling Case : 1

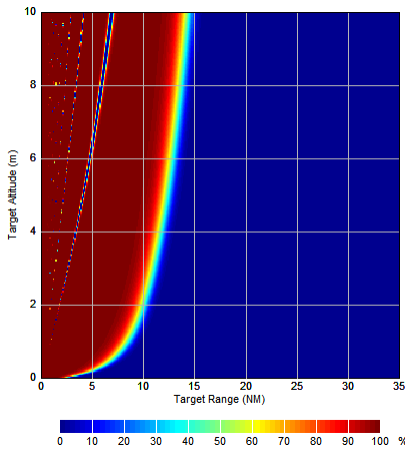
Mauvais temps (état de mer 4 avec 4 mm/h de pluie)



Carrier Frequency : 9375 MHz  
 PRF : 2 kHz  
 Peak Power : 25 kW  
 Pulse Length : 70 ns  
 Inst. Bandwidth : 20 MHz  
 Antenna Altitude : 30 m  
 Antenna Gain : 34.0 dBi  
 Azimuth Beamwidth : 0.45 °  
 Polarization : H  
 Doppler Processing : none  
 Number of Bursts : 1  
 False Alarm Prob. : 1e-006  
 Sea State : 4  
 Wind Speed : 9.6 m/s  
 Rainfall Rate : 4.0 mm/hr  
 Min Range Rain : 0 km  
 Max Range Rain : 1000 km  
 Max. Altitude Rain : 3 km  
 Attenuation : on  
 Cosmic Noise : on  
 Target RCS : 1000 m²  
 Swerling Case : 1

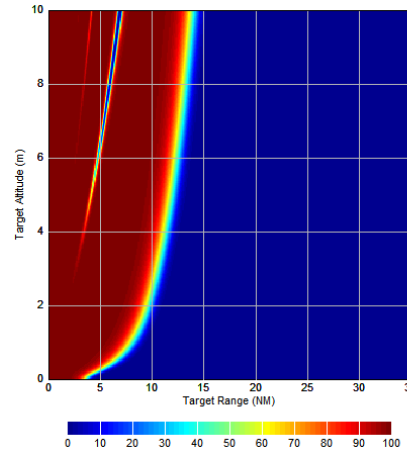
### Le radar de Fos Pétrole

Beau temps (état de mer 1 et sans pluie)



Carrier Frequency : 9410 MHz  
 PRF : 3 kHz  
 Peak Power : 25 kW  
 Pulse Length : 40 ns  
 Inst. Bandwidth : 30 MHz  
 Antenna Altitude : 27 m  
 Antenna Gain : 34,5 dBi  
 Azimuth Beamwidth : 0,43 °  
 Polarization : H  
 Doppler Processing : none  
 Number of Bursts : 1  
 False Alarm Prob. : 1e-004  
 Sea State : 1  
 Wind Speed : 1 m/s  
 Attenuation : on  
 Cosmic Noise : on  
 Target RCS : 1000 m²  
 Swerling Case : 1

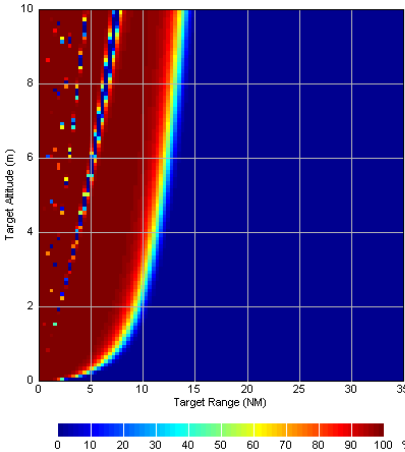
Mauvais temps (état de mer 4 avec 4 mm/h de pluie)



Carrier Frequency : 9410 MHz  
 PRF : 3 kHz  
 Peak Power : 25 kW  
 Pulse Length : 40 ns  
 Inst. Bandwidth : 30 MHz  
 Antenna Altitude : 27 m  
 Antenna Gain : 34,5 dBi  
 Azimuth Beamwidth : 0,43 °  
 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 km  
 Max Range Rain : 1000 km  
 Max Altitude Rain : 3 km  
 Attenuation : on  
 Cosmic Noise : on  
 Target RCS : 1000 m²  
 Swerling Case : 1

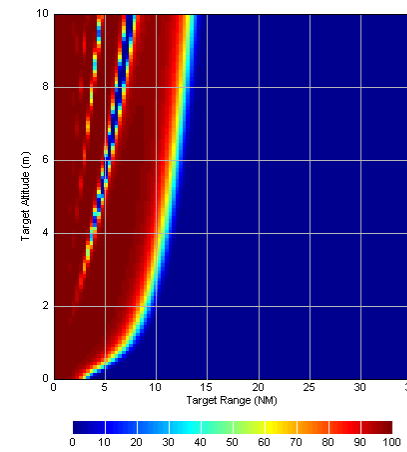
### Le radar de Gloria – Darse 3

Beau temps (état de mer 1 et sans pluie)



Carrier Frequency : 9410 MHz  
 PRF : 1,8 kHz  
 Peak Power : 25 kW  
 Pulse Length : 80 ns  
 Inst. Bandwidth : 28 MHz  
 Antenna Altitude : 30 m  
 Antenna Gain : 31,0 dBi  
 Azimuth Beamwidth : 1,00 °  
 Polarization : H  
 Doppler Processing : none  
 Number of Bursts : 1  
 False Alarm Prob. : 1e-006  
 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 : 80 ns  
 Inst. Bandwidth : 28 MHz  
 Antenna Altitude : 30 m  
 Antenna Gain : 31,0 dBi  
 Azimuth Beamwidth : 1,00 °  
 Polarization : H  
 Doppler Processing : none  
 Number of Bursts : 1  
 False Alarm Prob. : 1e-006  
 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 6 : Exemple de calculs de performances de portée radar dans diverses conditions météo**

### 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 10m<sup>2</sup> et une hauteur de 2m au-dessus de la mer.
- Les grosses cibles comme des caboteurs ont une SER de 1 000m<sup>2</sup> et une hauteur de 10m.
- Les éoliennes ont une SER de 100 000m<sup>2</sup> et une hauteur de 180m au plus haut de la pale.

Type de radar	Etat de Mer	Pluie [mm/h]	SER cible [m <sup>2</sup> ]	Hauteur cible [m]	Portée Radar [NM]	
Radar sémaphore de Couronne Hauteur Antenne : 54,8 m	1	0	10	2	<b>7,7</b>	Beau temps
	1	0	1 000	10	<b>16,9</b>	
	1	0	100 000	180	<b>42,0</b>	
	4	4	10	2	<b>0,8</b>	Mauvais temps
	4	4	1 000	10	<b>17,9</b>	
	4	4	100 000	180	<b>36,6</b>	
Radar de St Cassien Hauteur Antenne : 25 m	1	0	10	2	<b>5,6</b>	Beau temps
	1	0	1 000	10	<b>12,5</b>	
	1	0	100 000	180	<b>36,6</b>	
	4	4	10	2	<b>4,6</b>	Mauvais temps
	4	4	1 000	10	<b>12,1</b>	
	4	4	100 000	180	<b>35,3</b>	
Radar de la Vigie Nord Hauteur Antenne : 30 m	1	0	10	2	<b>5,2</b>	Beau temps
	1	0	1 000	10	<b>12,5</b>	
	1	0	100 000	180	<b>36,4</b>	
	4	4	10	2	<b>0,4</b>	Mauvais temps
	4	4	1 000	10	<b>11,9</b>	
	4	4	100 000	180	<b>31,0</b>	
Radar de la Vigie Sud Hauteur Antenne : 18 m	1	0	10	2	<b>4,2</b>	Beau temps
	1	0	1 000	10	<b>10,4</b>	
	1	0	100 000	180	<b>33,8</b>	
	4	4	10	2	<b>2,8</b>	Mauvais temps
	4	4	1 000	10	<b>9,8</b>	
	4	4	100 000	180	<b>32,0</b>	
Radar de Couronne Hauteur Antenne : 35 m	1	0	10	2	<b>6,6</b>	Beau temps
	1	0	1 000	10	<b>14,3</b>	
	1	0	100 000	180	<b>38,8</b>	
	4	4	10	2	<b>0,2</b>	Mauvais temps
	4	4	1 000	10	<b>13,5</b>	
	4	4	100 000	180	<b>37,3</b>	

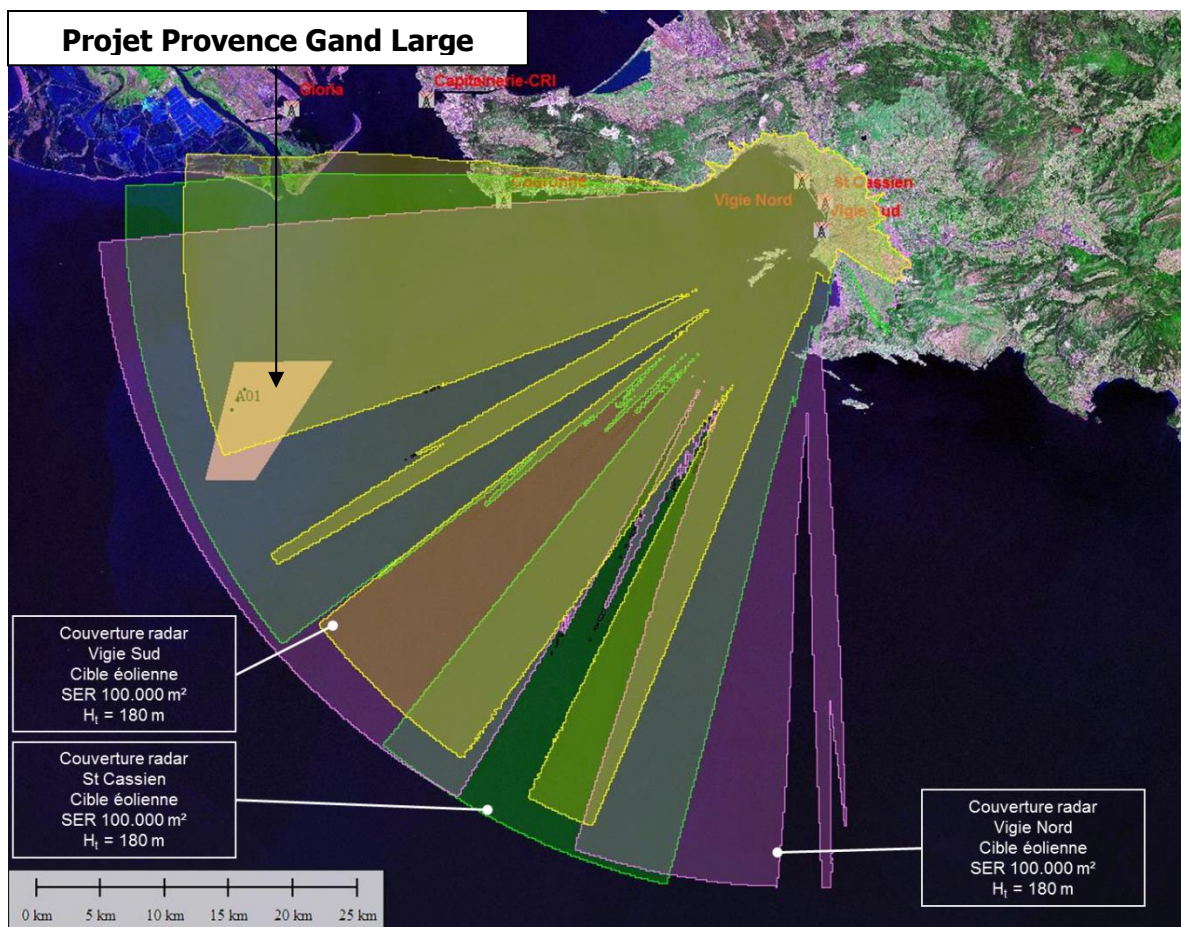


<b>Radar de la Capitainerie CRI – Port de Bouc Hauteur Antenne : 30 m</b>	1	0	10	2	<b>6,3</b>	<b>Beau temps</b>
	1	0	1 000	10	<b>13,6</b>	
	1	0	100 000	180	<b>37,9</b>	
	4	4	10	2	<b>5,1</b>	<b>Mauvais temps</b>
	4	4	1 000	10	<b>13,1</b>	
	4	4	100 000	180	<b>36,7</b>	
<b>Radar de Fos - Pétrole Hauteur Antenne : 27 m</b>	1	0	10	2	<b>6,0</b>	<b>Beau temps</b>
	1	0	1 000	10	<b>13,1</b>	
	1	0	100 000	180	<b>37,3</b>	
	4	4	10	2	<b>5,3</b>	<b>Mauvais temps</b>
	4	4	1 000	10	<b>12,7</b>	
	4	4	100 000	180	<b>36,1</b>	
<b>Radar Gloria – Darse 3 Hauteur Antenne : 30 m</b>	1	0	10	2	<b>5,2</b>	<b>Beau temps</b>
	1	0	1 000	10	<b>12,5</b>	
	1	0	100 000	180	<b>36,5</b>	
	4	4	10	2	<b>0,4</b>	<b>Mauvais temps</b>
	4	4	1 000	10	<b>11,9</b>	
	4	4	100 000	180	<b>31,0</b>	

**Tableau 7 : Synthèse des portées des radars**

#### **4.3.4 Zones de couverture actuelle des radars de surveillance maritime à terre**

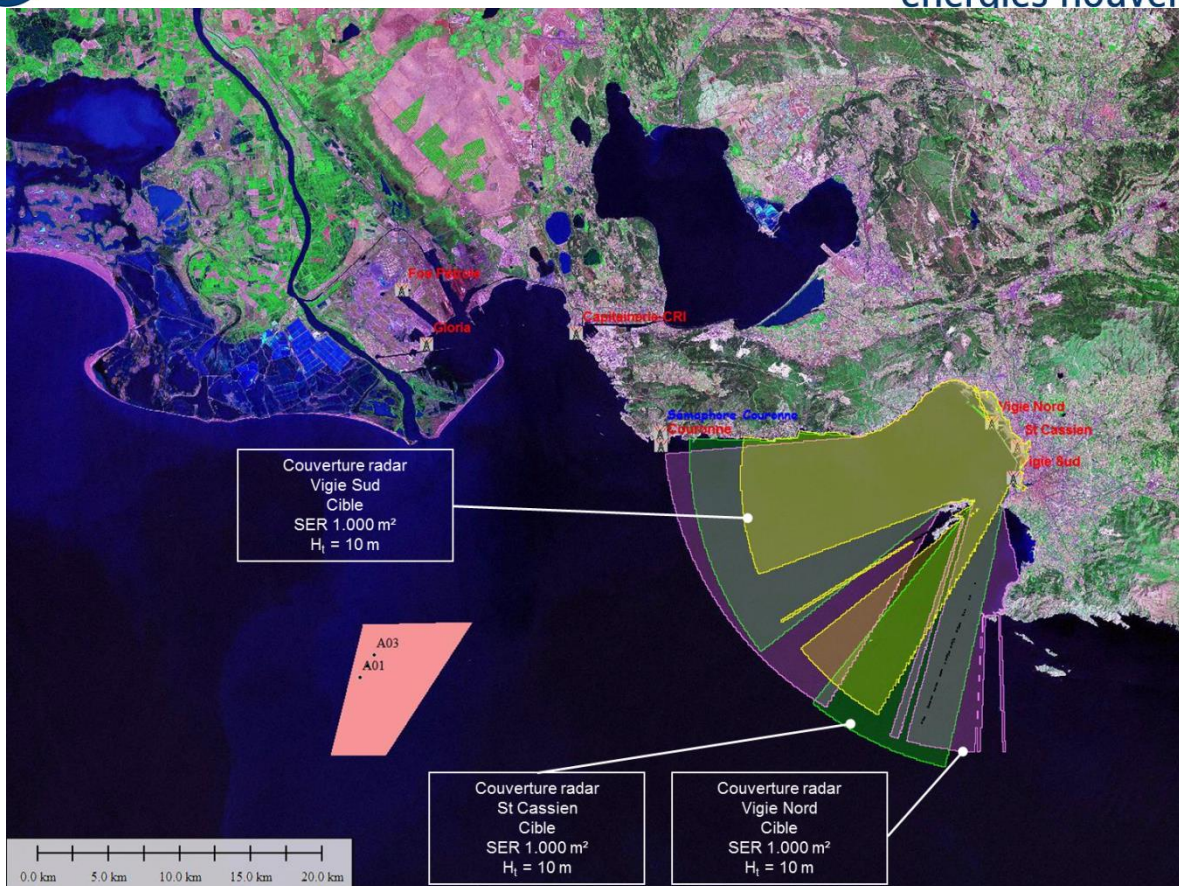
En reprenant les valeurs de portées radar du Tableau 7, il est possible de tracer les couvertures radar associées :



**Figure 14 : Zone de couverture actuelle des radars de surveillance maritime à terre des Basins Est du GPMM pour des cibles de type éolienne (SER = 100 000 m<sup>2</sup>, 180m de hauteur)**

Dans un souci de clarté, seules les couvertures radar actuelles de St Cassien, Vigie Nord et Vigie Sud (radars des Basins Est du GPMM) sont représentées sur la Figure 14.

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.



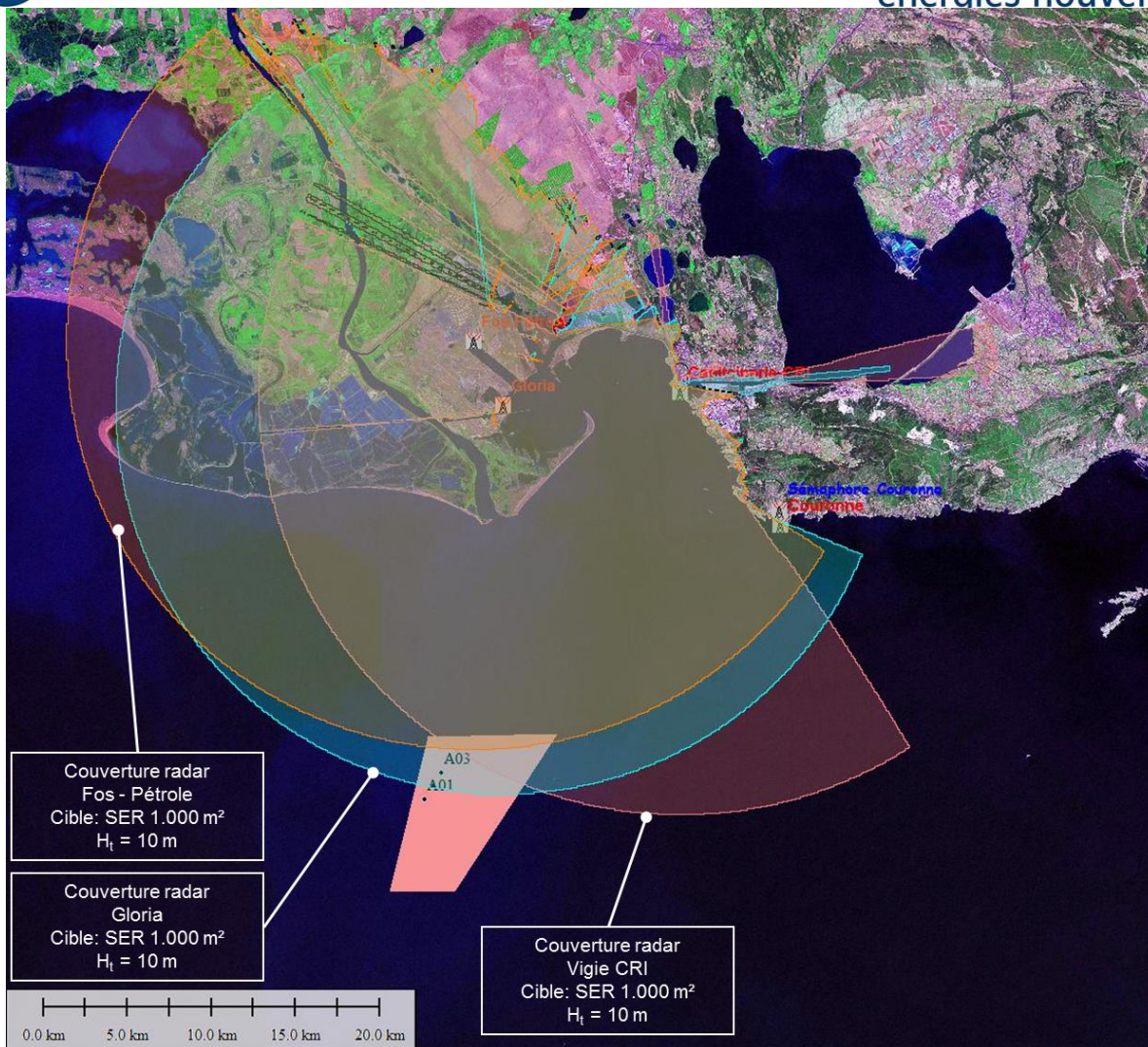
**Figure 15 : Zone de couverture actuelle des radars de surveillance maritime à terre des Basins Est du GPM pour des cibles de SER = 1 000 m<sup>2</sup> et 10m de hauteur**

La Figure 15 montre que les couvertures radar actuelles des radars de :

- **St Cassien,**
- **la Vigie Nord**
- **la Vigie Sud,**

n'atteignent pas la zone projet Provence Grand Large. Ces radars ne seront donc pas impactés par la présence des éoliennes.

Il ne sera donc pas nécessaire de poursuivre l'étude d'impact sur ces 3 radars du secteur des Basins Est du Grand Port Maritime de Marseille.



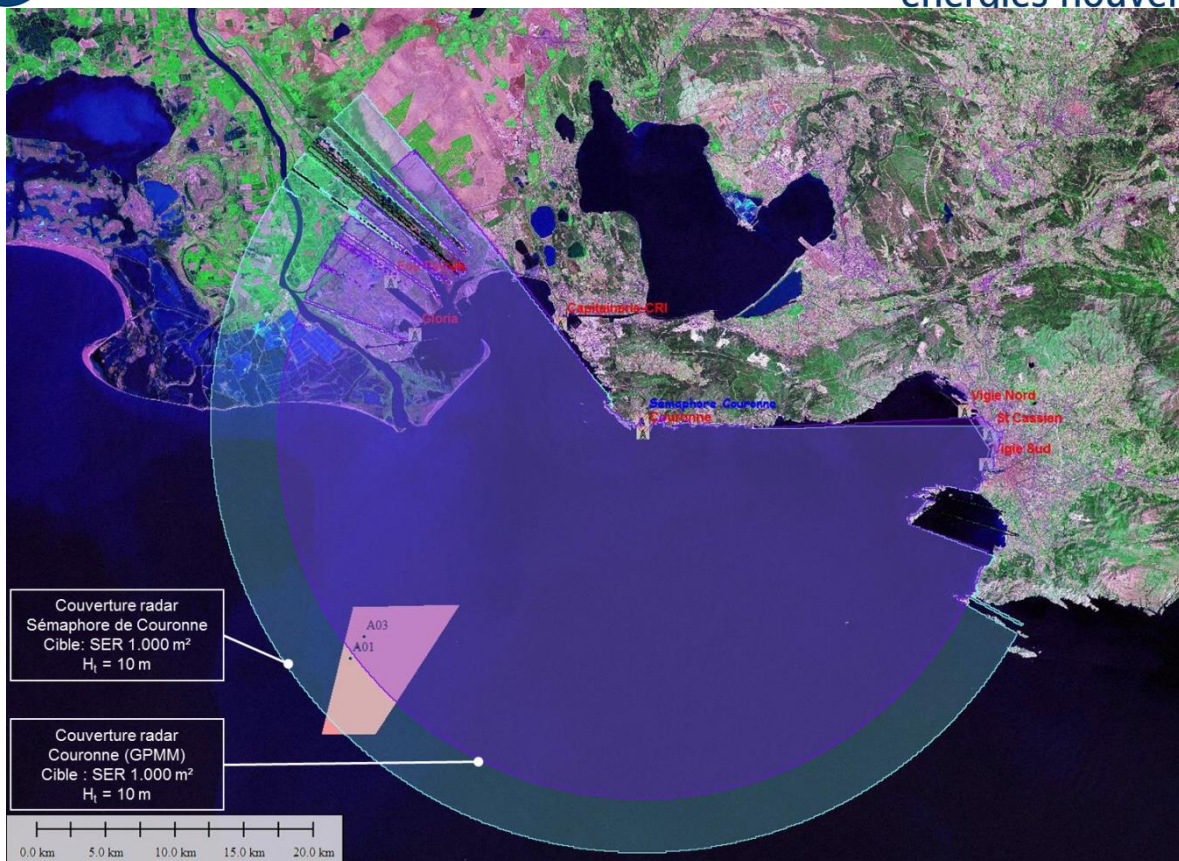
**Figure 16 : Zone de couverture actuelle des radars de surveillance maritime à terre des Basins Ouest du GPMM pour des cibles de SER = 1 000 m<sup>2</sup> et 10m de hauteur**

La Figure 16 montre que la zone du projet Provence Grand Large est située en limite de portée sur les couvertures radar actuelles des radars de :

- **la Vigie CRI – Port de Bouc**
- **Fos - Pétrole**

pour des cibles de SER = 1 000m<sup>2</sup> et 10m de hauteur, ce qui correspond à des navires de type caboteur.

La portée du radar de **Gloria – Darse 3** pour des cibles de SER = 1 000m<sup>2</sup> et 10m de hauteur va au-delà de la zone d’implantation des éoliennes. **L’impact du projet Provence Grand Large sur ce radar est détaillé dans la suite de cette étude.**

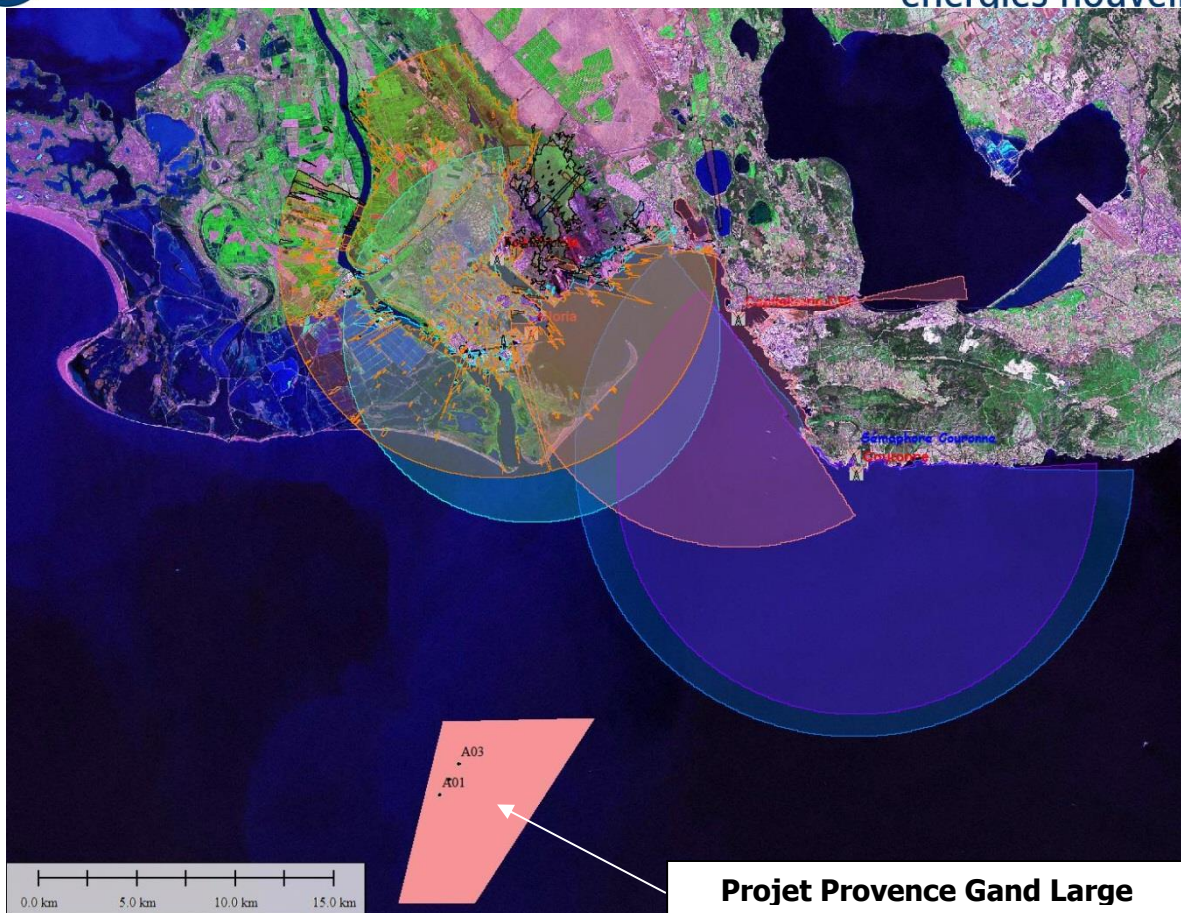


**Figure 17 : Zone de couverture actuelle des radars de Couronne du GPMM et du Sémaphore de Couronne pour des cibles de SER = 1 000 m<sup>2</sup>, 10m de hauteur**

La Figure 17 montre que les radars de :

- **du sémaphore de Couronne,**
- **de Couronne,**

sont largement en mesure de détecter les cibles de SER = 1 000m<sup>2</sup> et 10m de hauteur au voisinage du projet Provence Grand Large. **L'impact du projet sur ces deux radars est détaillé dans la suite de cette étude.**



**Figure 18 : Zone de couverture actuelle des radars de surveillance maritime à terre pour de petites cibles de SER = 10 m<sup>2</sup> et 2m de hauteur**

La Figure 18 montre qu'aucun radar n'est actuellement en mesure de détecter de petites cibles de SER = 10 m<sup>2</sup>, 2m de hauteur au voisinage de la zone d'implantation du projet Provence Grand Large.

## **5 IMPACT DU PROJET PROVENCE GRAND LARGE SUR LES RADARS DE CONTROL DU TRAFIC MARITIME A TERRE DANS LE SECTEUR DE FOS**

### **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 control du trafic maritime à terre :

- 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. 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 réfléchiée 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 d'éoliennes à proximité de radars engendre une forte réflexion du signal radar et engendre un phénomène de saturation au niveau du radar. Ce phénomène est lié au fait que les éoliennes sont constituées de structures fortement réfléchissantes telles que le mât en acier et la fondation flottante.

Les radars présent dans le secteur de Fos possèdent tous 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.

Dans le cas de figure du projet Provence Grand Large les éoliennes sont positionnées beaucoup trop loin des radars pour observer ce phénomène de saturation. Sans phénomène de saturation, il n'y aura donc aucun effet de « désensibilisation » sur les radars.

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

**La distance entre les radars de surveillance du trafic maritime et les éoliennes du projet Provence Grand Large est suffisamment importante pour n'engendrer aucun phénomène de saturation sur les radars.**

**On peut donc conclure qu'aucun effet de « désensibilisation » n'apparaîtra sur les radars de surveillance du trafic maritime à terre dans le secteur de Fos.**

## **5.3 EFFET D'OMBRE**

L'analyse du masquage généré par les éoliennes sur la couverture radar est réalisée en considérant le masquage créé par la structure flottante, un mât d'éolienne, puis par les pales 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 kilomètres 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 7



des portées radar montre aussi que les portées sont directement liées aux conditions météorologiques.

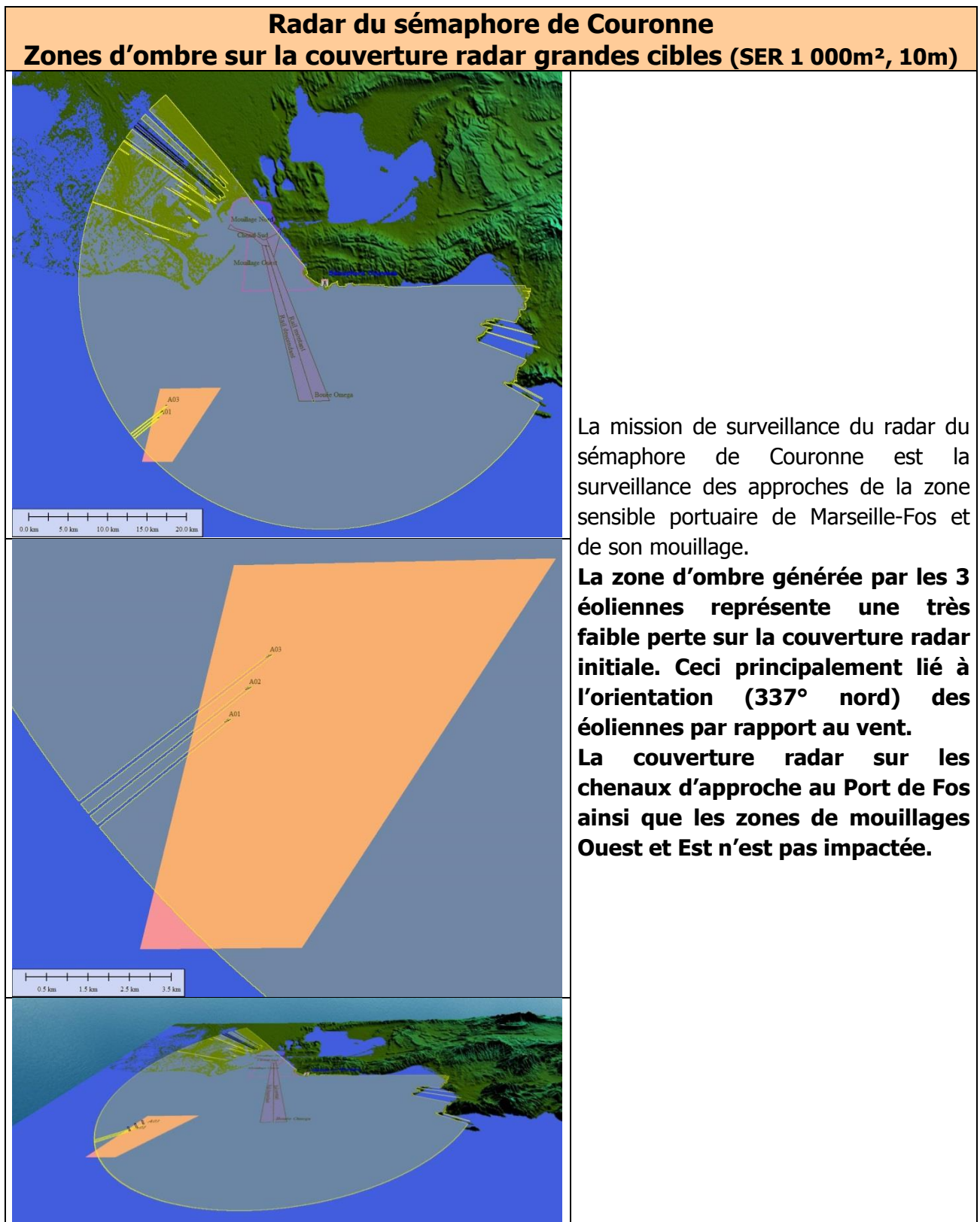
### **5.3.1 Effet d'ombre généré par les éoliennes**

Pour effectuer l'analyse de l'effet d'ombre généré par les éoliennes sur les radars, il est important de considérer l'orientation des éoliennes par rapport à la direction du vent. Dans le paragraphe 3.3.2.5, il est indiqué que les vents dominants présents sur le site du projet Provence Grand Large proviennent du secteur Nord-Nord-Ouest soit 337° par rapport au Nord.

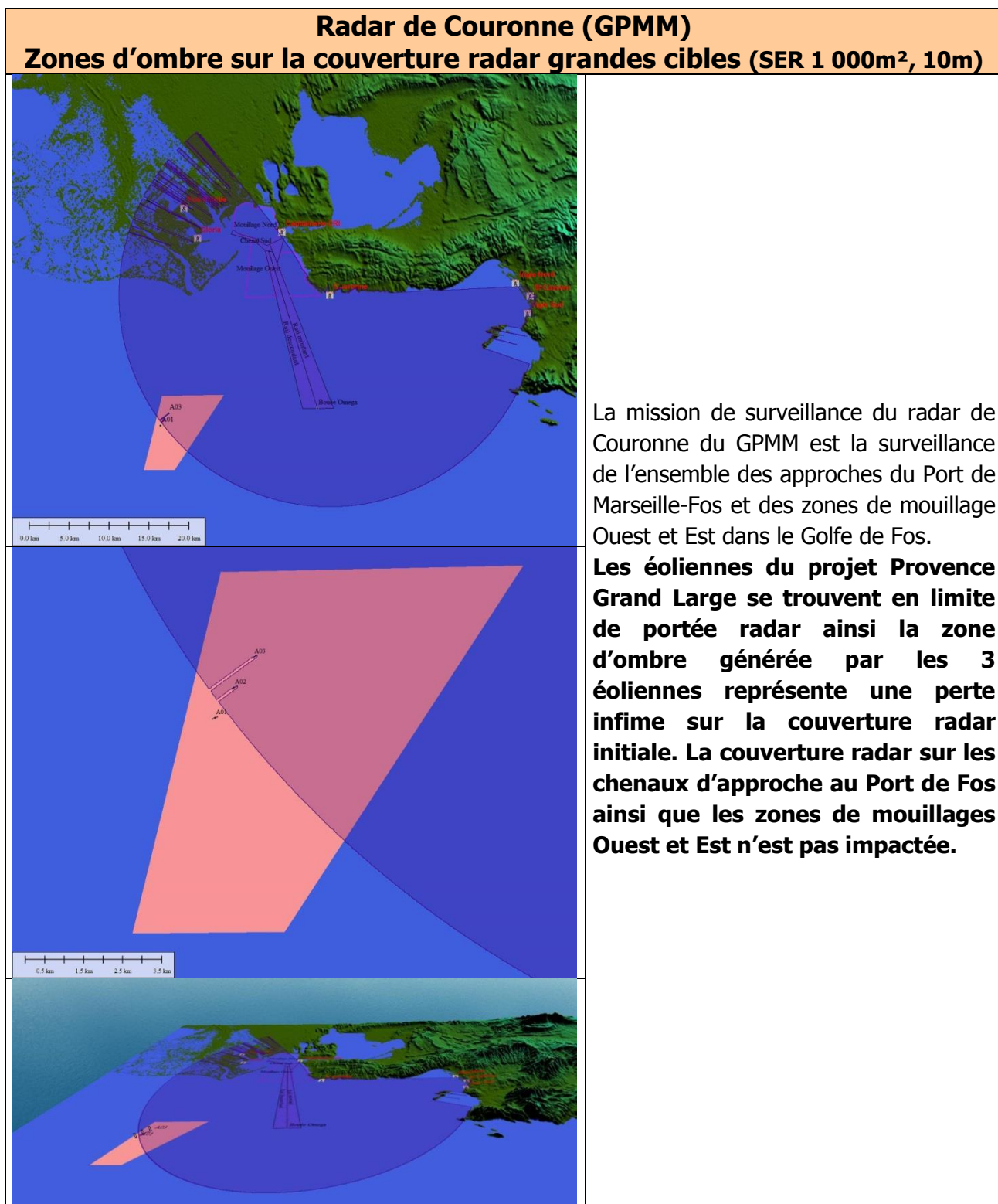
Ainsi les 3 éoliennes du projet Provence Grand Large seront positionnées face au 337°.

Les figures des Tableau 8 à Tableau 10 ci-dessous représentent les simulations de l'effet d'ombre provoqué par les éoliennes sur les couvertures radar (grandes cibles et petites cibles) de chacun des radars de surveillance du trafic maritime dans le secteur de Fos.

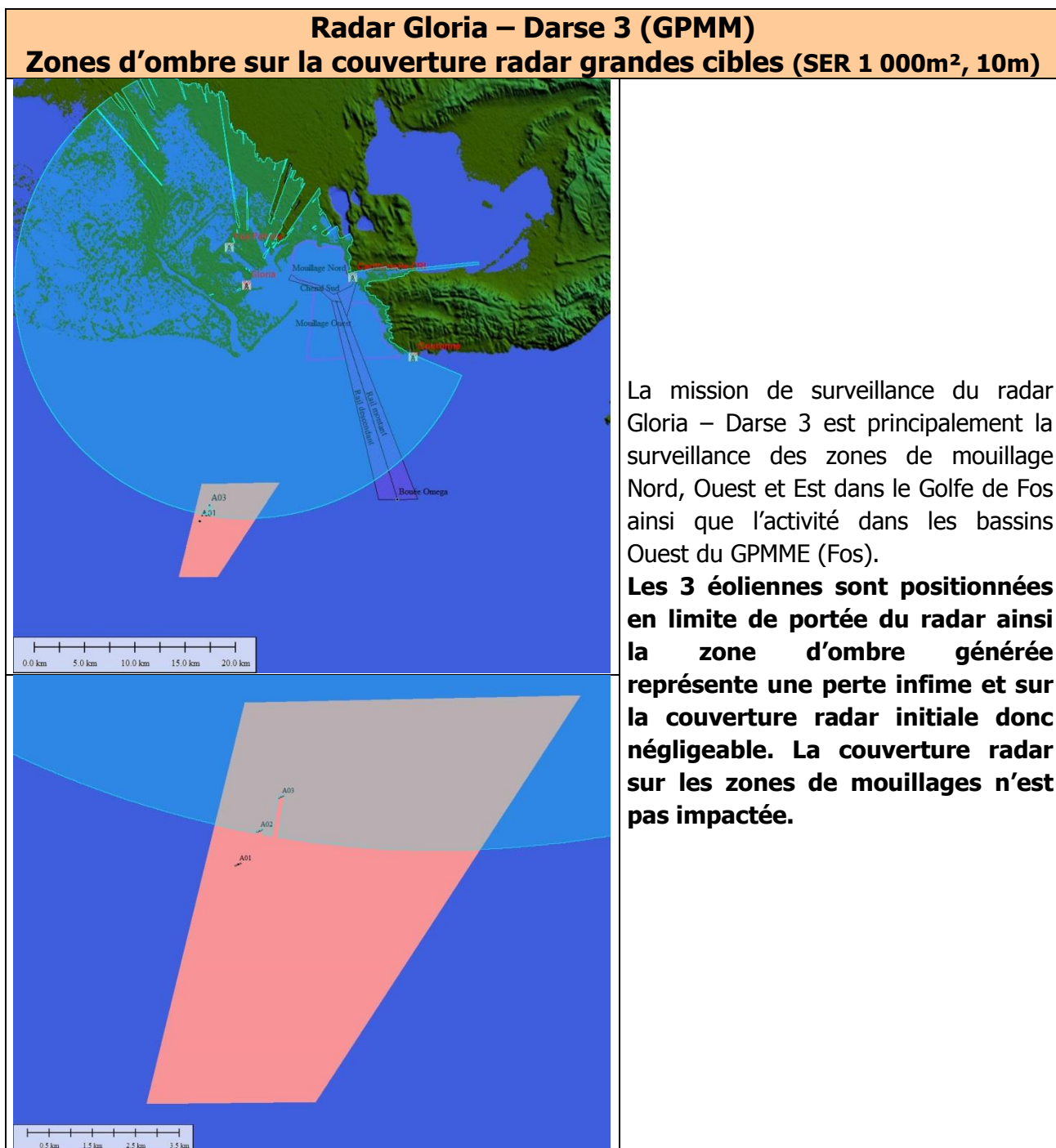
Ces figures donnent aussi une évaluation de la perte de couverture radar engendrée par les éoliennes.



**Tableau 8 : Simulation de l'effet d'ombre généré par les éoliennes sur la couverture radar grandes cibles (1 000m<sup>2</sup> ; 10m) du Sémaphore de Couronne**

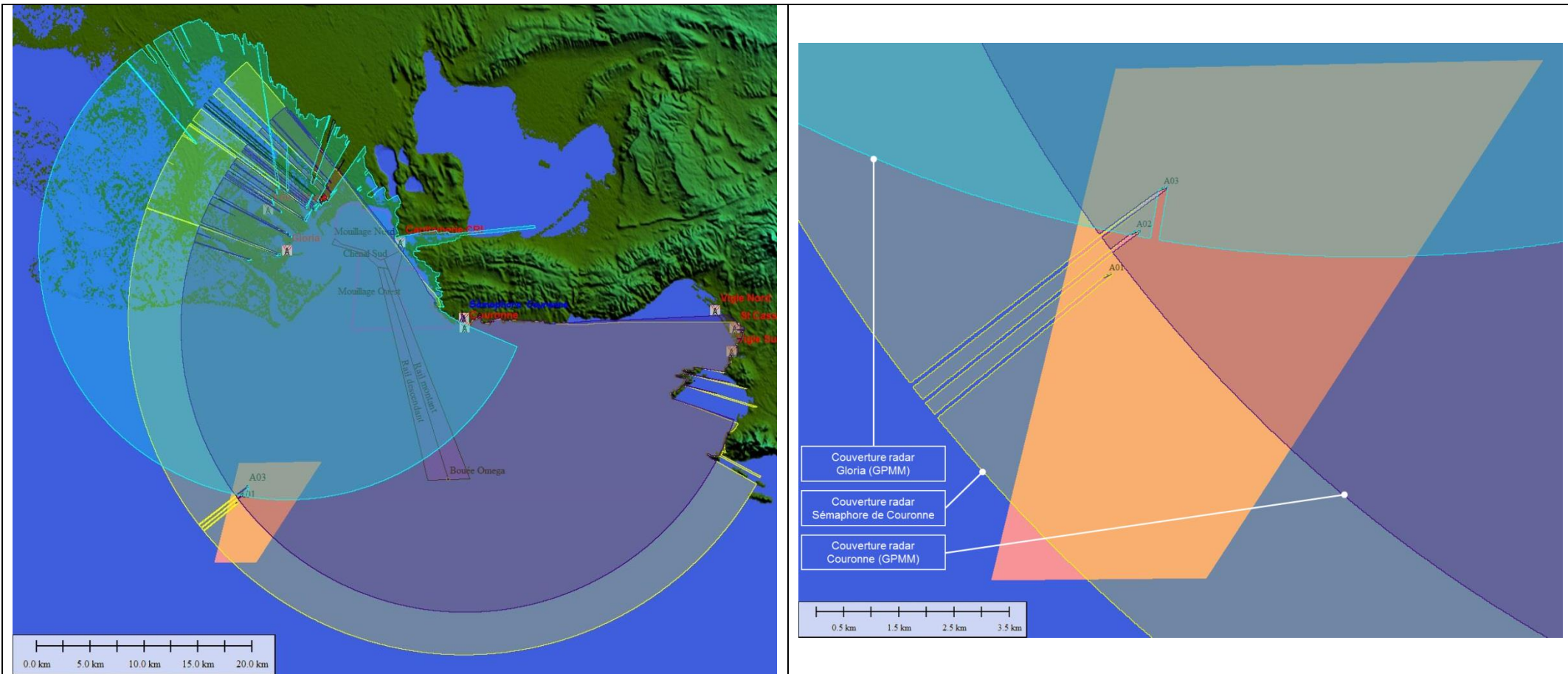


**Tableau 9 : Simulation de l'effet d'ombre généré par les éoliennes sur la couverture radar grandes cibles (1 000m<sup>2</sup> ; 10m) du radar de Couronne (GPMM)**



**Tableau 10 : Simulation de l’effet d’ombre généré par les éoliennes sur la couverture radar grandes cibles (1 000m<sup>2</sup> ; 10m) du radar Gloria – Darse 3 (GPMM)**

La Figure 18 montre que les portées radars petites cibles (10m<sup>2</sup> ; 2m) des radars de Couronne, de Gloria-Darse 3 et du Sémaphore de Couronne ne sont pas suffisantes pour atteindre la zone du projet Provence Grand Large.



Simulation de l'effet d'ombre généré par les éoliennes sur la couverture radar grandes cibles (1 000m<sup>2</sup> ; 10m) des radars de Couronne, Gloria du GPMM et du Sémaphore de Couronne

**Figure 19 : Simulation de l'effet d'ombre généré par les éoliennes sur la couverture de l'ensemble des radars du GPMM présents dans le Golfe de Fos et du radar du Sémaphore de Couronne**

Il est important de noter ici que les radars du GPMM sont tous connectés au même système de surveillance du trafic maritime (système VTS du GPMM). Le système VTS du GPMM est en mesure de générer une image radar globale issue de la fusion des informations de l'ensemble des radars. Par conséquent, les zones d'ombre générées par les éoliennes sur un radar sont compensées par les autres radars du GPMM.

Pour les radars de Couronne et Gloria du GPMM, le zoom sur la zone du projet Provence Grand Large de la Figure 19 montre que la perte de couverture sur le radar de Couronne peut être compensée par le radar de Gloria et vice-versa.

Le radar du Sémaphore de Couronne interconnecté au réseau de radars SPATIONAV n'a quant à lui pas de possibilité de combler les zones d'ombres générées par les éoliennes du projet Provence Grand Large.

### **5.3.2 Conclusion sur l'effet d'ombre généré par les éoliennes**

**Les simulations sur l'effet d'ombre généré par les éoliennes du projet Provence Grand Large montrent que l'impact sur les couvertures des radars actuels est négligeable.**

**Seuls 3 radars ont une portée suffisante pour attendre la zone du projet Provence Grand Large : les radars de Couronne (GPMM), Gloria (GPMM) et le radar du Sémaphore de Couronne (FOSIT).**

**Les 2 radars de Couronne et Gloria sont connectés au même système VTS du GPMM. Le système VTS du GPMM est en mesure de fusionner l'information de chacun des radars pour générer une image radar globale. Ainsi les zones d'ombres générées sur un radar seront compensées par l'autre radar et vice-versa. Il est possible de conclure que l'effet d'ombre n'aura donc aucun impact sur la couverture radar du système VTS du GPMM.**

**La zone d'ombre générée par les 3 éoliennes sur le radar du Sémaphore de Couronne est infime par rapport à la couverture initiale. Ceci est lié au fait que l'orientation à 337° (axe NNW) des éoliennes par rapport à la position du radar est favorable et ne génère que très peu d'impact.**

**Les zones d'ombre générées seront si fines qu'elles n'auront au finale aucune conséquence sur la couverture radar et les capacités de détection du radar.**

A l'avenir si le projet Provence Grand Large accueille un plus grand nombre d'éoliennes flottantes, l'analyse d'impact sur les zones d'ombre devra être reconduite afin de déterminer les conséquences sur la couverture du radar du Sémaphore de Couronne ainsi que ses capacités de détection.

