Note méthodologique

Analyse multicritère pour l'identification de zones propices à l'éolien flottant à la Réunion

Note du 02/05/2023

Réalisation : Nathalie ETHEVE - Relecture : Bérénice DIAZ – Validation : Matthieu HOARAU

Table des matières

1. IDENTIFICATION DES CONTRAINTES PHYSIQUES, ENVIRONNEMENTALES, REGLEMENTAIRES ET LOGISTIQUES 3

A. MILIEU PHYSIQUE 3

I. Conditions météo-océaniques 3

II. Contexte géologique et morphologique 4

B. MILIEU NATUREL 6

I. Classements rédhibitoires 6

II. Espaces naturels de protection forte 7

III. Espaces de continuité écologiques 8

IV. Préservation du patrimoine biologique 9

C. MILIEU HUMAIN 9

I. Servitudes techniques dans l'espace aérien 9

II. Servitudes et usages de l'espace maritime 12

III. Aspect paysager 14

IV. Rentabilité du parc éolien 14

2. DELIMITATION DES ZONES POTENTIELLEMENT FAVORABLE A L'EOLIEN FLOTTANT 16

REFERENCES 19

Préambule

La Programmation Pluriannuelle de l'Energie (PPE) fixe un objectif de 0 à 40 MW d'énergie éolienne offshore d'ici 2028. Les vents d'Alizés en mer étant plus constants, prévisibles et plus forts qu'à terre, leur exploitation pourrait augmenter la part de l'énergie éolienne dans le mix énergétique.

La présente étude a pour objectif d'identifier les zones potentiellement favorables à l'éolien offshore, et de hiérarchiser ces zones entre elles en réalisant une analyse croisée d'un certain nombre de paramètres. Les contraintes et enjeux à l'implantation d'un parc (tels le gisement en vent, les servitudes et contraintes techniques, la protection des espaces naturels …) sont évalués au regard de leur impact et de leur propension à constituer un frein dans son implantation. Un support cartographique est associé à cette note [2023-04-13_SPLHR_PPT_ANALYSE-MULTICRITERES-ZONAGE-EOL-MER_VSE].

Par manque de données, certains critères n'ont pas été pris en compte dans cette étude mais nécessiteront une analyse plus fine de la part du porteur de projet :

- Pour le milieu physique :
  - les données de géologie structurale et sédimentaires au-delà de 100 m de profondeur ;
  - les risques et aléas naturels ;
  - les conditions météo-océaniques extrêmes.
- Pour le milieu naturel :
  - les secteurs privilégiés et migration des espèces marines ;
  - les corridors de vol et migration de l'avifaune.
- Pour le milieu humain :
  - les usages existants des espaces marins à des fins économiques ou de loisir ;
  - le raccordement électrique au réseau terrestre.

1. Identification des contraintes physiques, environnementales, réglementaires et logistiques

A. Milieu physique

I. Conditions météo-océaniques

a) Le vent

Le potentiel énergétique de l'éolien en mer est plus important que sur terre. En l'absence de relief, le vent y est plus constant, malgré une variabilité saisonnière et diurne.

Les vitesses et directions moyennes annuelles du vent utilisées dans cette analyse sont issues des données spatialisées de vent à 100 m de hauteur extraites du modèle AROME de Météo France sur la période 2016-2018 (grille de 2.5x2.5 km). Cette hauteur de 100 m correspond à la hauteur moyenne de moyeu d'une éolienne de 5-6 MW, c'est-à-dire dans la gamme basse des puissances nominales d'éoliennes installées en mer dans le monde.

Bien qu'une analyse in-situ sera nécessaire afin d'affiner l'estimation du gisement en vent, ces données permettent de localiser les zones les plus exposées (et donc les plus favorables à l'implantation d'un parc éolien) au nord et au sud de l'île.

Le CEREMA préconise une **vitesse moyenne de vent supérieure à 7 m/s** pour garantir une production minimale d'énergie dans les parcs éolien flottant. Les zones concernées par des vents de vitesse inférieure seront exclues.

b) La houle

Les oscillations de la houle créent des contraintes mécaniques sur les matériaux et les structures composant l'éolienne flottante, notamment sur la plateforme flottante et le système d'ancrages. À long terme, la fatigue des matériaux limite la durée de vie des équipements. Par ailleurs, les opérations de maintenance sur l'éolienne sont conditionnées à des hauteurs de houle limite pour la navigabilité, l'accostage, le travail en hauteur, etc. L'exposition à la houle doit donc être prise en compte dans la localisation du parc.

La Réunion reçoit trois types de houles différents :

- Les houles d'alizées, atteignant plutôt le Sud et l'Est, s'observent toute l'année avec une fréquence et une hauteur plus importante en hiver. Créées par le vent sur de courtes distances/durées, elles sont assez peu énergétiques ;
- Les houles australes, concernent majoritairement le Sud et l'Ouest. Issues des tempêtes en Antarctique en hiver austral, elles sont très énergétiques ;
- Les houles cycloniques surviennent en été et touchent davantage le Nord.

Les synthèses annuelles et saisonnières de houle disponibles ont été générées lors du projet Hydrorun mené par l'Ifremer en 2012