## **5.4 EFFETS DE REFLEXION – FAUX ECHOS**

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 :

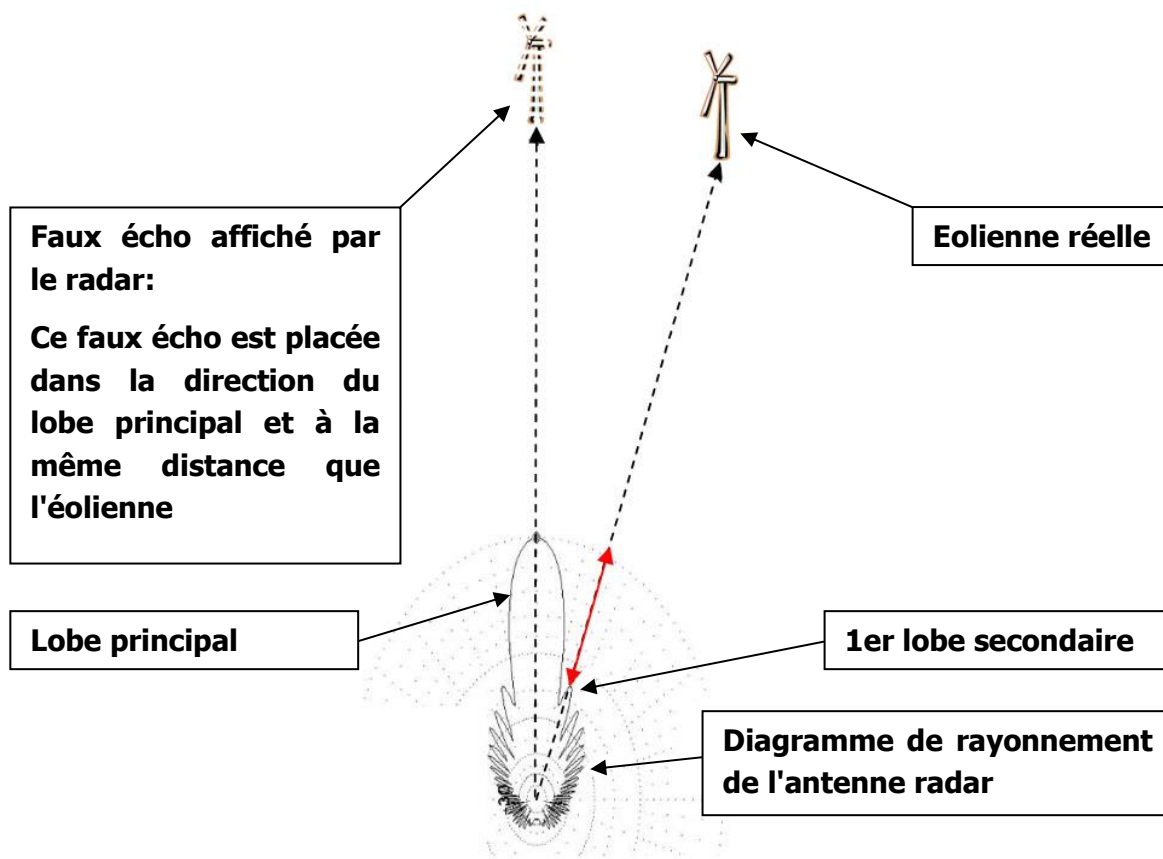
1. Par les lobes secondaires de l'antenne du radar. Ces échos parasites, apparaissent à quelques degrés à droite et à gauche de l'éolienne et à la même distance que celle-ci.
2. Par multi-trajet. Les multi trajets proviennent du fait que l'énergie radar est réfléchi par le mât ainsi que par des objets 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 connaît pas encore précisément la forme géométrique finale de l'ensemble des éléments qui constitueront les éoliennes du projet Provence Grand Large. Une analyse détaillée de l'état du trafic dans le Golfe de Fos et autour de la zone d'implantation du projet Provence Grand Large, 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**

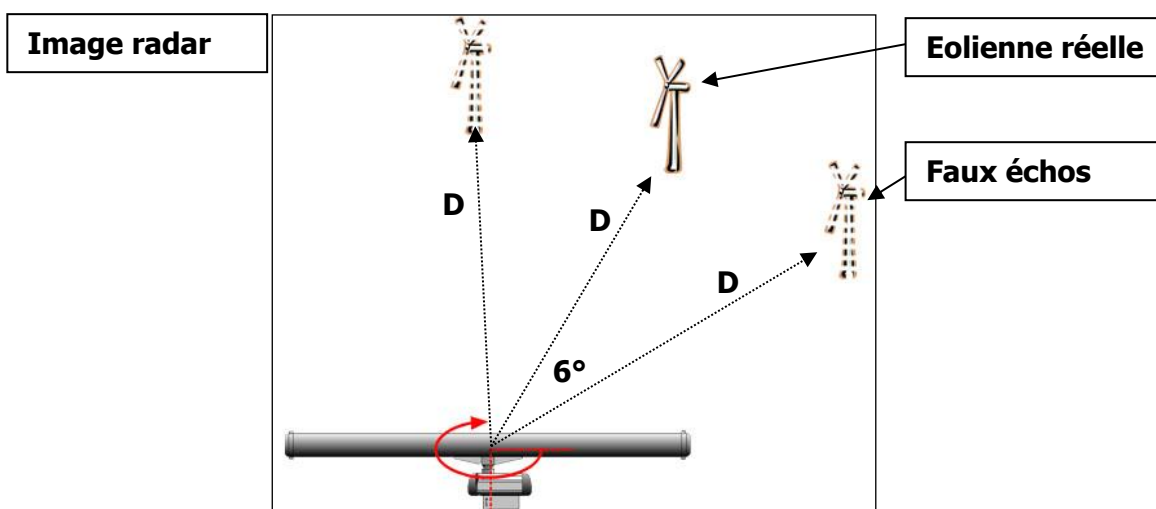
Une antenne radar à fente comme celle utilisée par tous les radars du Golfe de Fos possède un diagramme d'émission qui comprend un pic central représentant le lobe principal du radar, ainsi que des pics secondaires appelés lobes secondaires.

Le fait que les éoliennes possèdent une très forte signature radar, de faux échos peuvent apparaître 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 20.



**Figure 20 : 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 21 : 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 10 KM de distance au minimum dans le cas de figure des radars du Golfe de Fos.

**Pour conclure, la génération de faux échos par les lobes secondaires pour les radars du Golfe de Fos n'est pas possible du fait de la distance importante (22 KM minimum) entre les radars et les éoliennes du projet Provence Grand Large.**

#### **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 :

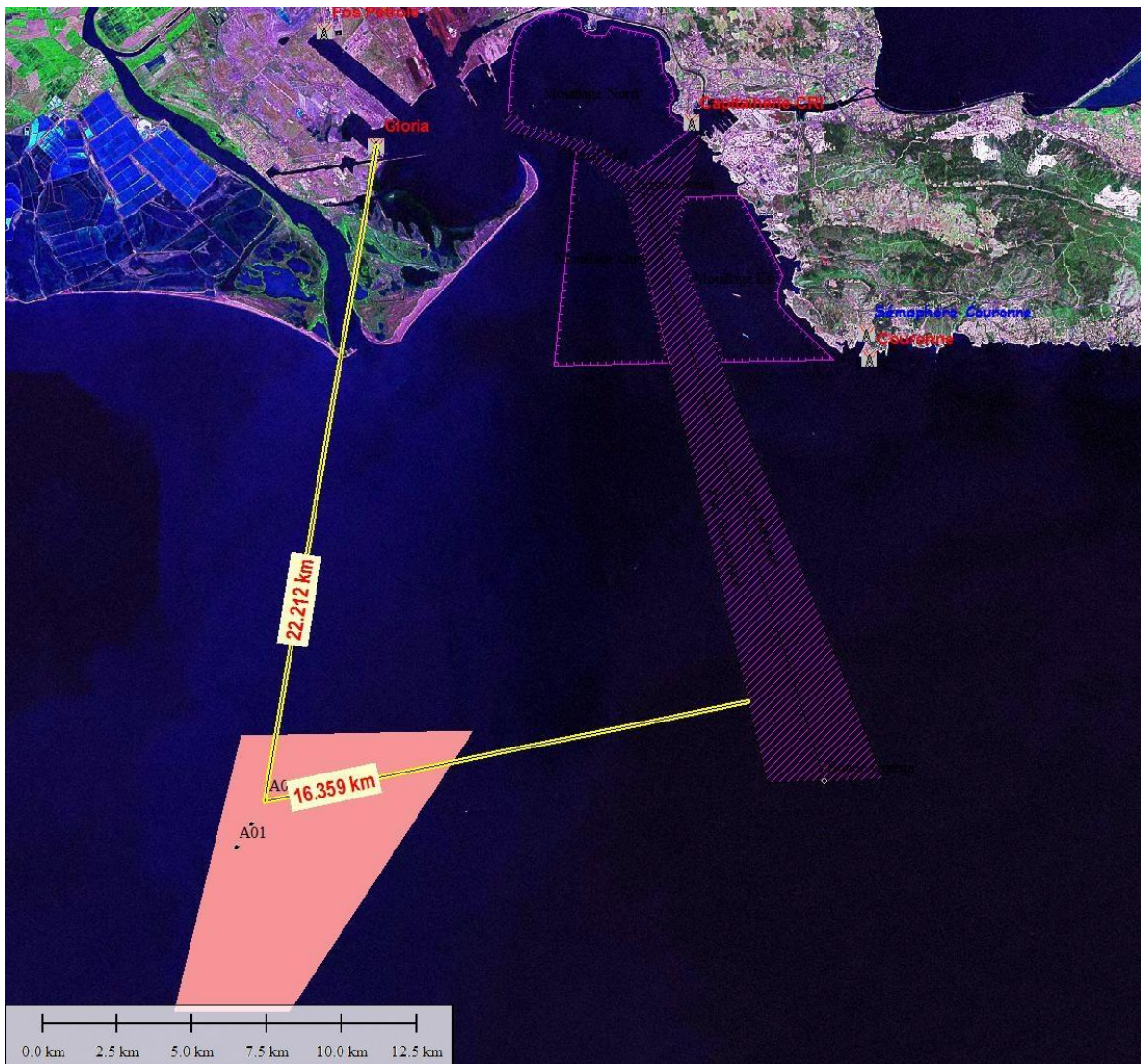
1. un étalement temporel de la réponse de la cible entraînant donc une dégradation de la résolution distance des radars sur la cible utile,
2. des duplications des cibles existantes qui peuvent introduire des confusions entre cibles réelles et multi trajets.

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.

Dans le cas de figure du projet Provence Grand Large, l'éolienne la plus proche du chenal d'accès au GPMM est située à une distance de plus de 16 km. De plus cette même éolienne est située à plus de 22 km du radar le plus proche.

Avec de telles distances, les possibles faux échos n'apparaîtraient qu'à partir d'une distance de plus de 40 km du radar qui est largement au-delà de ses limites de couverture et capacité de détection.



**Figure 22 : Schéma représentatif des distances entre les éoliennes et le chenal d'accès au GPMM et le radar de Gloria du GPMM**

**Pour conclure, la génération de faux échos par multi-trajet pour les radars du Golfe de Fos n'est pas possible du fait encore une fois de la distance trop importante (22 KM minimum) entre les radars et les éoliennes du projet Provence Grand Large.**

## **6 IMPACT DES EOLIENNES DU PROJET PROVENCE GRAND LARGE SUR LES RADARS EMBARQUES**

Pour évaluer l'impact des éoliennes sur les radars embarqués dans le Golfe de Fos, 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 connaît un trafic de 40 à 50 navires par jour.

La géométrie globale du parc éolienne joue un rôle important concernant les perturbations sur les radars embarqués.

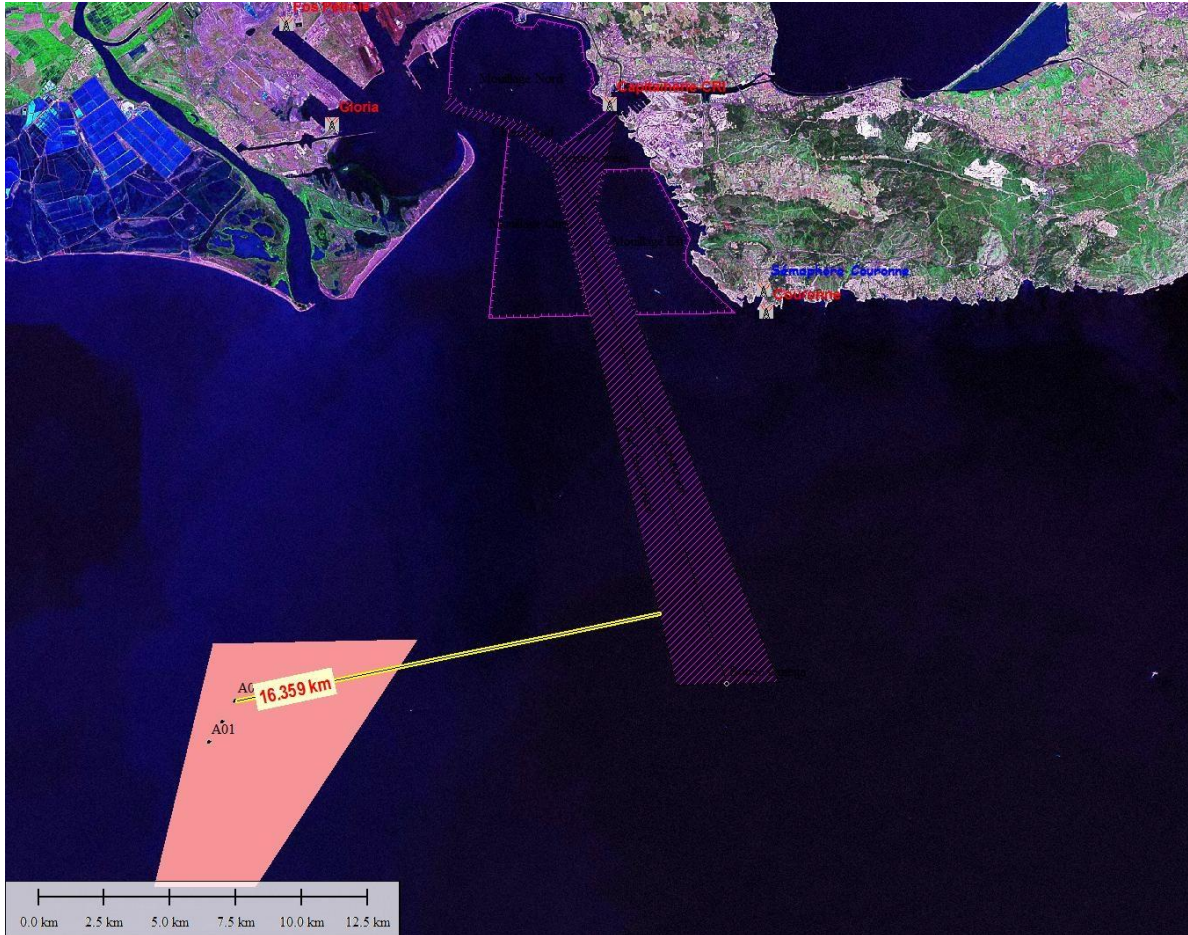
D'après PLA, l'impact sur les radars embarqués est plus significatif que sur les radars fixes.

Les phénomènes susceptibles d'être détectés sur les écrans radar à proximité de la zone d'implantation du projet Provence Grand Large 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.

De tels phénomènes surviendront probablement aux abords du projet Provence Grand Large notamment pour les navires navigants dans le chenal d'approche montant et descendant du GPMM.



**Figure 23 : Position de la zone d’implantation du projet Provence Grand Large par rapport au chenal d’approche du GPM (Fos)**

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 décrits pour les radars au sol dans le paragraphe 5.4 seront donc encore plus effectifs pour les radars mobiles. Ces faux échos radar sont dangereux car leur interprétation par les marins navigants à proximité de la centrale a des conséquences sur la sécurité maritime.

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 réfléchiée 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 navigants 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 Provence Grand Large dans le Golfe de Fos.

Sur l'ensemble des radars de control du trafic maritime à terre étudiés dans le secteur sont directement impactés les radars présents dans le Golfe de Fos :

- le radar du sémaphore de Couronne,
- le radar de Couronne (GPMM),
- le radar Gloria – Darse 3 (GPMM)

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 les effets d'ombre ont un impact minime sur chacun des 3 radars cités ci-dessus si l'on considère chaque radar de façon individuel. Le fait que les radars du GPMM sont tous connectés au même système VTS de control du trafic maritime, cet effet n'aura au final aucun impact sur l'image globale du trafic maritime du système VTS du GPMM.**

**Le radar du Sémaphore de Couronne ne pourra pas compenser cet effet d'ombre mais l'orientation favorable des éoliennes fait que l'impact sur la couverture est infime et donc négligeable.**

**La distance importante entre les éoliennes, les radars et le chenal d'accès au GPMM font qu'il n'est pas possible de voir apparaître de faux échos sur les radars du Golfe de Fos.**

### 7.2 RECOMMANDATIONS ET MESURES COMPENSATOIRES

Afin de limiter les problèmes causés par les éoliennes du projet Provence Grand Large sur les radars existant du contrôle du trafic maritime sur la zone de Marseille-Fos et surtout sur les radars embarqués, SIGNALIS propose 2 recommandations :

### **7.2.1 Balisage des éoliennes : Ajout de balisage électronique de type AIS AtoN**

Aujourd'hui les sites 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'ISM 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 de la zone d'implantation du projet Provence Grand Large. Un des moyens de compensation possible est d'augmenter la signalisation du site par des aides à la navigation électroniques en plus des balisages lumineux et sonore obligatoires.

#### **Mise en place d'aide à la navigation AIS (AtoN) type 1 sur chaque éolienne.**

L'AIS (AtoN) peut être installé sur la fondation flottante lors de son assemblage à terre. Une fois l'éolienne positionnée en mer, l'AIS AtoN sera activé.

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 météo ainsi que les informations sur l'état des équipements installés sur l'éolienne (comme les feux et autres balises).





**Figure 24 : Exemple d'un AIS AtoN**

### **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 les éoliennes. Ceci dans le but d'aider du mieux possible les marins navigant dans le Golfe de Fos. Une formation complémentaire des opérateurs du Sémaphore de Couronne pourra être proposée.

## 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] Projet Mistral - Etude d'impact radar et mesures compensatoires relatives au développement du site d'essai en Méditerranée dédié à l'éolien flottant – n°00007243 05 FR Release 00a – du 28/03/2013
- [R5] La recommandation O-139 sur "La signalisation des structures artificielles en mer" édition 1 de l'AIMS - Décembre 2008.

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 <sup>2</sup>	1 m ASL
2	Inshore fishing vessels, sailing boats, speedboats and the like.			X		3 m <sup>2</sup>	2 m ASL
3	Aids to Navigation with radar reflector.		X	X	4 m <sup>2</sup>	10 m <sup>2</sup>	3 m ASL
4	Small metal ships, fishing vessels, patrol vessels and the like.	X	X	X	40 m <sup>2</sup>	100 m <sup>2</sup>	5 m ASL
5	Coasters and the like.	X	X	X	400 m <sup>2</sup>	1,000 m <sup>2</sup>	8 m ASL
6	Large coasters, bulk carriers, cargo ships and the like.	X	X	X	4,000 m <sup>2</sup>	10,000 m <sup>2</sup>	12 m ASL
7	Container carriers, tankers etc.	X	X	X	40,000 m <sup>2</sup>	100,000 m <sup>2</sup>	18 m ASL

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

### Tableau 11 : Modèles de réflexion et type de performances

**Tableau IALA tiré du document « IALA Guideline N°1111 on Preparation of Operational and Technical Performance Requirements for VTS Systems » Edition 1.0 May 2015**

## 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**



**ETUDE DE SECURITE MARITIME  
POUR  
LE PROJET DE PARC PILOTE EOLIEN  
OFFSHORE  
« PROVENCE GRAND LARGE »**

DATE: 9 MAI 2017

PROJECT NO.: TEC17049

DOC NO. : RRM.17.00076 REV 1

**TECNITAS**

66 Rue de Villiers  
92300 Levallois  
France

Téléphone +33 1 55 24 81 00  
Facsimile +33 1 55 24 80 90

© 2017 Tecnitas

STATUS DE REVISION DU DOCUMENT					
REV	DESCRIPTION	AUTEUR	VERIFICATION	APPROBATION	DATE
0	Rapport d'étape	X. GRAVELEAU	J-L PRIM	D. RUF	28 avril 2017
1	Rapport final	X. GRAVELEAU	J-L PRIM	D. RUF	09 mai 2017

## Table des matières

<b>INTRODUCTION</b> .....	<b>7</b>
<b>RESUME</b> .....	<b>8</b>
<b>1. IMPLANTATION DU PROJET</b> .....	<b>10</b>
1.1. Localisation et emprise du projet.....	10
1.1.a) Parc pilote d'éoliennes flottantes .....	10
1.1.b) Eolienne flottante .....	13
1.1.c) Raccordement électrique.....	15
1.2. Durée de vie du parc pilote .....	15
<b>2. METHODOLOGIE</b> .....	<b>16</b>
2.1. Origine du risque pour la navigation maritime.....	16
2.2. Navires concernés par l'étude.....	18
2.3. Conséquences des collisions .....	20
2.4. Déroulement pas à pas des phases de l'étude .....	20
2.4.a) Réalisation de la cartographie avant implantation /Etat initial des trafics .....	20
2.4.b) Identification des moyens de sauvetage présents dans la zone .....	21
2.4.c) Observation de l'accidentologie locale .....	21
2.4.d) Collecte des données d'environnement.....	21
2.4.e) Identification des déroutages à effectuer en cohérence avec les règles de circulation décidées.....	22
2.4.f) Extrapolation du trafic et prévisions.....	22
2.4.g) Identification des scénarios critiques .....	22
2.4.h) Analyse quantitative (Occurrences).....	22
2.4.i) Analyse qualitative (Conséquences) .....	22
2.4.j) Synthèse.....	22
<b>3. ETAT INITIAL DES TRAFICS</b> .....	<b>23</b>
3.1. Avant-propos sur le trafic maritime.....	23
3.2. A propos du système AIS.....	23
3.3. La zone maritime Méditerranée.....	26
3.3.a) Trafic maritime commercial (marchandises, passagers,) .....	26

3.3.b) Les activités nautiques, de plaisance et balnéaires en zone maritime Méditerranée .....	29
3.3.c) Les activités de pêche professionnelle en zone maritime Méditerranée .....	32
3.4. Etat initial des trafics de navires avec route maritime (données AIS 2015-2016) ....	34
3.5. Etat initial du trafic des navires sans route maritime .....	44
3.5.a) Trafic maritime des navires de type « Autres navires » .....	44
3.5.b) Trafic maritime des navires de pêche (non soumis à l'AIS).....	50
3.6. Surveillance du trafic maritime et sauvetage.....	54
3.7. Parc éolien PGL et zone maritime et fluviale de régulation du GPM de Marseille ...	58
<b>4. MOYENS DE SAUVETAGE DANS LA ZONE.....</b>	<b>61</b>
4.1. Les remorqueurs de sauvetage.....	62
4.2. Moyens de sauvetage de la SNSM .....	65
<b>5. DONNEES D'ACCIDENTOLOGIE LOCALE.....</b>	<b>66</b>
5.1. Recherche et sauvetage .....	66
5.2. Surveillance de la navigation (SURNAV) .....	68
<b>6. DONNEES D'ENVIRONNEMENT .....</b>	<b>70</b>
6.1. Courants aux alentours du parc éolien.....	70
6.2. Conditions de vent à l'endroit de l'implantation du parc pilote.....	71
6.3. Conditions de houle à l'endroit de l'implantation du parc pilote .....	72
<b>7. PREVISIONS DE TRAFIC POUR LE PROJET .....</b>	<b>73</b>
7.1. Prévisions à horizon 2030 pour les navires avec routes maritimes.....	73
7.2. Hypothèses d'intensité du trafic des navires sans route maritime en 2030.....	74
7.3. Règles de circulation dans le parc .....	74
<b>8. DESCRIPTION DES SCENARIOS DE COLLISION.....</b>	<b>75</b>
8.1. Généralités .....	75
8.2. Impacts.....	75
8.3. Sélection des scénarios de collision.....	76
<b>9. ANALYSE QUANTITATIVE DES SCENARIOS.....</b>	<b>77</b>
9.1. SCENARIO C1 (Scénario de collision des navires de servitude dédiés à la maintenance du parc pilote).....	77
9.2. SCENARIOS C2 ET C3 (Scénarios de collision frontale suite à erreur de navigation d'un navire naviguant à proximité du parc pilote).....	77



9.3.	SCENARIOS D1 ET D2 (Scénarios de collision suite à dérive accidentelle suite à perte de manœuvrabilité) .....	78
9.4.	SCENARIO D3 (Scénario de collision suite à dérive accidentelle suite à rupture d’amarres ou ancrage) .....	78
<b>10.</b>	<b>RESULTATS DE L’ETUDE DE RISQUE DE COLLISION .....</b>	<b>79</b>
10.1.	Résultats des risques de collision pour les navires sans route maritime .....	79
10.2.	Résultats des risques de collision pour les navires avec route maritime .....	80
10.3.	Commentaires sur les fréquences de collision .....	80
<b>11.</b>	<b>DISCUSSION QUALITATIVE SUR LES CONSEQUENCES .....</b>	<b>81</b>
11.1.	Dommmages possibles pour l’éolienne .....	81
11.2.	Dommmages sur le navire et environnementaux .....	82
11.3.	Dommmages personnels .....	83
<b>12.</b>	<b>ACCEPTABILITE DU RISQUE .....</b>	<b>84</b>
12.1.	Première approche - PGL .....	84
12.2.	Deuxième approche – NOR DEVT1613199 .....	87
<b>13.</b>	<b>MESURES DE LIMITATION DU RISQUE .....</b>	<b>89</b>
	<b>ANNEXES .....</b>	<b>91</b>
	<b>ANNEXE 1 : ELEMENTS CONSTITUTIFS DU PROJET .....</b>	<b>92</b>
	<b>ANNEXE 2 : DESCRIPTION DU PORT DE MARSEILLE-FOS .....</b>	<b>111</b>
	<b>ANNEXE 3 : METHODE D’ESTIMATION DE LA DENSITE DE NAVIRES DE PECHE .....</b>	<b>116</b>
	<b>ANNEXE 4 : ACTIVITE DETAILLEE DES NAVIRES DE PECHEES DANS LA ZONE ETUDIEE .....</b>	<b>117</b>
	<b>ANNEXE 5: GENERALITES SUR LES MISSIONS DU CROSS .....</b>	<b>130</b>
	<b>ANNEXE 6 : CARACTERISTIQUES DES REMORQUEURS DE SAUVETAGE ABEILLE FLANDRE ET JASON .....</b>	<b>132</b>
	<b>ANNEXE 7 : REMORQUEURS AU PORT DE MARSEILLE-FOS .....</b>	<b>134</b>
	<b>ANNEXE 8 : FLOTTE DE SAUVETAGE DE LA SNSM .....</b>	<b>135</b>
	<b>ANNEXE 9 : EVENEMENTS MAJEURS DE SECURITE CIVILE EN MER MEDITERRANEE OCCIDENTALE DEPUIS 30 ANS .....</b>	<b>137</b>
	<b>ANNEXE 10 : FAITS MARQUANTS DU CROSSMED SUR 2015 ET 2016 (RAPPORTS D’ACTIVITES) .....</b>	<b>139</b>
	<b>ANNEXE 11 : DISTRIBUTION DES VENTS .....</b>	<b>141</b>

<b>ANNEXE 12: PROBABILITE DE COLLISION FRONTALE SUITE A UNE ERREUR DE NAVIGATION .....</b>	<b>143</b>
<b>ANNEXE 13: PROBABILITE DE COLLISION SUITE A DERIVE ACCIDENTELLE .....</b>	<b>145</b>
<b>REFERENCES PRINCIPALES.....</b>	<b>155</b>

## INTRODUCTION

Le projet Provence Grand Large est situé en région Provence-Alpes-Côte-D'azur, dans le département des Bouches-du-Rhône. Le parc pilote est composé de 3 éoliennes flottantes à axe horizontal, présentant une puissance installée de 24 MW.

L'objectif de la présente étude est de déterminer l'impact de ce parc éolien offshore sur la sécurité des activités de transport maritime et de pêche à proximité du parc.

Après avoir rappelé l'implantation du projet dans la première partie, la méthodologie d'étude est décrite dans la deuxième partie. L'état initial des trafics est présenté, avec la description des moyens de surveillance et de sauvetage, ainsi que les données d'accidentologie dans la zone. Des hypothèses d'évolution du trafic à l'horizon 2030 (milieu de vie du parc éolien ; Période exploitation : Début 2020 à 2040) sont énoncées.

Les données d'environnement sont ensuite présentées. Les scénarios de risque de collision sont présentés dans la partie 8. Les résultats des calculs de fréquence de collision sont ensuite présentés et commentés dans la partie suivante.

Les conséquences sont discutées qualitativement, avant de définir l'acceptabilité des scénarios en termes de risques.

Enfin des mesures de diminution du risque sont proposées dans la dernière partie.

Ce rapport constitue une mise à jour du rapport TEC 13-1499 YLG Rev0 daté du 11 Octobre 2013.

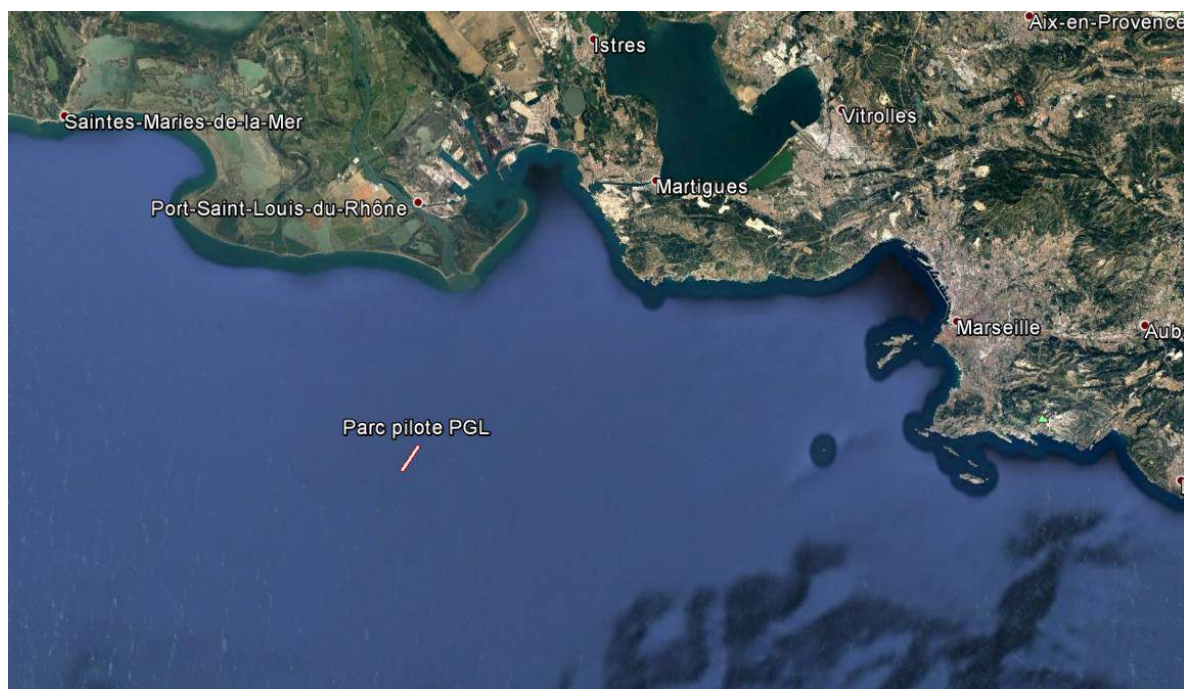


Figure 1 : Situation générale du parc éolien « PROVENCE GRAND LARGE »

## RESUME

Ce rapport présente l'état des lieux du trafic maritime dans la zone d'implantation du projet de parc éolien pilote PROVENCE GRAND LARGE (constitué de trois éoliennes). L'analyse des présences a été réalisée par type de navire.

A partir de l'historique des trafics dans les ports majeurs de la zone et de l'évolution du trafic maritime mondial, des hypothèses d'évolution du trafic des navires de commerce dans la zone ont été émises, avec notamment le nombre d'escales estimé par type de navires à l'horizon 2030 (mi-vie du parc, pris comme hypothèse moyenne pour les 20 années d'exploitation). Les densités des navires de pêche ont également été présentées.

Une présentation succincte des moyens de sauvetage et de recherche a été réalisée. Des données d'accidentologie récentes de la zone ont été fournies.

Une étude du risque de collision de navires relatif à l'implantation du parc éolien flottant a ensuite été menée. Cinq scénarios ont été identifiés :

- 3 scénarios de collision frontale, pour lesquels le navire entre en collision quand il est en route (erreur de navigation) et à proximité du parc pilote éolien,
- 2 scénarios de collision suite à une dérive accidentelle, pour lesquels le navire entre en collision en heurtant une éolienne du fait de la dérive dirigée par vents et courants.

L'étude permet d'identifier les risques relatifs des différents trafics et d'identifier les mesures de limitation de ces risques.

Même si les conséquences des collisions ne sont pas quantifiées, les scénarios ont été évalués selon deux approches proposant des critères d'acceptation différents :

- matrice d'acceptabilité identique à celle utilisée dans la première étude PGL qui correspond à la même acceptation du risque que celle du site d'essai Mistral ; et
- une matrice d'acceptabilité éditée par le Ministère de l'environnement, de l'énergie et de la mer (Note technique du 11 juillet 2016 relative aux mesures de sécurité maritime applicables à la planification d'un champ éolien en mer NOR DEVT1613199, texte non paru au journal officiel).

En synthèse, l'analyse donne les résultats suivants pour chaque approche:

Scenario n°	Type de collision	Description	Acceptabilité selon matrice PGL		Acceptabilité selon NOR DEVT1613199			
			Nombre d'occurrences pendant la durée de vie du parc (20 ans)	Conséquences probables estimées	Fréquence par an	FI	SI	RI
C1	Collision frontale	Accostant à l'éolienne	6.00E-03 Rare	Petit navire adapté aux accostages d'éoliennes. Peu de dommages attendus (niveau 1).	3.00E-04	3	2	5
C2	Collision frontale	Navigant à proximité du parc (navires sans route maritime)	1.01E-03 Rare	Les navires concernés sont des petits navires. L'impact de ces navires n'impliquera pas de dégâts importants sur l'éolienne mais peut avoir des conséquences importantes sur le navire en lui-même et sur son équipage (entre le niveau 2 et le niveau 3).	5.06E-05	2	3	5
C3	Collision frontale	Navigant à proximité du parc (navires avec route maritime)	6.16E-04 Rare	Les navires de type «Cargo » et « Tankers » sont les principaux navires concernés. L'énergie impliquée dans une collision frontale d'un navire de marchandise peut avoir des conséquences importantes sur l'éolienne (niveau 2) mais resteront limitées sur le navire (niveau 1 à 2)	3.08E-05	2	3	5
D1	Dérive accidentelle	Navigant à proximité du parc (navires sans route maritime)	1.77E-01 Raisonnement probable	Petit navire. Peu de dommage attendu du fait de la vitesse d'impact limitée (niveau 1).	8.87E-03	4	2	6
D2	Dérive accidentelle	Navigant à proximité du parc (navires avec route maritime)	8.01E-02 Raisonnement probable	Les navires de type «Cargo » et « Tankers » sont les principaux navires concernés. L'énergie impliquée dans une collision par dérive d'un navire de marchandises peut avoir des conséquences limitées sur l'éolienne (niveau 1 à 2) et resteront limitées sur le navire (niveau 1).	4.01E-03	4	3	7

Pour la matrice PGL : en vert « acceptable », en blanc « indéterminé ».

Pour la matrice NOR DEVT1613199 : en jaune « acceptable ALARP ».

Ainsi, il est démontré que pour l'ensemble des scénarios, le risque de collision généré par l'implantation du parc éolien Provence Grand Large est acceptable sous réserve de s'assurer que toutes les mesures raisonnables soient mises en place.

## 1. IMPLANTATION DU PROJET

### 1.1. Localisation et emprise du projet

#### 1.1.a) Parc pilote d'éoliennes flottantes

Le projet Provence Grand Large est situé en région Provence-Alpes-Côte-d'Azur, dans le département des Bouches-du-Rhône. Le parc pilote est composé de 3 éoliennes flottantes à axe horizontal, présentant une puissance installée de 24 MW.

Le point le plus proche du parc pilote en mer est localisé à 13 km au large de la plage de Piémanson située sur la commune d'Arles, à l'Ouest de l'embouchure du Rhône.



Figure 2 : Localisation du projet Provence Grand Large

La localisation du parc pilote et de son raccordement électrique a été définie à l'issue d'un travail itératif mené depuis 2011 avec les autorités et les acteurs du territoire, dans le cadre du développement, sur cette même zone, d'un projet basé sur une technologie d'éoliennes à axe vertical. Elle s'appuie donc sur plusieurs années d'études et de concertation qui confèrent au maître d'ouvrage une connaissance approfondie des caractéristiques du site et de ses enjeux. La zone d'implantation du parc pilote en mer est également conforme aux zones proposées par l'Etat dans le cadre de l'Appel à projets « fermes pilotes éoliennes flottantes » de l'ADEME, pour lequel le projet Provence Grand Large est un des lauréats.

Les principaux éléments concernant l'implantation géographique et l'emprise du parc pilote Provence Grand Large sont présentés dans le tableau suivant :

Eléments	Caractéristiques
Surface totale de la zone d'implantation du parc pilote	0,78 km <sup>2</sup>
Profondeur moyenne (minimale / maximale)	98,6 m (95,7 m / 101,7 m)
Distance à la plage de Piémanson à Arles (point le plus proche du parc pilote)	~ 14 km
Distance à la plage Napoléon à Port-St-Louis-du-Rhône (distance moyenne par rapport au parc pilote)	~ 16 km
Distance à la côte Bleue à Carro - Martigues (secteur habité le plus proche du parc pilote)	~ 23 km
Orientation de la ligne d'éoliennes	32,5°
Distance au point de raccordement envisagé	27,6 km
Port d'assemblage	Quai Gloria à Port-St-Louis-du-Rhône <sup>1</sup>
Base de maintenance légère	Centrale EDF à Martigues

Tableau 1 : Eléments de localisation du parc pilote

<sup>1</sup> Option de référence, à confirmer après choix du flotteur

La zone d'implantation du parc pilote en mer couvre une surface d'environ 0,78 km<sup>2</sup>. Elle comprend les trois éoliennes et leurs ancrages, ainsi que le connecteur électrique sous-marin.

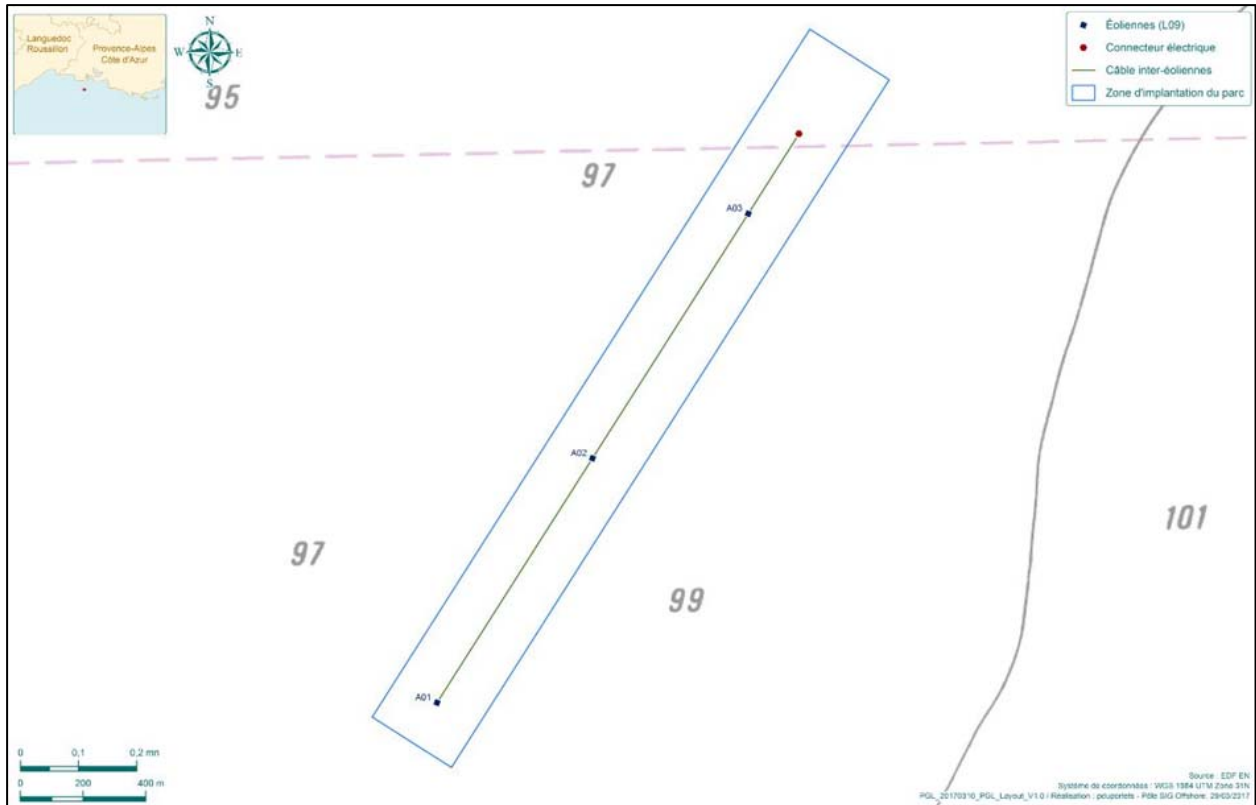


Figure 3 : Configuration et emprise du parc

Les coordonnées géographiques des points de référence (A, B, C et D) délimitant la zone de concession du parc pilote en mer sont présentées dans le tableau suivant :

Référence	Projetées WGS84 UTM 31 Nord [m]		Géographiques WGS84 [degrés décimaux]	
	Longitude Est	Latitude nord	X	Y
A	646474.853	4784855.599	4.8029598	43.2022765
B	646727.944	4784694.524	4.8060308	43.2007776
C	645330.568	4782498.880	4.7882619	43.1812861
D	645077.477	4782659.955	4.7851914	43.1827845

Tableau 2 : Limites de la concession



Les positions des éoliennes sont données ci-dessus à titre indicatif. Elles sont susceptibles d'être adaptées au sein de la zone de concession (aussi appelée « site d'installation » dans la suite du document) en fonction des contraintes géologiques et des éventuels risques pyrotechniques qui pourraient être identifiés lors des futurs travaux de reconnaissance (géophysiques, géotechniques, engins explosifs) prévus en 2017.

Les éoliennes sont alignées et espacées de 920 m au sein de la zone de concession. Les fonds marins sont compris entre 96 m et 102 m de profondeur. Cette configuration autour de l'isobathe 100 m a été définie en étroite collaboration avec le Comité Régional des Pêches et la Prud'homie de pêche de Martigues de manière à minimiser l'impact du projet sur les activités halieutiques.

Les références et coordonnées géographiques des trois éoliennes et du connecteur électrique sous-marin sont indiquées dans le tableau suivant :

Référence	Projetées WGS84 UTM 31 Nord [m]		Géographiques WGS84 [degrés décimaux]	
	Longitude Est	Latitude nord	X	Y
Connecteur électrique sous-marin	646440.3	4784522.0	4.80244651	43.19928041
A01	645284.6	4782706.0	4.78775046	43.18315881
A02	645781.0	4783486.0	4.794061962	43.19008383
A03	646278.0	4784266.9	4.800382292	43.19701583

Tableau 3 : Références et coordonnées géographiques des composants du parc pilote

Nota Bene : les éoliennes étant flottantes, leur position peut varier de l'ordre de 25 mètres environ autour de leur position nominale.

### 1.1.b) Eolienne flottante

Chaque éolienne, développée par Siemens Wind Power, est composée d'un mât, d'une nacelle et d'un rotor, reposant sur une fondation flottante développée par SBM Offshore en partenariat avec l'IFPEN. Chaque fondation flottante est ancrée au fond marin grâce à plusieurs lignes tendues reliées à des ancres, qui sont à ce jour de type hybrides gravitaire-succion.

Les principales caractéristiques du projet sont présentées dans le tableau suivant :

Eléments	Description
Type de turbine	Axe horizontal
Type de flotteur	Plateforme à lignes tendues
Type d'ancrage	Hybride gravitaire-succion
Nombre de lignes d'ancrage / éolienne	6 (3 x2)
Début d'exploitation prévu	2020
Durée d'exploitation du parc pilote	20 ans
Nombre d'éoliennes	3 éoliennes
Puissance unitaire des éoliennes	8 MW
Puissance totale installée	24 MW
<b>Productible total brut</b>	101 496 MWh/an
<b>Productible total net du parc pilote</b>	90 513,8 MWh/an

Tableau 4 : Principales caractéristiques du projet Provence Grand Large



Figure 4 : Vue 3D de l'éolienne flottante qui équipera le parc pilote

Les éléments constitutifs du projet sont détaillés en annexe 1.

### **1.1.c) Raccordement électrique**

Le raccordement électrique du parc en mer sera assuré par un câble d'export, sous-marin puis terrestre. Ce câble traversera la plage Napoléon dans sa partie centrale, puis empruntera les infrastructures existantes jusqu'au poste de transformation RTE existant localisé à l'entrée de la commune de Port-Saint-Louis-du-Rhône. La distance totale du raccordement électrique est de 27,6 km environ dont 18,8 km en mer.

## **1.2. Durée de vie du parc pilote**

La durée d'exploitation du parc pilote éolien flottant Provence Grand Large est de 20 ans avec une mise en exploitation prévue en 2020.

Sur la maintenance, il est prévu environ 50 interventions (navire de maintenance) par an et pour l'ensemble du parc.

## 2. METHODOLOGIE

### 2.1. Origine du risque pour la navigation maritime

L'implantation d'éoliennes en mer introduit un nouveau risque. Les éoliennes constituent en effet des obstacles sur le plan d'eau, qui sont susceptibles d'être heurtés par les navires suite à plusieurs causes initiatrices. La présente étude sur la sécurité maritime s'attache à apprécier le risque de collision de navires avec les éoliennes du parc éolien lors de l'exploitation (hors mise en place et retrait). Seul le risque de collision et ses conséquences sont abordés. L'impact éventuel des éoliennes sur les performances des radars embarqués et terrestres est ainsi exclu de la présente étude.

Les navires exposés à ce risque sont liés aux activités :

- de commerce avec les ports de Fos-Sur-Mer, Marseille, Port-Saint-Louis-du-Rhône (principalement) et des autres ports de Méditerranée,
- de pêche (transit des navires ou pêche active),
- de plaisance.

La présence des navires dans la zone voisine du champ éolien est :

- volontaire, s'agissant du trafic de la Méditerranée et local (depuis Fos-sur-Mer, Marseille et Port-Saint-Louis-du-Rhône),
- involontaire si elle est consécutive à une dérive accidentelle.

Il s'agit donc d'aborder successivement :

- la caractérisation du trafic « dangereux »,
- l'identification des principales routes maritimes situées dans l'environnement proche ou peu éloigné,
- l'évaluation des densités de trafic sur ces diverses routes.

Deux types de contact sont distingués, le choc frontal et le contact suite à une dérive.

Le contact par choc frontal se produit lorsqu'un navire est en direction d'une éolienne et qu'une erreur de navigation se produit. Une erreur de navigation peut avoir différentes

causes, comme le manque d'information, l'impossibilité de détecter l'éolienne, l'absence d'équipage à la passerelle de commandement, le malaise et l'impossibilité d'agir, faire une erreur, ... Un contact par choc frontal se produit à vitesse élevée : 90% de la vitesse de service du navire.

Le contact suite à dérive se produit lorsqu'un navire à proximité du parc subit une avarie de l'appareil propulsif et/ou de l'appareil à gouverner. Le navire perdant de sa manœuvrabilité lorsqu'il perd sa vitesse, l'effet combiné du vent, de la houle et du courant peuvent amener le navire à proximité d'une éolienne. S'il n'est pas possible de mouiller une ancre ou si le temps de réparation excède le temps disponible, le navire peut entrer en collision avec une éolienne. Cela se produit généralement à vitesse réduite.

En cas de dérive accidentelle, il s'agit d'évaluer :

- le risque de déclenchement d'une dérive non contrôlée suite à une avarie,
- puis le risque qu'une telle dérive conduise le navire vers le champ,
- puis le risque de collision consécutif à une dérive dangereuse.

En cas d'erreur de navigation, il s'agit d'évaluer:

- le risque d'erreur de navigation,
- puis le risque qu'une telle erreur conduise le navire vers le champ,
- puis le risque de collision consécutif à l'erreur de navigation.

## 2.2. Navires concernés par l'étude

Les navires concernés sont tous ceux susceptibles de contenir des hydrocarbures, sous forme de cargaison ou sous forme de soutes. Ainsi tous les navires sont envisagés, à l'exclusion des navires de plaisance non munis d'AIS. Les navires de pêche non munis d'AIS sont traités par l'évaluation de la densité de navire de pêche.

Les navires seront les navires de type « cargo », les navires à passagers, les tankers, et les autres navires (navire sans route maritime prédéfinie), dont font partie les navires de pêche.

« CARGO »	« TANKERS »	« PASSAGERS »	« AUTRES NAVIRES »
-Vraquiers -Minéraliers -Transporteurs de palettes -Transport de voiture -Barge carriers -Transport de colis lourds -Cargo réfrigéré -Transporteurs de jus de fruits -Roro cargo -Navires transporteurs de voitures -Porte -conteneurs	-Pétroliers/ transports de produits -Transport de gaz /chimiquiers -LNG -LPG -Tanker Asphalte / Bitume	- Ferries (conventionnels, catamaran) - Ropax, - Navires de croisière - Navires rapides à passagers	-Navires de pêche (avec AIS) /navire usine -Voiliers/yachts -Dragues/sabliers -Câbliers -Navires de sauvetage -Navires de recherche -Navires militaires -Remorqueurs -Autres navires de servitude

Tableau 5 : Classement des navires par grandes catégories

Il est généralement considéré qu'en cas de collision entre un navire et une éolienne offshore sur pieu ou fondation gravitaire, une fraction de la cargaison et/ou de ses soutes passent en mer.

Dans le cas d'une éolienne flottante, pour un même navire arrivant en collision avec la même énergie cinétique, ce risque sera diminué du fait de l'absorption par l'ancrage d'une partie de l'énergie (voire la rupture de l'ancrage), réduisant les dégâts potentiels sur le navire. Cette analyse qualitative est toutefois limitée aux navires ayant une taille significative (>300 tonnes).

## 2.3. Conséquences des collisions

L'étude sera quantitative pour les aspects risques de collisions et traitée qualitativement pour les conséquences écologiques et sociétales.

Les conséquences envisagées dans l'étude de risques seront :

- les pertes humaines,
- la pollution liée à la décharge d'une cargaison d'hydrocarbures ou de produits chimiques d'un navire cargo suite à la collision avec une éolienne. Seuls les navires pétroliers et les navires chimiques sont envisagés. Les cargaisons d'autres types de navire (vraquiers, porte-containers, dragues) sont considérées non-polluantes.
- la pollution liée à la décharge des soutes de combustible d'un navire, suite à la collision avec une éolienne. Tous les navires à moteur sont concernés. Les quantités d'hydrocarbures en jeu sont moindres que dans le premier cas.

Il n'est pas évalué le risque que la nappe atteigne la côte.

## 2.4. Déroulement pas à pas des phases de l'étude

Ce chapitre décrit la méthodologie suivant laquelle l'étude de risques est menée. Il décrit l'approche générique utilisée pour chaque étude de risques de parc éolien, au moyen du logiciel DRIFTEC. Il s'agit d'un programme qui a été développé par TECNITAS et utilisé dans ses précédentes études de risques. Les études sont prévues de se dérouler de la manière séquentielle suivante.

### 2.4.a) Réalisation de la cartographie avant implantation /Etat initial des trafics

Il sera établi l'état initial des trafics maritimes avant l'implantation du site éolien

#### Cas des navires dotés d'AIS

L'état initial est établi à partir de données AIS (Automatic Identification System) pour les navires soumis par la réglementation à un équipement AIS (navires de plus de 300 tonnes et navires de pêche de plus de 15 mètres) et les navires non-soumis mais dotés volontairement d'AIS (certains navires de pêche de moins de 15 mètres et navires de plaisance).



La période de recueil des données est de 24 mois (de Janvier 2015 à Décembre 2016). Plus de 3 400 000 enregistrements sont par exemple utilisés autour de la zone du projet Provence Grand Large pour cette étude.

Une première cartographie est établie après traitement des données par le logiciel DRIFTEC puis visualisation dans Google Earth. Cette cartographie permet de rendre compte visuellement des routes empruntées par chaque type de navires en fonction de la densité des présences.

#### Cas des navires de pêche (toutes tailles) par les données IFREMER :

La densité des navires de pêche est établie à partir des données de l'IFREMER sans pouvoir exclure les navires déjà cartographiés par AIS.

Les navires de plaisance sans AIS sont exclus de la présente étude.

#### **2.4.b) Identification des moyens de sauvetage présents dans la zone**

Les moyens suivants seront identifiés :

- Moyens de surveillance : CROSS et mode d'intervention (Plan ORSEC Maritime),
- Moyens de sauvetage actuels sur zone : remorqueurs avec leur capacité (Bollard Pull en tonnes),
- Moyens de sauvetage éventuels supplémentaires à l'horizon où se place l'étude.

D'après le positionnement de ces navires, un temps d'intervention minimum (appareillage, arrivée sur la zone) est déterminé (notamment utile pour arrêter un navire qui dérive vers le champ éolien).

#### **2.4.c) Observation de l'accidentologie locale**

Les données d'accidentologie locale sont recherchées (notamment celles données par le plan ORSEC maritime et les rapports du CROSS).

#### **2.4.d) Collecte des données d'environnement**

Les données utiles à l'étude quantitative sont collectées :

- Rose des vents (avec distributions des vitesses)
- Force des courants
- Conditions cycloniques (non pertinent pour la présente étude)

#### **2.4.e) Identification des déroutages à effectuer en cohérence avec les règles de circulation décidées**

Si le périmètre de l'emplacement projet du champ éolien est traversé par des navires, il faudra déterminer quelles sont les possibilités de dérouter ces navires, afin qu'ils ne traversent plus le champ éolien. Les règles de circulation au sein du parc et à son voisinage seront fixées.

Le cas échéant, les trajectoires traversant le futur emplacement seront déroutées conformément aux règles établies.

#### **2.4.f) Extrapolation du trafic et prévisions**

Une extrapolation des données acquises est nécessaire pour répondre à l'évolution du trafic à l'horizon souhaité (2030).

Pour ce faire, des hypothèses seront respectivement prises, en s'appuyant sur les données suivantes :

- Statistiques des ports voisins de la zone (Marseille FOS, Port-Saint-Louis-du-Rhône, etc.)
- Prévision de trafic (ex : Port de Marseille, autres documents dans la bibliographie)

#### **2.4.g) Identification des scénarios critiques**

Les différents scénarios pouvant conduire à une collision entre un navire et une éolienne sont explorés et sélectionnés.

#### **2.4.h) Analyse quantitative (Occurrences)**

Les points précédents permettent de réaliser l'analyse quantitative à l'aide du logiciel DRIFTEC. La méthode est développée plus en détail en annexe 12 (collision frontale suite à erreur de navigation) et annexe 13 (collision suite à dérive accidentelle). Cette analyse sert à quantifier l'occurrence des scénarios critiques sélectionnés.

#### **2.4.i) Analyse qualitative (Conséquences)**

Les conséquences des scénarios de collision sont discutées de manière qualitative.

#### **2.4.j) Synthèse**

Les résultats de l'étude qualitative sont appuyés par l'analyse quantitative pour déterminer la criticité des scénarios. Des recommandations pour limiter les risques maritimes sont émises dans le rapport de synthèse.

### 3. ETAT INITIAL DES TRAFICS

Ce paragraphe décrit l'état initial des trafics maritimes avant l'implantation du site éolien.

#### 3.1. Avant-propos sur le trafic maritime

Le trafic maritime est divisé en deux groupes : les navires sur une route maritime et ceux sans route. Les navires sur une route maritime comprennent les navires marchands et les ferries navigant suivant la route la plus courte entre deux ports. Les navires sans route comprennent principalement les navires qui ont une mission en mer, comme les bateaux de pêche, les navires de soutien, les navires de travail et la plaisance.

Les navires sur une route maritime sont modélisés sur les routes de trafic dans la région du parc éolien. Un navire est cependant autorisé à naviguer où il le souhaite, dans le respect des règles et règlements en place. La cartographie établie montre que les variations autour de la route directe existent bel et bien. La prise en compte des positions AIS permet d'en considérer la distribution.

Les navires sans route ne peuvent pas être modélisés de la même manière. Leur comportement en mer est très différent, un navire ne navigue pas entre deux ports selon une route claire, mais plutôt d'un port de départ vers plusieurs endroits en mer pour revenir à son port de départ. Le comportement est presque complètement imprévisible. Les navires de pêche naviguent le plus souvent d'une zone de pêche à une autre pendant la même marée. En conséquence, l'image du trafic des navires sans route sera modélisée à partir des données AIS de la catégorie « Autres Navires » et par des densités de navires sur un maillage.

#### 3.2. A propos du système AIS

L' « Automatic Identification System » (AIS) est un système principalement utilisé par les navires pour s'identifier en mer. L'AIS permet d'identifier les navires lorsqu'ils ne sont pas en vue (de nuit, dans le brouillard, dans des zones d'ombre des radars, à distance), en fournissant un moyen d'échanger les données des navires (identification, position, direction, vitesse, et d'autres données) entre les navires et les autorités de contrôles. Ce système fonctionne au moyen d'un émetteur-récepteur VHF couplé à un GPS et aux autres instruments de navigation du navire (Gyro Compas, Vitesse angulaire de virage,...).

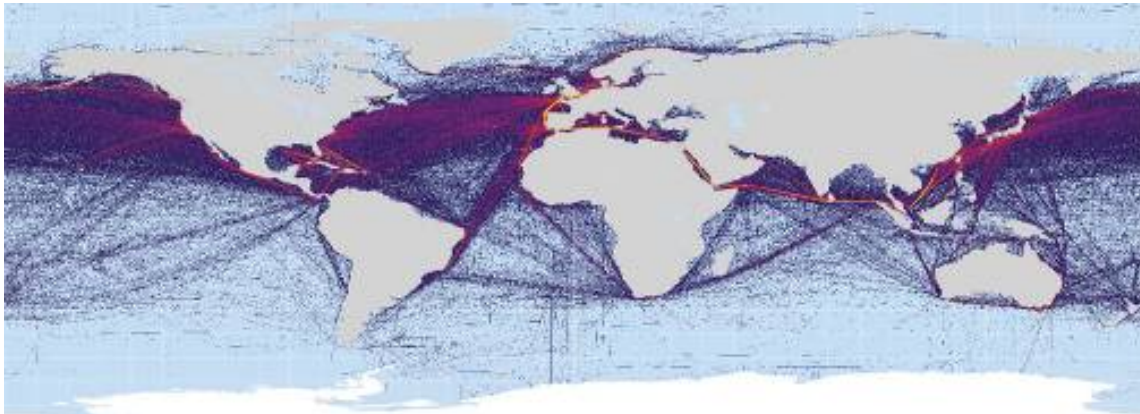


Figure 5 : Enregistrements AIS à l'échelle mondiale

La convention SOLAS demande, depuis janvier 2005, l'installation du système AIS à bord des navires de jauge brute supérieure à 300 GT (Gross tonnage) pour les trafics internationaux (à titre d'exemple, 300 GT représentent un navire de pêche de longueur environ 30m, un remorqueur d'environ 30m, une drague d'environ 40m). La réglementation sur les navires de pêche a évolué et considère maintenant que les navires de pêche de longueur hors tout supérieure à 15 mètres, neufs et existants, doivent être équipés d'un AIS de classe A et les navires de moins de 15 mètres peuvent être équipés volontairement d'AIS de classe B.

#### **Article 226-6.03-1 Système d'identification automatique (AIS)**

- 1. Tous les navires de longueur hors tout supérieure à 15 mètres, neufs et existant, sont équipés d'un système d'identification automatique (AIS) de classe A.*
- 2. Les navires de longueur hors tout inférieure ou égale à 15 mètres neufs et existants, équipés d'une timonerie et effectuant des opérations de pêche dans un dispositif de séparation de trafic (DST), sont équipés d'un système d'identification automatique (AIS) de classe B.*
- 3. Les armateurs de navires neufs ou existants, de longueur hors tout inférieure ou égale à 15 mètres, autres que ceux mentionnés au paragraphe 2, peuvent équiper ces navires d'un système d'identification automatique (AIS) de classe B.*

Le poste AIS envoie les données toutes les 2 à 10 secondes en fonction de la vitesse du navire, et toutes les 3 mn lorsque le navire est à l'arrêt. En complément, un message plus complet est envoyé toutes les 6 minutes. Ces messages, initialement prévus pour les échanges entre navires, sont également utilisés pour surveiller les navires et sont reçus sur

des stations de surveillance le long de la côte. En reportant tous les navires sur des cartes électroniques, les mouvements des navires peuvent être suivis.

Le trafic sur la Méditerranée est un trafic volumineux en quantité de mouvements (un des plus gros trafics à l'échelle mondiale, comprenant navires marchands, ferries, pêche), cette quantité permet d'obtenir des données statistiquement correctes.

Des enregistrements AIS de la zone sur une période de 24 mois (de Janvier 2015 à Décembre 2016) ont été acquis. Les données de position de chaque navire AIS sont enregistrées toutes les heures. Ces données AIS sont la meilleure source pour récupérer l'information des flux de trafic pour les navires suivant une route maritime.

### 3.3. La zone maritime Méditerranée

#### 3.3.a) Trafic maritime commercial (marchandises, passagers,)

Sur des espaces restreints, la mer Méditerranée enregistre un trafic maritime dense. Ce trafic a connu une croissance importante. Le gigantisme des navires, après avoir porté sur les pétroliers et les chimiquiers, dont la taille moyenne a doublé en 10 ans, s'étend actuellement aux porte-conteneurs et aux navires à passagers (« Ocean of the seas » : 360 m de long, 62 m de large, plus de 8 000 passagers et membres d'équipage, hauteur d'un immeuble de 20 étages). L'emport de plus de 20 000 m<sup>3</sup> de combustibles de navigation (soit la cargaison du navire « Erika ») et l'accroissement de l'âge des navires en mer Méditerranée (14 ans en Méditerranée occidentale contre 20 ans en Méditerranée orientale) amplifient les risques inhérents à ce trafic (collision, avarie, échouage...).

#### Marchandises :

En matière de trafic de marchandises, la mer Méditerranée est l'un des carrefours de navigation les plus importants du monde : 220 000 navires marchands la traversent chaque année (échanges entre pays riverains et routes maritimes du commerce international), représentant 25 % du transport maritime commercial mondial (en volume). Par ailleurs, 30 % du trafic mondial de transport pétrolier transite en mer Méditerranée entre le canal de Suez et le détroit de Gibraltar, notamment pour ravitailler l'Europe et le continent américain en hydrocarbures.

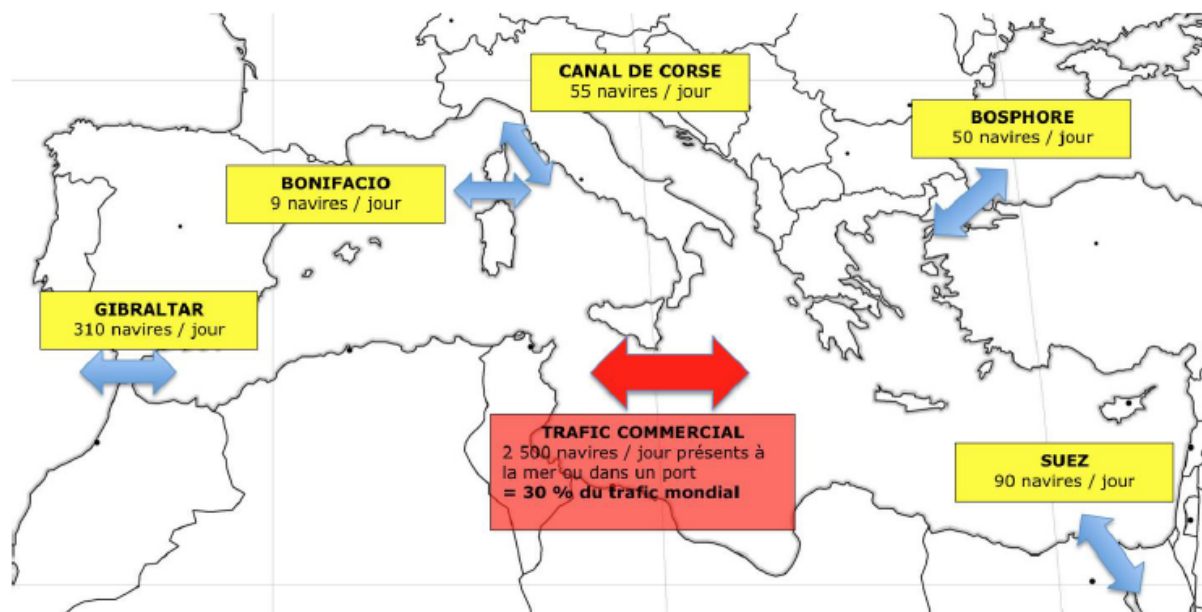
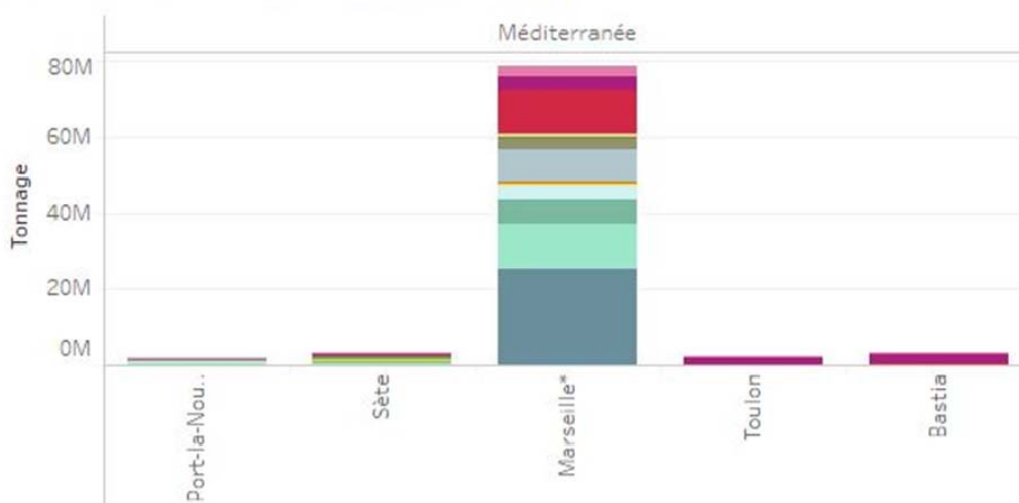


Figure 6 : Mouvement de navires de marchandise en Méditerranée

Le trafic maritime en zone maritime Méditerranée est caractérisé par des mouvements suivants :

- navires en transit dans les eaux sous juridiction française, notamment en direction ou en provenance des ports italiens (Gênes, Livourne) via le canal de Corse ;
- navires en direction ou en provenance du grand port maritime de Marseille (GPMM), seul grand port maritime de la zone, qui concentre 89 % du trafic de marchandises à l'échelle de l'ensemble des ports français de Méditerranée (sur un total d'environ 98 millions de tonnes en 2012). Le GPMM est le premier port français en matière de trafic de marchandises grâce aux liquides transportés en vrac (majoritairement pétroliers). A la fin septembre 2015, le trafic global de marchandises est en progression et s'élève à 60,9 millions de tonnes.

### Répartition des marchandises par port



\* Grand port maritime en métropole

### Répartition globale des marchandises

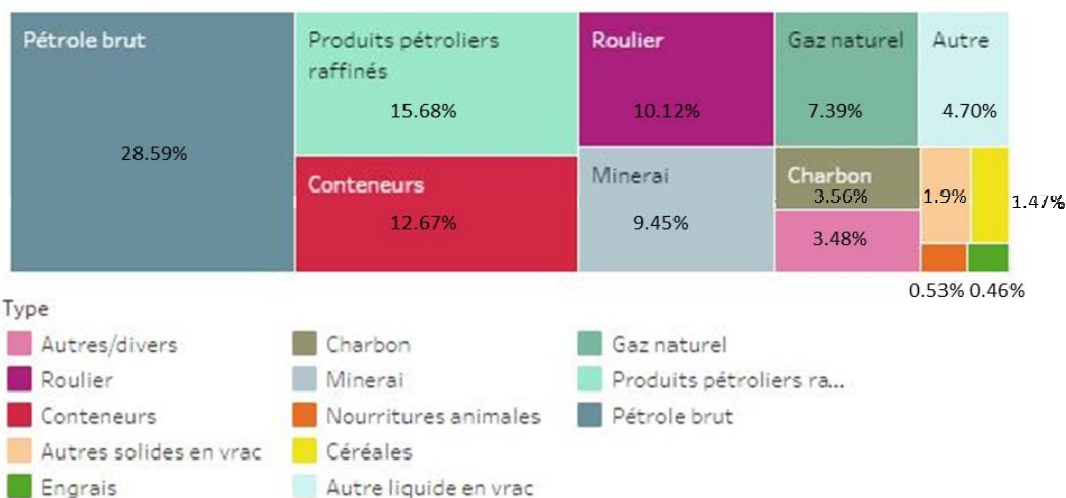


Figure 7 : Trafics de marchandises en 2014 pour les principaux ports en Méditerranée (Marseille, Port-la-Nouvelle, Sète, Bastia, Toulon)

*Source : Trafic de marchandises dans les ports français en 2014 et évolution depuis 1997, MEEM-SOeS, 2014. Traitements : SOeS (Observatoire national de la mer et du littoral).*

Le port de Sète, Sud de France (Hérault) est le deuxième port de Méditerranée. 3,4 millions de tonnes de marchandises (50 % vrac solide, 50 % vrac liquide – via notamment un terminal pétrolier de déchargement en mer sea-line). Un projet d'aménagement du terminal conteneurs prévoit une capacité annuelle de 200 000 EVP contre 27 000 EVP en 2011).

Le terminal portuaire de Port-Vendres (Pyrénées-Orientales) un port fruitier spécialisé dans les trafics de fruits et légumes en provenance du bassin méditerranéen et de la côte d'Afrique occidentale. Il assure la logistique d'environ 350 000 tonnes de marchandises et de 6 000 EVP par an.

### **Passagers :**

En matière de trafic passagers, la zone maritime Méditerranée représente 40 % des mouvements au niveau national, soit plus de 10 millions de passagers, principalement en raison des liaisons avec la Corse et l'Afrique du Nord, même si le trafic avec cette dernière région a néanmoins souffert ces dernières années d'un report modal vers le transport aérien (source : Observatoire National de la Mer et du Littoral, Fiches thématique. Trafic de passagers dans les ports maritimes français en 2014 et évolution depuis 2010).

En 2014, les trois premiers ports de croisière français sont situés sur la façade méditerranéenne : Marseille plus de 2 millions, Nice-Villefranche et Ajaccio plus de 600 000 croisiéristes par an. En 2015, le port de Marseille se situe à la 5ème place des ports de croisières du bassin méditerranéen (source : site internet Marseille-port, reporter n°18, 2015)

Les ports de Marseille et de Bastia enregistrent un nombre de mouvements de passagers en 2014 qui s'élève à un total de plus de 5 millions (données Medde-DGTIM, 2015) :

- 3.27 millions pour Marseille dont 65 % de croisiéristes;
- 2.14 millions pour Bastia dont seulement 4 % de croisiéristes

Toulon, et Ajaccio enregistrent plus d'un million et demi de passagers chacun avec principalement des ferries : respectivement 72 % et 62 % du trafic.

Les ports de Cannes et Nice enregistrent plus d'un million de passagers avec un trafic équilibré entre croisiéristes et passagers de ferries.

Par ailleurs, le trafic de ferries en transit dans les eaux françaises est également conséquent notamment entre l'Italie et la Sardaigne :



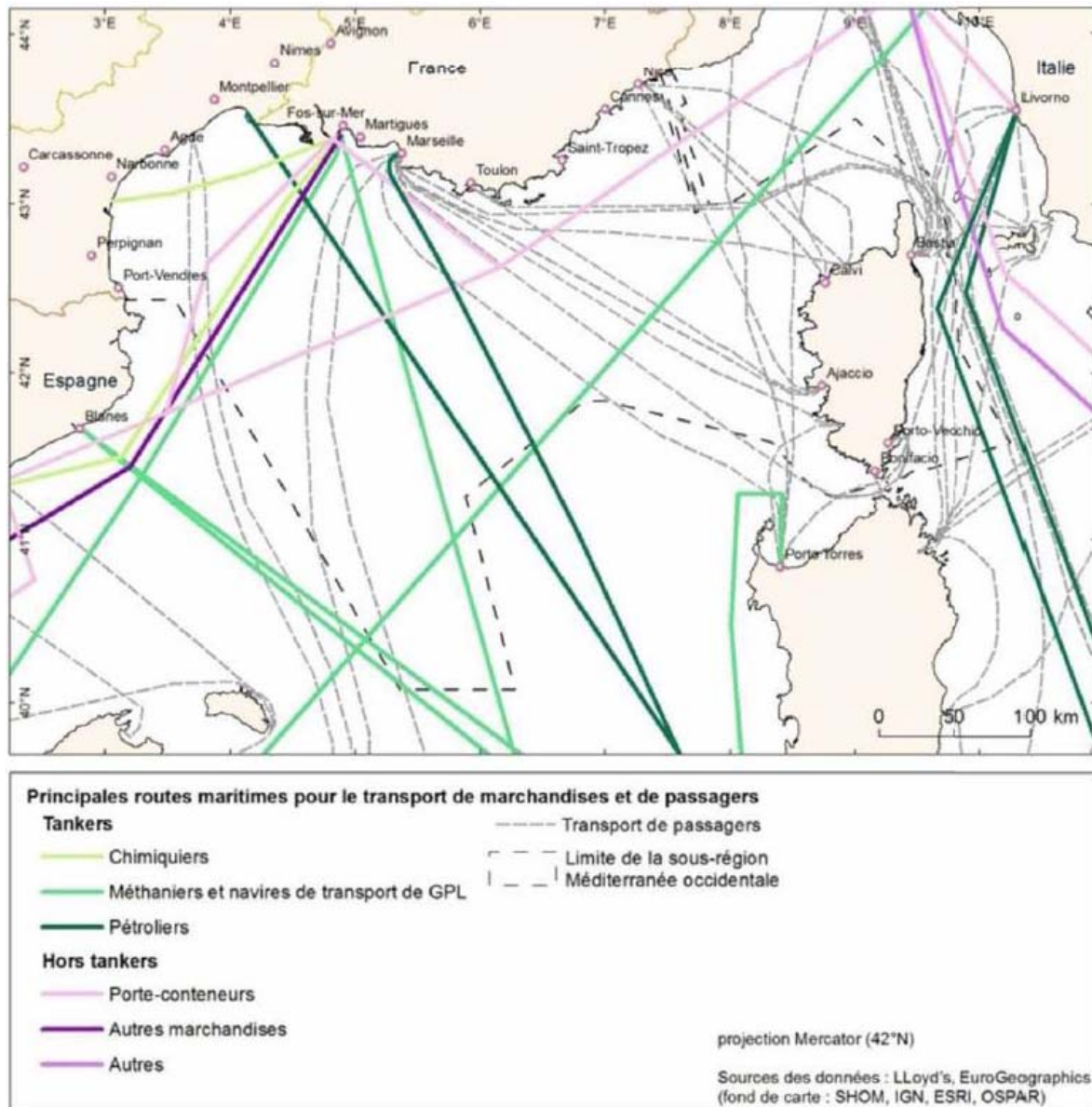


Figure 8 : Principales routes maritimes pour le transport de marchandises et de passagers

### 3.3.b) Les activités nautiques, de plaisance et balnéaires en zone maritime Méditerranée

La façade méditerranéenne représente près de la moitié de la flotte métropolitaine de plaisance, la région PACA regroupant à elle seule 30 % de cette flotte :

- la majorité des embarcations immatriculées (81 %) concerne les navires à moteur dont le nombre ne cesse d'augmenter ;
- 15 % des embarcations sont classées dans la catégorie des voiliers.

Les trois quarts des engins immatriculés ont une longueur inférieure à 6 m et sont transportables sur remorque.

Par ailleurs, la région PACA recense 46 % des immatriculations des navires de plus de 24 m de France métropolitaine, ces embarcations formant la flotte de grande plaisance.

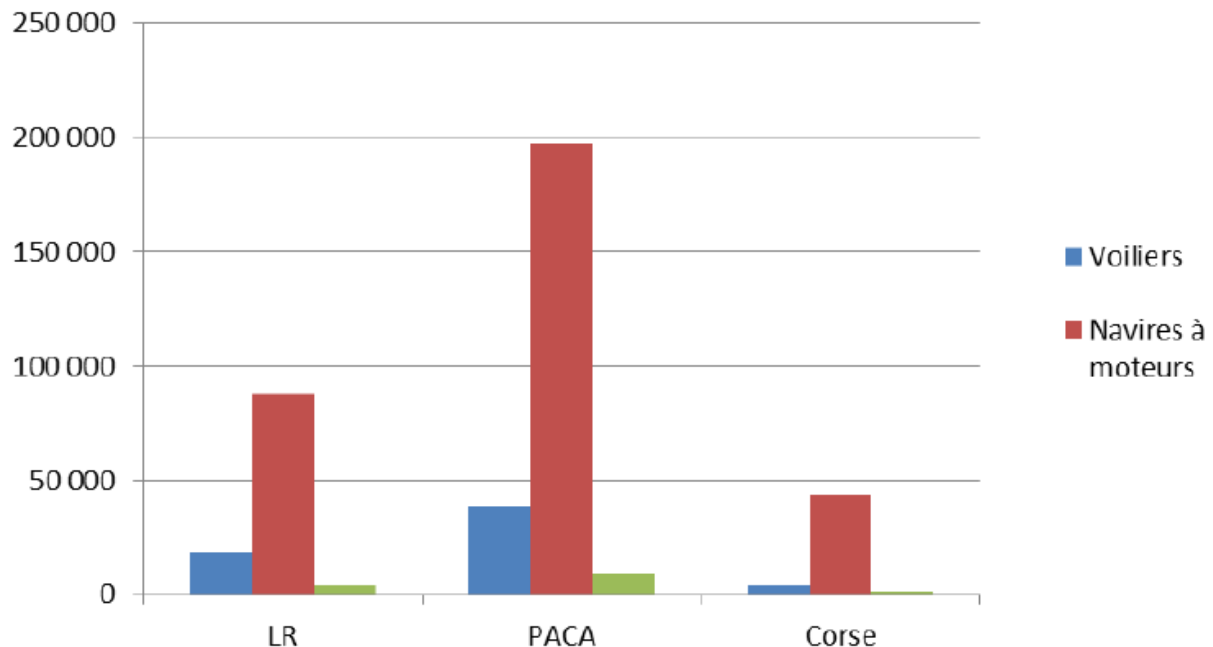


Figure 9 : Immatriculations des navires délivrées au 31/08/2015 en Languedoc-Roussillon (LR), Provence-Alpes-Côte d'Azur (PACA) et Corse

Source : Ministère de l'écologie du développement durable et de l'énergie, direction Générale des Transports et de la Mer, La plaisance en quelques chiffres, du 1er septembre 2014 au 31 août 2015, statistiques 2015

La façade méditerranéenne dispose d'un total de 184 ports et installations de plaisance, répartis essentiellement dans les départements du Var (53), des Bouches-du-Rhône (45) et des Alpes- Maritimes (34).

Sur la façade Méditerranée, les loisirs et sports nautiques en mer recouvrent un large choix d'activités :

- plongée sous-marine : les fonds marins méditerranéens sont les plus prisés pour la plongée sous-marine en France, et comptent 375 des 442 sites de plongée en mer recensés par le ministère chargé des sports (dont les trois quarts sont répartis entre les départements du Var, des Bouches-du-Rhône et des Alpes-Maritimes) ; le nombre de pratiquants des sports sous-marins en Méditerranée, estimé par le nombre de licenciés de la FFESSM, s'élevait en 2012 à plus de 30 000 licenciés pour environ 780 club (sources : préfecture maritime de la Méditerranée, assises de la plongée 2014). Par ailleurs un nombre conséquent de plongeurs occasionnels ou non licenciés dans un club méditerranéen augmente significativement le nombre global de plongeurs en Méditerranée, notamment en période estivale ;

- voile : les activités de voile les plus pratiquées sont le catamaran, le dériveur et la planche à voile. Le kitesurf est par ailleurs l'activité nautique en fort développement sur le littoral méditerranéen, avec plus de 100 sites réguliers de pratique, et 60 clubs et écoles de kitesurf affiliés à la FFVL (le nombre de pratiquants réguliers est estimé à 6000).

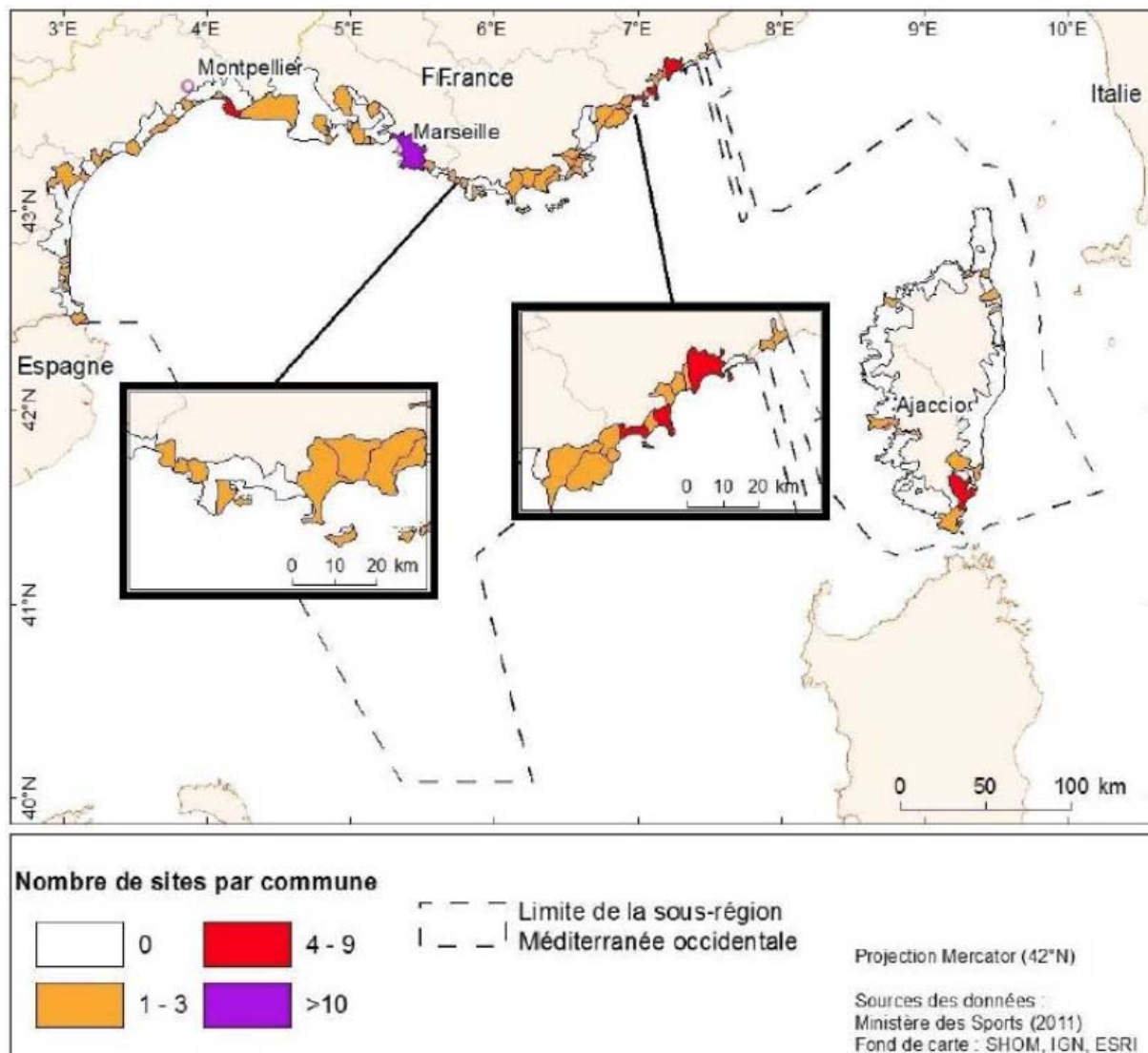


Figure 10 : Principaux sites d'activités nautiques et aquatiques par communes

Source : Ministère chargé des sports – Recensement des équipements sportifs (2011)

La façade méditerranéenne regroupe 38 % des zones de baignade du littoral métropolitain ; les départements rassemblant le plus grand nombre de zones de baignade suivies sont le Var (168), les Alpes-Maritimes (150) et la Corse-du-Sud (99).

Les sites aménagés pour la baignade en mer sont caractérisés par une très forte activité en saison estivale, 73 % d'entre eux étant ouverts moins de 6 mois par an.

### 3.3.c) Les activités de pêche professionnelle en zone maritime Méditerranée

La flotte de pêche de la façade méditerranéenne regroupe près de 1 487 (chiffres 2012) navires, soit 33 % de la flotte de pêche française. Alors que depuis la fin des années 90, la flotte de pêche diminue, seule, la flotte des plus de 25 m (exclusivement constituée de senneurs au thon rouge) augmente son effectif de navires de pêches.

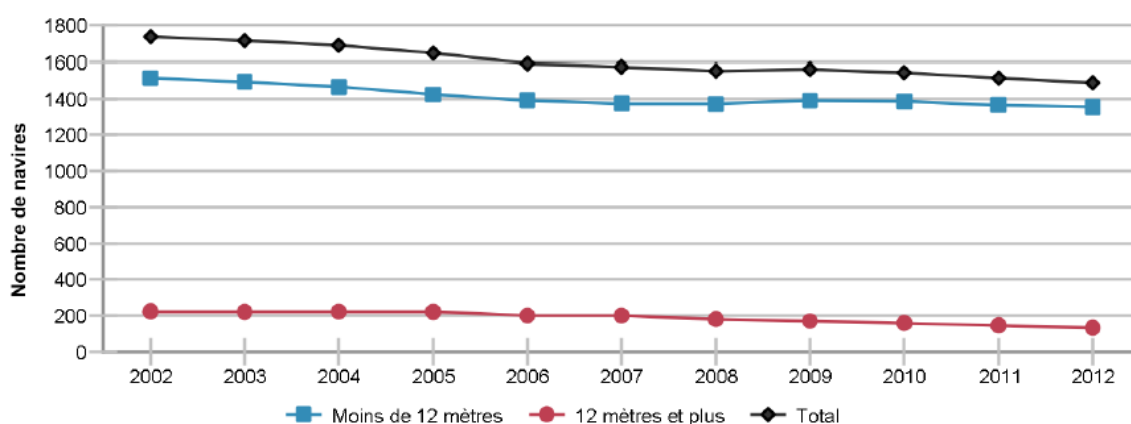


Figure 11 : Evaluation du nombre de navires de 2002 à 2012 par catégorie de longueur  
(Source : Activité 2012 des navires de pêche de la façade Méditerranée, IFREMER, Système d'informations halieutiques, juillet 2014)

L'activité maritime des navires de la façade Méditerranée se concentre presque exclusivement près des côtes et dans la frange des 12 milles marins.

Les pêcheries françaises de Méditerranée sont réparties entre deux zones :

- les zones de pêche du golfe du Lion et celles des côtes continentales françaises à l'ouest du golfe de Gênes (environ 1 200 navires) ;
- les zones de pêche de Corse (environ 180 navires dont 60 % sont regroupés dans le golfe d'Ajaccio).

A ces zones de pêcheries s'ajoutent :

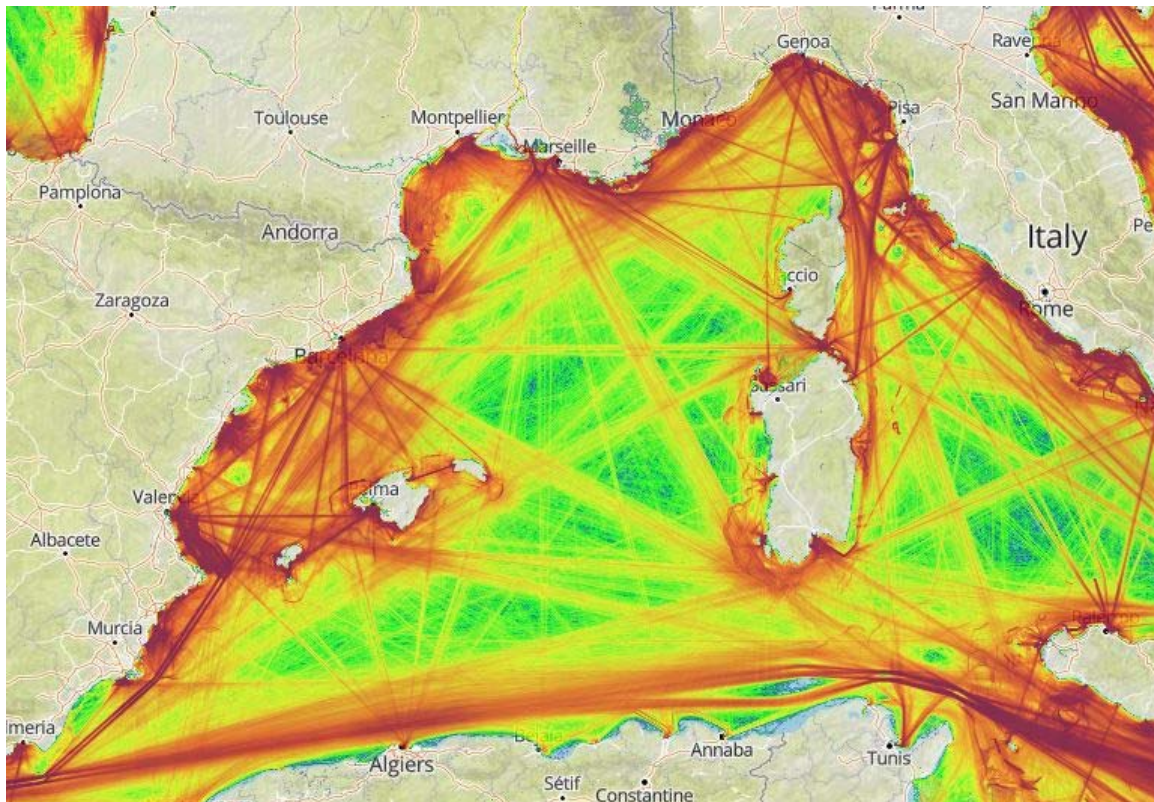
- une activité de pêche lagunaire ;
- une activité hauturière hors zone française, la pêche au thon rouge à la senne tournante, couvrant l'ensemble de la Méditerranée.

Le golfe du Lion, grâce à son large plateau continental (15 000 km<sup>2</sup>) et l'importance de ses lagunes (49 734 ha) sur le littoral, regroupe la majeure partie de l'activité halieutique

française en Méditerranée. À l'inverse, à l'est de Martigues et en Corse, les tombants (profondeurs de plus de 200 mètres) sont très proches du littoral et les surfaces exploitables par la pêche se localisent dans la bande côtière.

### 3.4. Etat initial des trafics de navires avec route maritime (données AIS 2015-2016)

Les cartes suivantes issues du site « Marine Traffic » montrent les densités de trafic ainsi que les routes tous types de navires (à partir de données AIS).



*Figure 12 : Trafic global en Méditerranée occidentale 2015 et 2016*

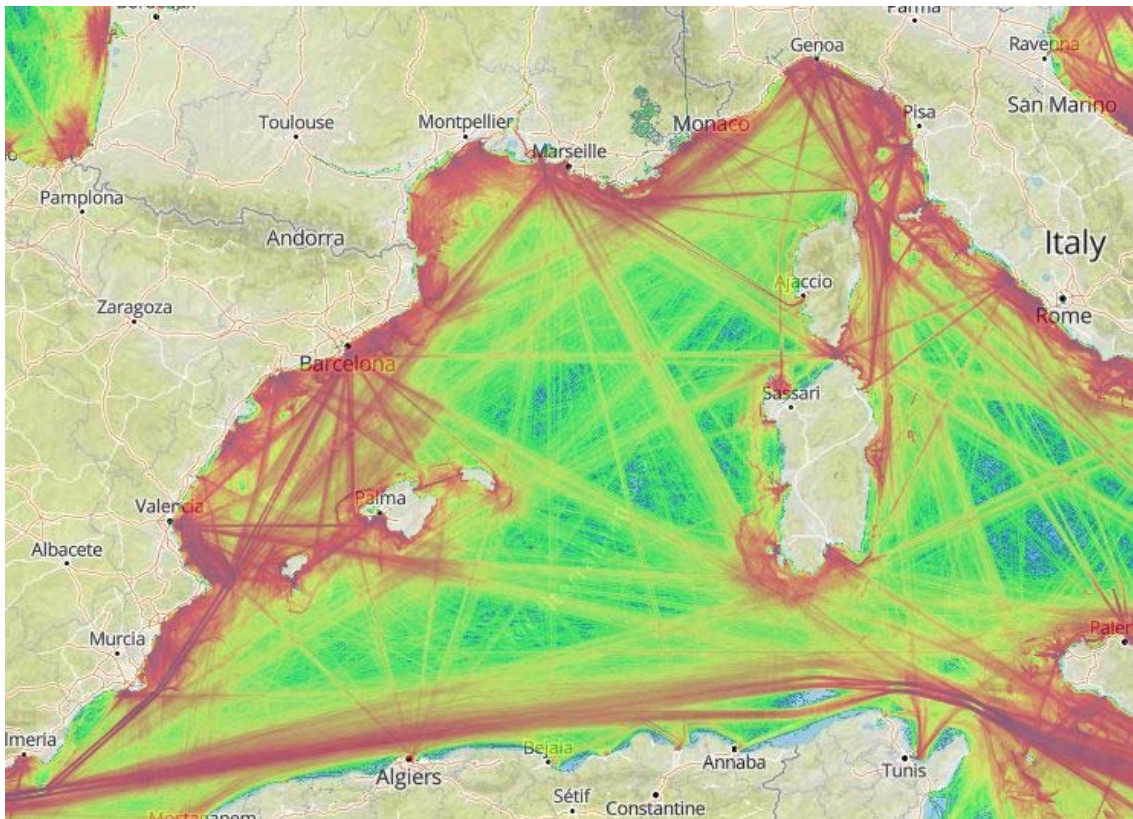


Figure 13 : Trafic global en Méditerranée occidentale sur 2015

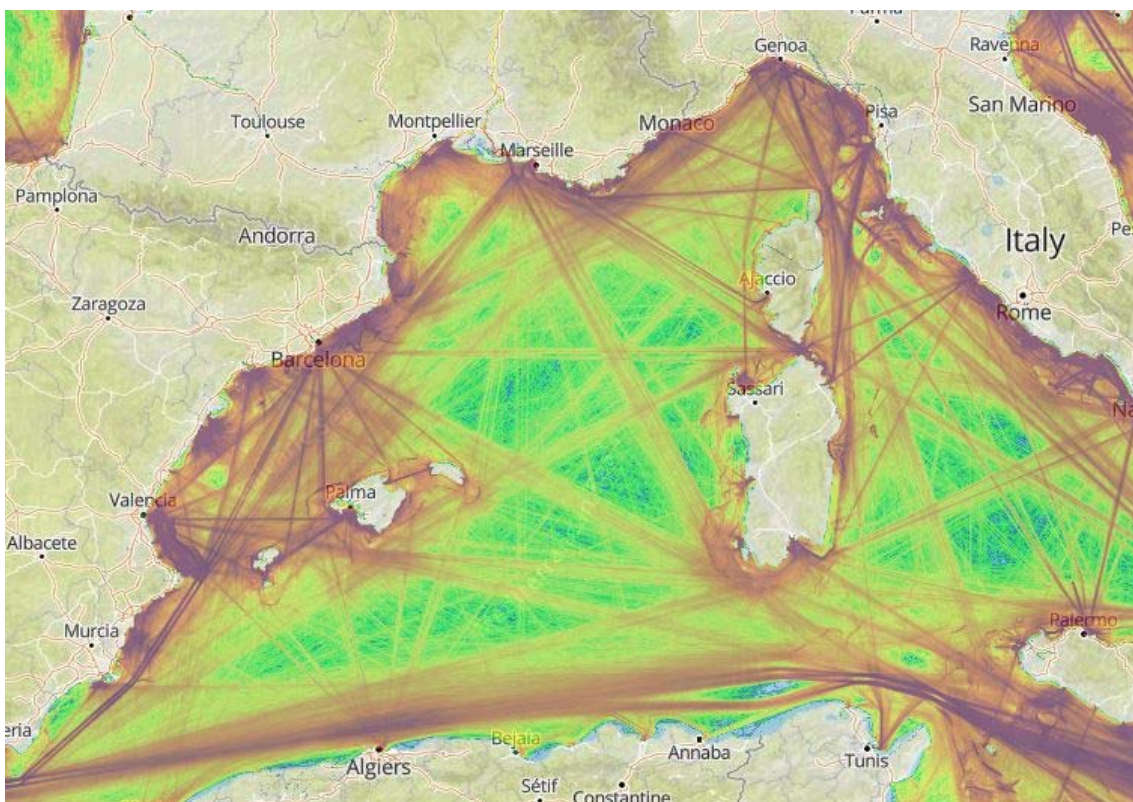


Figure 14 : Trafic global en Méditerranée occidentale sur 2016

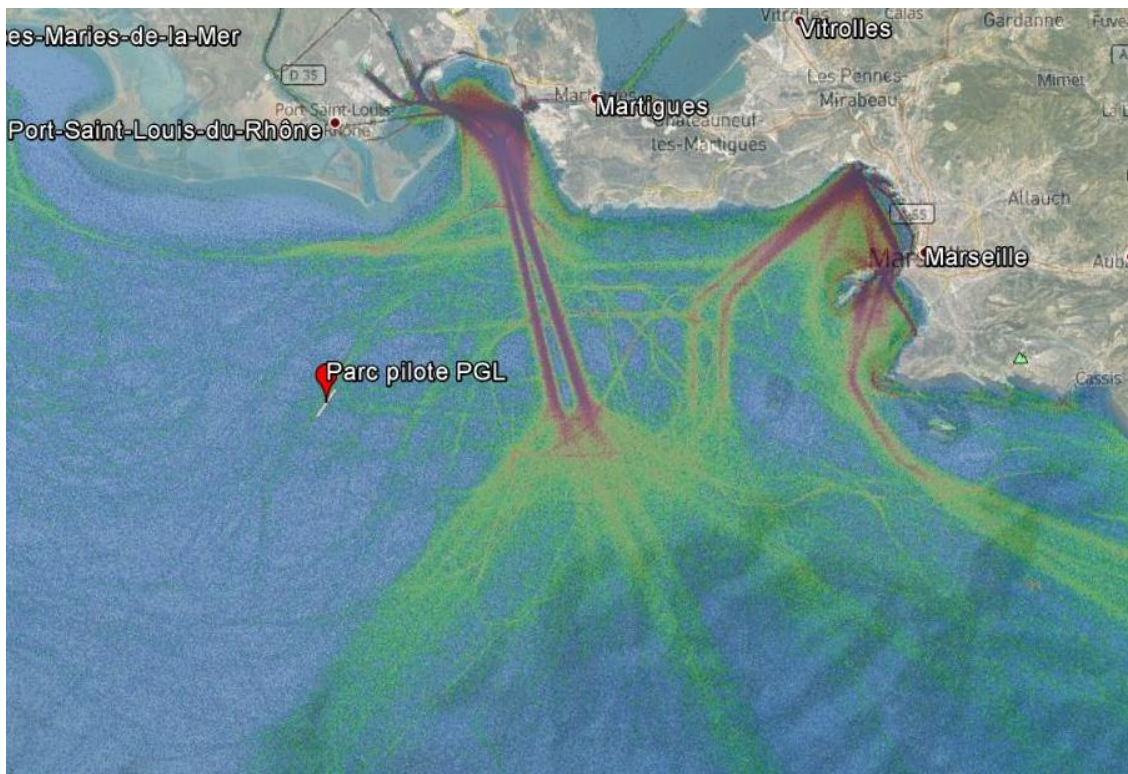


Figure 15 : Trafic global à proximité du site PGL en 2015

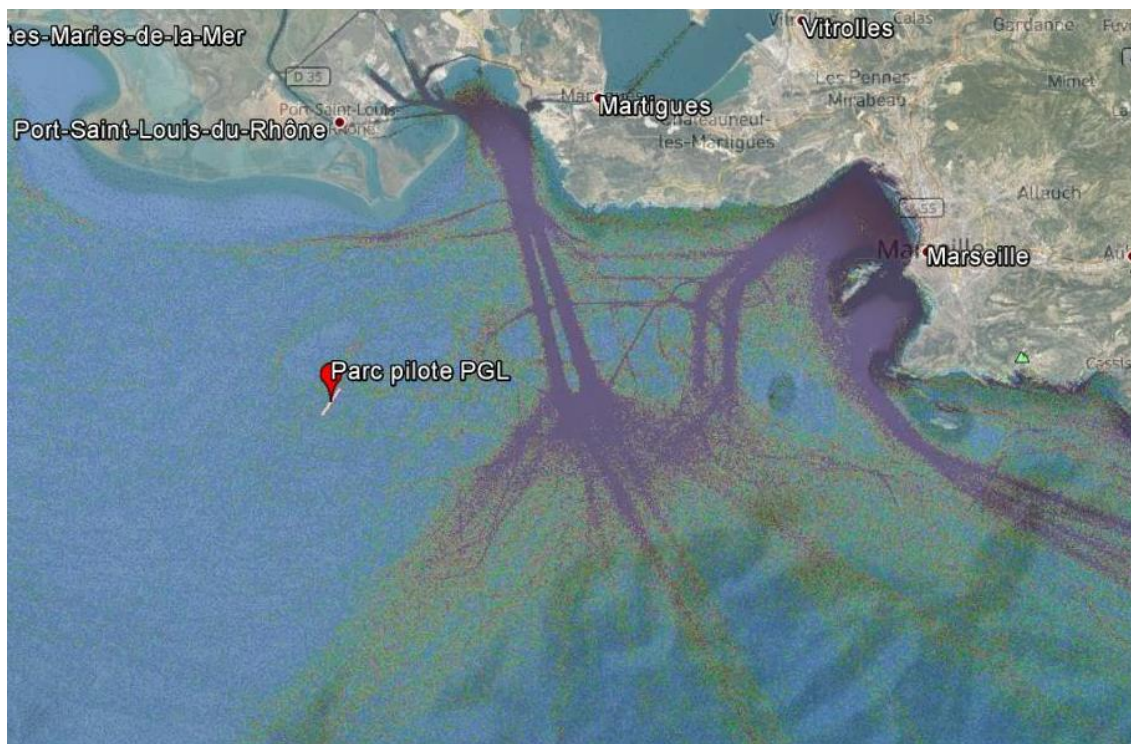
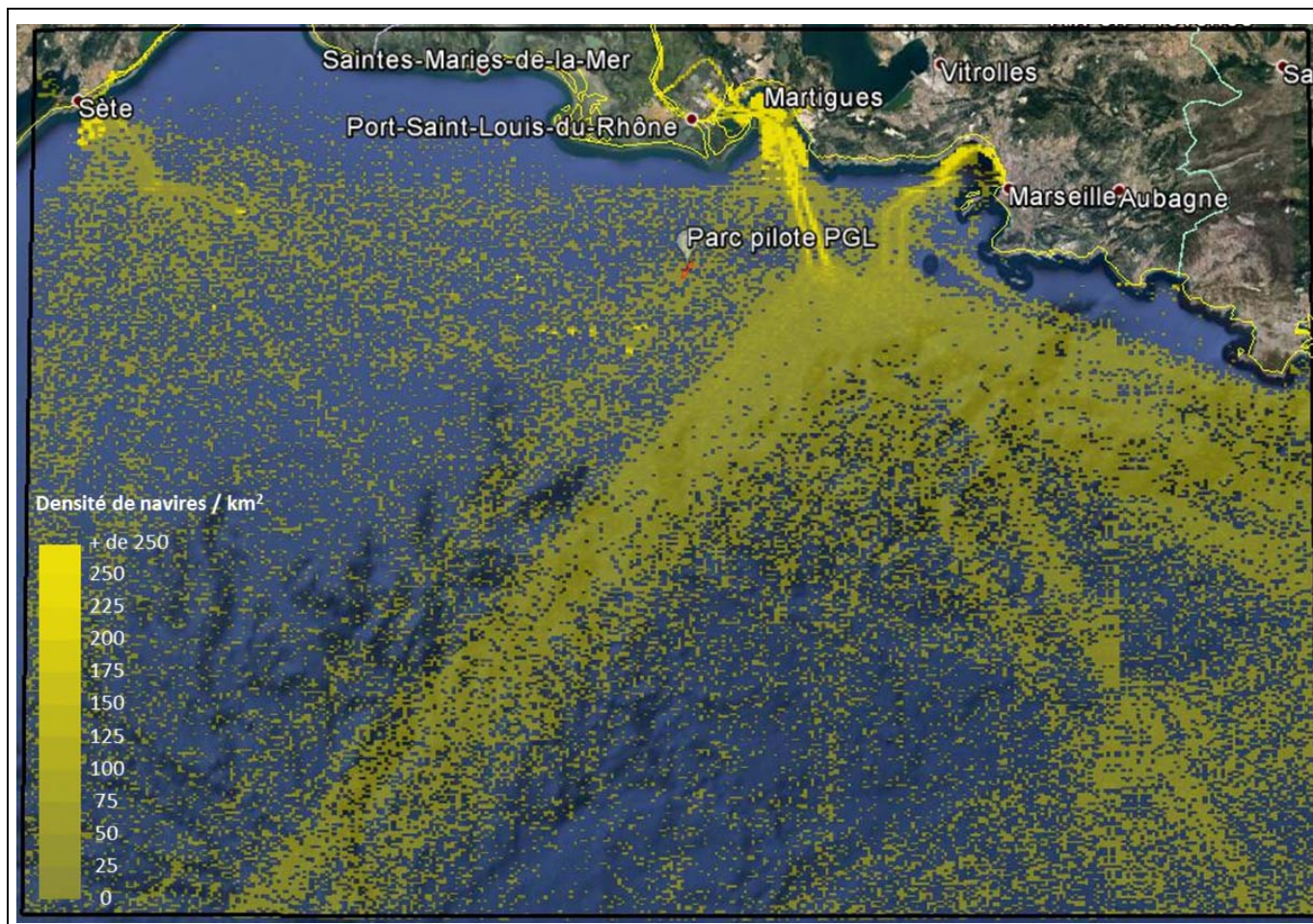


Figure 16 : Trafic global à proximité du site PGL en 2016



Les cartes suivantes ont pu être établies à partir des données AIS (2015 et 216) [1] en classant les catégories de navires par types. Ce traitement permet de comprendre les principaux trafics et d'en apprécier les importances relatives.

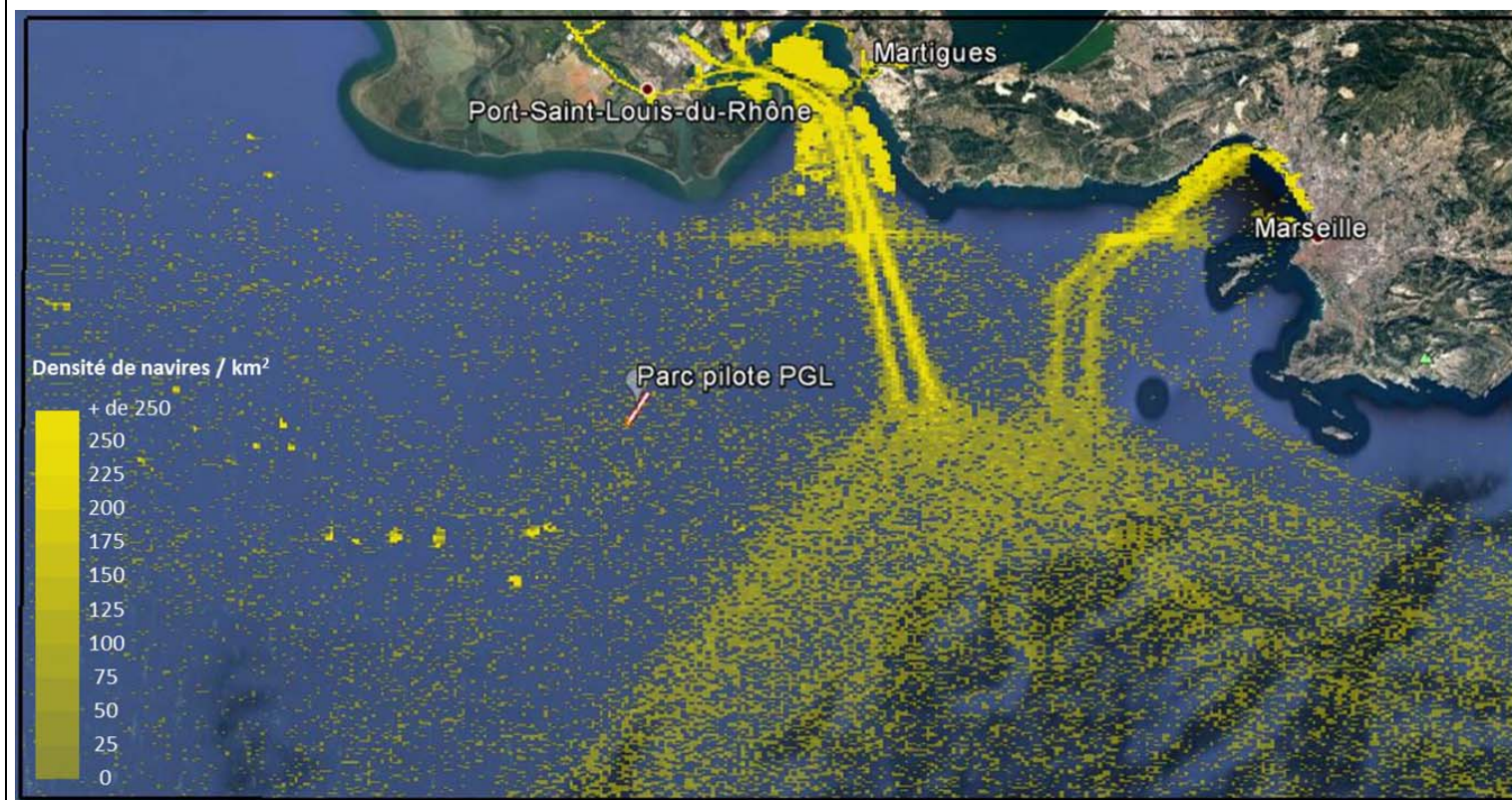
TYPE « CARGO »



Inclus :

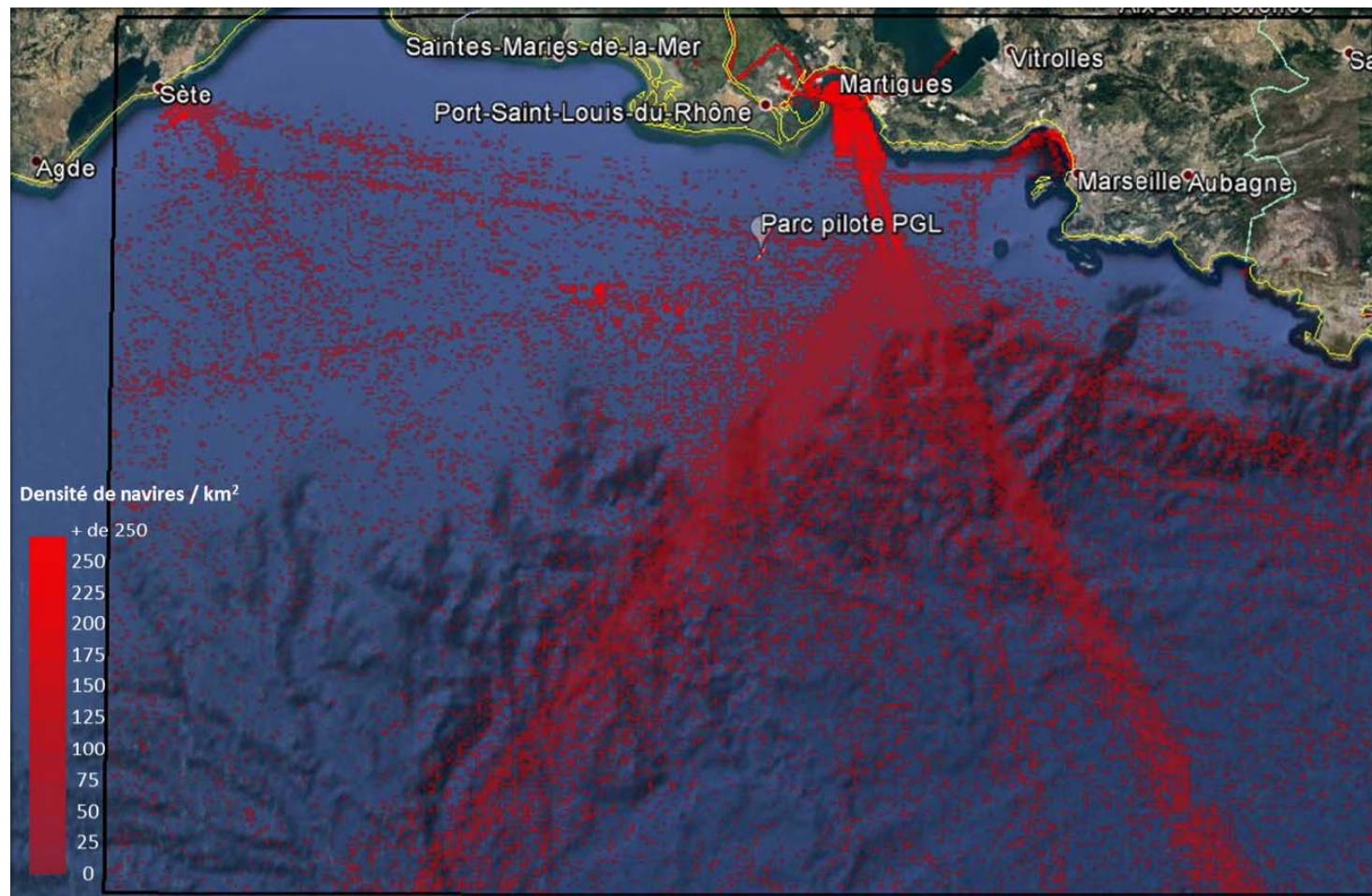
- Vraquiers
- Minéraliers
- Transporteurs de palettes
- Transport de voiture
- Barge carriers
- Transport de colis lourds
- Cargo réfrigéré
- Transporteurs de jus de fruits
- Roro cargo
- Navires transporteurs de voitures
- porte -conteneurs
- etc.

### TYPE « CARGO »



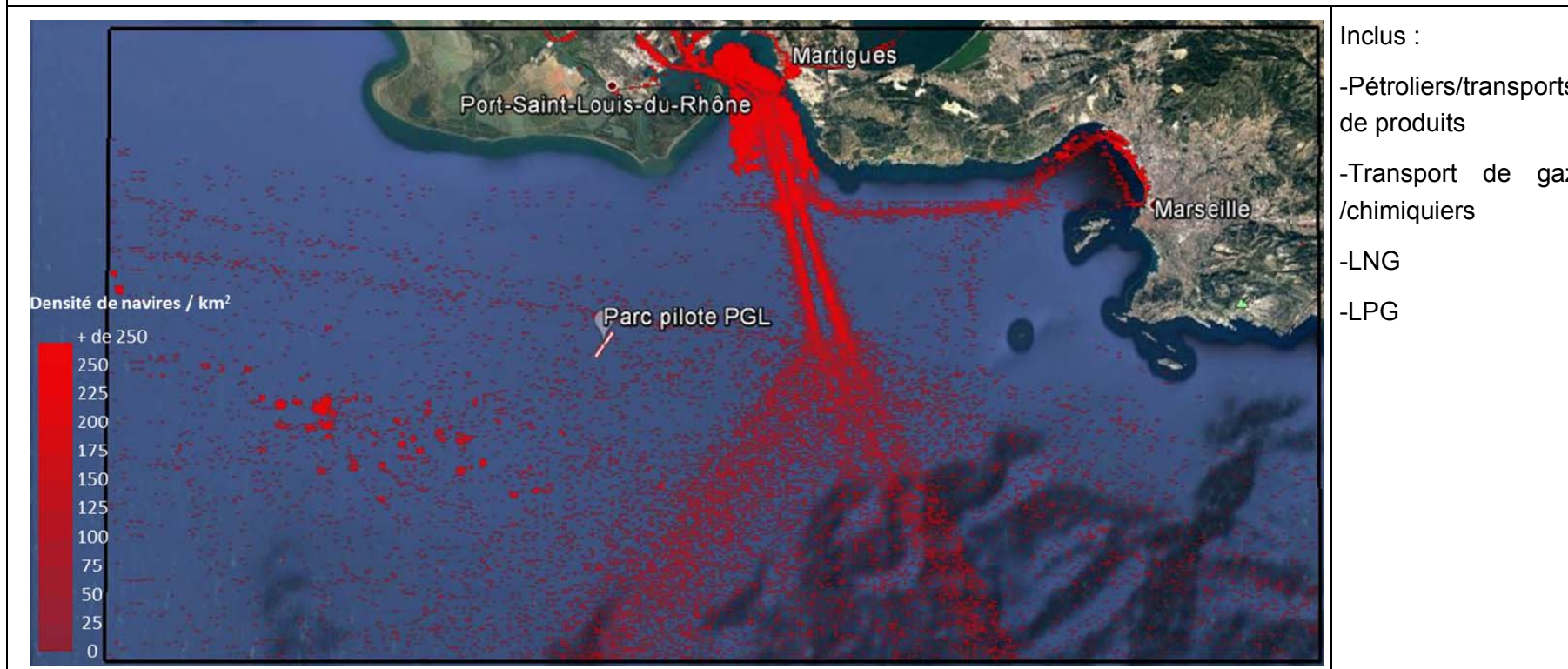
- Inclus :
- Vraquiers
  - Minéraliers
  - Transporteurs de palettes
  - Transport de voiture
  - Barge carriers
  - Transport de colis lourds
  - Cargo réfrigéré
  - Transporteurs de jus de fruits
  - Roro cargo
  - Navires transporteurs de voitures
  - porte -conteneurs
  - etc.

### TYPE « TANKERS »

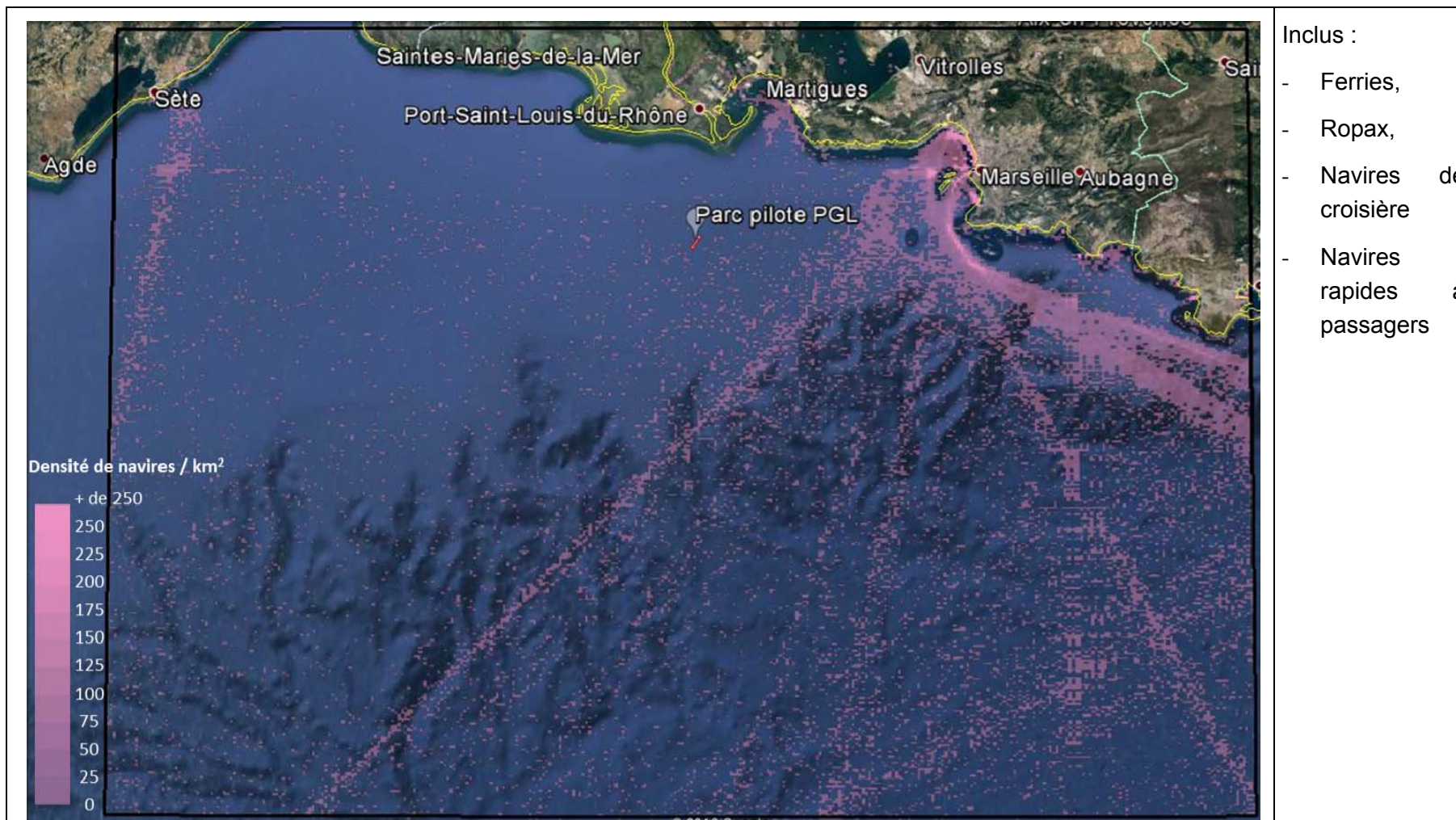


- Inclus :
- Pétroliers/transports de produits
  - Transport de gaz /chimiquiers
  - LNG
  - LPG

TYPE « TANKERS »



TYPE « NAVIRES A PASSAGERS »



### TYPE « NAVIRES A PASSAGERS »



Inclus :

- Ferries,
- Ropax,
- Navires de croisière
- Navires rapides à passagers



### Commentaires sur l'état initial du trafic :

Le port de Marseille-Fos accueille le trafic des navires de types « Cargo » (notamment les porte-conteneurs). Les activités de ces deux bassins (Est et Ouest) seront ceux qui auront le plus d'impact sur le projet. Un assez grand nombre de trajectoires de navires de type cargo passent actuellement sur l'emplacement du parc PGL.

Certaines trajectoires de navires de type « Tankers » passent à proximité du futur emplacement du parc. Les navires proviennent ou sont à destination du bassin Ouest du port de Marseille-Fos.

Peu de navires de type « Passagers » empruntent actuellement des trajectoires qui passent par-dessus l'emplacement du futur champ. La majeure partie provient ou est à destination de Marseille pour des routes principalement avec la Corse, l'Italie ou le Maroc.

Une présentation des activités du port de Marseille-Fos est réalisée en annexe 2.

La route maritime la plus proche du parc éolien est à plus de 6 milles nautiques (11 112 m). Cette distance est acceptable au regard des prescriptions relatives aux distances minimales de sécurité entre routes de navigation maritime et champs éoliens offshore (Note technique du 11 juillet 2016 relative aux mesures de sécurité maritime applicables à la planification d'un champ éolien en mer - NOR DEVT1613199, texte non paru au journal officiel, édité par le Ministère de l'environnement, de l'énergie et de la mer).

**PRESCRIPTIONS RELATIVES AUX DISTANCES MINIMALES DE SÉCURITÉ  
 ENTRE ROUTES DE NAVIGATION MARITIME ET CHAMPS ÉOLIENS OFFSHORE**

DISTANCE EN MILLES (M) entre la limite extérieure du champ éolien et la voie de navigation	FACTEURS	RISQUE	ACCEPTABILITÉ
< 0,25 M (500 m)	Distance entre deux éoliennes en dessous de laquelle seuls les petits navires peuvent naviguer dans un parc éolien	TRÈS ÉLEVÉ	<b>Inacceptable</b> en dehors de très petits navires (type petite plaisance)
0,25 M (500 m)	Interférence du champ éolien sur Radar bande X	TRÈS ÉLEVÉ	
0,45 M (800 m)	Les navires peuvent générer des échos multiples sur les radars STM	TRÈS ÉLEVÉ	
0,8 M (1481 m)	Distance d'une route de navigation empruntée par des navires concernés par la convention SOLAS et un parc éolien	ÉLEVÉ	<b>Acceptable</b> si le risque est considéré comme aussi faible que cela est raisonnablement possible (ALARP)
1,5 M (2778 m)	Interférence du champ éolien sur radar bande S et perturbation sur l'APRA	MOYEN	
2 M (3704 m)	Distance entre une route de navigation et un champ éolien	FAIBLE	<b>Acceptable</b> en fonction de la densité du trafic
5 M (9260 m)	Distance entre un DST et un champ éolien en eaux resserrées	FAIBLE	<b>Acceptable</b>
10 M (18520 m)	Distance idéale entre un DST et un champ éolien	TRÈS FAIBLE	

*Tableau 6 : Prescriptions relatives aux distances minimales de sécurité entre routes de navigation maritime et champs éoliens offshore*

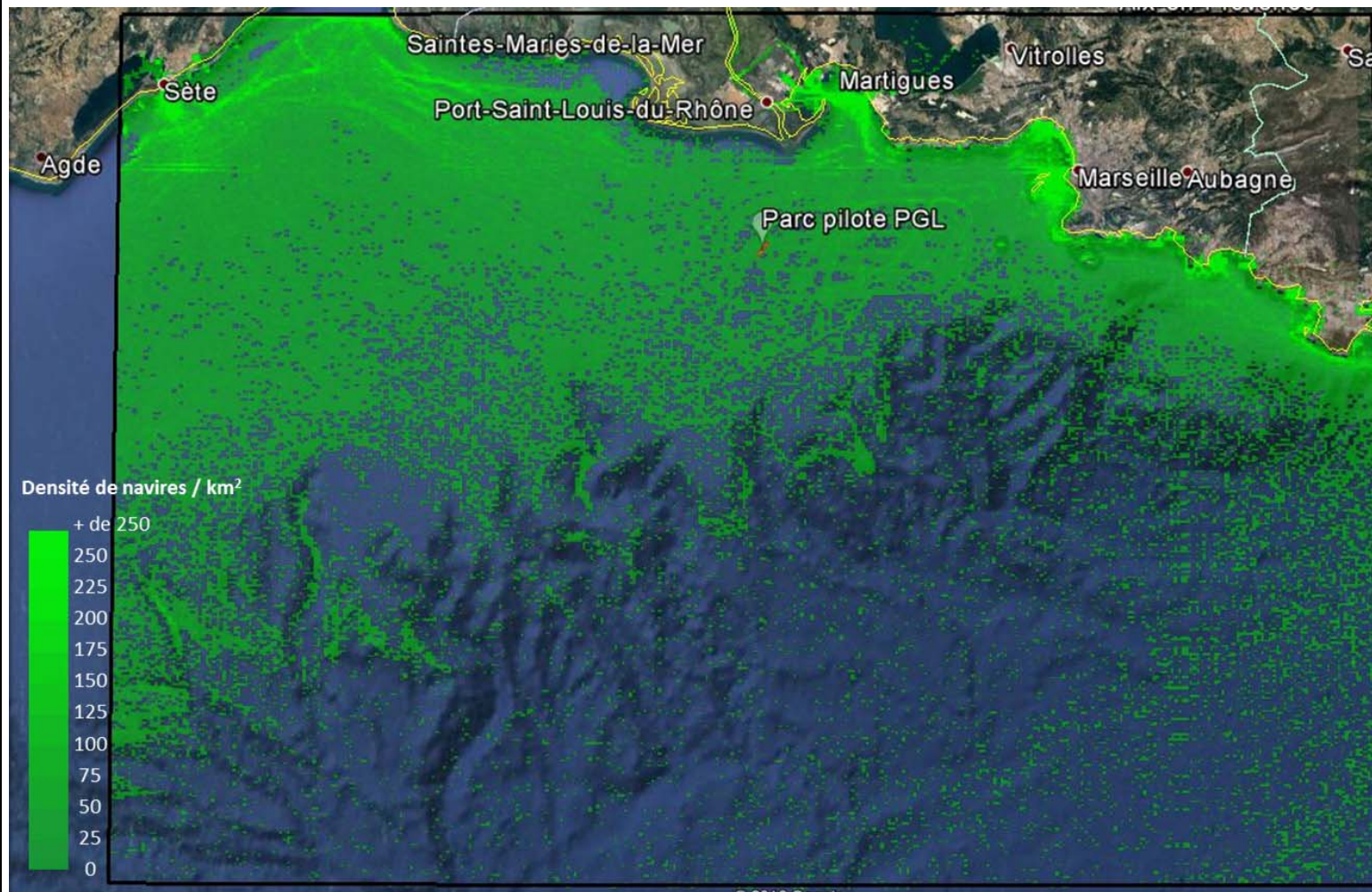
### 3.5. Etat initial du trafic des navires sans route maritime

Les navires sans route maritime sont les navires ayant une mission en mer. Ces navires ne suivent pas de routes mais naviguent de façon peu prévisible. Les navires de pêche représentent une grande contribution de ce groupe.

#### 3.5.a) Trafic maritime des navires de type « Autres navires »

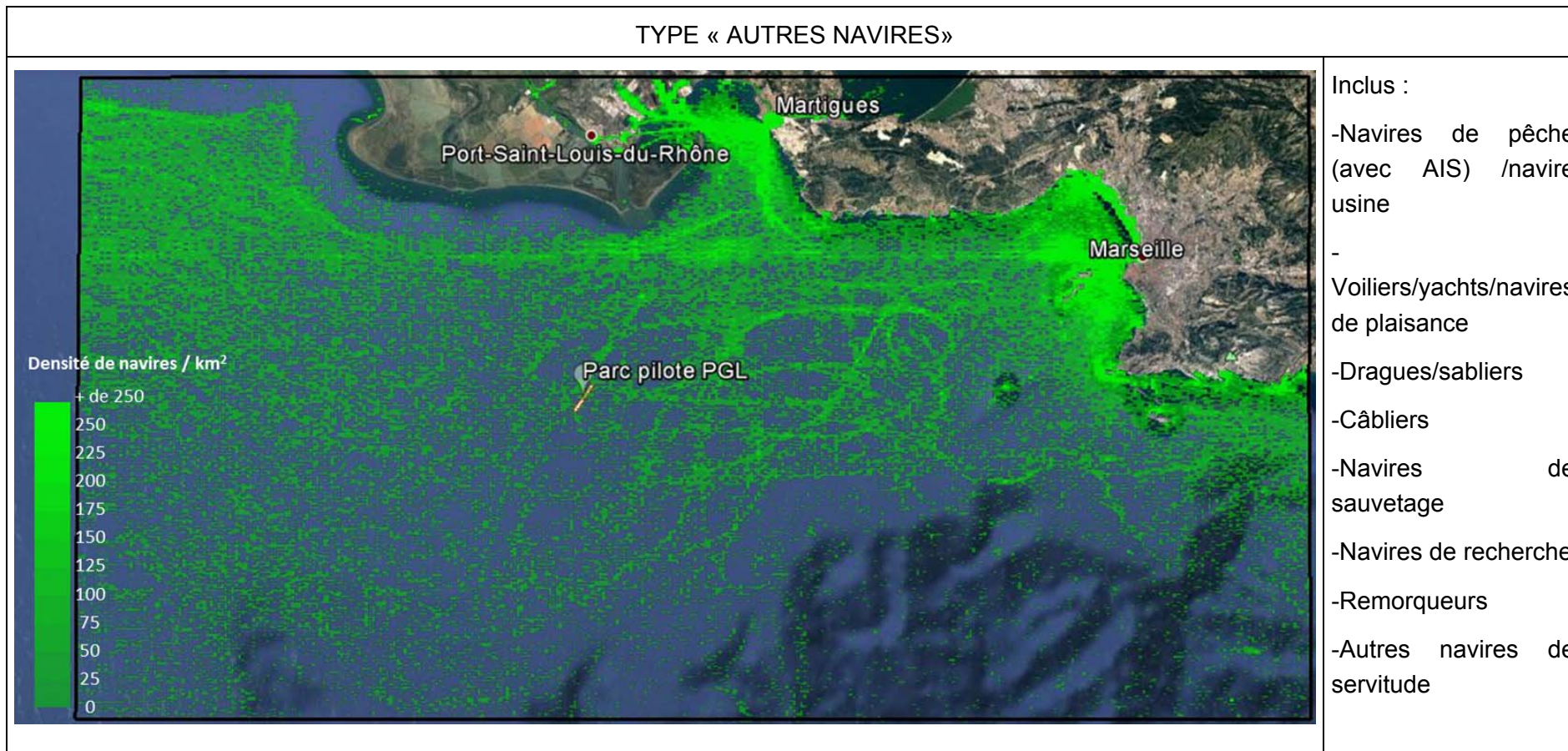
Les navires de type « autres navires » ont des trajectoires très diverses qui couvrent l'ensemble du plan d'eau.

TYPE « AUTRES NAVIRES »



Inclus :

- Navires de pêche (avec AIS) /navire usine
- 
- Voiliers/yachts/navires de plaisance
- Dragues/sabliers
- Câbliers
- Navires de sauvetage
- Navires de recherche
- Remorqueurs
- Autres navires de servitude



On observe une concentration de ce type de navires dans les ports et près des côtes. Observons la saisonnalité de ce trafic sur trois semestres (mai à octobre 2015, novembre 2015 à avril 2016 puis mai à octobre 2016).

Semestre 1 : mai à octobre 2015



Semestre 2 : novembre 2015 à avril 2016



Semestre 3 : mai à octobre 2016







### 3.5.b) Trafic maritime des navires de pêche (non soumis à l'AIS)

Les navires de pêche d'une longueur hors tout de moins de 15 mètres ne sont pas soumis à l'obligation d'avoir une balise AIS émetteur d'un signal de position et d'identification. Cependant ils peuvent être équipés de manière volontaire. De ce fait, ajouté au fait qu'ils suivent des routes non tracées préalablement, il est difficile d'acquérir par des systèmes de données globaux les données de positions et de routes suivies par ces navires.

En raison de leur navigation aléatoire, la meilleure façon de les modéliser est de donner une moyenne du nombre de navires pouvant être présents dans une zone donnée.

#### i) Nombre de navires de pêche en France (données IFREMER 2014)

Selon le document IFREMER, « Synthèse des flottilles 2012 » [11], le nombre total de navires de pêche en France métropolitaine en 2012 est d'environ 4600 unités. 80 % des unités ont une longueur inférieure à 12 mètres, 20% supérieure à 12 mètres.

Les navires de pêche se répartissent en nombre à peu près égale sur les trois façades : Atlantique (1658), Méditerranée (1487) et Nord-Manche (1422).

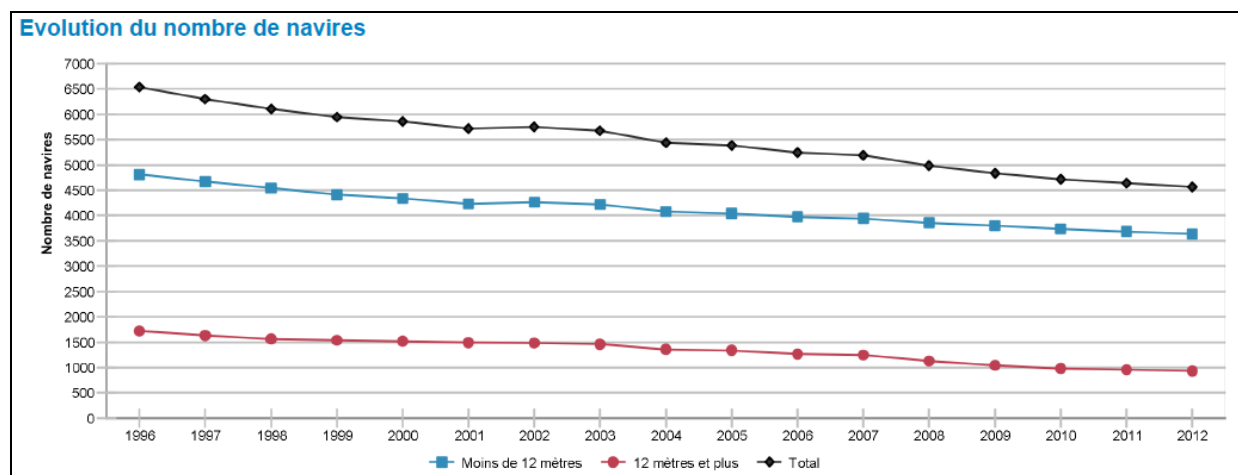


Figure 17 : Evolution du nombre de navires de pêche en France (1996-2012)

## ii) Taille des navires sur la façade Méditerranée

Selon le document IFREMER, « Synthèse de l'activité des navires actifs à la pêche de la façade Méditerranée en 2014 (IFREMER, janvier 2017) » [7], le nombre de navires de pêche tous types confondus, sur la façade Méditerranée est de 1467 en 2014 et le nombre de navires actifs à la pêche tous types confondus, sur la façade Méditerranée (hors Corse), est de 1048 en 2014.

La répartition en taille est présentée dans le graphe ci-dessous.

- 0,5% des navires de la façade Méditerranée ont une longueur supérieure à 40 m
- 1,1% des navires de la façade Méditerranée ont une longueur entre 25 m et 40 m
- 4,6% des navires de la façade Méditerranée ont une longueur entre 18 m et 25 m
- 0,7% des navires de la façade Méditerranée ont une longueur entre 15 m et 18 m
- 1,4% des navires de la façade Méditerranée ont une longueur entre 12 m et 15 m
- 8,8% des navires de la façade Méditerranée ont une longueur entre 10 m et 12 m
- 57% des navires de la façade Méditerranée ont une longueur entre 6 m et 10 m
- 25,8% des navires de la façade Méditerranée ont une longueur inférieure à 6 m

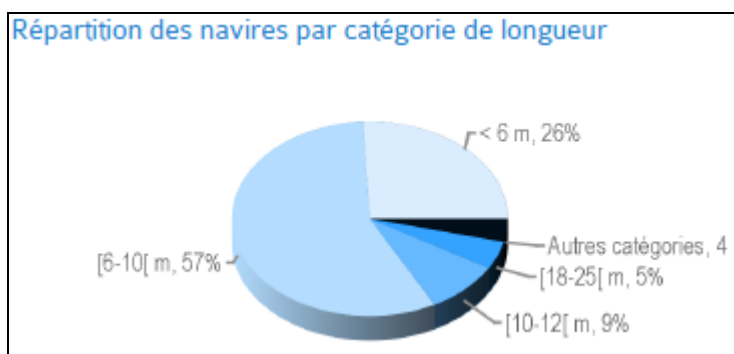


Figure 18 : Taille des navires de pêche sur la façade Méditerranée (2014)

En 2014, les navires de moins de 15 mètres (non soumis à l'AIS) représentent 93 % des navires de pêche de Méditerranée.

### iii) Activité – Tous types de navires de pêche sur la zone d'étude

Le projet PROVENCE GRAND LARGE se situe dans le secteur de pêche MD21 (3 à 12 milles, région PACA, Ouest Cap Sicié). Selon le document IFREMER, « Synthèse de l'activité des navires actifs à la pêche de la façade Méditerranée en 2014 (IFREMER, janvier 2017) », dans cette zone, l'activité en nombre de mois.navires est de 822 mois.navires.

		Secteur MD 21			
		Nb de navires		Nb mois.navires	
<b>Façade Méditerranée</b>		<b>107</b>		<b>822</b>	
<i>Région Languedoc Roussillon</i>			22		167
Quartier Maritime de Sète			21		166
Quartier Maritime de Port Vendres			1		1
<i>Région PACA</i>			85		655
Quartier Maritime de Martigues			18		186
Quartier Maritime de Marseille			43		332
Quartier Maritime de Toulon			24		137

Tableau 7 : Origine de la fréquentation du secteur MD21 - 3 à 12 milles, région PACA, Ouest Cap Sicié

Ce secteur est principalement fréquenté par 107 navires.

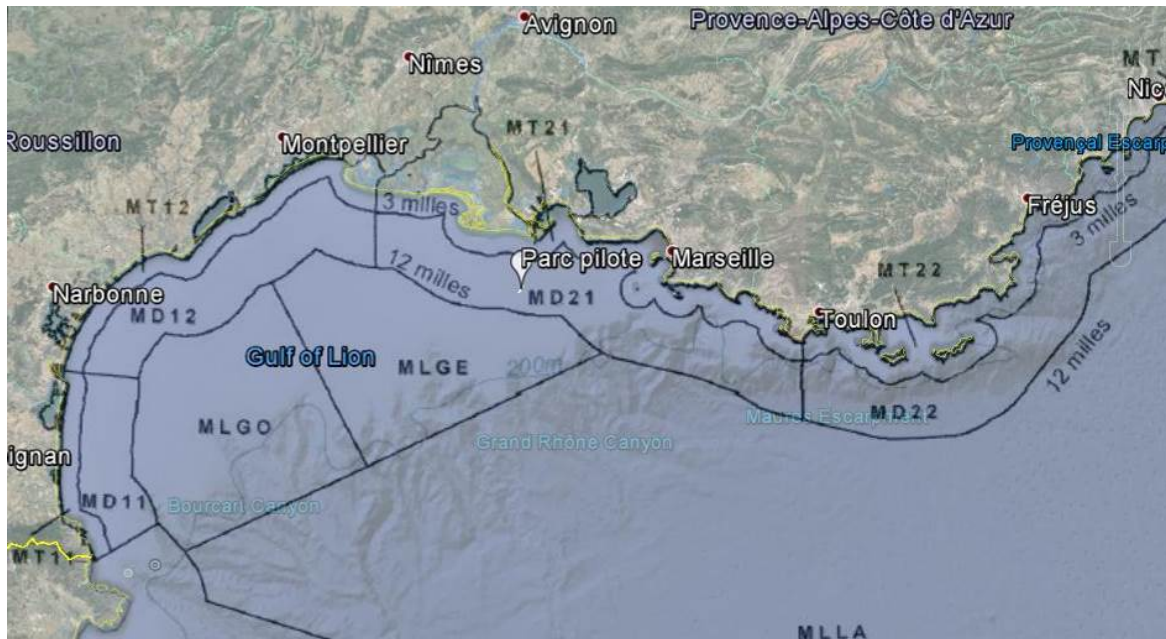


Figure 19 : Définition de la zone d'étude de l'IFREMER (secteur de pêche)

La surface de la zone d'étude considérée par l'IFREMER est de 2589 km<sup>2</sup>. Cette zone est définie sur la figure précédente.

En divisant la valeur de distribution spatiale d'activité par la surface maritime de la zone, on obtient une densité spatiale en mois.navire par km<sup>2</sup>. En multipliant par 30 (nombre moyen de jour dans un mois), on obtient la densité spatiale en jour.navire par km<sup>2</sup>. Cette valeur est alors divisée par 3, en accord avec la méthodologie proposée par TECNITAS qui estime que par rapport aux hypothèses de l'IFREMER, un navire est actif non pas 30 jours dans le mois dès lors qu'il utilise un engin, mais seulement 10 jours. Pour finir, cette densité est divisée par le nombre de jours dans l'année (365), pour obtenir une densité spatiale et temporelle (probabilité d'avoir un navire par km<sup>2</sup> par jour). (cf annexe 3)

Cette probabilité spatiale et temporelle est donc de 0.009 (9x10<sup>-3</sup>) navire par jour par km<sup>2</sup>.

En annexe 4, une analyse plus fine est réalisée par type de navires à partir des données IFREMER « Synthèse des flottilles de pêche 2012 » (dernière synthèse disponible publiée en 2014).

Ces types de navire sont :

- Senneurs à thon rouge
- Senneurs hors thon rouge
- Chalutiers de fond

- Chalutiers pélagiques et mixtes
- Ganguis
- Dragueurs
- Fileyeurs exclusifs
- Fileyeurs polyvalents
- Telliniers
- Capéchades
- Métiers de l'Hameçon
- Plongeurs Mer
- Divers Petits Métiers Mer
- Divers Petits Métiers Etang Mer

### 3.6. Surveillance du trafic maritime et sauvetage

Le champ éolien PROVENCE GRAND LARGE est implanté au sein de la zone de responsabilité du CROSS MED (La Garde).

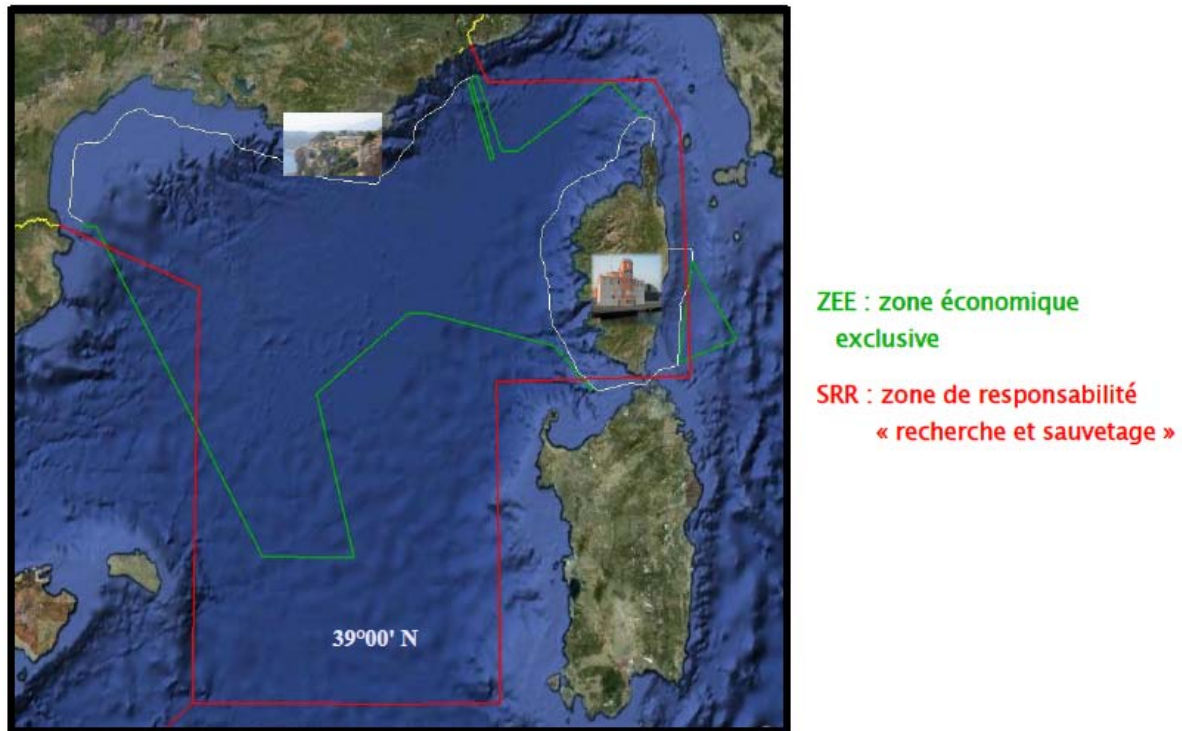


Figure 20 : Responsabilités des CROSS MED sur la zone

Centre opérationnel du ministère de l'environnement, de l'énergie et de la mer, le Centre Régional Opérationnel de Surveillance et de Sauvetage de Méditerranée (**CROSSMED**) relève organiquement de la direction interrégionale de la mer Méditerranée (**DIRM**) dont le siège est à Marseille. Il est placé sous l'autorité opérationnelle du **Préfet Maritime** et se compose d'un centre principal à La Garde (Toulon) et d'un centre secondaire à Aspretto (Ajaccio).

Sa compétence en matière de recherche et de sauvetage (MRCC) et de service d'assistance maritime (**MAS**) s'étend sur l'ensemble de la zone de responsabilité (« Région de Recherche et Sauvetage (**SRR**) ») confiée à la France en Méditerranée. Elle s'étend sur 115 000 km<sup>2</sup>.

Le CROSS MED assure également, dans la zone économique exclusive (**ZEE**), une mission de surveillance de la navigation (**SURNAV**), exerce le recueil et l'exploitation des informations relatives aux pollutions constatées en mer et participe à la recherche des navires auteurs de rejets illicites (mission **SURPOL**).

Le centre secondaire d'Aspetto conduit, pendant ses créneaux horaires d'activation (07h30/21h00 de septembre à juin inclus, 07h30/23h00 en juillet et août) la totalité des missions sur le littoral de la région Corse jusqu'à 20 milles nautiques au large. Il peut être ré-armé à tout instant en cas de besoin.

Enfin, le CROSS assure la diffusion de renseignements de sécurité maritime (mission RSM), notamment des bulletins météorologiques côtiers, spéciaux et pour le large élaborés par les services de Météo France.

Davantage d'informations sur les missions du CROSS peuvent être retrouvées en annexe 5.

La marine nationale arme 19 sémaphores sur la façade méditerranéenne, assurant une veille permanente radiophonique, optique et radar, de jour comme de nuit, de la zone côtière :

- ils disposent tous de radiomètres qui permettent d'évaluer la dispersion d'éléments radioactifs dans l'atmosphère ;
- ils apportent en permanence leur concours au CROSS MED pour l'exécution de la mission de surveillance de la navigation maritime.

Pour le secteur Méditerranée, les 19 sémaphores sont les suivants :

Nom du sémaphore	COMMUNE	ALTITUDE	POSITION
<b>BEAR</b>	PORT VENDRES	82 m	42°31'02"N ; 003°08'10"E
<b>LEUCATE</b>	LEUCATE PLAGE	52	42°55'14"N ; 003°03'66"E
<b>SETE</b>	SETE	71	43°23'88"N ; 003°41'62"E
<b>ESPIQUETTE</b>	GRAU DU ROI	0	43°29'27"N ; 004°08'53"E
<b>COURONNE</b>	CARRO	27	43°20'04"N ; 005°03'19"E
<b>BEC DE L'AIGLE</b>	LA CIOTAT	316	43°10'49"N ; 005°34'45"E
<b>CEPET</b>	SAINT MANDRIER	123	43°04'84"N ; 005°56'55"E
<b>PORQUEROLLES</b>	ILE DE PORQUEROLLES	145	43°00'11"N ; 006°13'68"E
<b>CAMARAT</b>	RAMATUELLE	125	43°12'10"N ; 006°40'55"E
<b>DRAMONT</b>	ST RAPHAEL	126	43°24'90"N ; 006°51'25"E
<b>CAP FERRAT</b>	SAINT JEAN CAP FERRAT	138	43°40'95"N ; 007°19'63"E
<b>CAP CORSE</b>	ERSA	110	43°00'30"N ; 009°21'58"E
<b>ILE ROUSSE</b>	ILE ROUSSE	139	42°38'05"N ; 008°55'42"E
<b>LA PARATA</b>	AJACCIO	152	41°54'58"N ; 008°37'20"E
<b>PERTUSATO</b>	BONIFACIO	105	41°22'56"N ; 009°10'64"E
<b>LA CHIAPPA</b>	PORTO VECCHIO	64	41°35'75"N ; 009°21'82"E
<b>SAGRO</b>	SISCO	111	42°47'94"N ; 009°29'38"E
<b>ALISTRO</b>	SAN NICOLAO	64	42°15'75"N ; 009°32'45"E



*Tableau 8 : Les sémaphores en Méditerranée*



*Figure 21 : Sémaphores au voisinage du champ éolien*

Le sémaphore du Cap Couronne, situé non loin de Martigues, est armé en première catégorie. Il a pour mission, la surveillance des entrées et sorties du golfe de Fos ainsi que la surveillance des entrées et sorties du port de Marseille.



*Figure 22 : Sémaphore 24H/24H Cap Couronne*

### 3.7. Parc éolien PGL et zone maritime et fluviale de régulation du GPM de Marseille

La Zone Maritime et Fluviale de Régulation (ZMFR) du Grand Port Maritime de Marseille décrite dans l'arrêté préfectoral n°201206-0002 du 16 janvier 2012 indique la zone dans laquelle le STM (Service du Trafic Maritime portuaire) surveille, régule et, en collaboration avec le service de pilotage, coordonne le trafic maritime.

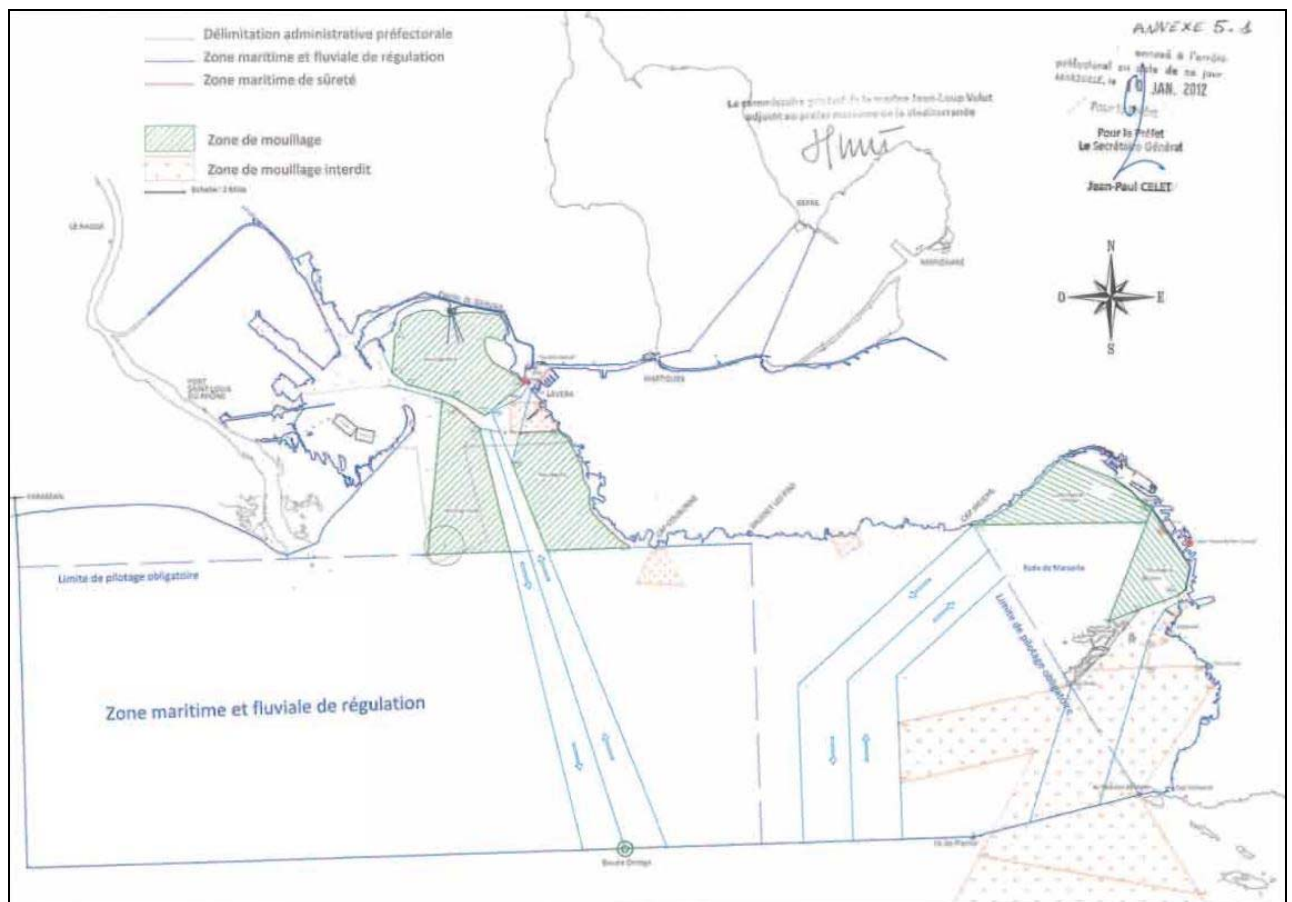


Figure 23 : La Zone Maritime et Fluviale de Régulation (ZMFR) du GPM de Marseille-Fos

Le parc éolien pilote PGL est situé en bordure de la zone maritime et fluviale de régulation du grand port de Marseille.

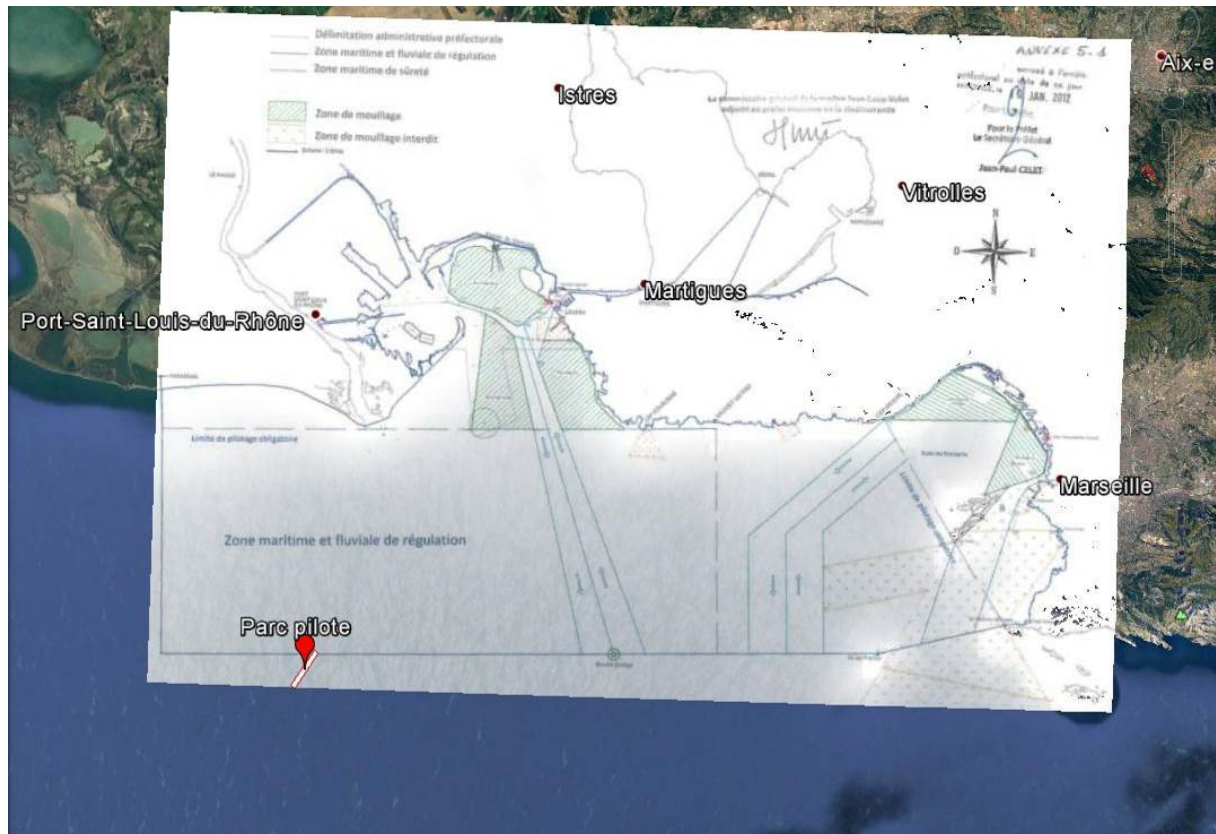


Figure 24 : Position du parc PGL par rapport à la ZMFR

La ZMFR est une zone sous surveillance particulière :

- qui impose une présentation des navires au STM avant leur arrivée,
- qui impose le pilotage de certains navires,
- qui impose les zones de mouillage (avec surveillance),
- qui coordonne les mouvements de navires,
- qui concentre les routes dans les chenaux dragués,
- et qui implique la présence de remorqueurs ou d'autres navires capables de porter assistance à un navire en avarie.

Cette proximité de la ZMFR constitue un avantage pour le parc PGL.

La superposition des données AIS pour les tankers et les cargos sur la ZMFR montre l'importance de cette régulation sur le trafic.

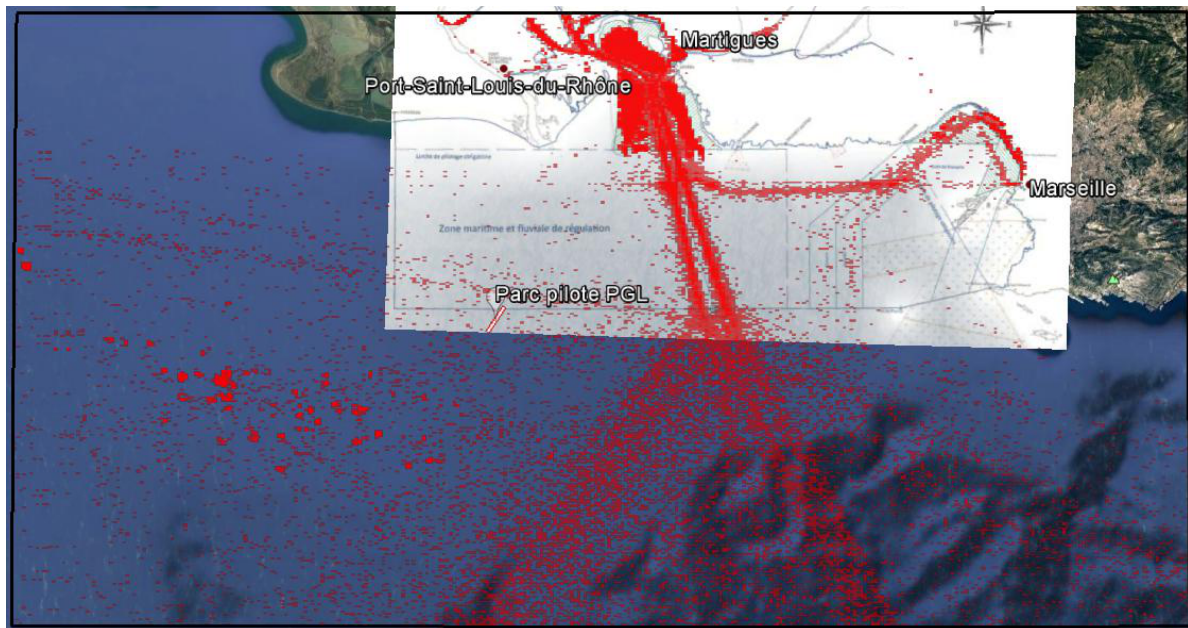


Figure 25 : Trafic des « Tankers » superposé à la ZMFR

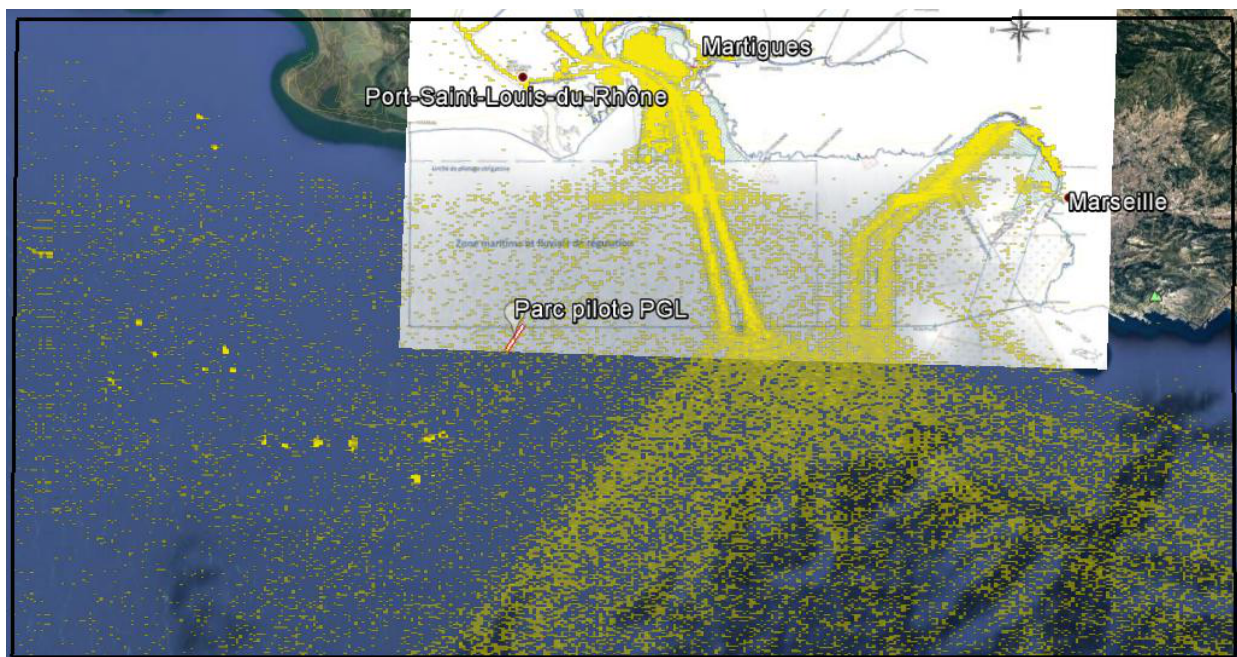


Figure 26 : Trafic des « Cargo » superposé à la ZMFR

## 4. MOYENS DE SAUVETAGE DANS LA ZONE

Pour assurer leurs missions, les CROSS peuvent faire appel à tous les moyens de l'Etat : patrouilleur et vedettes des affaires maritimes, vedettes, navires, hélicoptères et avions de la Marine nationale des Douanes, de la Gendarmerie et de la Protection civile. Ils font également appel aux canots et vedettes de la SNSM (Société Nationale de Sauvetage en Mer), ainsi qu'à tout navire se trouvant à proximité d'une zone de détresse.

A partir du bilan d'activité 2016 du CROSSMED [6], voici la répartition des interventions en fonction des moyens nautiques engagés.

Autorité de rattachement	Nombre d'interventions	Temps d'intervention
<b>SNSM</b>	<b>1387 (1495)</b>	2258h34
Navires privés (« sur zone »)	542 (600)	552h42
SDIS	233 (299)	248h28
Entreprises privées de remorquage	56 (53)	180h48
Gendarmerie maritime	65 (48)	71h42
Gendarmerie nationale	55 (59)	64h14
Moyens municipaux	136 (80)	97h38
Douane	62 (47)	75h39
Marine Nationale	45 (34)	75h53
Police -CRS	15(19)	18h32
Autorités portuaires	26 (30)	15h22
Armateurs/Proche-famille	57 (51)	84h41
Affaires Maritimes	26 (28)	23h33
Administrations étrangère	23(24)	55h52
Autres	25 (39)	14h28
<b>TOTAL</b>	<b>2753 (2906)</b>	<b>3838 h 07</b>

Tableau 9 : Répartition des interventions en fonction des moyens nautiques engagés en 2016 et (2015)

**La SNSM est le 1er partenaire du CROSS** pour l'emploi de moyens nautiques. Sur engagement direct du CROSSMED ou sur demande d'assistance formulée par un navire, les canots tout-temps, vedettes, embarcations légères (semi-rigides, VNM), voire les moyens terrestres des cinquante stations permanentes et de leurs antennes estivales ont réalisé 1387 sorties.

Il est important de noter que les « navires sur zone » constituent les deuxièmes contributeurs (542 interventions sur 2753). Globalement, la solidarité des gens de mer assure donc plus des 2/3 des interventions.

#### 4.1. Les remorqueurs de sauvetage

Les seuls remorqueurs utilisés pour réaliser du sauvetage en haute mer sont l'Abeille Flandre et le Jason. Ces remorqueurs sont basés à Toulon.



Figure 27 : Remorqueur Abeille Flandre

Jason est basé en station à Toulon où il assure une alerte permanente « sécurité maritime » (SECMAR), paré à appareiller dans un délai pouvant aller de 40 minutes (jusqu'à 6 heures).

Note : Un autre navire avec des capacités de remorquage est basé à Toulon, l'Ailette, qui est un navire AHTS (Anchor Handling Tug Supply) qui a été progressivement converti en Bâtiment de Soutien, d'Assistance et de Dépollution (BSAD).



Figure 28 : Remorqueur JASON

Les caractéristiques principales de ces deux navires sont données en annexe 6.

### Positionnement des remorqueurs :

Les deux remorqueurs sont positionnés à Toulon. L'abeille Flandre peut être pré-positionnée au sud de la Corse.

La distance et les temps de parcours considérés pour l'étude sont définis ci-dessous.

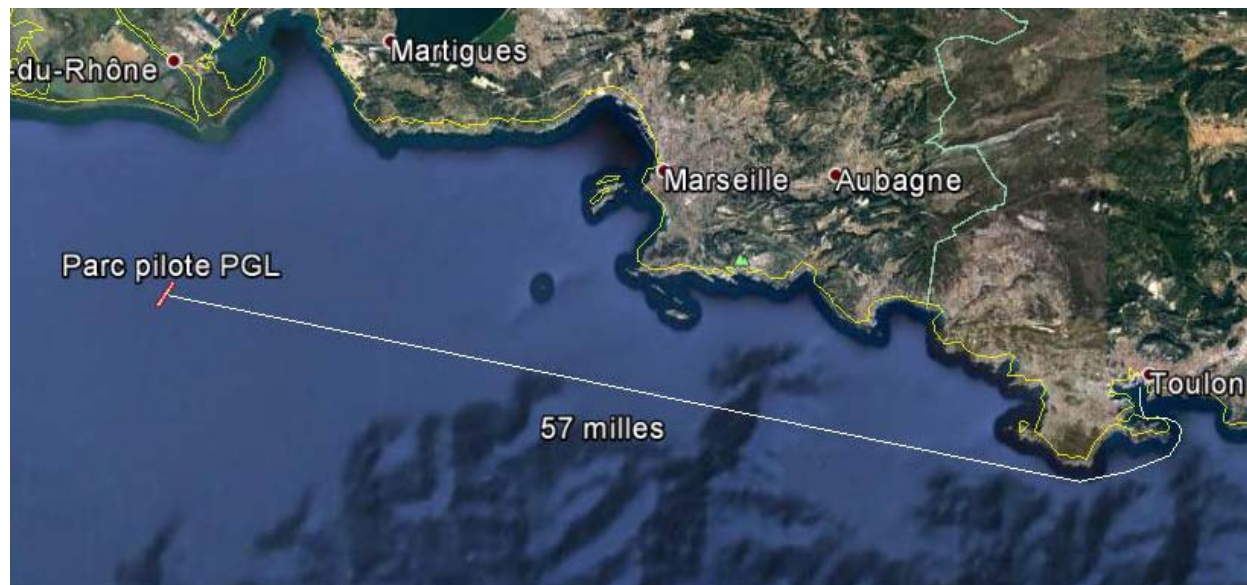
	Parcours	Distance (Milles)	Vitesse (nœuds)	Temps de parcours (heure/min)
Abeille Flandre	Toulon--> parc	57	17	3H21
Abeille Flandre	Sud Corse - - > parc	230	17	13H30
Jason	Toulon--> parc	57	14	4H05

*Tableau 10 : Temps de parcours pour l'intervention des remorqueurs de sauvetage jusqu'au parc pilote PGL*

A ces temps, il est nécessaire d'ajouter le temps d'appareillage du navire qui est de 40 minutes. Il faut donc compter environ 4H45 avant l'arrivée du remorqueur sur place. Selon les conditions de mer et la taille du navire à sauver, le passage de la remorque peut prendre de 20 minutes à 2 H.

L'hypothèse conservatrice suivante est formulée : tout navire est sauvé après 9 H de dérive (du moins, nous considérons que la collision avec l'éolienne peut être évitée). Augmenter cette durée de dérive ne serait pas de nature à modifier significativement les résultats, car les navires dérivant sur une si longue durée sont initialement très éloignés et n'apportent qu'une très faible contribution à la probabilité de collision.





*Figure 29 : Distance à parcourir depuis Toulon jusqu'au parc pilote PGL*

Il se peut que dans la zone et au moment d'une avarie, un de ces remorqueurs ou un autre soit plus proche, mais nous considérons d'une manière conservative seulement les navires affectés au sauvetage dans la zone étudiée. En cas d'incident, il s'agit du CROSS MED avec la préfecture maritime qui lancera les opérations de sauvetage/remorquage.

Note :

En fonction des événements, un remorqueur portuaire peut intervenir vu la proximité du parc PGL avec le port Marseille –Fos.

Les caractéristiques des remorqueurs portuaires de Marseille-Fos sont en annexe 7.

## 4.2. Moyens de sauvetage de la SNSM

Même si la mission première de la SNSM est de sauver des vies en mer, il n'est pas rare que celle-ci remorque les (petits) navires naufragés. Les sauveteurs interviennent jusqu'à 20 milles de la côte et au-delà sur demande expresse des CROSS. Le temps d'appareillage est de 15 minutes.

Les trois stations de sauvetage SNSM les plus proches du parc pilote Provence Grand Large sont : PORT SAINT-LOUIS-DU-RHONE, CARRO et MARTIGUES.



Figure 30 : Moyens de sauvetage SNSM voisins du projet PROVENCE GRAND LARGE

Les canots et vedettes d'intervention de la SNSM sont présentés en annexe 8.

## 5. DONNEES D'ACCIDENTOLOGIE LOCALE

### 5.1. Recherche et sauvetage

A partir des rapports d'activité du CROSSMED [6], nous retenons les éléments suivants sur les opérations du CROSSMED :

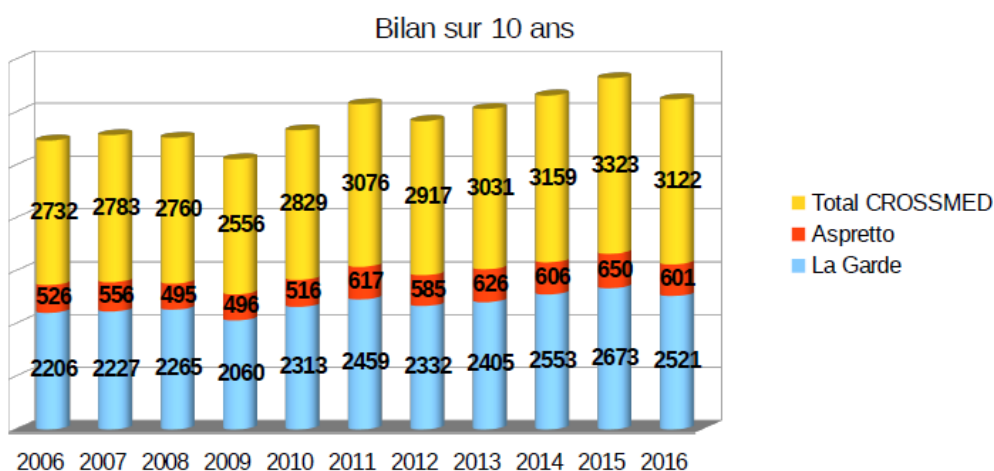


Figure 31 : Bilan des opérations du CROSSMED sur 10 ans

En 10 ans, le nombre d'opérations du CROSSMED a augmenté de 14 %.

En 2016, on note une baisse de 6 % du nombre d'opérations par rapport à 2015.

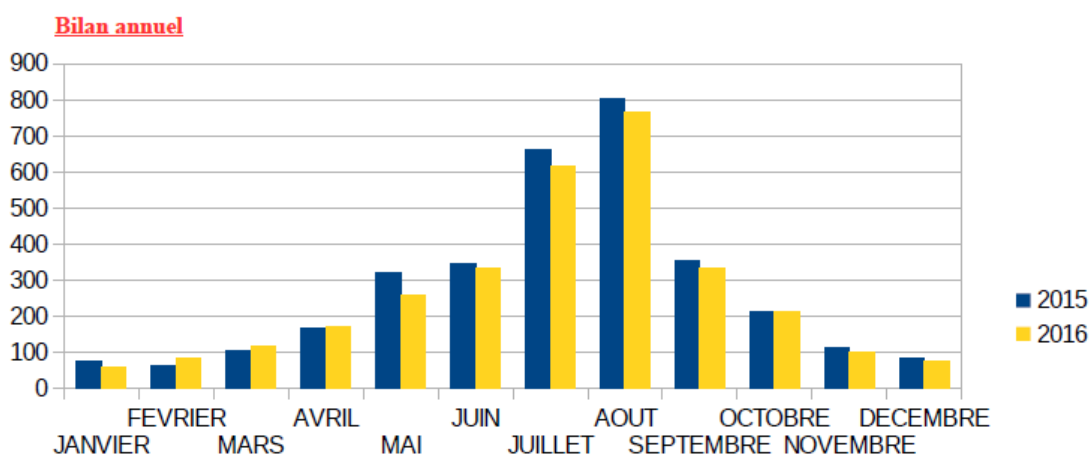


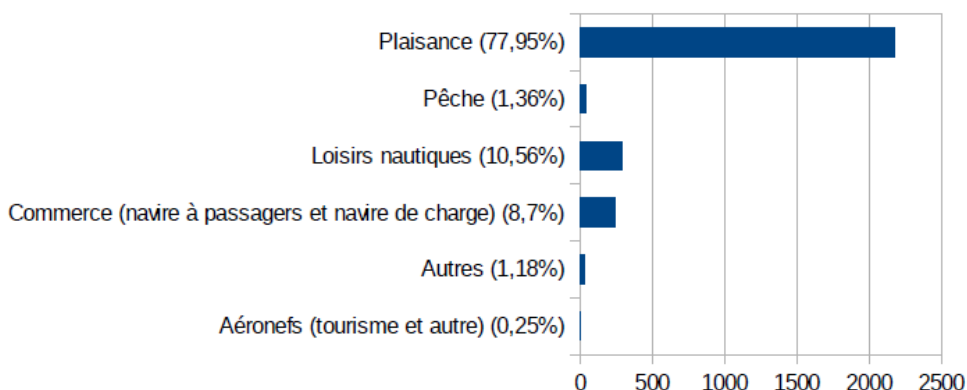
Figure 32 : Bilan annuel des opérations du CROSSMED (2015 et 2016)

L'activité n'est pas répartie sur l'ensemble de l'année puisque la saison estivale (juin à septembre inclus) concentre plus de 2/3 de l'activité du CROSSMED dans son ensemble.

Bilan par activité :

Les opérations impliquant un flotteur représentent 2794 opérations sur 3122 en 2016.

Typologie des activités impliquant des flotteurs



(\*Autre comprend les navires de l'État, les annexes ainsi que les conchylicole/aquacole).

Figure 33 : Bilan par activité (2016)

On observe que plus de 88 % des opérations impliquant un flotteur concernent la plaisance et les loisirs nautiques alors que l'activité de commerce concerne 8,7 % et la pêche 1,36 %.

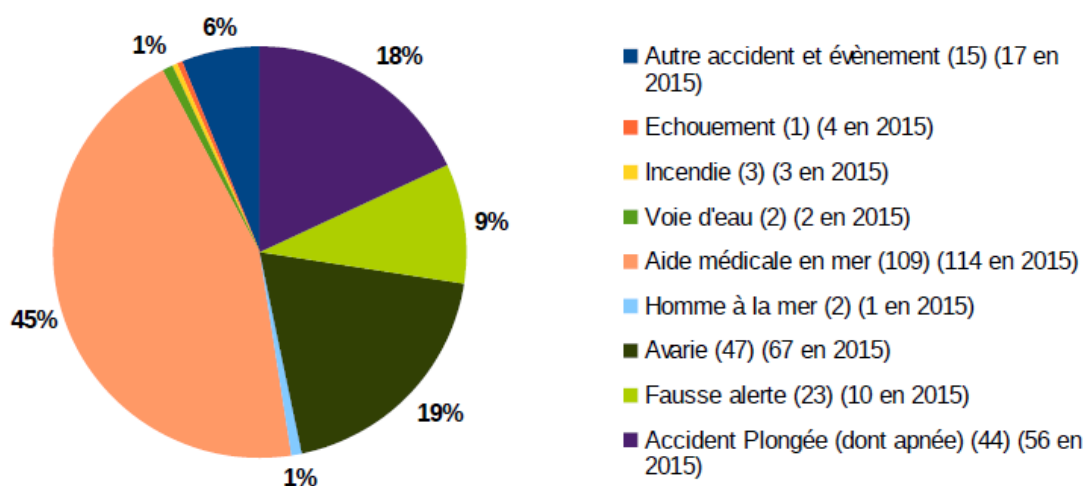


Figure 34 : Typologie des événements impliquant des navires armés au « commerce »

Le volume des opérations « commerce » 2016 est inférieur à celui de 2015 (244 opérations contre 274).

L'aide médicale en mer représente 45 % des opérations. Elle concerne principalement les paquebots et les ferries très présents dans la zone. Elle peut aussi concerner les yachts de grande plaisance.

On note que les échouements (1), les incendies (3), les voies d'eau (2) et les avaries (47), soit un total de 53 évènements représentent 21,5 % des événements des navires armés au commerce et 1,7 % des opérations du CROSSMED.

Les événements majeurs de sécurité civile en mer Méditerranée occidentale depuis 30 ans sont présentés en annexe 9.

Les faits marquants du CROSSMED sur 2015 et 2016 (Rapports d'activités) sont présentés en annexe 10.

## 5.2. Surveillance de la navigation (SURNAV)

**Le décret n° 2011-2108 du 30 décembre 2011 portant organisation de la surveillance de la navigation maritime** a consolidé le rôle des CROSS dans la conduite de cette mission qui, sous l'autorité opérationnelle des préfets maritimes, vise à prévenir les accidents et à protéger l'environnement. Le CROSSMED assure cette mission de surveillance générale de la navigation dans sa zone de responsabilité (SRR) et met en œuvre le dispositif réglementaire arrêté par le préfet maritime de la Méditerranée. Il bénéficie du concours des 19 sémaphores de la Marine nationale, implantés sur l'ensemble de la façade, qui tiennent le CROSS informé des situations locales, relaient ses décisions et assurent l'interface avec les navires.

Il est désigné **service d'assistance maritime** (« MAS ») et à ce titre, dans le cadre des règles édictées par l'Organisation maritime internationale (Résolution OMI A.950 (23) de 2003) et la direction des affaires maritimes, il a notamment pour fonction :

- de recevoir les comptes rendus et notifications imposés aux navires par les conventions internationales (transport de marchandises dangereuses, toute avarie ou incident, etc.);
- de suivre la situation d'un navire lorsqu'un compte rendu révèle un évènement à la suite duquel le navire pourrait avoir besoin d'assistance ;
- d'être le point de contact entre le capitaine et l'Etat côtier concerné lorsque la situation du navire nécessite des échanges d'informations entre ce dernier et l'Etat côtier.



Volume des opérations de SURNAV :

	<b>2016</b>	<b>2015</b>
Suivi des navires en avarie ou stoppés pour opérations de maintenance	<b>58</b>	69
Clandestins à bord de navires de commerce	<b>2</b>	4
Dérives contrôlées	<b>584</b>	524
Mouillages de navires de charge*	<b>602</b>	579
Refus de mouillage	<b>51</b>	11

*Tableau 11 : Volume des opérations de SURNAV (2015-2016)*

Près de 86,8 % des mouillages de navires de charge sont sollicités dans le cadre des opérations commerciales pour « attente d'entrée dans un port » ou « attente d'ordres ». Le CROSS, avant d'autoriser un mouillage, s'assure des conditions météorologiques et de la situation du navire au regard du « contrôle par l'Etat du port » et prend également conseil auprès du Centre Opérationnel de la Marine en matière de sûreté.

Le CROSS délivre également des autorisations de « mouillage abri » pour raisons météo (8,6 % du total).

Le CROSS a, en outre, suivi 473 mouillages de paquebots (dont 41 en Corse) et 1035 mouillages de yachts de grande plaisance (dont 89 en Corse), le long des côtes françaises soit une diminution de près de 5,5 % et 38,9 % par rapport aux chiffres de 2015.

Les refus de mouillage ont pratiquement été multiplié par cinq par rapport à 2016 avec pour motifs majoritaires les conditions météorologiques défavorables et l'absence d'opérations commerciales prévues en France (attente d'ordres ou d'instructions sur la nouvelle destination).

L'année 2016 a été marquée par une refonte majeure de l'arrêté sur les mouillages en Méditerranée ainsi qu'à la création du Dispositif de Séparation de Trafic du Canal de Corse.

On note une diminution des mouillages des paquebots et des yachts de grande plaisance surtout durant la saison estivale. Cette baisse de fréquentation constatée est probablement imputable à l'environnement sûreté du moment (suite des attentats).

## 6. DONNEES D'ENVIRONNEMENT

Les conditions météorologiques [2] sont importantes non seulement pour la détermination des probabilités d'incidents mais également pour la modélisation des conséquences d'un incident. Par exemple, la probabilité d'apparition d'une avarie de propulsion s'accroît avec les conditions météorologiques plus sévères. En raison de la différence de vitesse de dérive sous différentes conditions de vent, la longueur de la trajectoire de dérive varie et ainsi la probabilité de collision avec une des éoliennes. La vitesse de dérive donne l'énergie impliquée dans la collision, qui est le facteur le plus important dans le dommage au navire et à l'éolienne.

### 6.1. Courants aux alentours du parc éolien

Le courant induit une force supplémentaire sur le navire en cas d'avarie moteur et de dérive.

La figure suivante indique la rose des courants sur le site projet.

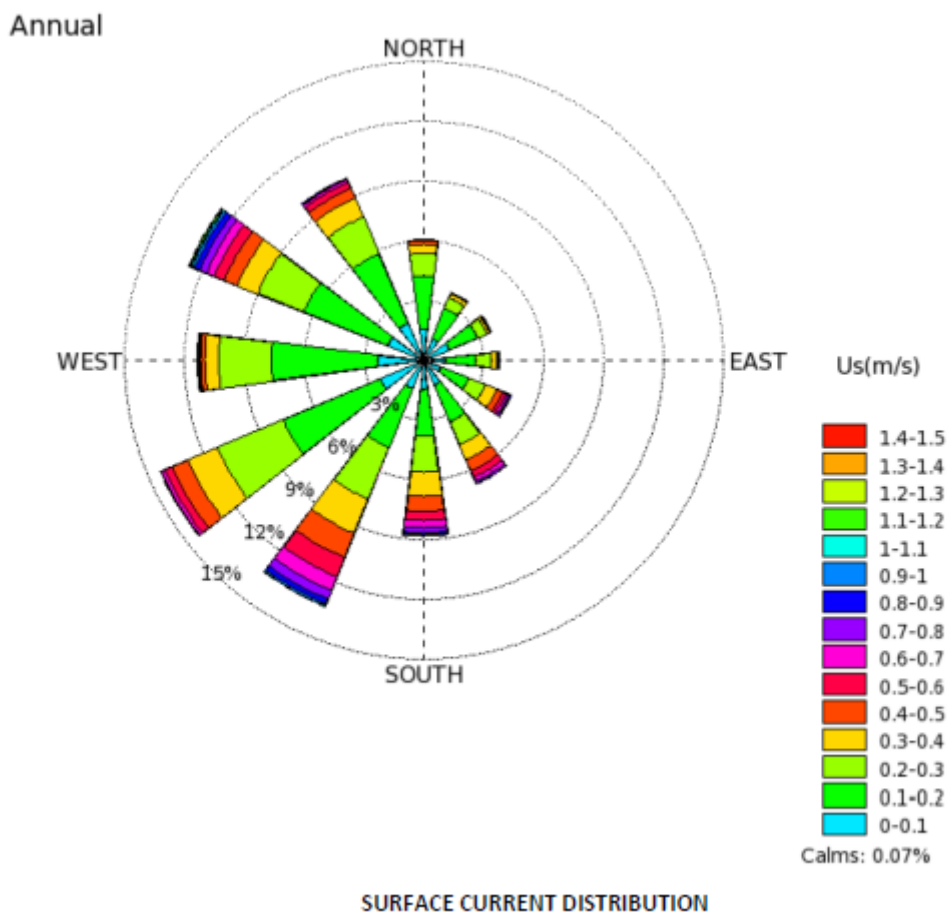


Figure 35 : Distribution des courants de surface



Les vitesses du courant sont faibles.

## 6.2. Conditions de vent à l'endroit de l'implantation du parc pilote

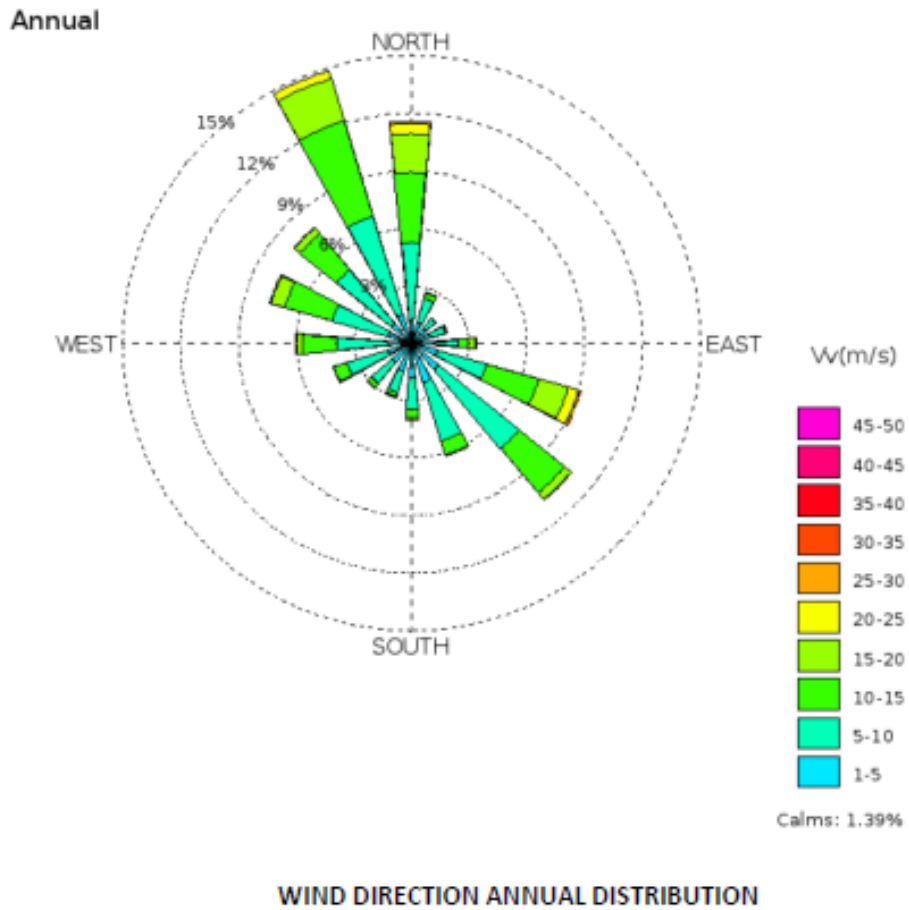


Figure 36 : Rose des vents

Les tables de vents peuvent être consultées en annexe 11.

### 6.3. Conditions de houle à l'endroit de l'implantation du parc pilote

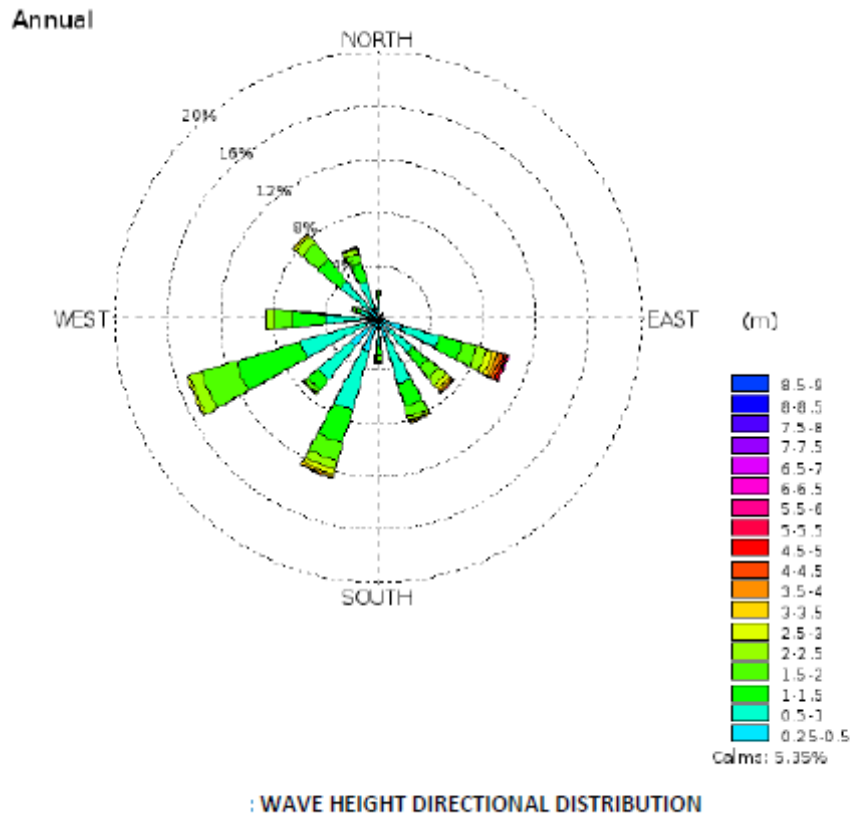


Figure 37 : Direction de la houle

## 7. PREVISIONS DE TRAFIC POUR LE PROJET

### 7.1. Prévisions à horizon 2030 pour les navires avec routes maritimes

Les prévisions de trafic pour les navires avec route maritime sont estimées avec les données du GPM de Marseille-Fos (bilans annuels de 2013 à 2016 [12] et projet stratégique 2014-2018 [5] pour l'estimation en 2018).

	2012	2013	2014	2015	2016	2018
<b>Tonnage brut total</b>	<b>85 632 633</b>	<b>79 953 641</b>	<b>78 520 233</b>	<b>81 730 592</b>	<b>80 626 669</b>	<b>86 500 000</b>
Vracs liquides (tonnes)	56 121 145	49 486 252	47 335 597	49 933 256	49 207 929	45 200 000
Vracs solides (tonnes)	12 280 460	13 173 083	13 447 982	13 894 855	12 957 602	22 000 000
Total Vracs (tonnes)	68 401 605	62 659 335	60 783 579	63 828 111	62 165 531	67 200 000
Marchandises diverses (tonnes)	17 231 028	17 294 306	17 736 654	17 902 481	18 461 138	19 400 000
<b>Nombre d'escales</b>	<b>15 670</b>	<b>15 654</b>	<b>15 487</b>	<b>15 254</b>	<b>14 920</b>	
Nombre de passagers	2 441 663	2 618 681	2 464 682	2 547 341	2 713 850	3 300 000
Nombre de conteneurs	658 039	683 438	726 239	749 036	-	
Nombre d'EVP	1 061 193	1 099 247	1 179 910	1 223 071	1 251 744	1 500 000

*Tableau 12 : Bilans annuels des échanges du GPM Marseille-Fos et estimations pour l'année 2018 issues du projet stratégique GPMM 2014-2018*

A partir de ces données, on note une diminution régulière du tonnage brut total, de 6 % entre 2012 et 2016 alors que les prévisions donnent une augmentation de 1 % entre 2012 et 2018. On note aussi une diminution du nombre d'escales de 5 % entre 2012 et 2016.

La catégorie « Cargo » représentée par les vracs solides, les marchandises diverses et les conteneurs montre une augmentation du trafic respectivement entre 2012 et 2016 de 6 %, 7 % et 18 % puis pour les prévisions entre 2012 et 2018 respectivement 79,1 %, 12,6 % et 41,4 %. Nous posons l'hypothèse que le trafic de la catégorie « **Cargo** » augmentera de 60 % entre les années de références 2015 – 2016 et 2030.

Malgré une diminution des vracs liquides (produits pétroliers, gaz, produits chimiques,...) de 12 % entre 2012 et 2016 (et une baisse estimée de 19,5 % entre 2012 et 2018) nous retenons un trafic stable en ce qui concerne la catégorie « **Tanker** » entre 2015 et 2030. En effet, les fluctuations entre le pétrole brut et les produits raffinés ainsi que le développement de l'avitaillement en GNL permettent de poser l'hypothèse d'un équilibre.

Le nombre de passagers est en augmentation de 11 % entre 2012 et 2016 et serait en augmentation de 35,2 % entre 2012 et 2018 selon les prévisions. En considérant les lignes régulières nationales à un volume stabilisé à 1Mpax, les lignes régulières internationales stabilisées à 500Kpax et une augmentation du volume des croisières à 3,6Mpax nous posons l'hypothèse d'une augmentation de trafic de la catégorie « **Passager** » de 100 % entre les années de références 2015 – 2016 et 2030.

## **7.2. Hypothèses d'intensité du trafic des navires sans route maritime en 2030**

Les navires sans route maritime étudiés sont les navires dotés d'AIS de la catégorie « Autres navires » et les navires de pêche au global (soumis à l'AIS, doté d'AIS volontairement et sans AIS) traités par densité de présence avec les données IFREMER.

La catégorie « **Autres navires** » étant composée principalement de navires de pêche, de navires de servitude et de navires de plaisance, nous posons l'hypothèse que le trafic restera stable entre les années de références 2015 – 2016 et 2030.

Etant donné que la flotte de navires de pêche décline depuis des décennies, nous retiendrons l'hypothèse conservatrice (pour la densité de présence) selon laquelle la **densité des navires de pêche** n'évoluera pas jusqu'à 2030.

## **7.3. Règles de circulation dans le parc**

La règle de navigation sur le parc pilote PGL est à l'heure actuelle un rayon d'exclusion de 100 mètres autour de chaque éolienne.

## 8. DESCRIPTION DES SCENARIOS DE COLLISION

### 8.1. Généralités

Au regard de l'activité et des vitesses de navigation, trois types de situations initiales sont considérées :

- le navire effectue des accostages aux éoliennes (ici, seuls les navires dédiés à la maintenance sont prévus),
- le navire est « de passage » (plus ou moins au voisinage du parc), c'est-à-dire suivant son itinéraire prévu,
- le navire est éloigné du parc mais sera amené sur le parc par une dérive.

Par ailleurs, deux types de collisions sont différenciés :

- les collisions frontales pour lesquelles le navire entrant en collision le fait quand il est en route (propulsion non défaillante) et en direction du parc pilote éolien,
- les collisions suite à dérive accidentelle pour lesquelles le navire entrant en collision heurte une éolienne du fait de la dérive dirigée par vents et courants.

### 8.2. Impacts

En fonction du type de collision (collision frontale ou collision après dérive accidentelle), les caractéristiques géométriques de l'impact entre le navire qui entre en collision et l'éolienne sont très différentes. Le navire qui entre en collision peut impacter l'éolienne par son bulbe (Avant) ou par son bordé (Coté).

Toutefois, nous ne considérons pas de choc frontal lié à une erreur de navigation près des éoliennes pour les navires de servitude qui seront dédiés à la maintenance des éoliennes. La mission de ces navires est en effet d'intervenir sur le parc pilote. Leur équipage est, plus que quiconque, conscient de la présence des éoliennes, habitué à la navigation au sein du parc pilote et adopte des vitesses et trajectoires d'approche adaptées. La manœuvrabilité de ces unités réduit le risque de choc frontal. Nous ne retiendrons que le risque d'une erreur lors de l'accostage.

### 8.3. Sélection des scénarios de collision

Les scénarios sélectionnés sont les suivants :

- Navire sans route maritime :

Scenario n°	Type de collision	Condition initiale	Type de navire
C1	Collision frontale	Erreur de navigation (lors de l'approche ou de l'accostage)	Navire de servitude dédié à la maintenance des éoliennes
C2	Collision frontale	Erreur de navigation	Tout type de navires navigant à proximité du parc pilote
D1	Dérive accidentelle	Perte de manœuvrabilité	Navigant à proximité du parc pilote

- Navire avec route maritime :

Scenario n°	Type de collision	Condition initiale	Type de navire
C3	Collision frontale	Erreur de navigation	Tout type de navires navigant à proximité du parc pilote
D2	Dérive accidentelle	Perte de manœuvrabilité	Navigant à proximité du parc pilote

## 9. ANALYSE QUANTITATIVE DES SCENARIOS

Les scénarios de collision frontale et par dérive sont calculés par le logiciel Driftec (cf annexe 12 et annexe 13). Seul, le scénario de collision des navires de maintenance est calculé manuellement (scénario C1).

### 9.1. SCENARIO C1 (Scénario de collision des navires de servitude dédiés à la maintenance du parc pilote)

Pour la probabilité d'erreur d'accostage, nous prendrons comme nombre d'accostages ratés la statistique de  $6,0 \times 10^{-6}$  par navire et par visite. Celui-ci correspond à la probabilité pour les accostages des navires de servitude à une installation offshore (issue de la référence bibliographique [10]).

En termes de maintenance courante, le maître d'ouvrage prévoit d'effectuer un nombre de 50 visites par an pour l'ensemble du parc.

Avec cette fréquence et une durée de vie du parc de 20 ans, on compte  $20 \times 50$ , soit 1000 visites de navires de maintenance.

Le nombre d'accostages ratés en 20 ans est estimé à  $1000 \times 6,0 \times 10^{-6}$ , soit 0.006.

Cela revient à une occurrence d'un accostage raté tous les 3333 ans pour le parc PGL.

Note : La conséquence ne serait d'ailleurs pas forcément critique, cela dépend de la taille du bateau, sa vitesse d'approche et le design du support du mât de l'éolienne ou des flotteurs.

### 9.2. SCENARIOS C2 ET C3 (Scénarios de collision frontale suite à erreur de navigation d'un navire naviguant à proximité du parc pilote)

Ce scénario prend en compte le trafic de navires sans route maritime (navires doté d'AIS de la catégorie « Autres navires » et les navires de pêche en utilisant une densité de navires d'après les données IFREMER) pour le scénario C2 et le trafic de navires avec route maritime pour le scénario C3, qui, passant à proximité, dévie sur le parc pilote éolien à cause



d'une erreur de navigation. La méthode est décrite en annexe 12. Le résultat est présenté dans la partie 10.

### **9.3. SCENARIOS D1 ET D2 (Scénarios de collision suite à dérive accidentelle suite à perte de manœuvrabilité)**

Ce scénario prend en compte le trafic de navires sans route maritime (navires doté d'AIS de la catégorie « Autres navires » et les navires de pêche en utilisant une densité de navires d'après les données IFREMER) pour le scénario D1 et le trafic de navires avec route maritime pour le scénario D2, passant dans une large zone autour du parc qui dérive sur le parc éolien à cause d'une avarie. La méthode est décrite en annexe 13. Le résultat est présenté dans la partie 10.

### **9.4. SCENARIO D3 (Scénario de collision suite à dérive accidentelle suite à rupture d'amarres ou ancrage)**

Compte tenu de la localisation du parc PGL, notamment son éloignement des zones de mouillages et jetées (minimum de 9 milles pour la zone de mouillage du GPM de Marseille-Fos) et de la surveillance à bord des navires au mouillage et de la ZMFR, ce scénario est jugé comme étant non pertinent pour cette étude et ne sera pas détaillé par la suite.

## 10. RESULTATS DE L'ETUDE DE RISQUE DE COLLISION

En utilisant séparément les différentes branches des arbres de défaillance décrits en annexes 12 et 13, et à partir des résultats et données des sections précédentes, les probabilités caractérisant chaque scénario ont été déterminées.

### 10.1. Résultats des risques de collision pour les navires sans route maritime

L'analyse donne les résultats suivants pour les navires sans route maritime :

		Probabilités qu'un navire sans route maritime entre en collision avec une éolienne du parc pilote en 20 ans				
Scénario	Type de collision	Navire de maintenance	Navires de pêche	Autres navires	Total	soit une fois tous les... ans
C1	Collision frontale	6.00E-03			6.00E-03	3333
C2	Collision frontale		2.32E-06	1.01E-03	1.01E-03	19802
D1	Dérive accidentelle		3.51E-04	1.77E-01	1.77E-01	113
	<b>Total</b>	<b>6.00E-03</b>	<b>3.53E-04</b>	<b>1.78E-01</b>	<b>1.84E-01</b>	<b>23203</b>
	Une fois tous les ... ans	3333	56606	112		

La catégorie « Autres navires » contribue principalement au risque de collision des navires sans route maritime.

La dérive accidentelle est la responsable prépondérante de cette probabilité de risque.

Il faut noter que les navires de pêche doté d'AIS, de manière obligatoire ou volontaire, sont comptés à la fois dans le calcul navires de pêche par densité de présences (d'après les données IFREMER) et aussi dans le calcul de la catégorie « Autres navires ». On remarque donc que l'importance de la catégorie « Autres navires » serait due aux autres navires de cette catégorie (plaisance, navires de service,...).

L'erreur de navigation, pour les navires de pêche et les navires de servitude dédiés aux activités locales, est très conservatrice puisque les marins de ces types de navires connaissent au mieux les zones où ils évoluent régulièrement.

Ces valeurs doivent être considérées avec une extrême prudence, car, par nature, les navires sans route maritime ont des routes peu prévisibles (non répétitives) dans le temps. On ne peut prévoir si les pêcheurs ou plaisanciers jugeront opportun de passer près du parc

éolien, au regard du risque qu'ils encourent ou bien préféreront prendre une marge de sécurité.

## 10.2. Résultats des risques de collision pour les navires avec route maritime

L'analyse donne les résultats suivants pour les navires avec route maritime :

		Probabilité qu'un navire avec route maritime entre en collision avec une éolienne du parc pilote en 20 ans				
Scénario	Type de collision	Cargo	Tankers	Passagers	Total	soit une fois tous les... ans
C3	Collision frontale	4.48E-04	1.28E-04	3.95E-05	6.16E-04	32494
D2	Dérive accidentelle	5.31E-02	2.70E-02	4.13E-07	8.01E-02	250
	<b>Total</b>	<b>5.35E-02</b>	<b>2.71E-02</b>	<b>3.99E-05</b>	<b>8.07E-02</b>	<b>248</b>
	Une fois tous les ... ans	373	737	501090		

Les tankers et les navires de type cargo sont les navires qui présentent le plus de risque de collision avec le site éolien.

Les navires à passagers présentent un risque nettement moindre dans la zone.

Les valeurs pour les navires avec route maritime sont inférieures aux valeurs des navires sans route maritime.

## 10.3. Commentaires sur les fréquences de collision

Il est important de souligner qu'un risque de collision n'est pas synonyme de risque grave. La fréquence trouvée est à relativiser avec le type de collision et le type de navires. La gravité de la conséquence dépend en effet du type de navire, de l'énergie cinétique convertie lors du choc, etc. Pour exemple, les navires de pêche sont souvent petits (en Méditerranée 93% font moins de 15m) et la collision, particulièrement si elle est en dérive, n'aura le plus souvent aucune conséquence.

Très peu de collisions frontales suite à erreur de navigation sont attendues. Les navires impliqués dans les collisions après dérive accidentelle sont majoritairement de type « autres navires », des navires qui sont par définition de petite taille par rapport aux navires avec route maritime.

Un point qui n'est pas pris en compte dans l'évaluation quantitative, c'est la proximité du parc PGL avec la zone maritime et fluviale de régulation du GPM de Marseille-Fos qui implique une attention particulière des navires et une surveillance plus soutenue.

Les chapitres suivant s'intéressent aux conséquences, afin de déterminer si les fréquences de collision sont acceptables en termes de risques.

## 11. DISCUSSION QUALITATIVE SUR LES CONSEQUENCES

Les échantillonnages des structures des flotteurs et du mât ne sont pas traités dans cette étude. L'étude des conséquences des collisions peut être menée à l'aide d'étude éléments finis. Ces études conséquentes permettent de quantifier le dommage à l'éolienne et au navire dans des conditions données. La vitesse du navire, son incidence, son chargement, la tension des ancrages, etc. sont autant de paramètres qui vont influencer sur les conséquences.

A défaut de pouvoir les quantifier, les conséquences sont par contre discutées qualitativement.

Le support de l'éolienne est de type flottant. La conséquence d'une collision d'un navire avec ce type d'éolienne n'est pas encore accessible dans la littérature disponible au public. Des études de structure (et stabilité) pourraient être menées pour mieux connaître les conséquences, en fonction de l'énergie d'impact, du type de flotteur, du type de navire. Le type d'amarrage et son dimensionnement entrainera également des conséquences diverses (influence la répartition de l'énergie).

La collision (par collision frontale ou dérive) d'un navire avec une éolienne flottante peut entraîner de (sérieux) dommages à l'éolienne, au navire, et à l'environnement en raison d'une fuite du carburant du navire, ou de dommages personnels (blessures, accidents mortels).

### 11.1. Dommages possibles pour l'éolienne

En raison de l'absorption limitée de l'énergie par l'objet subissant la collision (l'éolienne), toute l'énergie cinétique du navire impactant ne sera pas absorbée. Le comportement d'effondrement de l'éolienne sera à étudier.

Quatre scénarios principaux sont possibles :

- Scénario 1 : Le navire emporte l'éolienne, avec rupture possible des ancrages de l'éolienne, qui peut donc elle-même se mettre à dériver.

- Scénario 2 : Le navire déstabilise l'éolienne (le couple généré par la collision déséquilibre l'éolienne) qui chavire par manque de stabilité suffisante.
- Scénario 3 : Le navire endommage le flotteur de l'éolienne qui n'est plus à l'équilibre à gîte nulle. Dans le meilleur des cas, celle-ci retrouve un équilibre avec une gîte acceptable. Dans le pire des cas, celle-ci chavire (à l'eau ou sur le navire).
- Scénario 4 : Le navire rompt le mât de l'éolienne qui tombe à l'eau ou sur le navire.

En termes de conséquences, l'éolienne peut donc :

- être soumise à une dérive
- chavirer
- avoir son mât brisé ou laisser tomber un de ces éléments constitutifs

## 11.2. Dommages sur le navire et environnementaux

En cas de collision frontale ou frontale/latérale de l'éolienne, il y aura de (sérieux) dommages sur la proue du navire, mais pas de (sérieux) dommages sur le flanc du navire, où sont situées les citernes de cargaison. La structure d'un navire dans la zone de collision frontale est très rigide, ce qui y limite les dommages. Cela ne causera donc pas une fuite des hydrocarbures transportés ou du carburant.

En cas de frottement sur la partie rigide autour de la proue, le navire absorbe l'énergie cinétique sans subir beaucoup de dommages. Des dommages peuvent survenir en raison de la chute du mât de l'éolienne sur le pont.

Aucun dommage environnemental n'est attendu en cas de collision frontale, le flotteur étant construit de façon à ce qu'aucune partie ne se sépare et ne déchire la coque du navire, provoquant une fuite d'hydrocarbures et/ou produits chimiques.

Des dommages environnementaux peuvent survenir en cas de collision par dérive, là où la coque du navire peut être déchirée (impact sur le bordé) par une partie rigide du mât ou du flotteur. Cela peut provoquer une fuite d'hydrocarbures et/ou produits chimiques. Cependant pour atteindre une double-coque l'impact doit-être important.

Si la collision entraîne une voie d'eau dans le navire, le cas extrême, si elle ne peut être jugulée (rendant la stabilité du navire incontrôlable), est la perte du navire. Dans ce cas les marins doivent s'en remettre à leurs équipements de sécurité et/ou la possibilité de se réfugier sur l'éolienne en attendant les secours.

Lorsqu'une éolienne s'effondre ou chavire, des produits toxiques ou polluants (graisse, huile, batteries de l'UPS, eau glycorée, nitrogène et gaz SF 6) peuvent entraîner une pollution limitée aux quantités contenues dans chaque éolienne.

### **11.3. Dommages personnels**

Des dommages personnels (blessures, accidents mortels) ne sont attendus que lorsque le mât et/ou une partie de la turbine s'écrase sur le pont. Pour estimer la probabilité des dommages personnels, il conviendrait de procéder de la manière suivante :

A partir des fréquences estimées en cas de collision contre une éolienne par collision frontale et dérive, on procéderait successivement aux étapes suivantes par type et taille de navire :

- Le nombre de collisions estimées (collision frontale/dérive) est multiplié par la probabilité de correspondance d'un type d'effondrement ou de chavirement de l'éolienne.
- Multiplication par la probabilité que le mât/turbine tombe sur le navire.
- Multiplication par le pourcentage de surface du pont qui est endommagé. Il existe deux pré-supposés du pire pour ce facteur de multiplication :
  - Le mât tombe complètement sur le pont. En cas de contact, il est très possible que le mât ne tombe pas sur le pont complètement.
  - Les surfaces du mât et du rotor sont appliquées intégralement. Dans ce cas on suppose que le rotor tombe alors qu'il est toujours en rotation.
- Multiplication par la probabilité qu'une personne se trouve sur le pont lorsque l'éolienne y tombe.
- Multiplication par le nombre moyen de personnes à bord.

En cas de contact, les petits navires ne feront généralement que « frotter » contre le flotteur et ne le percuteront pas frontalement.

Il est à noter que les navires les plus probables pour une collision sont les navires sans route maritime de la catégorie « Autres navires », puis les catégories « Tankers » et « Cargos ». Ces deux types de navires ont des équipages relativement réduits (de 2-3 personnes pour des navires de plaisance à une douzaine de personnes pour des navires de marchandises).

Les ferries et autres grands navires à passagers ont un risque proche de zéro d'entrer en collision avec les éoliennes du parc, du fait de leur quasi absence de la zone voisine et de la fiabilité de leur système propulsif.

Toutefois, un développement touristique du site pourrait entraîner l'exploitation de petits navires à passagers.

## 12. ACCEPTABILITE DU RISQUE

Les conséquences des collisions ne sont pas quantifiées. L'acceptabilité de certains scénarios ne peut être déterminée a priori. Nous proposons néanmoins des critères d'acceptation formalisés selon deux approches.

### 12.1. Première approche - PGL

Une première approche consiste en l'adoption d'une matrice d'acceptabilité identique à celle utilisée dans la première étude PGL qui correspond à la même acceptation du risque que celle du site d'essai Mistral.

La durée de vie du projet Provence Grand Large (20 ans) permet d'« accepter » quatre fois plus d'occurrences que le projet Mistral (dont la durée de vie était de 5 ans).

La définition des fréquences d'occurrences est adaptée des Guidelines de l'IMO (FSA : Formal Safety Assessment process) :

		Conséquences sur personnes/ éolienne / navire impactant / environnement				
		N°1 Brèche dans la coque du navire sans pollution/ Eolienne endommagée	N°2 Blessures légères/ Pollution mineure/ Eolienne chavirée ou détruite	N°3 Blessures graves Pollution majeure/ Rupture double coque / explosion/Perte	N°4 Décès	
Nombre d'occurrences durant la durée de vie du parc pilote (20 ans)	Fréquent	$4 < n < 4 * 10^{+2}$	Inacceptable	Inacceptable	Inacceptable	Inacceptable
	Raisonnement probable	$4 * 10^{-2} < n < 4$	Acceptable	Inacceptable	Inacceptable	Inacceptable
	Rare	$4 * 10^{-4} < n < 4 * 10^{-2}$	Acceptable	Acceptable	Inacceptable	Inacceptable
	Extrêmement rare	$n < 4 * 10^{-4}$	Acceptable	Acceptable	Acceptable	Inacceptable

Tableau 13 : Matrice d'acceptabilité du risque



Les résultats de l'étude pour chaque scénario, traités selon les critères ci-dessus, donnent les résultats suivants :

Les scénarios de collision jugés acceptables sont identifiables par la couleur verte, les scénarios en rouge sont inacceptables et les scénarios en blanc sont à discuter ou à préciser au niveau des conséquences:

Scénario n°	Type de collision	Description	Nombre d'occurrences pendant la durée de vie du parc (20 ans)	Conséquences probables estimées
C1	Collision frontale	Accostant à l'éolienne	6.00E-03 Rare	Petit navire adapté aux accostages d'éoliennes. Peu de dommages attendus (niveau 1).
C2	Collision frontale	Navigant à proximité du parc (navires sans route maritime)	1.01E-03 Rare	Les navires concernés sont des petits navires. L'impact de ces navires n'impliquera pas de dégâts importants sur l'éolienne mais peut avoir des conséquences importantes sur le navire en lui-même et sur son équipage (entre le niveau 2 et le niveau 3).
C3	Collision frontale	Navigant à proximité du parc (navires avec route maritime)	6.16E-04 Rare	Les navires de type « Cargo » et « Tankers » sont les principaux navires concernés. L'énergie impliquée dans une collision frontale d'un navire de marchandise peut avoir des conséquences importantes sur l'éolienne (niveau 2) mais resteront limitées sur le navire (niveau 1 à 2)
D1	Dérive accidentelle	Navigant à proximité du parc (navires sans route maritime)	1.77E-01 Raisonnement probable	Petit navire. Peu de dommage attendu du fait de la vitesse d'impact limitée (niveau 1).
D2	Dérive accidentelle	Navigant à proximité du parc (navires avec route maritime)	8.01E-02 Raisonnement probable	Les navires de type « Cargo » et « Tankers » sont les principaux navires concernés. L'énergie impliquée dans une collision par dérive d'un navire de marchandises peut avoir des conséquences limitées sur l'éolienne (niveau 1 à 2) et resteront limitées sur le navire (niveau 1).

Tableau 14 : Acceptabilité des scénarios

Les scénarios C1, C3 et D1 sont déterminés acceptables à partir des résultats de l'étude quantitative, de l'évaluation qualitative des conséquences et de la matrice d'acceptabilité.

Les scénarios C2 et D2 ne peuvent pas être classés de manière catégorique.

Le scénario C2 (collision frontale de navires sans route maritime) a un niveau d'occurrence relativement élevé (raisonnablement probable) mais l'incertitude réside sur le niveau des conséquences. En effet, un navire de petite taille lors d'une collision frontale liée à une erreur de navigation aura une vitesse impliquant des dommages potentiellement importants sur l'équipage et l'intégrité du navire. Rappelons tout de même que les navires de pêche et de servitude (liés à l'activité du GPM de Marseille-Fos) ont une bonne connaissance du secteur ce qui limite les erreurs mais que les navires de plaisance représentent presque 78 % des opérations impliquant un flotteur pour le CROSS MED en 2016.

Le scénario D2 (collision suite à dérive accidentelle de navire avec route maritime) a aussi un niveau d'occurrence relativement élevé (raisonnablement probable) mais l'incertitude réside sur le niveau des conséquences. Une collision suite à une dérive accidentelle peut atteindre le bordé du navire (partie plus vulnérable que le bulbe) mais la vitesse d'impact réduite ainsi que la mobilité de l'éolienne flottante tendent à penser que la coque du navire peut-être impactée mais pas la cargaison.

Nota Bene : Les scénarios C2 et D2 pourraient être évalués en termes de conséquences dans des études complémentaires afin de déterminer leur acceptabilité.

## 12.2. Deuxième approche – NOR DEVT1613199

A titre de comparaison, une deuxième approche est proposée par l'adoption d'une matrice d'acceptabilité éditée par le Ministère de l'environnement, de l'énergie et de la mer (Note technique du 11 juillet 2016 relative aux mesures de sécurité maritime applicables à la planification d'un champ éolien en mer NOR DEVT1613199, texte non paru au journal officiel).

Les échelles de gravité (SI) et de fréquence sont les suivantes :

SI	GRAVITÉ	EFFETS SUR LA SÉCURITÉ des personnes	EFFETS sur les biens	S (équivalent-morts/an)
1	Mineure	Lésions corporelles simples ou légères	Domage localisé au matériel	0,01
2	Significative	Lésions corporelles multiples ou graves	Domage peu important	0,1
3	Grave	Un mort ou des lésions corporelles multiples graves	Domage grave	1
4	Catastrophique	Plusieurs morts	Perte totale	10

Tableau 15 : Echelle de gravité (SI) de la note NOR DEVT1613199

FI	FRÉQUENCE	DÉFINITION	F (fréquence par année dans la zone d'étude)
7	Fréquent	Susceptible de se produire une fois par mois	10
5	Raisonnement probable	Susceptible de se produire une fois par an	0,1
3	Rare	Susceptible de se produire une fois tous les 5 ans	0,001
1	Extrêmement rare	Susceptible de se produire une fois sur une période de 20 ans	0,00001

Tableau 16 : Echelle de fréquence (FI) de la note NOR DEVT1613199

FI	FRÉQUENCE	GRAVITÉ SI			
		1	2	3	4
		Mineure	Significative	Grave	Catastrophique
7	Fréquent – 10	8	9	10	11
6	1	7	8	9	10
5	Raisonnement probable – 0,1	6	7	8	9
4	0,01	5	6	7	8
3	Rare – 0,001	4	5	6	7
2	0,0001	3	4	5	6
1	Extrêmement rare – 0,00001	2	3	4	5

Tableau 17 : Matrice d'acceptabilité du risque (RI) de la note NOR DEVT1613199

Légende :

La couleur rouge correspond à un niveau de risque inacceptable.

La couleur jaune correspond à un niveau de risque acceptable ALARP.

La couleur verte correspond à un niveau de risque acceptable.

Les résultats de l'étude pour chaque scénario, traités selon les critères de cette note, donnent les résultats suivants :

Scénario n°	Type de collision	Description	Fréquence par an	Fréquence FI	Gravité SI	Risque RI
C1	Collision frontale	Accostant à l'éolienne	3.00E-04	3	2	5
C2	Collision frontale	Navigant à proximité du parc (navires sans route maritime)	5.06E-05	2	3	5
C3	Collision frontale	Navigant à proximité du parc (navires avec route maritime)	3.08E-05	2	3	5
D1	Dérive accidentelle	Navigant à proximité du parc (navires sans route maritime)	8.87E-03	4	2	6
D2	Dérive accidentelle	Navigant à proximité du parc (navires avec route maritime)	4.01E-03	4	3	7

Tableau 18 : Résultats des scénarios suivant la note NOR DEVT1613199

Les scénarios étudiés sont tous classés avec un niveau de risque acceptable ALARP<sup>2</sup>.

L'ensemble des résultats (acceptabilité initiale et acceptabilité à partir de la note NOR DEVT1613199) montre que le risque de collision généré par l'implantation du parc éolien Provence Grand Large est acceptable sous réserve de démontrer que toutes les mesures raisonnables sont mises en place.

<sup>2</sup> ALARP (As Low As Reasonably Practicable) désigne un risque acceptable s'il est considéré aussi faible que cela est raisonnablement possible.

### 13. MESURES DE LIMITATION DU RISQUE

Le premier levier pour limiter le risque de collision est d'agir sur l'occurrence.

Pour les collisions liées aux accostages de maintenance, les points limitant l'occurrence sont :

- Le choix du/des navire(s) de maintenance devant accoster aux éoliennes (caractéristiques, protections,...),
- La formation des marins à l'accostage aux éoliennes flottantes et plus particulièrement celles du parc PGL (approche par rapport au flotteur),
- La définition des limites météorologiques pour intervenir sur les éoliennes.

Pour les collisions liées aux erreurs de navigation, les points limitant l'occurrence sont :

- L'information des navigants (Avis aux navigants diffusés par les moyens de communication appropriés),
- La bonne visibilité directe des éoliennes en suivant les prescriptions de l'AIMS O-139 (signalisation des structures artificielles en mer) [3],
- La bonne visibilité indirecte avec l'équipement de chaque éolienne d'une balise AIS,
- La surveillance opérée par l'exploitant (vidéosurveillance, possible alerte sur l'approche d'un navire et prise de contact par VHF,..),
- L'installation éventuelle d'une antenne radar déportée sur l'une des éoliennes.

Pour les collisions liées à une dérive d'un navire de passage, les points limitant l'occurrence sont :

- La surveillance des navires signalés en perte de manœuvrabilité (obligation réglementaire faite aux navires) réalisé par le CROSS et le port dans la ZMFR,
- La disponibilité de moyens de remorquage adaptés aux navires. Dans l'étude nous avons considéré uniquement les remorqueurs d'intervention de haute mer pour stopper tous les navires mais en pratique d'autres navires peuvent intervenir en fonction de la taille (navire non spécialisé pour des navires de plaisance, navires de la SNSM pour des tailles intermédiaires et remorqueurs portuaires pour les plus gros).

Le deuxième levier au niveau des conséquences, en fonction d'études complémentaires des conséquences porterait sur :

- Le design du flotteur (limiter les arêtes vives par exemple pour réduire l'impact sur un navire abordant le flotteur),
- Le design de l'éolienne (pour réduire la chute de pièce ou la perte de polluant),
- Et le design des ancrages (pour éviter que l'éolienne ne parte à la dérive suite à une collision).

La saisonnalité des navires de la catégorie « Autres navires », menant au risque D1 le plus fréquent, peut être prise en compte par une surveillance particulière de mai à octobre (période de présence principale des plaisanciers).

La proximité de la ZMFR du GPM de Marseille-Fos est un avantage qui pourrait être augmenté en termes de surveillance (surveillance de la ZMFR et autour du parc) et en termes d'intervention sur un navire en avarie (accords pour l'intervention d'un remorqueur du port).

La surveillance du parc éolien doit être en liaison particulière avec le CROSS MED (arrêt et extinction des éoliennes à la demande du CROSS pour intervention des moyens de sauvetage).

En cas d'homme à la mer, une plateforme d'accès pour naufragés sur les éoliennes serait une mesure de diminution du risque humain.

En ce qui concerne les phases de chantier du parc éolien (mise en place et démantèlement), qui ne font pas l'objet de l'étude, des précautions supplémentaires doivent être mises en place (arrêté préfectoral, AVURNAV, navire « chien de garde », balisage temporaire,...).

## ANNEXES

## ANNEXE 1 : ELEMENTS CONSTITUTIFS DU PROJET

Les différents éléments composant le parc éolien flottant pilote et son raccordement électrique sont décrits dans les paragraphes suivants, en distinguant les parties maritime et terrestre.

### 1. Eoliennes

#### 1.1. Présentation de l'éolienne SWT-8.0-154

La turbine retenue pour le projet est l'éolienne de nouvelle génération SWT-8.0-154 développée par la société Siemens. D'une puissance unitaire de 8 MW, elle est équipée d'une génératrice dite à entraînement direct, donnant ainsi davantage de robustesse et de fiabilité à l'ensemble. Pour cette turbine, Siemens met en œuvre une technologie éprouvée pour ses précédents modèles de 6 et 7 MW. Ainsi, l'éolienne bénéficie de toutes les innovations et optimisations testées et mises en œuvre pour les turbines à entraînement direct de grande dimension.

La technologie d'entraînement direct permet de réduire le nombre de composants par rapport à la technologie de train d'entraînement avec multiplicateur. Cette combinaison optimale entre solidité et légèreté de la nacelle a une incidence significative sur la baisse des coûts d'infrastructure, d'installation et de maintenance, tout en augmentant le productible sur la durée d'exploitation.



*Figure 38 : Eolienne SWT-8.0-154 installée depuis janvier 2017 sur le site d'Østerild au Danemark*



Le rotor de l'éolienne (partie tournante) présente un diamètre de 154 mètres, présentant une surface balayée de 18 627 m<sup>2</sup>. Il permet de maximiser le productible pour tout type de site en mer, des eaux plus calmes aux ressources de vent modérées jusqu'aux sites de haute mer les plus exposés.

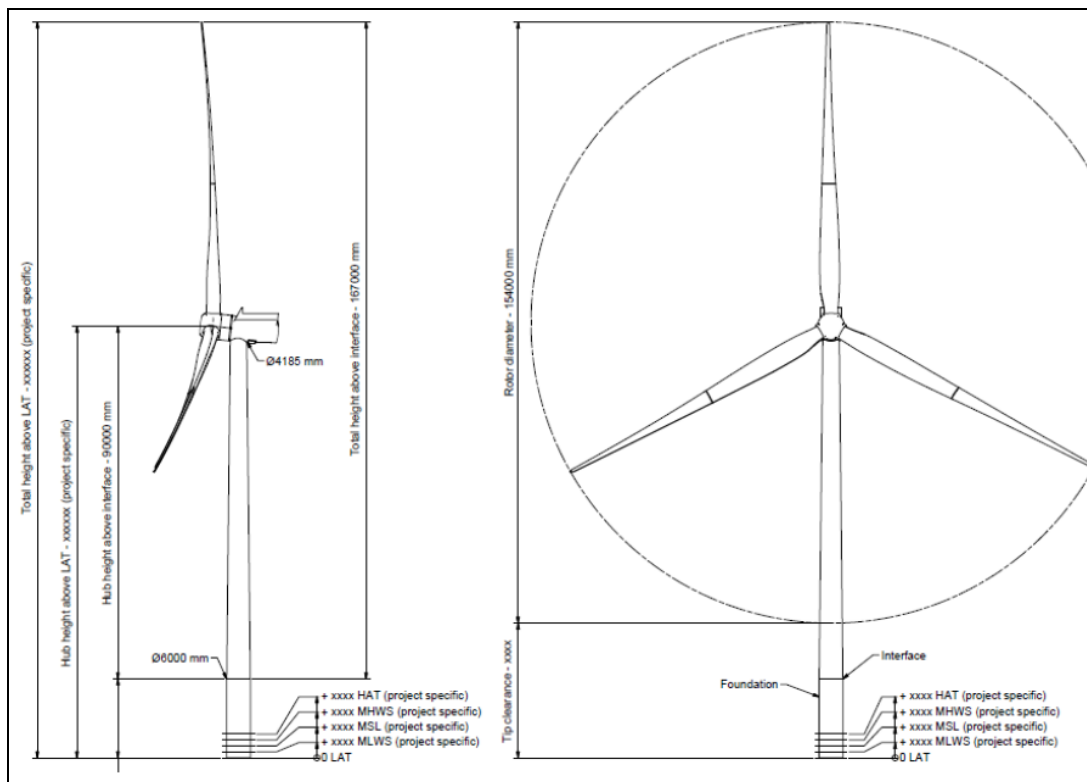


Figure 39 : Caractéristiques de l'éolienne SWT-8.0-154 (Source Siemens)

Les dimensions de la nacelle sont précisées sur la figure ci-après.

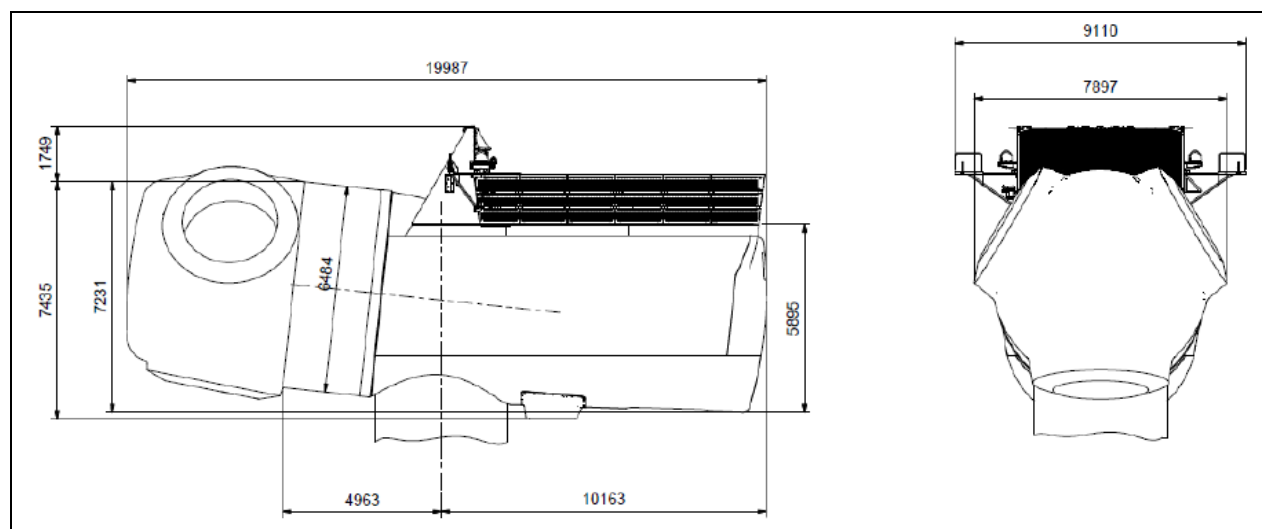


Figure 40 : Dimensions de la nacelle (valeurs données en mm) (Source Siemens)

Les caractéristiques générales de l'éolienne Siemens SWT-8.0-154 sont présentées dans le tableau ci-dessous :

<b>Caractéristiques générales de la turbine Siemens SWT-8.0-154</b>	
<b>Puissance nominale</b>	8 MW
<b>Vitesse de vent de démarrage</b>	3-5 m/s
<b>Vitesse de vent nominale de fonctionnement</b>	15 m/s
<b>Vitesse de vent maximale de fonctionnement</b>	25 m/s
<b>Position du rotor par rapport au mât</b>	Rotor face au vent
<b>Hauteur de la nacelle</b>	105 m environ au-dessus de la mer
<b>Masse du mât</b>	≈ 400 tonnes
<b>Masse de la turbine (nacelle + rotor)</b>	≈ 430 tonnes
<b>Diamètre du rotor</b>	154 m
<b>Nombre de pales</b>	3 pales, axe horizontal
<b>Longueur des pales</b>	75 m
<b>Matériau des pales</b>	Armature balsa, revêtement fibre de verre et résine époxy
<b>Masse des pales</b>	28 tonnes par pale
<b>Surface balayée par les pales</b>	18 627 m <sup>2</sup>
<b>Plage de vitesse de rotation</b>	0-13 trs/min
<b>Vitesse de rotation nominale</b>	10,3 trs/min
<b>Système d'orientation de la nacelle</b>	Moteur électrique
<b>Méthode de régulation de la puissance</b>	Système de régulation aérodynamique actif par pas variable
<b>Freinage de la machine</b>	Frein automatique à disque hydraulique
<b>Type de génératrice</b>	Synchrone à aimants permanents, entraînement direct
<b>Système de refroidissement de la génératrice</b>	Système de refroidissement à l'eau LiquidLink®, radiateurs de refroidissement passifs montés au sommet de la nacelle

Tableau 19 : Principales caractéristiques de l'éolienne Siemens SWT-8.0-154

Les dimensions de la nacelle sont d'environ 20 m x 9 m x 9 m (L x l x H) (moyeu compris). Son poids est de l'ordre de 370 tonnes. La nacelle contient des éléments structurels (châssis, couplage du rotor, roulements), des composants électromécaniques (génératrice, bloc convertisseur, système d'orientation au vent, système d'ajustement des pales, système de refroidissement) et des éléments de sécurité (éclairage, extincteurs, freins).

Les pales sont essentiellement fabriquées à partir de revêtement fibre de verre et résine époxy avec des renforts en matériaux composites. Chaque pale a une longueur de 75 m, une largeur de 5 m au plus et pèse 28 tonnes.

Le mât est conique, en acier, divisé en trois tronçons. Son poids est d'environ 400 tonnes pour un diamètre variant de 6 mètres à la base à 4 mètres au sommet. Le mât contient des structures secondaires internes (plateformes, échelles, monte-charge), des équipements électriques et des équipements de sécurité (éclairage, extincteurs). Les sections de tour sont assemblées au moyen de brides boulonnées.

Une fois l'éolienne installée sur sa fondation flottante, la hauteur en bout de pales sera inférieure à 185 m au-dessus du niveau de la mer.

Le tirant d'air, qui correspond à la distance entre le bas des pales et le niveau moyen de l'eau, sera au minimum de 20 m au repos, c'est-à-dire pour un vent nul et une mer calme.

Les éoliennes sont configurées pour commencer à fonctionner à partir de 3 m/s de vent (la vitesse de rotation est étant alors de 4 tours par minute), et à s'arrêter automatiquement lorsque le vent dépasse 25 m/s (la vitesse de rotation est étant alors de 12 tours par minute). Sur requête du maître d'ouvrage (opérations de maintenance) ou des autorités maritimes (intervention de moyens de sauvetage), les éoliennes peuvent être arrêtées, en particulier dans une position avec une pale le long du mât (position « Y »), ou une pale vers le haut dans le prolongement du mât (position « A »).

Pour s'arrêter, les pales de l'éolienne sont mises en drapeau (dans le lit du vent), ce qui provoque un ralentissement de la vitesse de rotation et finalement l'arrêt du rotor. Le rotor utilise un frein à disque hydraulique, la position à l'arrêt est maintenue grâce à un verrou hydraulique à 3 sécurités.

Le niveau d'émission acoustique maximum est de 116.0 dB(A) (63 Hz à 8 kHz).

## 1.2. Système de conversion de l'énergie et contrôle

Chaque éolienne est équipée d'un convertisseur dédié avec un transformateur qui assure la régulation et l'optimisation de l'énergie produite selon la vitesse de rotation du rotor. Ce convertisseur assure également la mise en sécurité de la turbine, sur la base de plusieurs capteurs fixés sur les principaux systèmes mécaniques et électriques.

En complément, le contrôle et le suivi à distance de la ferme est réalisé par un système SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition), qui permet de coordonner les actions sur chaque éolienne et d'équilibrer le fonctionnement.

### 1.3. Prévention de la pollution

Chaque éolienne, conçue pour préserver la santé et la sécurité des équipes d'intervention, est conforme aux normes internationales relatives à la sécurité des installations électriques des unités mobiles et fixes en mer. Des détecteurs de fumée sont placés dans l'ensemble des compartiments électriques de l'éolienne suivant la norme EN 54. Les systèmes automatiques d'extinction des incendies sont de type gaz inertes (Argonite, Argogène ou équivalent) ou combinaison de brouillard d'eau et de mousse à air comprimé selon le compartiment de la turbine. Tous les équipements principaux et auxiliaires sont supervisés et contrôlés en permanence par un système dédié, à la fois de manière automatique et par des opérateurs assurant une surveillance 24 heures sur 24 et 7 jours sur 7.

De plus l'éolienne est dotée d'un système permettant d'écouler les eaux pluviales sans pollution du milieu marin. Elle comporte des systèmes de rétention et de séparation des huiles et des eaux polluées au niveau de chaque composant mécanique et/ou électrique afin de préserver le milieu marin de fuites éventuelles et de toute pollution. Les fluides issus de ces systèmes sont collectés par navires et traités à terre. Le volume de chaque bac de rétention est conçu pour récupérer la fuite la plus importante qui pourrait se produire au niveau du composant défaillant.

La liste des produits toxiques ou polluants figure dans le tableau ci-dessous :

Substance	Volume
Graisse	180 litres
Huile	4900 litres
Eau glycorée	660 litres
Nitrogène	63600 litres
Gaz SF 6	4.8 kg

Tableau 20 : Liste des produits chimiques de l'éolienne

### 1.4. Peinture et revêtement

La protection des éoliennes contre la corrosion due à l'environnement marin est assurée par l'application de peintures anticorrosion sur les composants de la structure de l'éolienne. La peinture utilisée sera basée sur les spécifications standards de peinture de Siemens. Il s'agit

de différentes catégories de peinture qui dépendent du type de structure et de la zone d'application:

- Zone externe ;
- Zone interne – structure principale ;
- Zone interne – structure secondaire.

Les peintures utilisées respecteront la série de norme ISO 12944.

L'air ambiant à l'intérieur de l'éolienne circule naturellement entre les différentes parties de l'éolienne (nacelle, tour). Un système de dés-humification permet de garantir de surcroît les composants internes de l'éolienne afin d'assurer un taux d'humidité inférieur à 60%. Le niveau d'humidité est mesuré en plusieurs endroits de l'éolienne. Une alarme est déclenchée et renvoyée à un opérateur si le taux d'humidité dépasse le niveau maximum admissible.

## 2. Flotteur et ancrage

### 2.1. Présentation de la fondation flottante

La solution plateforme à lignes tendues, dite « TLP » terme anglais qui signifie littéralement «Tension Leg Platform», a été retenue pour les fondations flottantes des éoliennes. La fondation flottante se compose de plusieurs parties :

Quatre corps de bouées, aussi dénommés caissons de flottaison, qui soutiennent la masse de l'éolienne et génèrent la tension dans le système d'ancrage (principe de la poussée d'Archimède) ;

Une structure tubulaire qui les joint;

Une pièce de transition sur laquelle est fixée l'éolienne;

Une plateforme en permanence émergée permettant l'accès à l'éolienne et formant ainsi le pont de la fondation flottante.

Le schéma de la fondation flottante, développée par la société SBM Offshore en partenariat avec l'IFPEN, est présenté sur la figure ci-dessous :

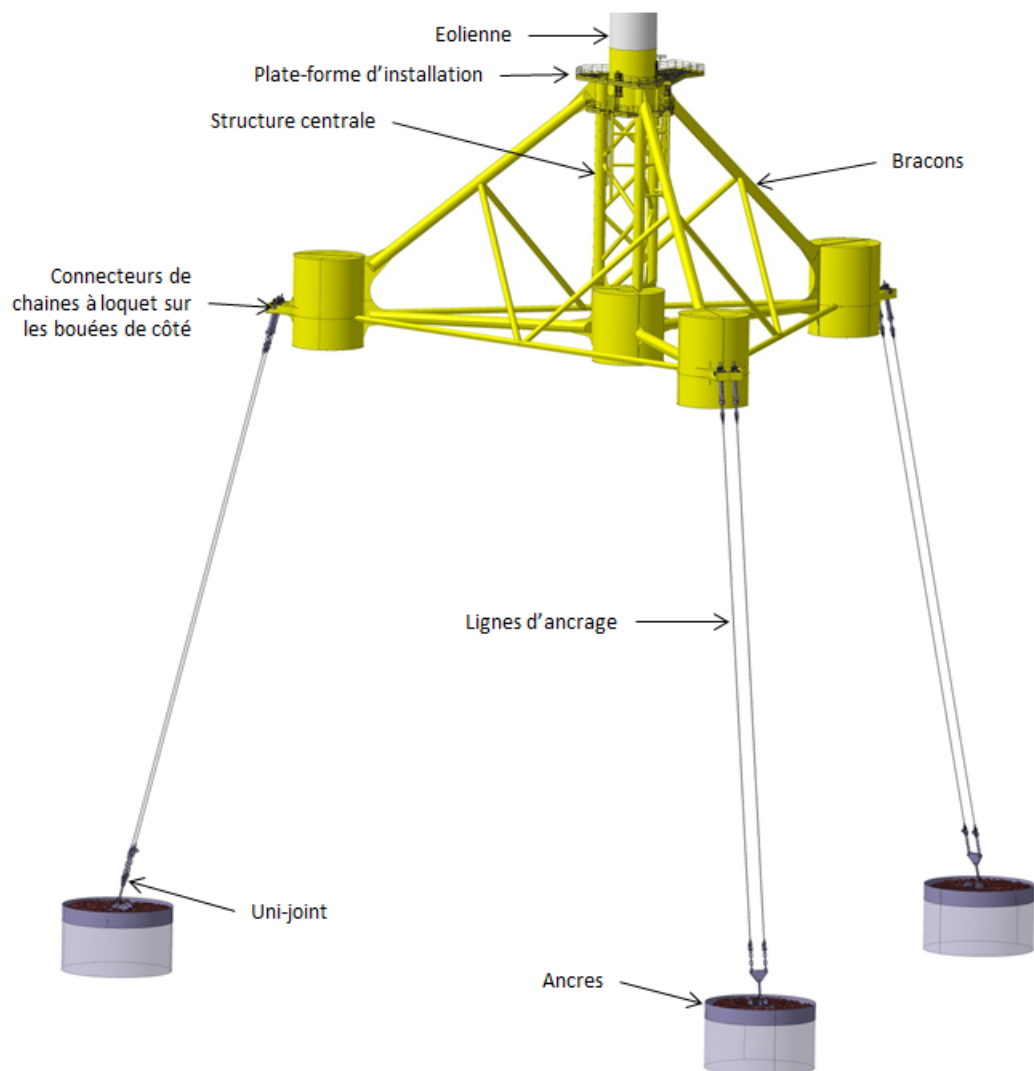


Figure 41 : Principaux composants du flotteur et de son système d'ancrage (Source SBM Offshore, 2016)

La bouée centrale est dimensionnée pour reprendre le poids de la turbine, les bouées périphériques reprennent, quant à elles, la tension dans les ancres. Chaque colonne est reliée à la partie centrale par un treillis de poutres. Cette disposition permet de minimiser les efforts dans la structure tubulaire du flotteur et d'en optimiser la masse d'acier.

La figure suivante illustre le treillis composé de différents types de poutre ou bracon.

Les bracons verts sont dénommés de type A ;

Les bracons jaunes sont dénommés de type B ;

Les bracons violets sont dénommés de type C ;

Les bracons bleus sont dénommés de type Support.

Les bracons A, B et C définissent le système primaire du flotteur. En particulier, la répartition des efforts imposés par l'éolienne jusqu'aux ancrages se fait par les bracons de type A, B et supports. Les bracons de type C assurent la cohérence d'ensemble de la structure.

Les bracons bleus définissent la structure secondaire du flotteur. Ils permettent de réduire la portée des tubes primaires pour la tenue au flambement.

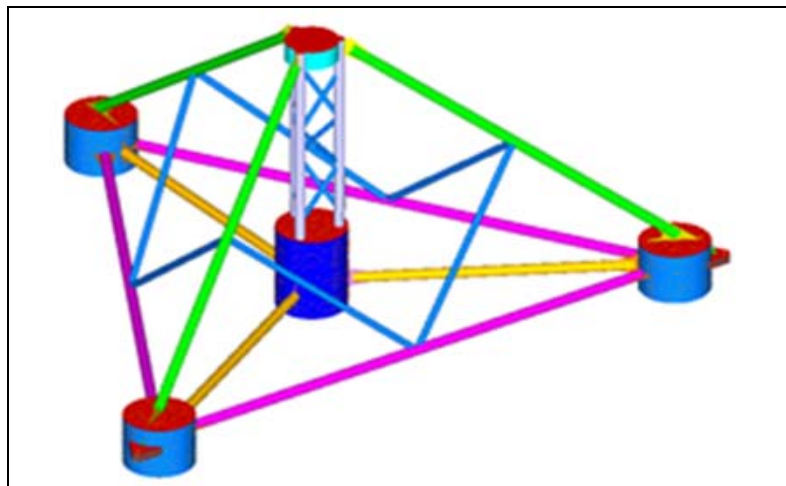


Figure 42 : Modèle structurel de la fondation flottante (Source SBM Offshore, 2016)

## 2.2. Le flotteur

### 2.2.a) Caractéristique du flotteur

La fondation flottante intègre des principes conceptuels permettant d'éviter et réduire l'impact sur l'environnement et les usages (navigation, pêche,...) :

- Une excursion de l'éolienne flottante réduite en raison d'un rayon d'ancrage limité;
- Une emprise limitée sur les habitats marins car les lignes d'ancrage ne reposent pas sur les fonds.

Le tirant d'eau du flotteur, c'est-à-dire sa partie immergée, est d'environ 25m. Ainsi, les caissons de flottaison se trouvent bien en-dessous du niveau de la mer, limitant l'impact des vagues et évitant les collisions avec les bateaux. La partie émergée, fortement réduite, offre une faible prise au vent et aux vagues, contribuant à stabiliser l'ensemble. La bride d'interface entre le flotteur et la tour se trouve à environ 15m au-dessus le niveau de la mer.

Les principales caractéristiques du flotteur (valeurs susceptibles d'évoluer en cours d'exécution du projet) sont présentées dans le tableau suivant :

Caractéristiques générales du flotteur	
Longueur	< 90 m
Largeur	< 90 m
Tirant d'eau en phase opérationnelle	~ 25 m
Tirant d'eau en phase de remorquage	< 10 m
Matériau flotteur	Acier
Masse flotteur	< 1 700 tonnes
Masse flotteur incluant les équipements et ballast d'ajustement du poids de construction	< 1900 tonnes
Elévation de la plate-forme principale de travail	11 m environ par rapport au niveau de la mer
Elévation de la bride d'interface	15 m environ par rapport au niveau de la mer

Tableau 21 : Principales caractéristiques du flotteur

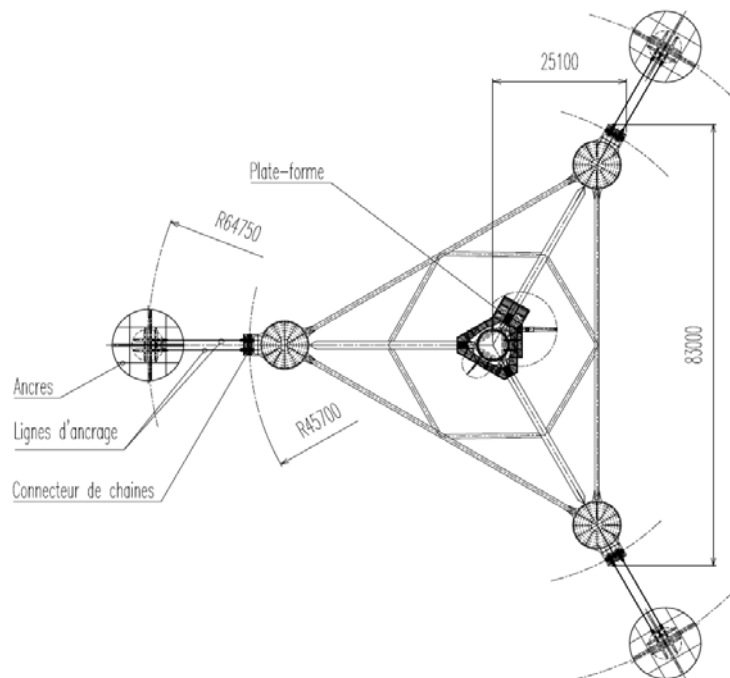




Figure 43 : Disposition de la fondation flottante et de son système d'ancrage (Source SBM Offshore, 2016), dimensions indicatives

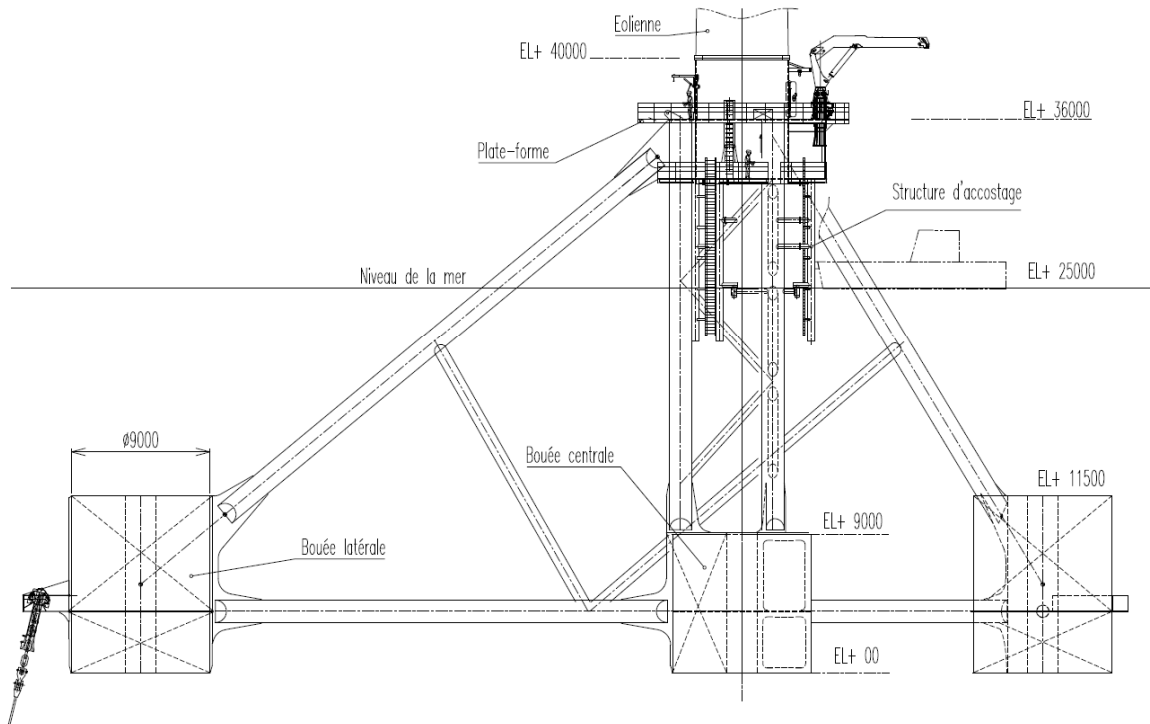


Figure 44 : Description du flotteur (Source SBM Offshore, 2016), dimensions indicatives

## 2.2.b) Systèmes de ballast

Le flotteur ne nécessite pas de ballastage pendant les phases d'installation ou d'exploitation.

## 2.2.c) Equipements

Les éoliennes flottantes sont conçues pour fonctionner de manière autonome (sans présence de personnel sur les structures). Une interface utilisateur est présente dans le flotteur mais la supervision du parc éolien s'effectue depuis la terre. L'éolienne flottante n'est pour cette raison pas considérée comme habitée. L'éolienne flottante est pourvue des appareils mécaniques nécessaires à l'exploitation, la maintenance et l'entretien tels qu'une grue extérieure. Les deux grues situées sur la plate-forme principale de la fondation flottante assurent le chargement et déchargement des équipements sur les navires de service.

Les éoliennes flottantes nécessitent des systèmes auxiliaires d'alimentation pour assurer la prévention et l'extinction des incendies, les alimentations de secours en cas de coupure du réseau public de transport d'électricité, la supervision ainsi que le contrôle-commande des éoliennes.

### 2.2.d) Accès au flotteur

L'accès du personnel au flotteur se fait par bateau à l'aide de deux structures d'accostage, qui débouchent sur la plateforme secondaire au moyen d'échelles. A partir de ce niveau, un autre jeu d'échelles permet d'atteindre la plateforme principale, sur laquelle sont situés les principaux moyens de levage et l'accès à la porte étanche au pied du mât.

Les structures d'accostage pourront accueillir d'éventuels naufragés de la mer cependant l'accès à la plate-forme principale ainsi qu'à l'éolienne n'est possible que pour le personnel autorisé et habilité.

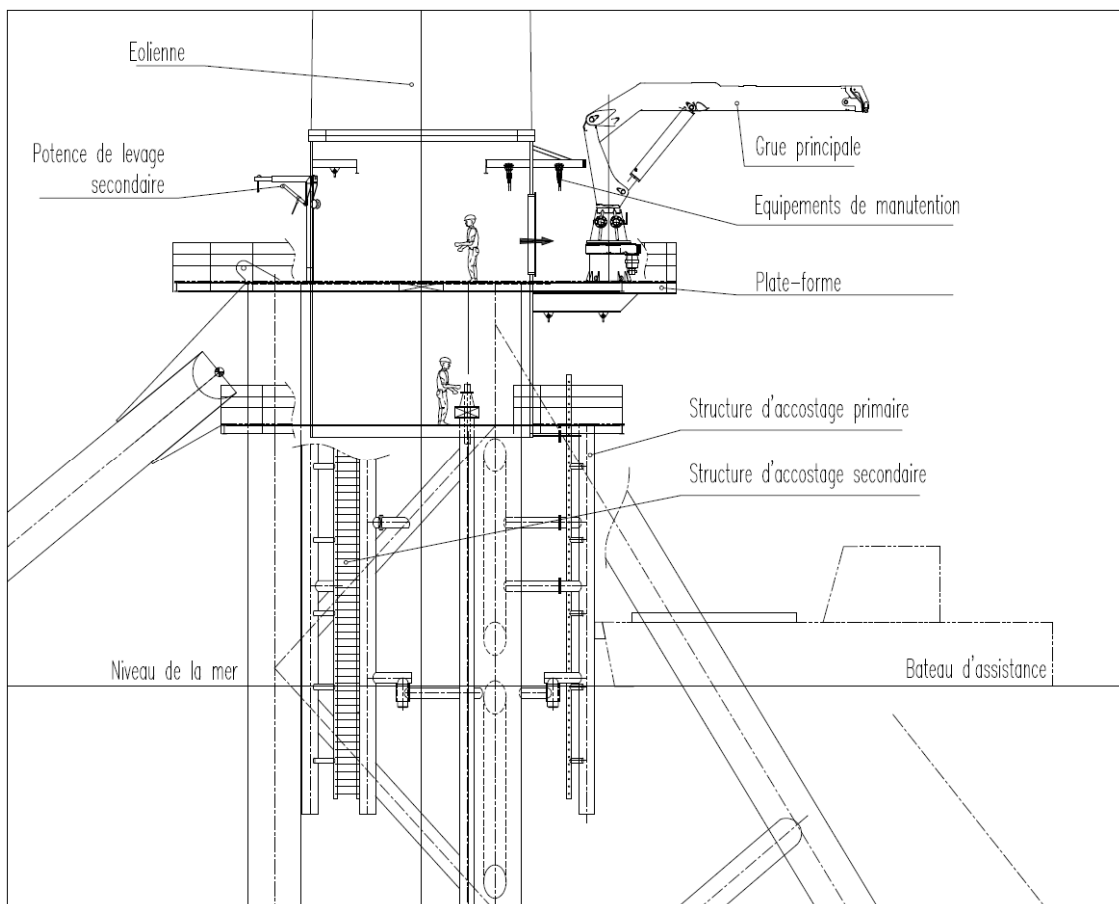


Figure 45 : Description des plateformes de travail de l'éolienne flottante (Source SBM Offshore, 2016)

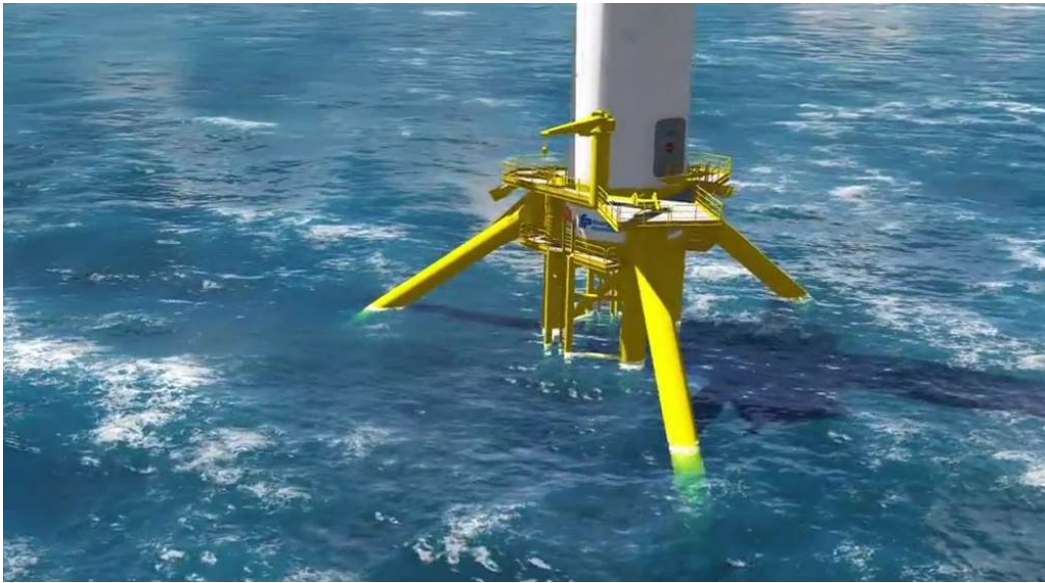


Figure 46 : Illustration de l'accès à l'éolienne flottante (Source SBM Offshore, 2016)

### 2.2.e) Prévention de la pollution

Chaque fondation flottante, conçue pour préserver la santé et la sécurité des équipes d'intervention, est conforme aux normes internationales relatives à la sécurité des installations électriques des unités mobiles et fixes en mer. Les systèmes automatiques d'extinction des incendies sont de type gaz inertes (Argonite, Argogène ou équivalent) ou combinaison de brouillard d'eau et de mousse à air comprimé selon le compartiment du flotteur et de la turbine. Tous les équipements principaux et auxiliaires sont supervisés et contrôlés en permanence par un système dédié, à la fois de manière automatique et par des opérateurs assurant une surveillance 24 heures sur 24 et 7 jours sur 7.

Les produits potentiellement toxiques pour l'environnement sont :

- Huile HPU de la grue ;
- Les batteries de l'UPS.

Ces produits sont contenus dans des récipients, et suivi par un plan de gestion et maintenance.

### 2.2.f) Système de protection contre la corrosion marine

La protection des fondations flottantes contre la corrosion marine est assurée par l'application de peintures anticorrosion sur les composants externes de la structure, combinée à l'installation d'anodes galvaniques qui garantissent la protection cathodique de l'ouvrage. La peinture utilisée sera basée sur les spécifications standards de peinture de SBM Offshore. Il s'agit de trois différents systèmes qui dépendent du type de structure et de la zone d'application:

- Zone immergée, surface externe ;
- Zone émergée ;
- Zone interne.

Les peintures utilisées respecteront la Directive n° 2004/42/CE du 21/04/04 relative à la réduction des émissions de composés organiques volatils dues à l'utilisation de solvants organiques dans certains vernis et peintures.

Les anodes positionnées sur la structure flottante représentent une masse totale inférieure à 15 tonnes par flotteur et auront une durée de vie de 20 ans. L'ensemble des anodes est composé d'alliage Al-Zn-In-Si (95% Al; 5% Zn; autres métaux en quantité négligeables).

### 2.3. Le dispositif d'ancrage

Les principales caractéristiques du système d'ancrage proposé sont présentées dans le tableau suivant :

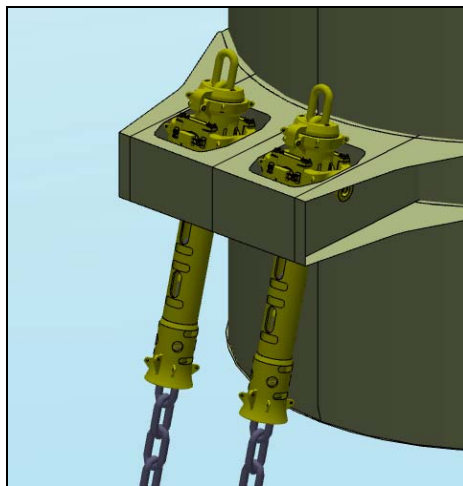
<b>Caractéristiques générales du système d'ancrage (valeurs susceptibles d'évoluer en cours d'exécution du projet)</b>	
<b>Type d'ancrage</b>	Tendues
<b>Matériaux lignes d'ancrage</b>	Câble acier gainé / chaîne
<b>Nombre de lignes</b>	6
<b>Disposition des lignes / flotteur</b>	3 x 2
<b>Masse lignes</b>	~4 tonnes
<b>Longueur des lignes</b>	<80 m
<b>Rayon d'ancrage</b>	<75m
<b>Nombre d'ancres / ligne</b>	1 ancre pour 2 lignes
<b>Type d'ancres</b>	Hybride gravitaire-succion
<b>Profondeur d'enfouissement des ancres</b>	< 15 m

Tableau 22 : Principales caractéristiques du dispositif d'ancrage, valeurs indicatives

#### 2.3.a) Lignes d'ancrage

Le système d'ancrage est composé de 3 groupes, comportant chacun deux câbles d'acier tendus (câbles acier + chaînes), ce qui assure une parfaite sécurité au système en garantissant sa redondance. Si l'un des deux câbles est cassé, l'autre est en capacité de reprendre entièrement l'effort associé. Par ailleurs, ce système d'ancrage tendu permet aux câbles de reprendre toute la poussée du flotteur et de le maintenir sous la surface de l'eau.

Les lignes sont composées de chaînes en partie supérieures pour permettre une connexion ajustable *in situ* à la structure au niveau de chaque bouée périphérique. Cette connexion se fait au moyen de connecteurs bi-articulés à cliquet, développés par SBM pour des terminaux *offshores* et éprouvés depuis une dizaine d'années, qui permettent d'optimiser le dimensionnement des chaînes.



*Figure 47 : Illustration des connecteurs d'ancrage bi-articulés à cliquet (Source SBM Offshore, 2016)*

La conception du système d'ancrage prend en compte différentes combinaisons de données météo-océaniques concernant le vent (orientation, vitesse, turbulence), les vagues (orientation, hauteur, période) et le courant (orientation, profil, vitesse).

Pour concevoir ce système en phase amont du projet, les simulations ont pris en compte les circonstances les plus extrêmes : des vagues de 15 mètres de haut associées à un vent de 155 km/h et le courant le plus fort sur les 50 dernières années. Cela a permis de tester la résistance avec l'une des 6 lignes d'ancrage rompue, mais aussi de vérifier que la plateforme ne dépasse pas un rayon de 15 mètres autour de son point nominal.

Contrairement à une plateforme à lignes tendues typique du secteur pétrolier, les lignes d'ancrage sont inclinées par rapport à la verticale. Cette disposition présente plusieurs avantages :

- Atténuation des mouvements et des accélérations au niveau de la nacelle de l'éolienne, diminuant ainsi les efforts sur les pales ;

- Réduction des efforts au niveau de la bride de connexion entre la tour de l'éolienne et du flotteur ;
- Diminution des tensions dans les lignes d'ancrage.

La configuration du système d'ancrage est présentée sur la figure suivante.

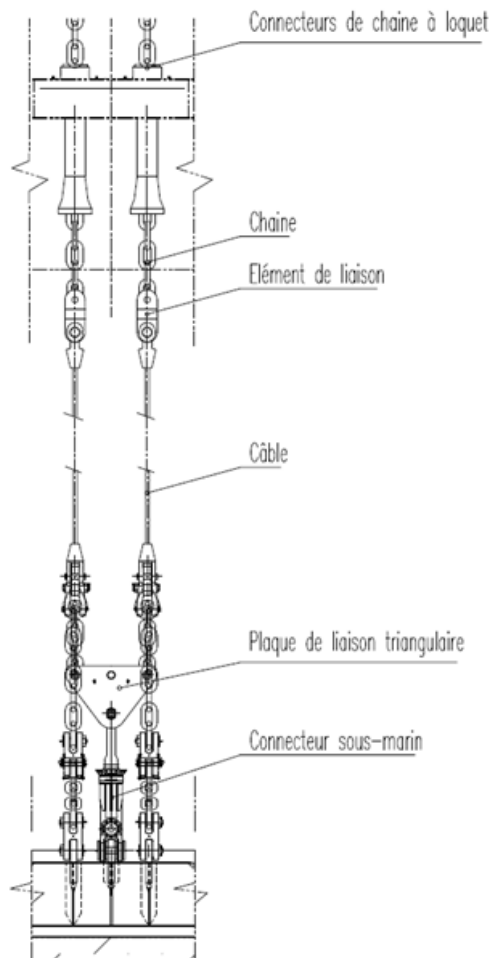


Figure 48 : Profil général de la ligne d'ancrage (Source SBM Offshore, 2016)

Une fois le flotteur installé, quelques maillons se trouvent dans la partie tendue. Le reste de la partie tendue est composé de câbles en acier gainé, de même résistance que la chaîne. Ceci permet d'optimiser le comportement dynamique de l'éolienne flottante et donc de limiter le poids de l'ensemble.

En pied de lignes, les 2 lignes se rejoignent sur une plaque triangulaire (composant mécanique) montée sur une liaison du type « uni-joint ». Des chainettes ont été ajoutées au bas des lignes d'ancrage pour proposer une redondance supplémentaire dans les lignes. Ces chainettes reprennent l'intégralité des efforts dans le cas d'une rupture du composant mécanique. Cette composition de l'ancrage est encore susceptible d'évoluer.

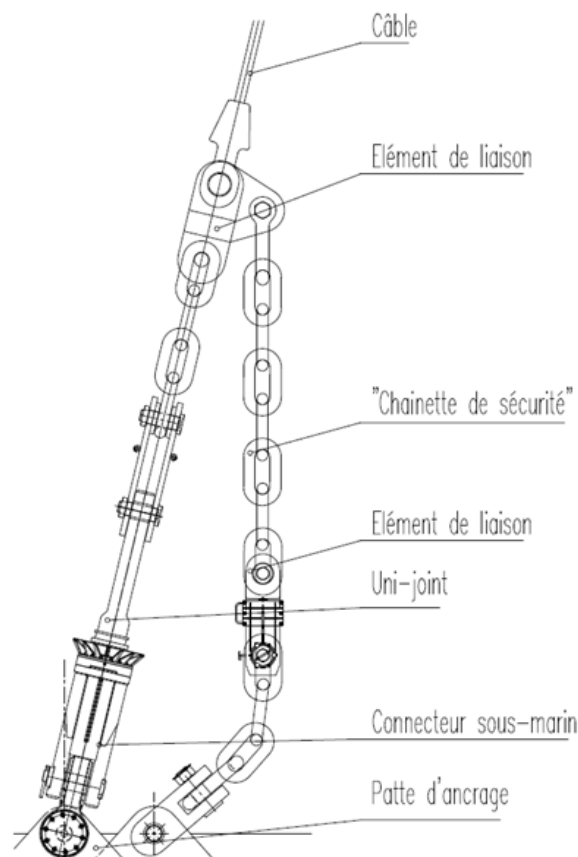
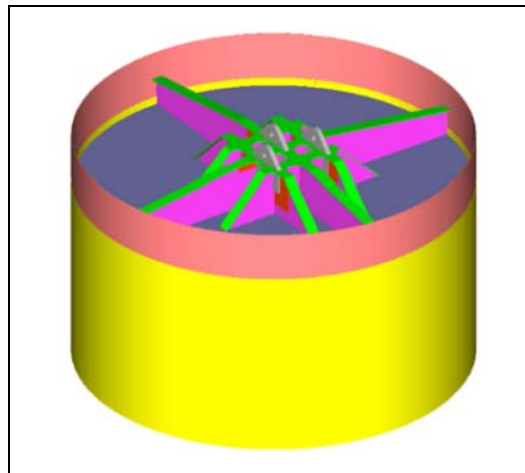


Figure 49 : Chainettes assurant une redondance au bas des lignes d'ancrage (Source SBM Offshore, 2016)

### 2.3.b) Ancres

La fixation des lignes d'ancrage au fond marin se fait par l'intermédiaire d'une ancre à succion ou hybride gravitaire-succion. Les tensions et mouvements exercés par le flotteur et le câble sont ainsi absorbés, ce qui stabilise l'ensemble. La solution finale pour l'ancrage n'est pas figée à ce stade du projet et est susceptible d'évoluer afin de trouver une solution optimale en fonction de l'adéquation aux conditions de sol, modalités de fabrication et d'installation.

Les ancres seront protégées contre la corrosion avec une 'corrosion allowance' ou bien avec une combinaison de peinture et 'corrosion allowance'. Ceci n'est pas encore figé à ce stade du développement du projet. La jupe pénétrant le sol ne sera pas peinte.



*Figure 50 : Illustration du profil d'une ancre hybride gravitaire-suction (Source SBM Offshore, 2016)*

### 3. Dispositif de signalisation des éoliennes

#### 3.1. Balisage aérien

La réglementation actuellement en vigueur pour le balisage aérien est l'arrêté du 13 novembre 2009 relatif à la réalisation du balisage des éoliennes situées en dehors des zones grevées de servitudes aéronautiques (NOR: DEVA0917931A).

La législation indique également que le balisage aérien doit être soumis au directeur général de l'Aviation civile et au directeur de la circulation aérienne militaire pour validation. Chaque éolienne du parc sera de couleur blanche (RAL 7035) et sera signalée par un balisage aérien comprenant :

De jour : des feux d'obstacle moyenne intensité de type A (feux à éclats blancs de 20 000 candelas [cd]) positionnés sur le sommet de la nacelle, assurant la visibilité de l'éolienne dans tous les azimuts (360°) ;

De nuit : des feux d'obstacle moyenne intensité de type B (feux à éclats rouges de 2 000 cd) positionnés sur le sommet de la nacelle, assurant la visibilité de l'éolienne dans tous les azimuts (360°) ;

Jour et nuit : des feux d'obstacles basse intensité de type B (rouges fixes 32 cd) positionnés sur le mât à 45m au-dessus du niveau moyen de la mer, assurant la visibilité de l'éolienne dans tous les azimuts (360°).



Les hauteurs de fixation des feux sont exprimées par rapport au niveau des plus basses marées astronomiques (LAT : *Lowest Astronomical Tide*, niveau de plus basse mer). Toutes les éoliennes disposeront d'un balisage défini dans le tableau suivant.

Type de feu	Caractéristiques	Période	Portée nominale	Azimut	Localisation sur l'éolienne
Feu de moyenne intensité (MI) de type A	Feu à éclats blancs	Jour	16 milles (20000 cd)	3 feux de 120° de manière à éclairer à 360°	Nacelle
Feu de moyenne intensité (MI) de type B	Feu à éclats rouges	Nuit	11 milles (2000 cd)	3 feux de 120° de manière à éclairer à 360°	Nacelle
Feu de basse intensité (BI) de type B	Feu fixe rouge	Jour et nuit	4 milles (32 cd)	3 feux de 120° de manière à éclairer à 360°	Mât

Tableau 23 : Plan de balisage

Le passage du balisage lumineux de jour au balisage de nuit sera réalisé automatiquement dès que la luminosité sera inférieure à 50 cd/m<sup>2</sup>. En cas de défaillance, l'alimentation électrique desservant le balisage lumineux sera remplacée automatiquement dans un délai de 15 secondes par un système de secours autonome. De plus, le balisage sera télé-surveillé et en cas de défaillance ou de simple interruption, l'exploitant le signalera dans les plus brefs délais à l'autorité de l'aviation civile compétente.

L'arrêté du 13 novembre 2009 prévoit également que le balisage des éoliennes côtières ou installées en mer ne doit pas interférer avec le balisage maritime. Or, le balisage aérien est plus présent et plus intense que le balisage maritime. Le maître d'ouvrage a donc sollicité les Directions des Affaires Maritimes, du transport aérien et de la circulation aérienne militaire pour qu'une réflexion soit menée afin de satisfaire aux besoins de sécurité des navigateurs maritimes et aériens. Un programme d'essai de nouveaux balisages, qui pourrait permettre également de réduire l'effet de la source lumineuse sur l'environnement, est ainsi mis en place en coopération avec les services de l'État sur le mât de mesures au large de Fécamp.

Le maître d'ouvrage a sollicité les mêmes autorités s'agissant du balisage à mettre en place au profit des activités spécifiques des hélicoptères de secours ou de travail aérien, qui ne bénéficient pas à ce jour de règle identifiée.

En conséquence, les éoliennes et le poste électrique seront signalés par des balisages conformes aux réglementations de l'aviation civile et de la navigation maritime en vigueur.

### 3.2. Balisage maritime

Deux recommandations de l'Association Internationale de Signalisation Maritime (AISM) sont applicables au balisage des parcs éoliens en mer :

- la recommandation AISM O-139 sur la signalisation des structures artificielles en mer,
- la recommandation E- 110 sur les caractères rythmiques des feux d'aide à la navigation.

Ces recommandations définissent notamment les dimensions, formes, couleur du balisage et caractère des signaux lumineux ou électromagnétiques à mettre en place. Le plan de signalisation maritime sera soumis à l'avis de la Grande Commission Nautique (GCN) avant approbation de la Commission des Phares. Les dispositifs de signalisation seront ensuite portés sur les documents nautiques et signalés par les moyens réglementaires de diffusion de l'information nautique.

Le plan de signalisation maritime, défini en lien avec le service des Phares et Balises de la Direction Inter-Régionale de la Mer (DIRM) Méditerranée, et soumis à l'avis de la GCN consistera à signaler les éoliennes A01 et A03 avec un balisage maritime SPS (Structure Périphérique Significative – feux jaunes d'une portée d'au moins 5 milles marins, visibles de toutes les directions).

De plus, conformément à la recommandation AISM O-139, les fondations seront peintes en jaune, jusqu'à 15 mètres au-dessus du niveau des plus hautes marées astronomiques (HAT).

Chaque éolienne sera en outre équipée d'une balise AIS (*Automatic Identification System*) afin que les navires dotés de récepteurs AIS puissent les voir et les localiser précisément.

**Carte de balisage en cours de production au pôle SIG (EDF EN)**

*Figure 51 : Balisage de la ferme pilote*

## ANNEXE 2 : DESCRIPTION DU PORT DE MARSEILLE-FOS

(Source : Guide d'informations portuaires du port de Marseille-Fos –Avril 2017)

La circonscription du Grand Port Maritime de Marseille s'étend sur 70 km de côtes allant, d'Est en Ouest, du Vieux Port à Port Saint Louis du Rhône. Elle comporte 2 grands sites :

- les Bassins Est (Marseille)
- les Bassins Ouest (Lavéra, Caronte, Port de Bouc, Fos sur Mer, Port Saint Louis du Rhône et le port de la Pointe dans l'étang de Berre).

### BASSINS OUEST DU GPMM

Le Golfe de Fos et ses abords s'étendent depuis l'embouchure du Rhône jusqu'au Cap Couronne. D'une vaste superficie, ce golfe occupe, à 12 milles de Marseille, une position privilégiée au débouché du sillon rhodanien que la batellerie au gabarit international remonte jusqu'à Lyon et Chalon-sur-Saône.

Le port de Fos est encadré par les ports plus anciens de Port Saint Louis du Rhône, à l'Ouest, et de Port de Bouc et Lavéra à l'Est. Le Canal de Caronte, en passant par Lavéra relie le golfe de Fos à l'Etang de Berre.

En 2015, les principaux trafics ont été de :

- 46,3 millions de tonnes (+6,3%) pour les Hydrocarbures avec 27 millions de brut, 15,1 millions de produits raffinés et 4,2 millions de gaz ;
- 13,9 millions de tonnes (+3,3%) pour les vracs solides ;
- 17,9 millions de tonnes (+0,9%) pour les marchandises diverses ;
- 1.223.000 conteneurs EVP (Equivalent Vingt Pieds) (+3,7%).

Il y a eu 5146 escales de navires de mer et 2172 de fluviaux et bateaux de servitude en 2015.

### Secteur de Fos sur Mer

*Le Terminal pétrolier FLUXEL de Fos*

Créé en 1968 pour l'accueil des tankers de plus de 400.000 tonnes, exploité depuis la réforme portuaire par la société Fluxel (actionnaires GPMM/INEOS/SPSE/CFT), ce terminal de 7 postes à quai est spécialisé dans l'import de pétrole brut mais aussi l'export-import de produits raffinés et produits chimiques.

Il est équipé d'une station de déballastage. Les eaux de ballast contenant des sédiments ne sont pas acceptées.

*Le Terminal minéralier de CARFOS - SEA INVEST :*

Ce terminal de la Darse 1, spécialisé dans l'import de combustibles solides, bauxite et clinker, a accueilli 45 vraquiers en 2015.

*Le Terminal Méthanier de Fos Cavaou (Fos Max LNG)*

Ce terminal, mis en service en 2010, peut accueillir les méthaniers de 15.000 m<sup>3</sup> à 270.000m<sup>3</sup>. Il a une capacité de stockage cumulée de 330.000 m<sup>3</sup> avec trois réservoirs identiques.

En 2015, 50 navires ont escalé à ce terminal.

*Le Terminal Méthanier Tonkin (Elengy)*

Le terminal méthanier du Tonkin reçoit les méthaniers de moins de 75.000 m<sup>3</sup> en provenance majoritairement d'Algérie. Il dispose d'une capacité de stockage de 150.000 m<sup>3</sup>.

En 2015, 53 navires y ont été déchargés.

*Arcelor Mittal*

Arcelor Mittal produit une gamme étendue de nuances d'acier pour l'automobile, la construction, l'électroménager, l'emballage, les tubes à énergie (gazoducs, oléoducs), les roues... Le site, avec deux hauts fourneaux, a une capacité de production de plus de 4 millions de tonnes par an. Le terminal dispose d'un quai import et un quai export.

En 2015, 670 navires ont escalé pour environ 12 millions de tonnes.

*Lyondell Basell (Fos) et Kem One (ex Atofos)*

Ces deux appontements privés, situés en Darse 2, accueillent des chimiquiers pour traiter des produits tels que le méthanol, le méthylène, le chlorure de vinyle, voire de la soude.

Ces deux terminaux ont reçu respectivement 95 navires et 77 navires en 2015.

*Terminaux à conteneurs*

Les terminaux à conteneurs situés en Darse 2 ont accueilli 1030 navires de mer pour un total de conteneurs de 976.000 EVP (chiffres 2015).

Ils sont répartis de la façon suivante :

- Le terminal d'Eurofos qui regroupe les armateurs CMA-CGM, China Merchants Holdings et DP World, opérateur EUROFOS ;
- Le « Terminal de Méditerranée », filiale de Port Synergy, également à la charge de l'opérateur EUROFOS ;
- Le Terminal Seayard 2XL qui regroupe TIL/MSC-APM Terminals et COSCO, opérateur SEAYARD.

### *Quai Brûle Tabac (Darse 3)*

En 2015, un trafic de véhicules (voitures, camionnettes, ...) au quai Brûle Tabac en Darse 3 a été réalisé lors des escales de 158 navires de mer.

Il est complété par des opérations d'embarquement de bobines (ou coils) et ponctuellement de colis lourds.

## **Les bassins de Port de Bouc, Lavéra et Caronte**

### *Le Terminal pétrochimique FLUXEL de Lavéra*

Exploité également depuis la réforme portuaire par la société Fluxel, ce terminal pétrolier dispose de 13 appontements spécialisés dans les produits raffinés, le GPL et les produits chimiques. Il est également équipé d'une station de déballastage. Les eaux de ballast contenant des sédiments ne sont pas acceptées.

En 2015, les 2 terminaux Fluxel (Fos et Lavéra) ont cumulé 2820 escales.

### *Le Terminal minéralier de Caronte*

Le terminal minéralier, situé dans le canal de Caronte, traite de la ferraille et des vracs solides. En 2015, il a accueilli 132 navires de mer.

### *Secteur de Port Saint Louis du Rhône*

Ce secteur est principalement dédié au trafic céréalier fluvial en provenance du Rhône (Bassin des Tellines et quai Gloria). Une activité de tourbe et d'engrais y est également assurée.

En 2015, 107 navires y ont accosté.

### *Secteur de Berre l'Étang*

Le port de la Pointe à Berre (terminal Lyondell Basell) exploite des produits chimiques et pétroliers. Ce terminal a accueilli 89 navires de mer en 2015.

Il est également le site de départ des convois portant les pièces appartenant au projet ITER vers Cadarache, lieu de construction.

## **BASSINS EST DU GPMM**

Les Bassins Est du port de Marseille se sont développés du Sud vers le Nord au fur et à mesure de la construction de la digue du large à partir de 1845 et ce jusqu'en 1925.

Cet ouvrage de 7 km de long protège de la mer les différents bassins dont l'accès se fait par 2 passes situées l'une au Nord, l'autre au Sud. L'accès Sud est réservé aux navires de moins de 200 m, l'accès Nord a vocation à être élargi (2017) pour faciliter l'accès aux grands navires de croisière. 3416 navires ont fait escale dans les bassins Est en 2015.

### *La croisière*

La croisière est en fort développement : on a compté 443 escales en 2015 pour 1,45 millions de passagers dont 500.000 en tête de ligne. Les grands paquebots sont accueillis dans la partie Nord du port soit au terminal privé MPCT (« Marseille-Provence Cruise terminal », actionnaires Costa - MSC) soit sur des quais publics. Cette partie Nord peut accueillir jusqu'à 6 paquebots simultanément.

Les petits paquebots (moins de 200 m) et la croisière de luxe peuvent être accueillis dans la partie Sud du port en face du Musée le «MUCEM» situé à proximité du centre-ville de Marseille.

En cas de mauvais temps, les navires peuvent aller au mouillage devant l'Estaque et assurer les opérations en utilisant des vedettes vers le quai de La Lave (Estaque) aménagé à cet effet.

### *La réparation navale*

La grande réparation navale utilise les formes 8-9 et 10 (mise en service prévue en juin 2016 pour cette dernière) situées dans la partie Nord du port et opérées par la société Chantier Naval de Marseille (San Giorgio). En 2015, 24 navires ont été réparés dans ces formes.

Pour les plus petits navires et la grande plaisance, les réparations se font dans les formes 1 à 7 situées dans la partie centrale du port. Ces formes sont opérées par plusieurs entreprises telles que Sud Marine Shipyard (65 navires)(pour les formes 1-2 et 7) et Palumbo(15 navires) (pour les formes 3-4-5 et 6).

### *Le trafic passagers vers la Corse*

Le trafic passager et fret sur la Corse était assuré par deux compagnies, la SNCM et La Méridionale, dans le cadre d'une délégation de service public. Le nombre de passagers a été proche de 620.000 en 2015. sur un total de près de 1000 escales L'exploitation se fait dans le Sud et le Nord du port ou à la digue du large en fonction de la taille des navires et des conditions météorologiques.

### *Le trafic passager international*

Ce trafic à destination de l'Algérie (ENTNV) et de la Tunisie (CNT) représente 470.000 passagers. Il s'effectue principalement dans la zone internationale située dans la partie Sud du port, à l'exception du navire TANIT qui opère dans la partie Nord de par sa grande longueur.

### *Le terminal Conteneurs*

Le terminal à conteneurs Med Europe Terminal (Intramar) a traité 220.000 EVP en 2015, sur un total de 531 escales. Le trafic est essentiellement intra méditerranéen.

### *Les marchandises diverses*

Pour ce qui est du trafic Roro à destination des pays de la Méditerranée, environ 4 millions de tonnes ont été traitées. Les principaux terminaux sont les suivants :

- Terminal Roulier Sud : 428 escales (trafic spécialisé à destination de la Tunisie) ;
- Terminal Pinède Nord : 67 escales (spécialisé dans le trafic de voitures neuves) ;
- Terminal Pinède Sud : 135 escales ;
- Les autres marchandises diverses traitées à Marseille sont : le sucre, l'alumine, le blé, le ciment, les vracs liquides (Médiaco), etc....

## ANNEXE 3 : METHODE D'ESTIMATION DE LA DENSITE DE NAVIRES DE PECHE

Pour évaluer les densités de navire de pêche dans les zones d'étude, TECNITAS s'est appuyé sur les travaux réalisés par l'IFREMER depuis 2000, portant sur le recensement des flottilles de pêche sur le littoral français. Une synthèse est publiée et mise à la disposition du public sur le site internet de l'IFREMER (rubrique Système d'Informations Halieutiques). La dernière synthèse disponible porte sur l'année 2010, publiée en 2012. Le document utilisé dans cette étude s'intitule « Synthèse de l'activité des navires actifs à la pêche de la façade Méditerranée en 2014 (IFREMER, janvier 2017) » a permis d'obtenir la valeur de mois d'activité pour le secteur de pêche MD21 de 822 mois.navires.

- **Définitions**

Mois d'activité :

Il est à noter que la méthode de comptage utilisée par l'IFREMER se base sur un indicateur d'activité en nombre de « mois.navires ». Cet indicateur doit être utilisé avec beaucoup de précaution dans la mesure où le fait qu'un navire est comptabilisé comme actif durant un mois donné dès lors qu'il a navigué/pêché un seul jour dans ce mois. S'il a navigué tous les jours, la comptabilisation donnerait également le même résultat, c'est-à-dire un « mois.navire ».

Il ne reflète donc pas le temps effectif passé à la pêche ce même mois : Il s'agit d'une des limites de la configuration actuelle des calendriers d'activité.

- **Hypothèses**

TECNITAS a considéré dans l'étude lorsqu'il s'agit de convertir ces mois en jours, qu'un navire est actif 10 jours plein temps dès lors qu'il utilise un engin un jour durant le mois.

Cette hypothèse conduit à diviser par 3 les valeurs de distribution spatiale de l'IFREMER lorsque les mois.activités sont convertis en jours.activité.



## ANNEXE 4 : ACTIVITE DETAILLEE DES NAVIRES DE PECHEES DANS LA ZONE ETUDIEE

### *i) Activité – Senneurs à thon rouge*

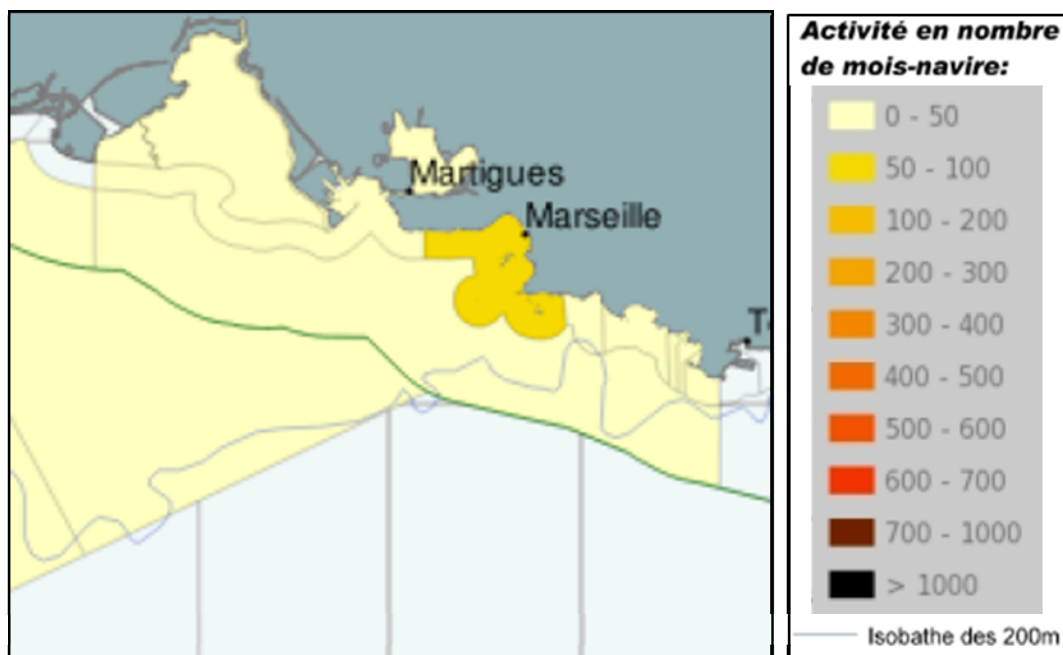
Les senneurs à thon rouge sont au nombre de 10 sur la façade Méditerranéenne. La flotte est composée de 60% de navires dont la longueur est comprise entre 18m et 40m, et de 40% dont la longueur est supérieure à 40m.

Les données de distribution spatiale ne sont pas disponibles.

### *ii) Activité – Senneurs hors thon rouge*

Les senneurs hors thon rouge sont au nombre de 39 sur la façade Méditerranéenne. La flotte est composée de 72 % de navires de longueur inférieure à 15m et 28% de navires de longueur supérieure à 15m.

La distribution spatiale est présentée dans la figure ci-après. L'activité dans la zone d'étude est comprise entre 0 et 50 mois.navire.



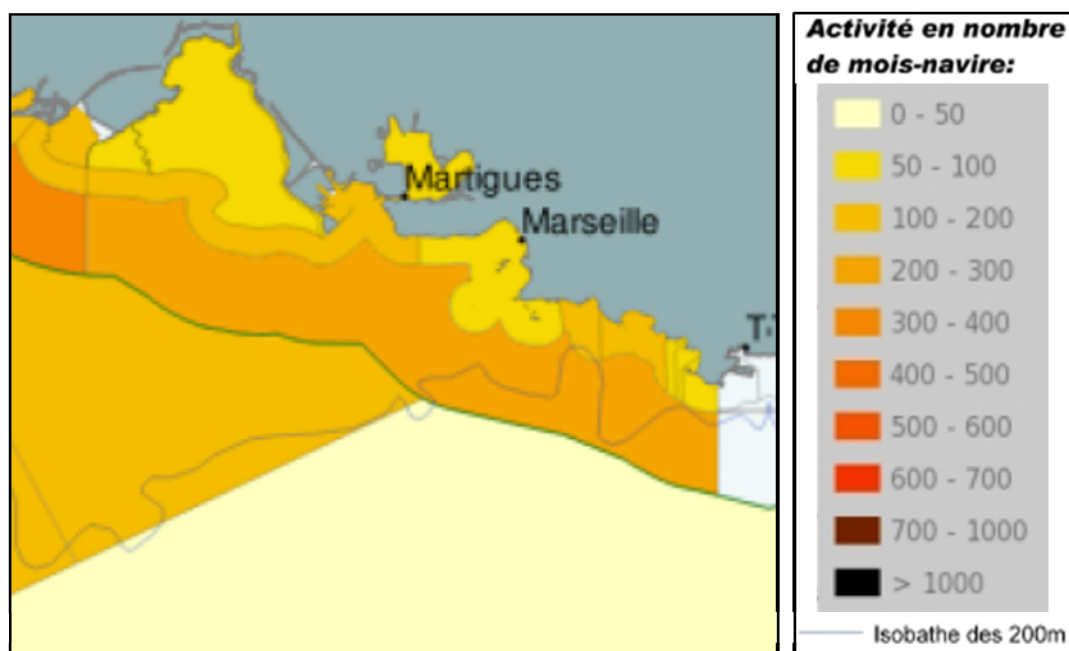
**Distribution spatiale de l'activité Senneurs Hors Thon Rouge**

(Données IFREMER 2012)

### **iii) Activité – Chalutiers de fond**

Les chalutiers de fond sont au nombre de 61 sur la façade Méditerranéenne. La flotte est composée à 5 % de navires de longueur inférieure à 15m et 95 % de navires de longueur supérieure à 15m.

La distribution spatiale dans la zone d'étude est présentée dans la figure ci-après. L'activité dans la zone d'étude est comprise entre 200 et 300 mois.navire.



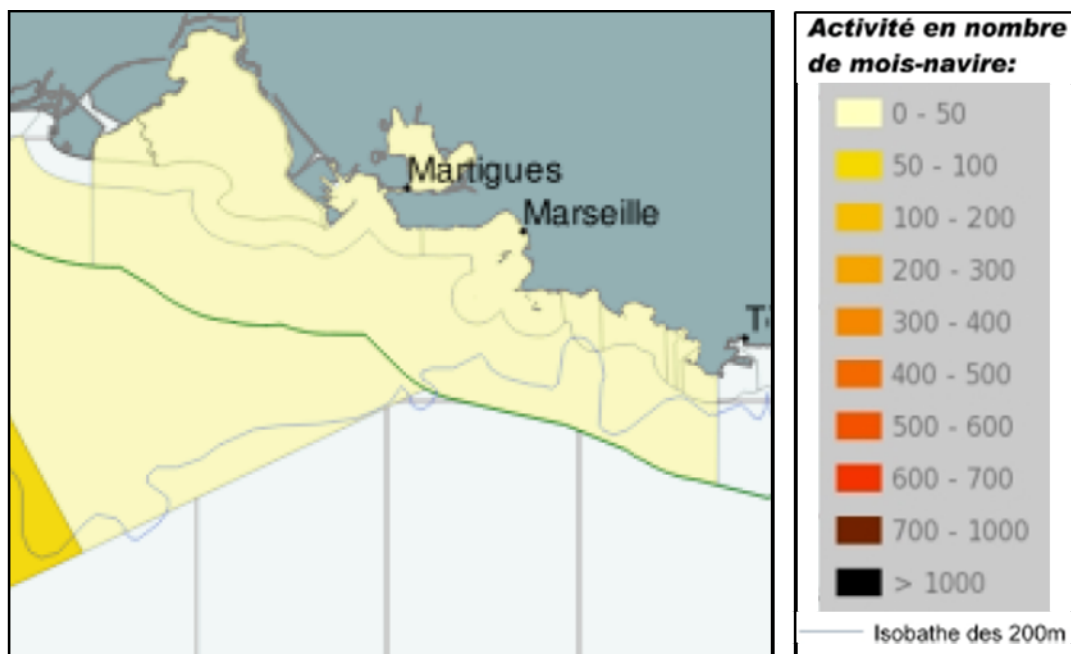
**Distribution spatiale de l'activité Chalutiers de Fond**

(Données IFREMER 2012)

#### **iv) Activité – Chalutiers pélagiques et mixtes**

Les chalutiers pélagiques et mixtes sont au nombre de 10 sur la façade Méditerranéenne. La flotte est composée à 100% de navires de longueur comprise entre 15m et 25m.

La distribution spatiale dans la zone d'étude est présentée dans la figure ci-dessous. L'activité dans la zone d'étude est comprise entre 0 et 50 mois.navire.



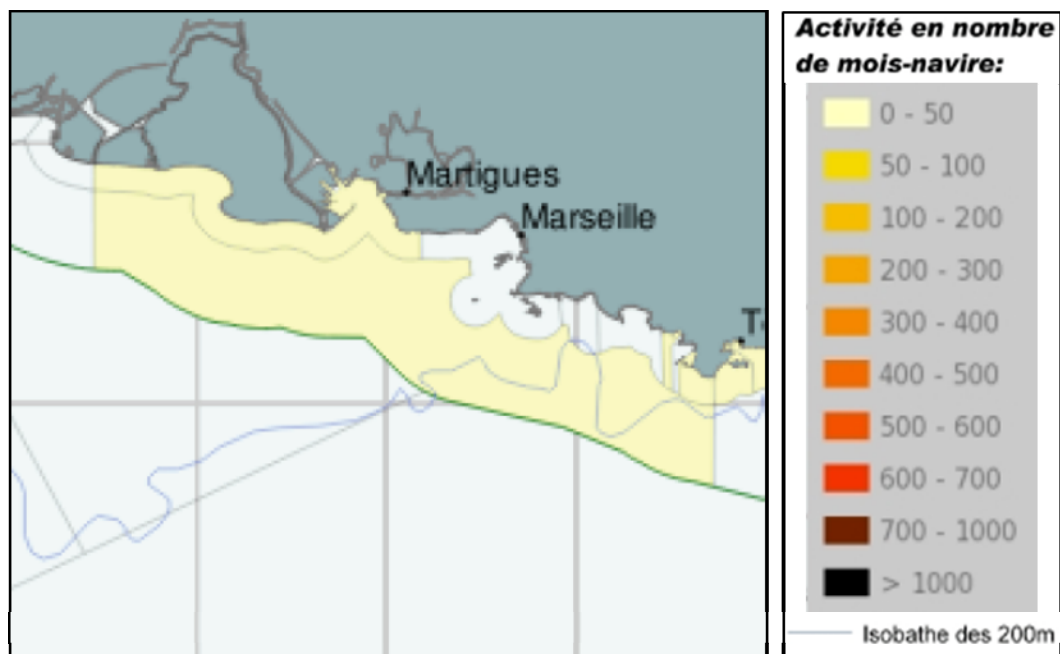
**Distribution spatiale de l'activité Chalutiers Pélagiques et Mixtes**

(Données IFREMER 2012)

### v) **Activité – Ganguis**

Les ganguis sont au nombre de 21 sur la façade Méditerranéenne. La flotte est composée à 100% de navires de longueur inférieure à 12m.

La distribution spatiale dans la zone d'étude est présentée dans la figure ci-dessous. L'activité dans la zone d'étude est comprise entre 0 et 50 mois.navire.



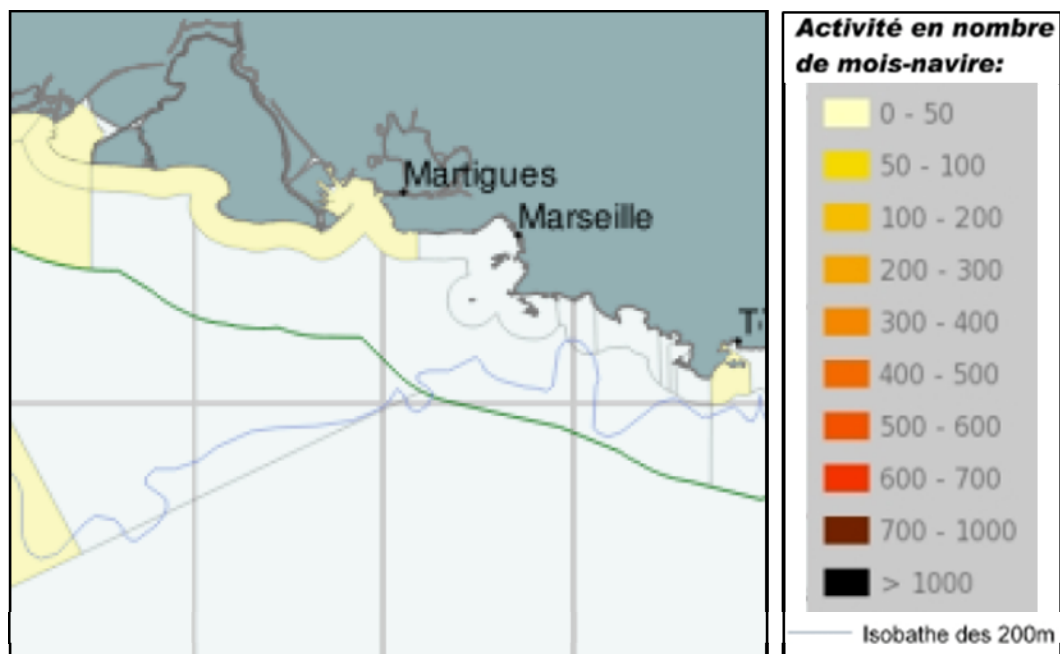
### **Distribution spatiale de l'activité Ganguis**

(Données IFREMER 2012)

### vi) Activité – Dragueurs

Les dragueurs sont au nombre de 11 sur la façade Méditerranéenne. La flotte est composée à 100% de navires de longueur inférieure à 12m.

La distribution spatiale dans la zone d'étude est présentée dans la figure ci-dessous. L'activité dans la zone d'étude est nulle.



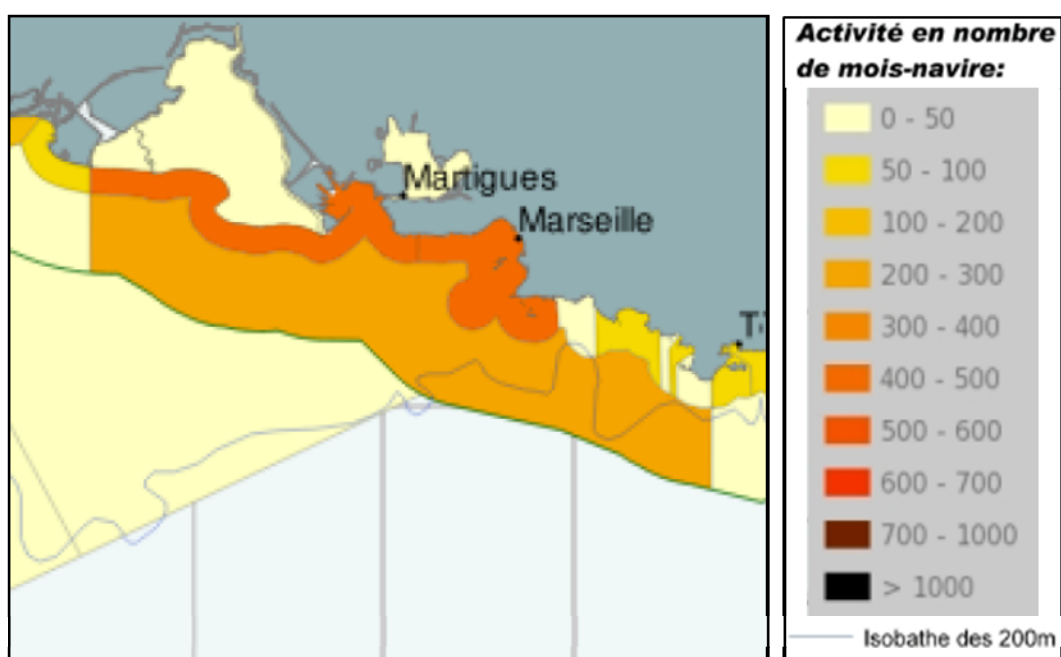
### Distribution spatiale de l'activité Dragueurs

(Données IFREMER 2012)

### **vii) Activité – Fileyeurs exclusifs**

Les fileyeurs exclusifs sont au nombre de 325 sur la façade Méditerranée. La flotte est composée à 99.7% de navires de longueur inférieure à 15m et à 0.3% de navires de longueur supérieure à 15m.

La distribution spatiale dans la zone d'étude est présentée dans la figure ci-dessous. L'activité dans la zone d'étude est comprise entre 300 et 400 mois.navire.



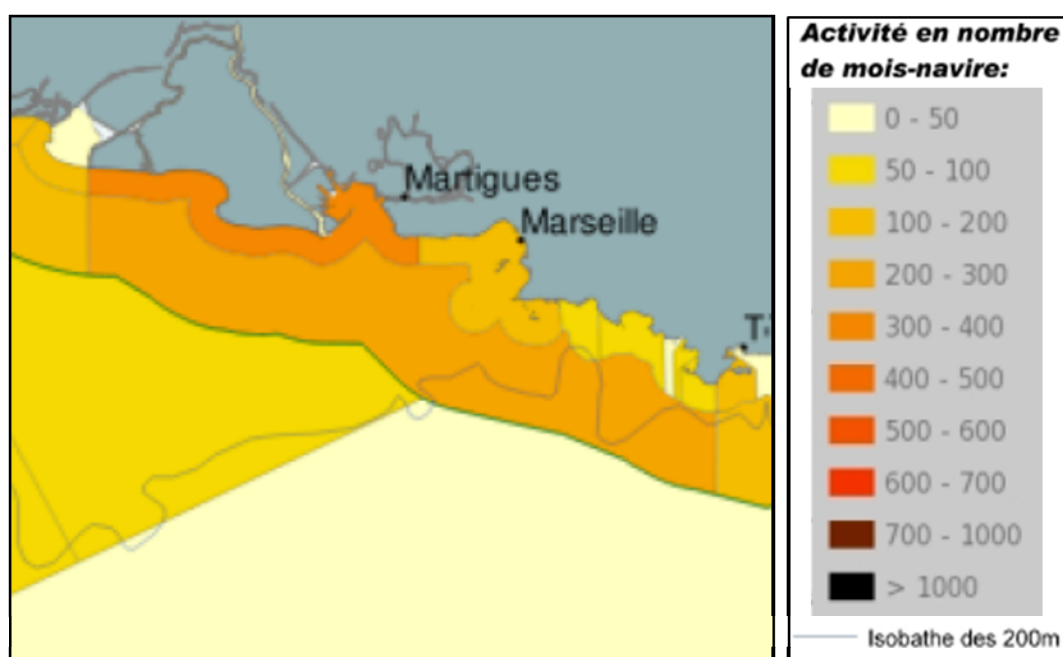
**Distribution spatiale de l'activité Fileyeurs Exclusifs**

(Données IFREMER 2012)

### viii) **Activité – Fileyeurs polyvalents**

Les fileyeurs polyvalents sont au nombre de 316 sur la façade Méditerranéenne. La flotte est composée à 99.4% de navires de longueur inférieure à 15m et à 0.6% de navires de longueur supérieure à 15m.

La distribution spatiale dans la zone d'étude est présentée dans la figure ci-dessous. L'activité dans la zone d'étude est comprise entre 200 et 300 mois.navire.



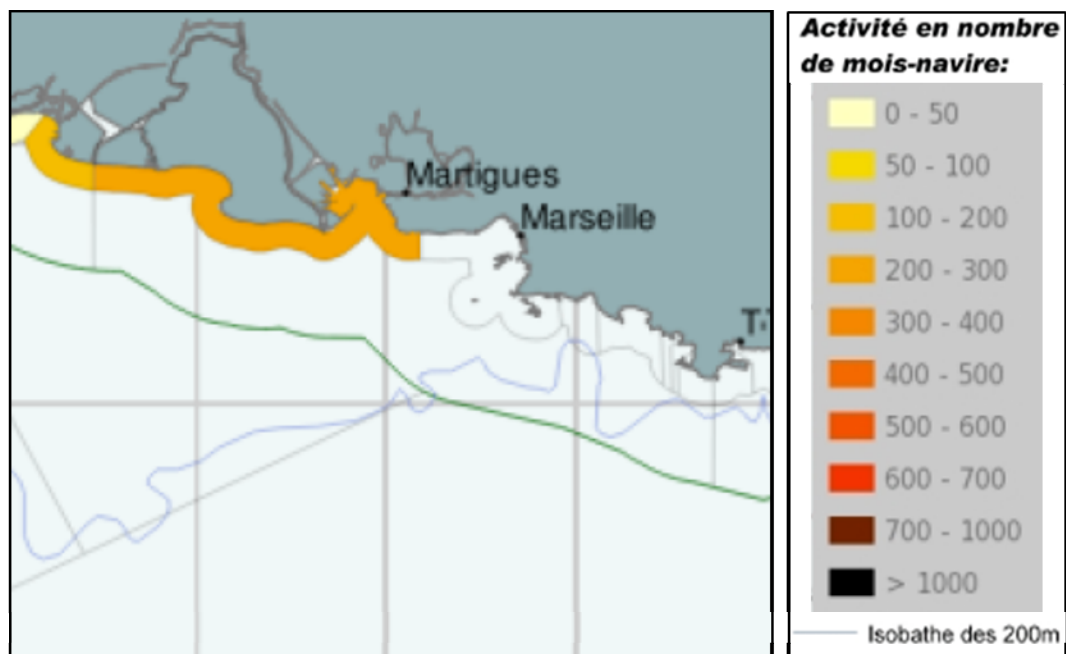
**Distribution spatiale de l'activité Fileyeurs Polyvalents**

(Données IFREMER 2012)

### **ix) Activité – Telliniers**

Les telliniers sont au nombre de 20 sur la façade Méditerranéenne. La flotte est composée à 100% de navires de longueur inférieure à 10m.

La distribution spatiale dans la zone d'étude est présentée dans la figure ci-dessous. L'activité dans la zone d'étude est nulle.



**Distribution spatiale de l'activité Telliniers**

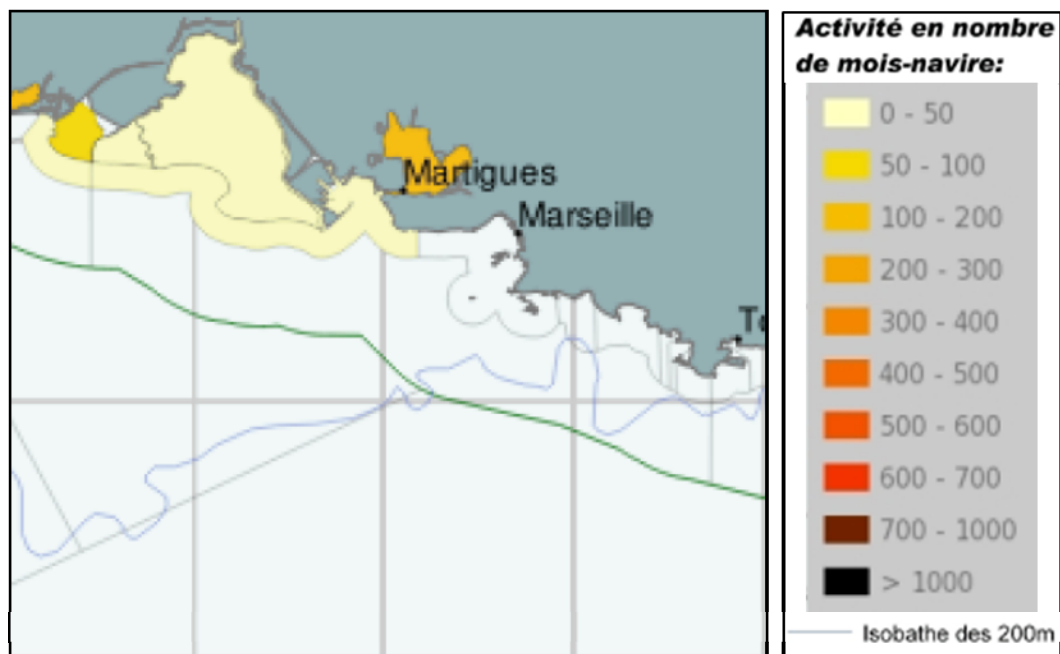
(Données IFREMER 2012)



### x) **Activité – Capéchades**

Les capéchades sont au nombre de 157 sur la façade Méditerranéenne. La flotte est composée à 100% de navires de longueur inférieure à 10m.

La distribution spatiale dans la zone d'étude est présentée dans la figure ci-dessous. L'activité dans la zone d'étude est nulle.



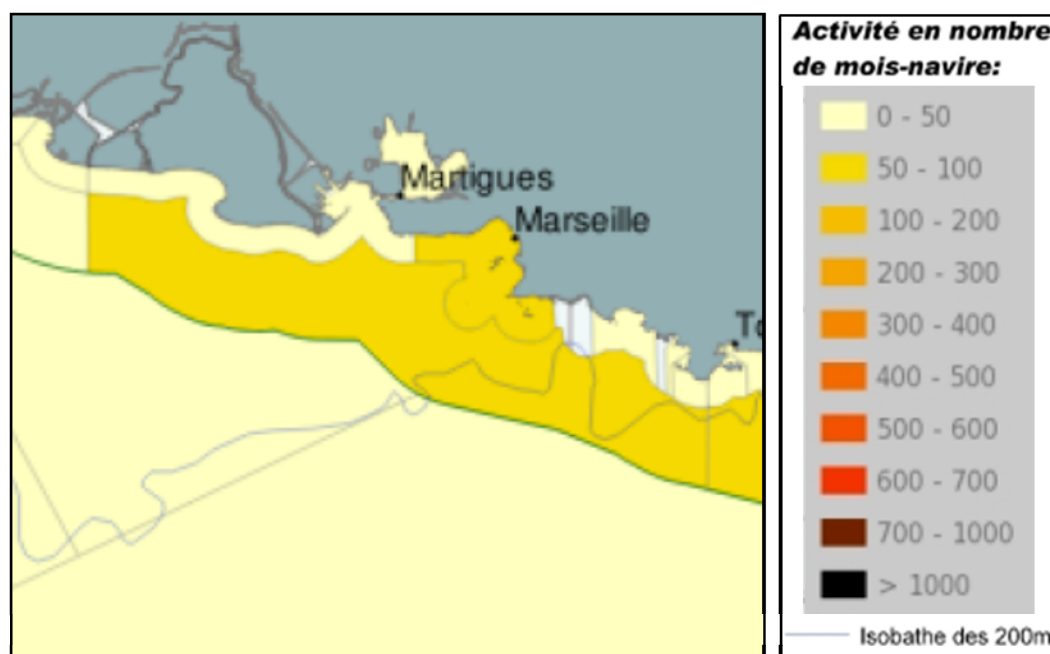
**Distribution spatiale de l'activité Capéchades**

(Données IFREMER 2012)

### ***xi) Activité – Métiers de l’hameçon***

*Les Métiers de l’hameçon sont au nombre de 39 sur la façade Méditerranéenne. La flotte est composée à 97.4% de navires de longueur inférieure à 15m et à 2.6% de navires de longueur supérieure à 15m.*

*La distribution spatiale dans la zone d’étude est présentée dans la figure ci-après. L’activité dans la zone d’étude est comprise entre 50 et 10 mois.navire.*



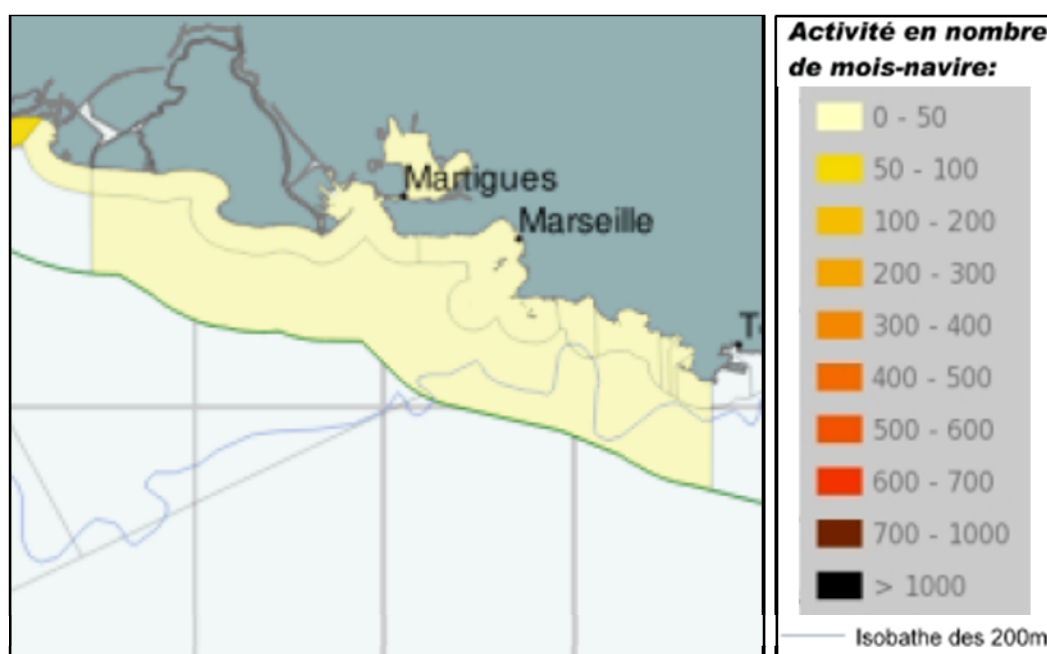
***Distribution spatiale de l’activité Métiers de l’Hameçon***

*(Données IFREMER 2012)*

## ***xii) Activité – Plongeurs Mer***

*Les Plongeurs Mer sont au nombre de 34 sur la façade Méditerranéenne. La flotte est composée à 100% de navires de longueur inférieure à 10m.*

*La distribution spatiale dans la zone d'étude est présentée dans la figure ci-dessous. L'activité dans la zone d'étude est comprise entre 0 et 50 mois.navire. En termes de probabilité de présence spatiale et temporelle, la valeur est comprise entre  $3 \times 10^{-4}$  et  $5 \times 10^{-4}$  navire par km<sup>2</sup> par jour.*



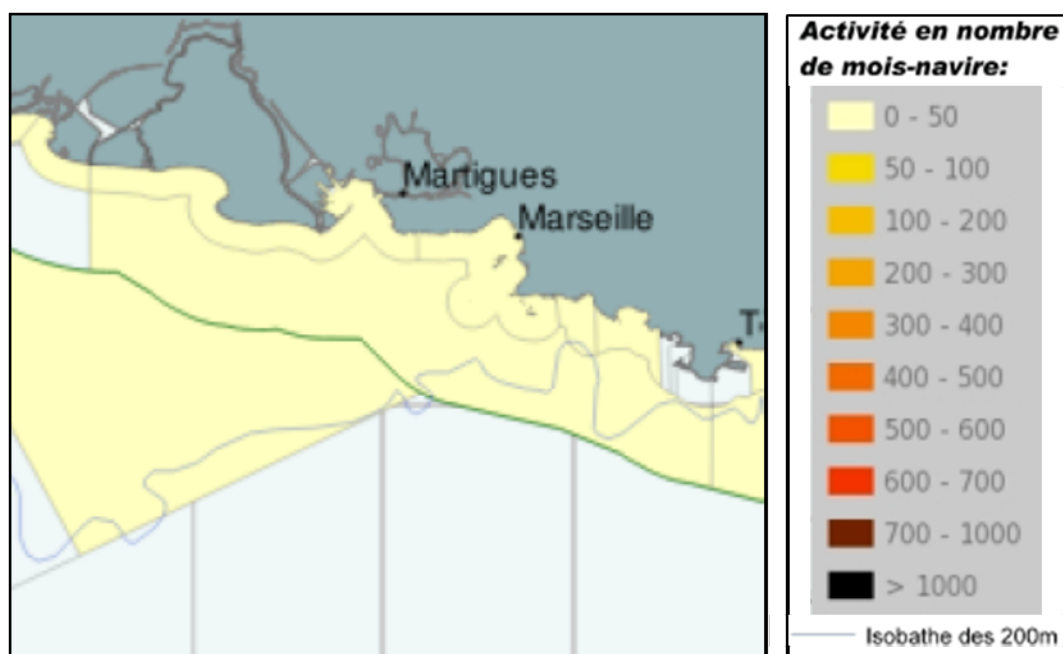
***Distribution spatiale de l'activité Plongeurs Mer***

*(Données IFREMER 2012)*

### ***xiii) Activité – Divers Petits Métiers Mer***

*Les Divers Petits Métiers Mer sont au nombre de 32 sur la façade Méditerranéenne. La flotte est composée à 100% de navires de longueur inférieure à 12m.*

*La distribution spatiale dans la zone d'étude est présentée dans la figure ci-dessous. L'activité dans la zone d'étude est comprise entre 0 et 50 mois.navire.*



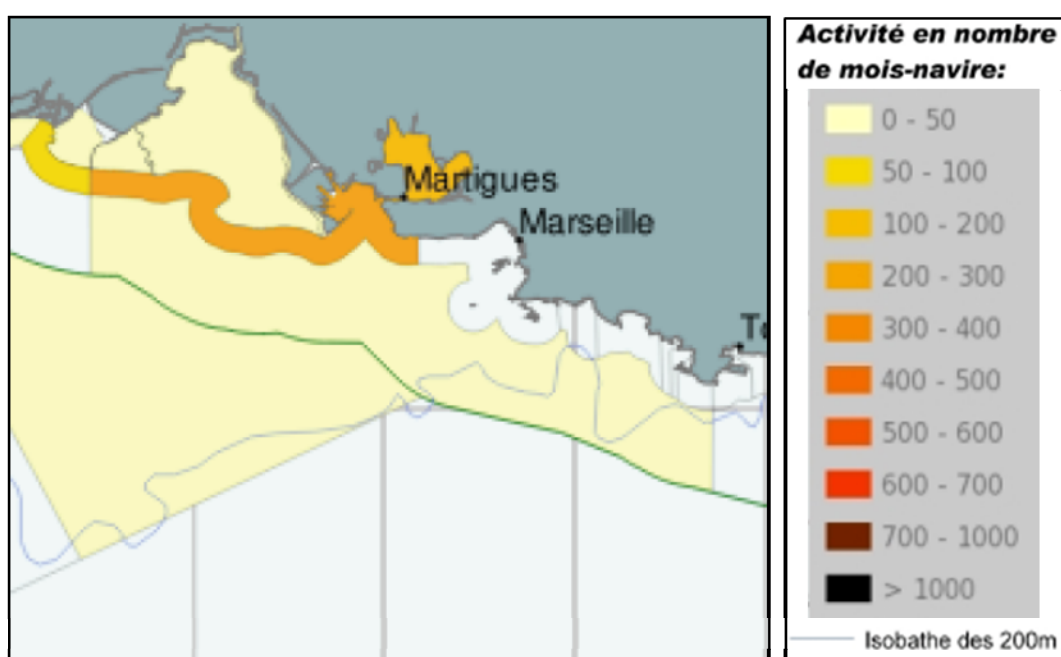
***Distribution spatiale de l'activité Divers Petits Métiers Mer***

*(Données IFREMER 2012)*

#### **xiv) Activité – Divers Petits Métiers Etang-Mer**

Les Divers Petits Métiers Etang Mer sont au nombre de 57 sur la façade Méditerranée. La flotte est composée à 100% de navires de longueur inférieure à 12m.

La distribution spatiale dans la zone d'étude est présentée dans la figure ci-après. L'activité dans la zone d'étude est comprise entre 0 et 50 mois.navire.



**Distribution spatiale de l'activité Divers Petits Métier Etang Mer**

(Données IFREMER 2012)

## ANNEXE 5: GENERALITES SUR LES MISSIONS DU CROSS

**La surveillance de la navigation maritime et le sauvetage font partie des missions attribuées aux CROSS (Centres Régionaux Opérationnels de Surveillance et de Sauvetage).**

### Généralités sur les missions du CROSS :

Les quatre missions principales du CROSS sont :

#### **1- Recherche et sauvetage maritimes**

Sous la responsabilité du Préfet maritime, les CROSS assurent :

- la **réception des alertes** à partir d'une veille radio et téléphonique permanente;
- la **direction et la coordination des opérations de recherche et de sauvetage**, y compris lors de sinistres maritimes majeurs.

Ils reçoivent environ **8 000 alertes par an**, pour des navires de pêche, de commerce, de plaisance, ainsi que pour les activités de loisirs nautiques.

#### **2- Surveillance de la navigation maritime**

Cette mission s'exerce principalement en Manche où transite le quart du trafic mondial, selon un rythme annuel de 380000 passages de navires. Elle consiste à détecter et à identifier le trafic maritime dans les zones soumises à une concentration élevée de navires.

Les CROSS assurent et réalisent:

- la **gestion des comptes rendus obligatoires** de tous les navires entrant et sortant à chaque extrémité de la Manche;
- le **suivi de l'évolution des navires** en vue de détecter les routes anormales ainsi que tout comportement de nature à générer des risques pour la navigation;
- la **transmission aux navires** de toutes les informations nautiques et météorologiques nécessaires à leur navigation;
- l'**identification des contrevenants** aux règles de la navigation.

#### **3- Surveillance des pollutions**

Les CROSS recueillent les informations relevées par les avions et les hélicoptères des Douanes et de la Marine nationale dotés de dispositifs de détection spécialisés pour la surveillance des pollutions maritimes. Ils exploitent ces informations et les transmettent aux autorités chargées du déclenchement du plan POLMAR (pollution marine). Ils concourent à la recherche des auteurs des pollutions sous le contrôle de l'autorité judiciaire.





#### **4- Surveillance des pêches maritimes**

Les CROSS exercent le contrôle opérationnel des moyens nautiques et aériens engagés dans la surveillance des pêches.

En outre, le CROSS Etel est chargé du système de surveillance par satellites des navires de pêche, en étroite coopération avec les centres similaires des autres Etats membres de l'Union européenne.



#### **Gestion des radiocommunications maritimes de sécurité :**

Les CROSS exploitent un puissant réseau de radiocommunications couvrant les espaces maritimes placés sous leurs responsabilités opérationnelles

- 47 stations radios côtières réparties sur tout le littoral;
- 2 stations radios pour le large;
- 3 radars en Manche exploités pour le contrôle de la navigation;
- 2 réseaux satellitaires : l'un pour la surveillance des pêches, l'autre pour la réception des alertes dans le cadre du programme international SARTSAT-COSPAS.

#### **Les sémaphores :**

Les sémaphores sont classés en trois catégories :

- Les **vigies** assurent une veille permanente (24h/24) à l'entrée des ports militaires
- Les sémaphores de **1<sup>re</sup> catégorie** assurent une veille permanente (24h/24) en des endroits remarquables de la côte ou dangereux pour la navigation, ainsi qu'à l'entrée des ports de commerce d'intérêt majeur (Le Havre, Marseille, Dunkerque...)
- Les sémaphores de **2<sup>e</sup> catégorie** assurent une veille du lever au coucher du soleil.



## **ANNEXE 6 : CARACTERISTIQUES DES REMORQUEURS DE SAUVETAGE ABEILLE FLANDRE ET JASON**

### Caractéristiques de l'Abeille Flandre :

#### **Données générales :**

Dimensions : 63.45 x 14.74 x 6.90 mètres

Jauge brute : 1577 tonneaux

Port en lourd : 2220 tonnes

#### **Energie - Propulsion :**

Motorisation : 4 moteurs Diesel quatre temps Atlas-MaK 8 M453 AK (8 cylindres en ligne)

2 hélices à pales orientables en tuyères Liaaen entraînées chacune à 150 t/mn par deux moteurs, par l'intermédiaire d'un réducteur-jumeleur Lohmann & Stolterfoht GVA 1250 C avec embrayages pneumatiques;

Propulseurs d'étrave : 2 propulseurs transversaux avant Ulstein de 350 CV chacun

Usine électrique : 2 alternateurs attelés Siemens de 440 kVA chacun, 3 groupes Diesel-alternateurs Caterpillar D353TA/Siemens de 320 kVA chacun.

Puissance : 4 x 2350 kW (12800 CV)

Traction au point fixe : 160 tonnes

Vitesse maximale : 17 nœuds

Distance franchissable : 36000 nautiques

Equipage : 2 équipages de 10 hommes

#### **Equipements :**

1 treuil de remorquage Norwinch (400 t de charge statique), avec tambour d'une capacité de 1500 m de câble, de 70 mm, tension 150 t

1 treuil de remorquage Norwinch (400 t de charge statique), avec tambour d'une capacité de 1500 m de câble, de 70 mm, tension 150 t

1 treuil à embrayage par friction de 1500 m de câble et de tension constante de 110 t

1 grue de 4t Hydralift

Principales caractéristiques du Jason

<b>Dimensions</b>		<b>Vitesse</b>	
Longueur ht :	67 m	Vitesse maximum :	14 nœuds
Largeur max. ht :	15,40 m	<b>Equipements</b>	
Tirant d'eau max :	5,95 m	1 grue de 2 t à 15 m - charge maxi sur le pont arrière 1200 t	
<b>Déplacement</b>		1 treuil de remorquage et de relevage d'ancres hydraulique à deux tourets de 250 t (300 t au frein) chacun (capacité unitaire 2000 m de câble de 77 mm de diamètre chacun)	
Déplacement lège :	2100 t	2 canons incendie à eau alimentés par 2 pompes de 1500 m3/heure chacune à 14 bar	
Déplacement pc :	2310 t	1 système de positionnement dynamique Konsberg (classe 1)	
<b>Energie / Propulsion</b>		<b>Capacités</b>	
2 moteurs diesels quatre temps Caterpillar type 3612 DITA, 12 cylindre en V		Chaines 200 m3, fuel oil 1230 m3, boues liquides 400 m3	
1 hélice à pales orientables Schottel de 3,50m de diamètre en tuyère par l'intermédiaire d'un réducteur		Matériaux pulvérulents (4 silos) 250 m3 - Eau de forage 700 m3 - Eau douce 270 m3	
2 propulseurs d'étrave en tunnel Brunvoll de 600 kW chacun		<b>Equipage</b>	
1 propulseur transversal arrière Brunvoll de 600 kW		8 hommes dont le commandant (possibilité d'embarquer jusqu'à 30 passagers).	
Usine électrique : 2 alternateurs attelés de 1600 kW chacun, 2 groupes Diesel-alternateurs Caterpillar 3408 DITA de 370 kW chacun à 1800 t/mn			
Puissance :	2 x 4060 kW (2 x 5516 ch) à 750 t/mn		
Traction au point fixe : 126 tonnes			

## ANNEXE 7 : REMORQUEURS AU PORT DE MARSEILLE-FOS

(Source : Guide d'informations portuaires du port de Marseille-Fos –Avril 2017)

BASSINS EST		
Remorqueurs	Traction	Moteur / Puissance
MISTRAL 7	40,5 T	ABC 4150 HP
MISTRAL 9	40,5 T	ABC 4150 HP
BASSINS OUEST		
Remorqueurs	Traction	Moteur / Puissance
VB RHONE	70,5 T	ABC 5290 HP
VB CRAU	70,5 T	ABC 5290 HP
VB CAMARGUE	70,5 T	ABC 5290 HP
VB ESTEREL	70,5 T	ABC 5290 HP
VB PROVENCE	55 T	Deutz 5000 HP
MARSEILLAIS 6	55 T	Deutz 5000 HP
PORT-SAINT-LOUIS		
Remorqueurs	Traction	Moteur / Puissance
MARSEILLAIS 5	28 T	MARK 2720 HP
COQUE DE SECOURS - BASSINS OUEST		
Remorqueurs	Traction	Moteur / Puissance
MISTRAL 8	40,5 T	ABC 4150 HP
COQUE DE SECOURS - BASSINS EST		
Remorqueurs	Traction	Moteur / Puissance
MISTRAL 10	40,5 T	ABC 4150 HP

Tableau 24 : Capacités des remorqueurs portuaires du port de Marseille-Fos

Tous les remorqueurs sont dotés de défenses élastiques à l'avant et à l'arrière.

Le délai de ralliement des remorqueurs dans les bassins Ouest peut varier de 15 mn à 1h45 mn en fonction du poste à servir et des circonstances.

Dans les bassins Est, le délai est de 45 mn.

## ANNEXE 8 : FLOTTE DE SAUVETAGE DE LA SNSM

(Source : Les sauveteurs en mer – Rapport annuel 2015)

Présentation de la flotte de sauvetage SNSM en Méditerranée :

FLOTTE DE SAUVETAGE	
	MÉDITERRANÉE
Canots tous temps (8 canotiers)	8
Vedettes de 1 <sup>re</sup> classe (6 canotiers)	12
Vedettes de 2 <sup>e</sup> classe (4 canotiers)	27
Vedette de 3 <sup>e</sup> classe (4 canotiers)	0
Vedettes légères et embarcations diverses	2
Vedettes d'instruction pour les CFI des Nageurs Sauveteurs	4
Véhicules nautiques à moteur en station ou CFI	20
Embarcations pneumatiques semi-rigides	15
<b>TOTAL</b>	<b>88</b>

Tableau 25 : Flotte de sauvetage de la SNSM

Les navires de la SNSM pouvant intervenir dans la zone sont :

- les canots de tout temps (vert et orange) dont les caractéristiques principales sont les suivantes :

Longueur : 15,50/17,60 m

largeur : 4,40m

Insubmersible et auto-redressable

Vitesse 18 à 22 nœuds

Puissance : 2 moteurs diesel IVECO de 360 cv chacun

SNS 073 (SNSM de Carro)



- les vedettes de 1<sup>ère</sup> classe (bleu et orange) dont les caractéristiques principales sont les suivantes :

Longueur : 14m / 16.8 m

Largeur : 4,60 m

Insubmersible et auto-redressable

Vitesse : 25 nœuds

Puissance : 2 moteurs diesel de 500 cv

SNS 152 (SNSM de Marseille)



- les vedettes de 2<sup>ème</sup> classe dont les caractéristiques principales sont les suivantes :

Série 10.50 m

Longueur : 10,50 m

largeur : 3,50m

Insubmersible

Vitesse 24 nœuds

Puissance : 2 moteurs diesel de 330 cv

SNS 265 (SNSM de Bandol)



Série 9m

Longueur : 9,00 m

largeur : 3,40m

Insubmersible

Vitesse 28 nœuds

Puissance : 2 moteurs diesel de 200cv

## **ANNEXE 9 : EVENEMENTS MAJEURS DE SECURITE CIVILE EN MER MEDITERRANEE OCCIDENTALE DEPUIS 30 ANS**

(Plan ORSEC Maritime Méditerranée – mai 2016)

Octobre 1979 : glissement de terrain sous-marin pendant l'élargissement de l'aéroport de Nice. Retrait brusque de plus de deux mètres dans le port de Nice provoquant un raz de marée (vagues d'une amplitude de sept mètres et tsunami de 2 à 3 mètres de hauteur).

Avril 1991 : embrasement du ferry « Moby Prince » en route pour la Sardaigne, après avoir heurté violemment de sa proue le pétrolier « Agip Abruzzo » mouillé au large du port de Livourne (Italie). 140 personnes périssent brûlées.

Avril 1991 : naufrage (après incendie et explosion) au large de Gênes (Italie) du pétrolier chypriote « Haven » transportant 144 000 tonnes de produit brut en cargaison. La pollution s'étend de la région Ligure jusqu'au Var (Hyères).

Janvier 1994 : échouement du navire roulier « Monte Stello » (SNCM) près de l'île de Barrettini (Sardaigne, Italie).

Septembre 1996 : naufrage du cargo panaméen « Fenès », transportant 2 650 tonnes de blé, près des îles Lavezzi (Bouches de Bonifacio).

Mai 1999 : au cours d'une opération de chargement du pétrolier maltais « Enalios Thetis », 55 tonnes de pétrole brut sont déversées en mer au terminal pétrolier de Sarroch (Sardaigne, Italie). 13 km de littoral sarde sont souillés par la marée noire.

Novembre 1999 : échouement sur les plages de Port-la-Nouvelle (Aude) et Leucate-la-Franqui (Aude) des vraquiers « Danube Voyager », « Arvin » et « Simba », alors au mouillage d'attente.

Février 2005 : navire à passagers bahaméen « Voyageur » en grande difficulté lors d'une tempête entre les îles Baléares et la Sardaigne.

Août 2005 : échouement puis naufrage du yacht britannique « Land's End » (70 tonnes de combustible de navigation) dans le golfe de Sagone (Corse-du-Sud).

Août 2007 : échouement en baie de Cannes (Alpes-Maritimes) du yacht bahaméen « Lady Moura » (105 m de long) lors d'une manœuvre d'embarquement et de débarquement de passagers.

Février 2008 : échouement du cargo fluviomaritime maltais « Natissa », transportant 1 400 tonnes de ciment, sur le Gos Sarranier (île de Porquerolles, Var).

Novembre 2008 : crash de l'Airbus A320 (compagnie XL Germany) au large du Cannet-en-Roussillon (Pyrénées-Orientales). 7 personnes décèdent et une est portée disparue.

Janvier 2009 : échouement du cargo turc « Gunay 2 », transportant 3 100 tonnes de blé, sur le plateau rocheux (platier) au sud-ouest de l'îlot du Planier (Marseille).

## **ANNEXE 10 : FAITS MARQUANTS DU CROSSMED SUR 2015 ET 2016 (RAPPORTS D'ACTIVITES)**

OP SURNAV 0903 du 20/08/15 – Le Sémaphore du Bec de l'Aigle informe que le porte conteneur « SKYLINE » a une avarie sur son moteur principal et qu'il se trouve non maître de sa manœuvre dans le 220° du Cap Sicié pour 16 Nm. Une lourde investigation sera nécessaire afin de localiser la panne. COM et OPEM seront avisés de l'évolution de la situation. L'avarie nécessitera la mise à bord de techniciens 5 heures après le début de celle-ci. Le navire reprendra sa route sur Fos en soirée après 15 heures de réparations sur son moteur principal.

OP SURNAV 0967 du 03/09/15 – La capitainerie de Port la Nouvelle reporte une avarie électrique sur le cargo « AHMET CAN » en sortie du port, dans le chenal d'accès nécessitant une prise de remorque afin qu'il soit mis au mouillage. L'avarie des deux générateurs nécessitera l'intervention de techniciens extérieurs et l'apport de pièces de remplacement, le navire restera au mouillage 9 jours avant d'être mis à quai pour cause météo et poursuivre ses réparations. Le cargo repartira le 20 septembre à destination de Cagliari.

OP SURNAV 1208 du 13 octobre 2016 – Le sémaphore de l'île Rousse reporte un black-out à bord du ferry « MONTE D'ORO » se situant à 15,6 nq de la pointe de la Revellata avec 143 personnes à bord. Le navire récupérera ces capacités de manœuvre 15 minutes plus tard et reprendra sa route sur Ajaccio. Le Centre de Sécurité des Navires PACA/CORSE sera avisé de cette opération ainsi que le Centre Opérationnel de la Marine Nationale. Le navire aura trois problèmes majeurs sur ses machines durant l'année 2016, tout comme le navire de la même compagnie « PAGLIA ORBA » qui reportera des problèmes machines à quatre reprises.

OP SURNAV 1283 du 29 octobre 2016 – le navire à passager « SEADREAM 1 » (186 passagers à son bord) en avarie de propulsion face au port de Nice avec le pilote à son bord et le remorqueur portuaire, demande un mouillage secteur Beaulieu/mer. Le pilote nous informe de la présence d'une équipe technique à bord du navire suite à l'incendie du moteur tribord lors de sa dernière escale. L'avarie provient cette fois-ci du moteur bâbord qui a subi un échauffement. Le commandant du navire refusera de signer le contrat de remorquage avec la station de pilotage de Nice. En soirée, le navire déclare avoir réparé le moteur bâbord. Le 30 octobre au matin une inspection par le Centre de Sécurité des Navires et par la société de classification sera réalisée et, à l'issue de cette inspection, le navire sera autorisé à reprendre la mer après consultation de l'état du pavillon. Dans la nuit du 1er



novembre, le navire se stoppera dans le Sud de Marseille afin d'effectuer une maintenance sur son moteur bâbord. Il finira par reprendre sa route quelques heures plus tard vers le port de Port Vendres.

OP SURNAV 1435 du 11 décembre 2016 – Un aéronef de la marine nationale détecte dans le 160 / Sémaphore de Porquerolles / 95 nq, le cargo « BOULIS » stoppé et en avarie (changement du filtre à huile et investigation du moteur principal) mais ne demandant pas d'assistance extérieure. La prise de communication avec ce navire sera difficile au vu de l'éloignement de celui-ci. Un contact sera établi par INMARSAT et par mail. Le navire affirmera avoir terminé ses réparations dans la soirée du 11 décembre. Il s'avèrera que le navire était toujours en avarie (turbo-chargeur), et ce jusqu'au 12 décembre, information recueillie auprès de l'armateur. Il reprendra sa route vers Port la Nouvelle le 12 décembre en soirée à la vitesse réduite de 4 nœuds. Il arrivera au port le 14 décembre où une inspection par le Centre de Sécurité des Navires sera organisée.

## ANNEXE 11 : DISTRIBUTION DES VENTS

La distribution des vents est donnée par le tableau ci-après:

Sector	Degrees ranges (°)	C (m/s)	k	Freq. (%)
N	[345° - 015°[	12.542	2.230	15.71
NNE	[015° - 045°[	5.681	1.979	3.05
ENE	[045° - 075°[	5.248	2.085	2.61
E	[075° - 105°[	8.930	1.413	4.90
ESE	[105° - 135°[	11.623	2.180	14.13
SSE	[135° - 165°[	7.880	2.354	10.37
S	[165° - 195°[	6.449	1.844	5.51
SSW	[195° - 225°[	5.934	1.847	4.12
WSW	[225° - 255°[	7.384	2.058	5.14
W	[255° - 285°[	9.568	2.214	8.20
WNW	[285° - 315°[	10.544	2.279	10.53
NNW	[315° - 345°[	11.026	2.419	15.75

Tableau 26 : Distribution des vents

Sa fonction de répartition est définie par :

$$F(x; k, \lambda) = 1 - e^{-(x/\lambda)^k}$$

La distribution de vent en incidence et force est présentée dans la Table suivante :

Secteur	N	NNE	ENE	E	ESE	SSE	S	SSO	OSO	O	ONO	NNO	
Vitesse	[345;15]	*[15;45]	[45;75]	[75;105]	[105;135]	[135;165]	[165;195]	[195;225]	[225;255]	[255;285]	[285;315]	[315;345]	
0-1	0.06%	0.10%	0.08%	0.22%	0.07%	0.08%	0.17%	0.15%	0.08%	0.06%	0.05%	0.05%	1.16%
1-2	0.20%	0.27%	0.25%	0.34%	0.23%	0.32%	0.43%	0.37%	0.25%	0.20%	0.19%	0.20%	3.25%
2-3	0.37%	0.39%	0.37%	0.39%	0.42%	0.61%	0.59%	0.50%	0.41%	0.35%	0.35%	0.41%	5.16%
3-4	0.55%	0.45%	0.43%	0.40%	0.60%	0.89%	0.68%	0.56%	0.52%	0.50%	0.51%	0.64%	6.73%
4-5	0.71%	0.45%	0.42%	0.40%	0.76%	1.11%	0.69%	0.55%	0.59%	0.63%	0.66%	0.86%	7.84%
5-6	0.86%	0.40%	0.36%	0.38%	0.90%	1.24%	0.65%	0.50%	0.61%	0.72%	0.79%	1.07%	8.48%
6-7	0.99%	0.33%	0.27%	0.36%	1.01%	1.26%	0.57%	0.42%	0.58%	0.77%	0.88%	1.23%	8.68%
7-8	1.08%	0.25%	0.19%	0.33%	1.07%	1.19%	0.48%	0.34%	0.52%	0.79%	0.93%	1.35%	8.49%
8-9	1.14%	0.17%	0.11%	0.30%	1.10%	1.04%	0.38%	0.25%	0.44%	0.76%	0.94%	1.40%	8.02%
9-10	1.16%	0.11%	0.06%	0.27%	1.10%	0.84%	0.28%	0.18%	0.35%	0.70%	0.90%	1.39%	7.34%
10-11	1.14%	0.07%	0.03%	0.24%	1.05%	0.64%	0.20%	0.12%	0.26%	0.62%	0.84%	1.32%	6.55%
11-12	1.10%	0.04%	0.01%	0.21%	0.98%	0.45%	0.14%	0.08%	0.19%	0.53%	0.75%	1.21%	5.69%
12-13	1.03%	0.02%	0.01%	0.18%	0.89%	0.30%	0.09%	0.05%	0.13%	0.43%	0.65%	1.06%	4.84%
13-14	0.94%	0.01%	0.00%	0.15%	0.79%	0.19%	0.06%	0.03%	0.09%	0.34%	0.54%	0.90%	4.03%
14-15	0.84%	0.00%	0.00%	0.13%	0.68%	0.11%	0.04%	0.02%	0.05%	0.26%	0.43%	0.73%	3.29%
15-16	0.73%	0.00%	0.00%	0.11%	0.57%	0.06%	0.02%	0.01%	0.03%	0.19%	0.34%	0.57%	2.63%
16-17	0.62%	0.00%	0.00%	0.09%	0.47%	0.03%	0.01%	0.00%	0.02%	0.13%	0.25%	0.43%	2.06%
17-18	0.51%	0.00%	0.00%	0.08%	0.37%	0.01%	0.01%	0.00%	0.01%	0.09%	0.18%	0.31%	1.58%
18-19	0.42%	0.00%	0.00%	0.06%	0.29%	0.01%	0.00%	0.00%	0.01%	0.06%	0.13%	0.22%	1.19%
19-20	0.33%	0.00%	0.00%	0.05%	0.22%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.04%	0.09%	0.15%	0.88%
20-21	0.26%	0.00%	0.00%	0.04%	0.17%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.02%	0.06%	0.09%	0.64%
21-22	0.20%	0.00%	0.00%	0.04%	0.12%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%	0.04%	0.06%	0.46%
22-23	0.14%	0.00%	0.00%	0.03%	0.09%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%	0.02%	0.04%	0.32%
23-24	0.11%	0.00%	0.00%	0.02%	0.06%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%	0.02%	0.22%
24-25	0.07%	0.00%	0.00%	0.02%	0.04%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%	0.01%	0.15%
25-26	0.05%	0.00%	0.00%	0.01%	0.03%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%	0.10%
26-27	0.04%	0.00%	0.00%	0.01%	0.02%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.07%
27-28	0.02%	0.00%	0.00%	0.01%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.05%
28-29	0.02%	0.00%	0.00%	0.01%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.03%
>29	0.02%	0.00%	0.00%	0.02%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.06%
	15.71%	3.05%	2.61%	4.90%	14.13%	10.37%	5.51%	4.12%	5.14%	8.20%	10.53%	15.75%	100.0%

Tableau 27 : Distribution des vitesses et directions pour le vent sur le site du projet Provence Grand Large

## ANNEXE 12: PROBABILITE DE COLLISION FRONTALE SUITE A UNE ERREUR DE NAVIGATION

### Arbre de défaillance

Les collisions frontales sont modélisées en utilisant l'arbre de défaillance présenté par la figure suivante.

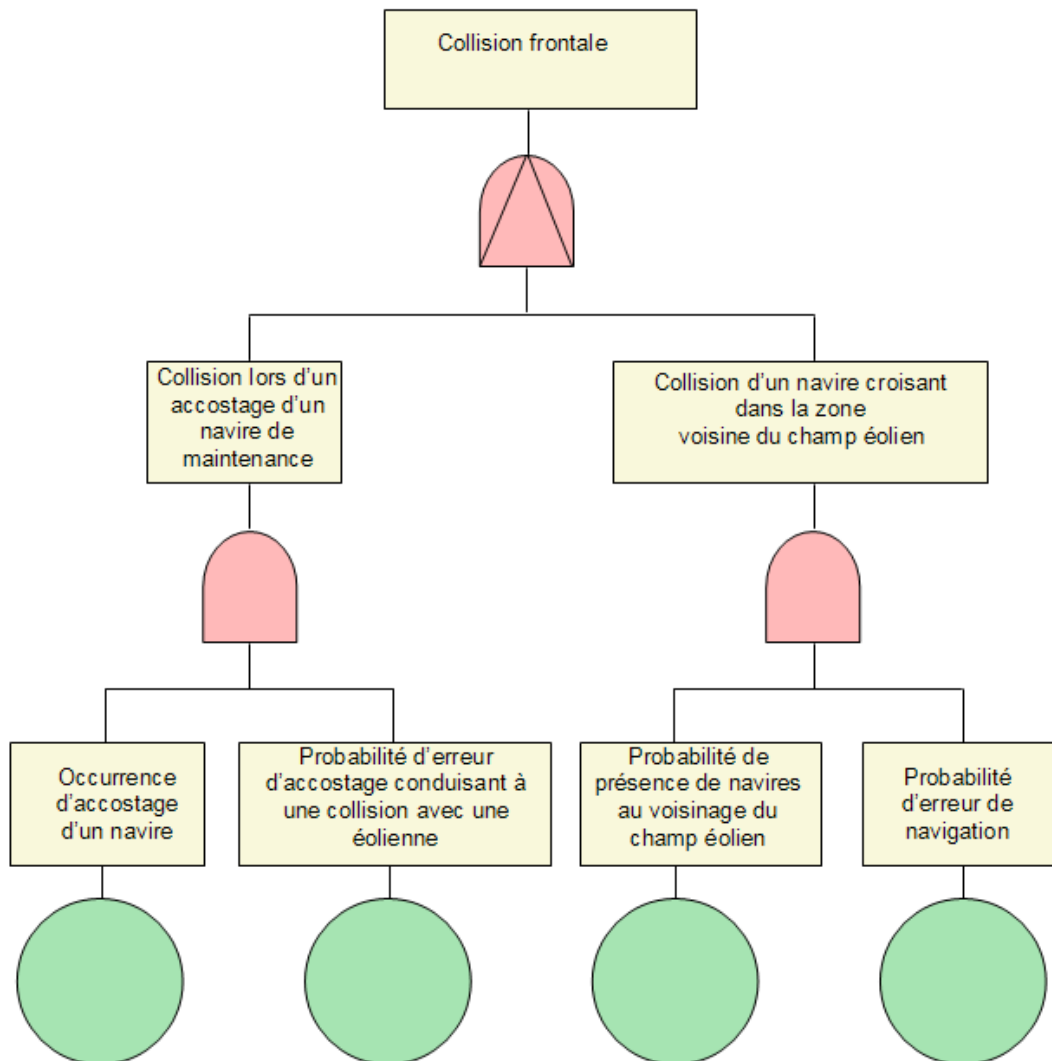


Figure 52 : Arbre de défaillance d'une collision due à une erreur de navigation

Les scénarios de collision frontale ont été définis à partir de la simple combinaison de facteurs représentés par un arbre de défaillance. Les fréquences d'occurrence des évènements initiateurs sont obtenues à partir des données de trafic et des données fournies soit par la littérature, soit EDF EN, ou par des hypothèses conservatives dans le cas où l'information pertinente n'a pu être trouvée.

## **Probabilité de collision frontale**

Selon la référence bibliographique, MSC88 INF 8 (IMO), les études statistiques pointent que le risque des navires de type « general cargo » est principalement lié au talonnage, collision et échouage, qui contribuent pour 85% des pertes de navires.

Afin d'identifier les causes de l'accident pour ces risques majeurs, les rapports d'enquête GISIS soumis par les pavillons ont été analysés.

Les collisions sont principalement causées par :

- l'erreur humaine (55% de tous les accidents)
- la défaillance de la gouverne (12% des accidents)
- une avarie machine/moteurs (9% des accidents)
- une défaillance de l'ancre (12% des accidents)

Il a pu être constaté que 11% des accidents avaient eu lieu dans des conditions de visibilité réduite (brouillard/pluie forte).

Les erreurs humaines sont souvent favorisées par une surcharge de travail causant une perte de vigilance/concentration de l'officier de quart.

Nous avons déduit et utilisé l'hypothèse que les navires présents dans la zone d'exposition avaient une probabilité de réaliser une erreur de  $2.7 \cdot 10^{-7}$  par heure et par navire.

Le logiciel Driftec réalise ensuite les calculs de probabilités de collision en fonction de l'éloignement du navire ayant fait une erreur de navigation.

## ANNEXE 13: PROBABILITE DE COLLISION SUITE A DERIVE ACCIDENTELLE

### Formulation du risque lié à une dérive accidentelle

Le modèle de détermination de la probabilité qu'un navire à risque donné engendre un évènement redouté peut s'exprimer suivant la formule:

$$(1) P_n = P_a \cdot P^\alpha \cdot P_e$$

avec :

- $P_n$  : probabilité d'un évènement redouté sur un navire à risque « n » donné
- $P_a$  : probabilité d'un évènement initiateur de dérive accidentelle
- $P^\alpha$  : probabilité de dérive accidentelle vers le parc éolien
- $P_e$  : probabilité d'occurrence d'un évènement redouté

$P_a$  est déterminé à partir des statistiques d'incidents susceptibles d'initier une perte de manœuvrabilité d'un navire;

$P^\alpha$  est évalué en considérant les conditions météo – océanographiques, en particulier la distribution angulaire du vent (rose des vents) dans la zone maritime considérée ;

$P_e$  évalue le risque qu'une éolienne subissant une collision engendre un évènement redouté (dommages structurels, pertes humaines, pollution, etc.)

La probabilité globale est obtenue en cumulant les probabilités individuelles  $P_n$  sur l'ensemble de la flotte concernée et sur l'ensemble des routes maritimes « r » situées au voisinage de la centrale, selon la formule :

$$(2) P = \int_r \int_t P_n dt dr$$

La dérive accidentelle peut arriver dans les cas suivants :

- quand le navire est à quai/au mouillage et les amarres ou l'ancre rompent.
- quand le navire est de passage et perd sa manœuvrabilité.

Les deux causes principales pour un navire d'être non manœuvrant sont l'avarie du gouvernail et le black-out de la propulsion. La perte de propulsion est l'élément prépondérant en termes de fiabilité mais aussi en termes d'impact puisqu'une avarie de barre laissera la possibilité d'effectuer une action d'évitement grâce à la propulsion.

Le scénario de dérive accidentelle peut être contrecarré en réparant le problème, en ancrant le navire en urgence ou en appelant un remorqueur. La défaillance de l'appareil propulsif peut arriver à n'importe quel endroit tout au long de sa route.

Un certain nombre de facteurs doivent arriver en même temps pour qu'une dérive accidentelle soit initiée. Pour ce qui intéresse le risque de collisions avec une éolienne du parc pilote, vents et courants doivent pousser le navire dérivant vers le parc pilote.

Il est important de considérer les conditions météorologiques qui vont impacter les scénarios de dérive accidentelle. Vents, vagues et courants vont influencer sur les vitesses de dérive (et aussi sur les énergies d'impacts) ainsi que sur la probabilité de rompre les amarres ou bien que l'ancre décroche. Les scénarios d'ancres qui décrochent ne sont pas considérés dans la présente étude.

Les scénarios de dérive accidentelle ont été définis en utilisant des arbres de défaillance, comme cela a déjà été présenté pour les collisions frontales.

La collision suite à la dérive accidentelle vers le parc éolien peut être évitée par l'action à temps d'un remorqueur adéquat.

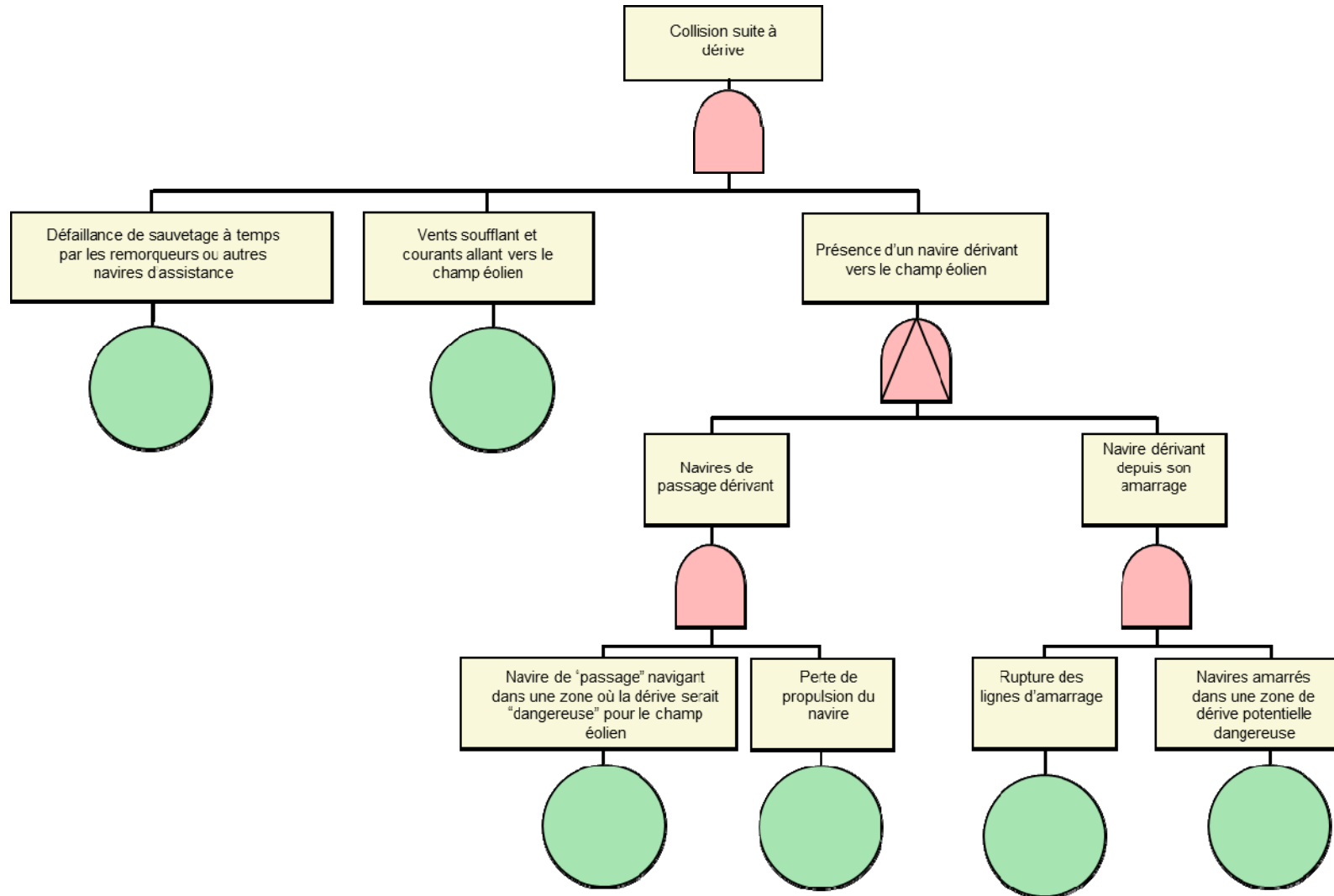
"A temps" implique que d'abord, l'équipage (ou armateur/manager) décide et demande l'assistance d'un remorqueur, ensuite qu'un « remorqueur adéquat » (navire et équipage) soit disponible, que le remorqueur rejoigne le navire dérivant, avant qu'il n'entre en collision avec le parc éolien.

« Remorqueur adéquat » implique que le bollard pull et l'équipement du remorqueur soient adaptés à la taille du navire dérivant et aux conditions

### **Arbre de défaillance**

Les collisions suite à la dérive accidentelle sont modélisées en utilisant l'arbre de défaillance présenté par la figure suivante.





*Figure 53 : Arbre de défaillance d'une collision suite à une dérive accidentelle*

## **Méthode de détermination de la densité de présence des navires pouvant dériver vers le parc éolien**

Afin de déterminer la probabilité de présence de navires, nous procédons selon la méthodologie suivante :

- Filtrage des données AIS par type de navires.
- Création de points intermédiaires toutes les 30 secondes entre deux enregistrements espacés d'une heure.
- Quand il n'y a qu'un enregistrement par navire, il est considéré que le navire a quitté la zone.
- Ne sont conservées que les positions dont la dérive accidentelle vers le champ éolien est physiquement possible. L'effet d'écran/protection des côtes, îles, etc est bien pris en compte.
- Re-routage pour les trajectoires qui traversent le champ éolien (lorsque nécessaire)
- Création d'un système de coordonnées polaires avec comme origine du repère le centre du champ éolien. Un maillage fin est généré.
- Pour chaque type de navires, nous déterminons le nombre de points dans chacune des mailles.
- Pour chaque type de navires et chaque maille, le nombre de points est multiplié par un coefficient (selon la période d'enregistrement), afin d'obtenir le temps total passé pendant les périodes d'enregistrement, et déduire finalement la probabilité d'avoir la présence d'un type de navire pour chaque maille du maillage
- Les probabilités sont ensuite extrapolées, avec les ratios qui ont précédemment été trouvés et obtenir enfin la présence de chaque type de navire par maille et pour la période souhaitée.

Cette méthode est suivie pour étudier aussi bien les navires avec ou sans route maritime.

## **Exposition au risque de dérive suite à la perte de propulsion : principe du calcul**

Un navire ayant perdu sa manœuvrabilité va dériver sous l'action du vent, des vagues et du courant.

La trajectoire suivie et la vitesse de dérive dépendent du type et de la taille du navire, des caractéristiques météo – océanographiques (vitesse et direction du vent, hauteur des vagues et direction de propagation, vitesse et direction du courant).

Le schéma type est le suivant :

- l'environnement se caractérise par un vent de vitesse et de direction données, auquel se cumule une mer du vent dont la direction de propagation se confond avec celle du vent,

- le navire dérive alors dans le sens d'action des éléments (vent + mer du vent), il oscille autour d'une position d'équilibre qui le conduit à se positionner perpendiculairement à la direction du vent (et donc à la mer du vent),

Un modèle de simulation hydrodynamique est mis en œuvre qui permet le calcul de la vitesse moyenne de dérive sous l'action cumulée des efforts de trainée dus au vent, des efforts moyens de dérive sur houle et des efforts de courant s'il y a lieu.

Il est admis dans ce modèle que l'intensité du vent et des vagues de même que leur direction de propagation restent stables durant la dérive, ainsi, la trajectoire est supposée rectiligne et colinéaire à la direction du vent.

La figure suivante schématise le modèle mis en œuvre et montre le cône critique de dérive vers la cible.

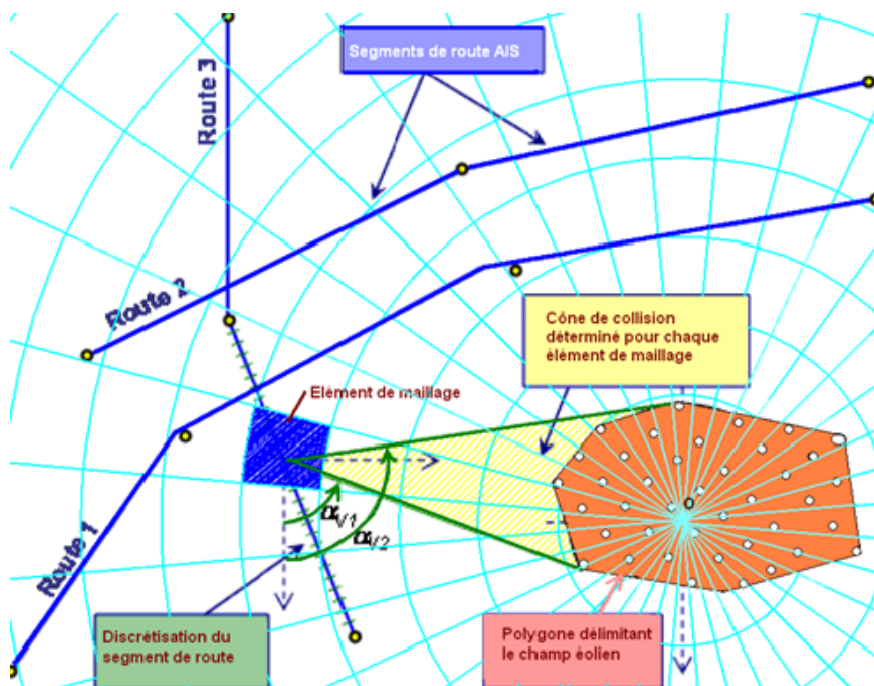


Figure 54 : Représentation du modèle de calcul de probabilité de dérive

Sur la figure précédente est présentée l'approche de discrétisation et maillage des routes (routes, segments, éléments de maillage) et la définition de la zone cible (rayon, amplitude angulaire). Les enregistrements AIS permettent de construire ces routes. Chaque route correspond à un navire et plus généralement à un type de navire. Comme nous l'avons expliqué dans la méthodologie, chaque route est discrétisée en points également espacés dans le temps.

Dans chaque maille (en bleu sur la figure), plusieurs routes de navires peuvent y passer, et pour chaque type de navire, le nombre de points (correspondant à la probabilité de ce type de navire dans cette zone pour une période donnée) est comptabilisée la probabilité de dériver vers le champ éolien est ensuite calculée. Le champ éolien est ici représenté par le polygone qui limite son périmètre.

Le logiciel calcule ensuite, pour chaque élément de maillage des routes, le cône de dérive vers la zone cible. La probabilité qu'un navire en dérive atteigne la zone cible est calculée en fonction de la probabilité d'avoir un vent défavorable (i.e. intersection entre la rose de vents et le cône de collision) et suffisamment puissant pour que la dérive dans la zone cible se produise avant que des remorqueurs puissent intervenir. A cette fin, des vitesses critiques de vent sont calculées pour chaque élément de route et pour chaque type de navire (les coefficients de dérive étant propres à chaque type de bateau). Quelques relations utilisées lors des calculs sont présentées ensuite.

La vitesse de dérive d'un navire de type  $iN$  est calculée en fonction de la vitesse du vent ( $V$ ) par une formule de type :

$$V_D(iN, V) = \sqrt{C_1(iN)H_s^2 + C_2(iN)V^2 + C_3(iN)}$$

$C_1$ ,  $C_2$  et  $C_3$  sont des coefficients de dérive spécifiques à chaque type de navire et  $H_S$  dénote la hauteur de la mer du vent. Il est supposé que le vent et la houle agissent dans la même direction (mer du vent).

Une collision suite à dérive arrivera seulement si toutes les tentatives pour sauver le navire ont échoué.

Les moyens d'empêcher la dérive sont les suivants :

- Réparation : Beaucoup de défaillances sont identifiées et réparées avant qu'elles ne puissent aboutir à un impact. L'équipage du bateau est généralement bien formé et équipé pour exécuter des réparations à la mer et les pièces de rechange pour beaucoup de composants majeurs sont normalement stockées à bord.

Une fonction de réparation est implémentée dans le modèle DRIFTEC :

$$f(t) = 1 \quad \text{pour } t < 0,25 \text{ h}$$
$$f(t) = \frac{1}{(1,5 \cdot (t - 0,25) + 1)} \quad \text{pour } t > 0,25 \text{ h.}$$

avec t = temps depuis lequel la défaillance moteur est arrivée  
(en heure)

- Remorquage : Un remorqueur « adéquat » peut également venir stopper la dérive. Ceci est possible en fonction de la taille de bateau, de la vitesse de dérive et la disponibilité du remorqueur.

En conformité avec l'identification des moyens de sauvetage décrits, les remorqueurs Abeille Flandre et Le Jason ont la capacité à arrêter tout navire de dériver vers le champ éolien. Compte tenu de la position du champ et considérant que l'Abeille Flandre peut se trouver soit à Toulon soit au Sud de la Corse, et que le Jason est lui basé à Toulon, nous prendrons une hypothèse d'intervention moyenne du remorqueur en 9H

- Mouillage d'urgence.. Selon la zone et la vitesse du navire, le capitaine peut décider de jeter l'ancre pour stopper sa dérive. Cependant, la probabilité de la réussite d'un ancrage a été considérée, dans le cadre de cette étude, de manière conservative, nulle.

### **Fréquence de perte de propulsion**

Les risques de navigation sont associés aux opérations de navigation des navires. Pendant sa route, un navire peut entrer en collision avec un autre, talonner, incendie/explosion, avarie de coque/avarie de machine/erreur humaine.

Ces événements divers constituent autant de causes initiales pour une dérive accidentelle qui, sous l'effet de l'environnement (la houle, le vent, le courant) peut mener le bateau dans une direction donnée.

Un black-out peut être causé par un manque de carburant, contamination de celui-ci, ou bien défaillance du système électrique. La gravité de l'incident dépend du lieu auquel le black-out arrive, de la direction du vent, de la vitesse de vent et bien sûr la durée de la panne.

Si un haut degré de redondance a été conçu pour la salle des machines, alors la reprise de contrôle du navire peut être regagnée dans un temps relativement court. Dans d'autres situations, le temps de dérive peut être de l'ordre de plusieurs heures. Le bateau dérivant évoluera latéralement et (approximativement) dans la direction du vent.

La plupart des navires connaissent de l'ordre d'un black-out du moteur principal par an. Pour un navire donné, cela varie de 0.1 à 2 blackouts par an.

La fréquence des blackouts dépend du degré de redondance et du niveau général de maintenance. Les ferries et les ro/ro ont généralement un haut degré de redondance au niveau de la salle machine (2 à 4 unités de propulsion) et ont pour cette raison, un très faible niveau d'occurrence de blackouts. Pour les navires à système de propulsion unique, la fréquence est plus élevée.

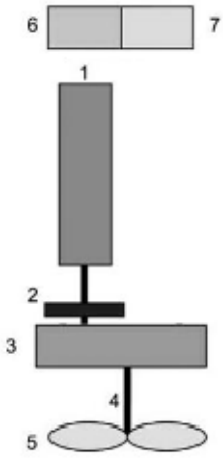
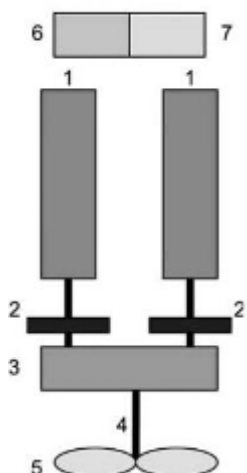
<p><b>System arrangement</b></p> 	<p>Pour les navires les moins redondants (types « Tankers » ; « Autres navires ») :</p> <p>P (perte de propulsion; T0) = 0.817 par an et par navire</p> <p>En considérant 336 jours de navigation,              P(perde de propulsion,T0)=  <math>0.817/336/24 = 1.013 \times 10^{-4}</math> par heure et par navire</p>
	<p>Pour les navires avec une redondance intermédiaire (type « Cargo ») :</p> <p>P (perte de propulsion,T0) = 0.452 par an et par navire</p> <p>En considérant 336 jours de navigation,              P(perde de propulsion,T0)=  <math>0.452/336/24 = 5.61 \times 10^{-5}</math> par heure et par navire</p>
<p><b>System arrangement</b></p> 	<p>Pour les navires les plus redondants, (type « Passager ») :</p> <p>P (perte de propulsion,T0) = 4.35E-5 par an et par navire</p> <p>En considérant 336 jours de navigation,              P(perde de propulsion, T0)=  <math>4.35E-5/336/24 = 5.39 \times 10^{-9}</math> par heure et par navire</p>

Figure 55 : Probabilité de défaillance selon le type d'architecture propulsive



## REFERENCES PRINCIPALES

- [1] Données AIS Janvier 2015 à Décembre 2016 (24 mois)
- [2] Rapport données de vent, houle et courant (respectivement MIS-GEN-VIP-REP-GLOBO-0001-1D-1\_Winds\_MIS ; MIS-GEN-VIP-REP-GLOBO-0001-1D-2\_Waves\_MIS ; MIS-GEN-VIP-REP-GLOBO-0001-1D-1\_Currents\_MIS)
- [3] Recommandations AISM O-139 ; Edition 1 Décembre 2008 ; La signalisation des structures artificielles en mer
- [4] MSC88 INF 8 General cargo ship safety ; IACS FSA study; summary of results
- [5] Projet stratégique 2014-2018 GPM Marseille
- [6] CROSS MEDITERRANEE, BILANS 2015 et 2016
- [7] Synthèse de l'activité des navires actifs à la pêche de la façade Méditerranée en 2014 (IFREMER, janvier 2017)
- [8] Methodology for accessing risk to ship traffic from offshore Wind farms, SSPA Sweden AB; 18 Juin 2008
- [9] MSC1 Circ 1023 Guidelines for Formal Safety Assessment
- [10] CMPT, 1999, A Guide to Quantitative Risk Assessment for Offshore Installations, ISBN I 870553 365
- [11] « Synthèse des flottilles 2012 » IFREMER
- [12] Bilans annuels de 2013 à 2016 du GPM de Marseille-Fos
- [13] ORSEC MARITIME MEDITERRANEE, Organisation de la réponse de Sécurité Civile en mer Méditerranée, Préfecture Maritime de Méditerranée, mai 2016

### **Sites internet principaux:**

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

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

<http://www.premar-mediterranee.gouv.fr/>

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

<http://www.marseille-port.fr>

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

<http://www.onml.fr>

<https://www.snsn.org/>

<https://www.marinetraffic.com/fr/>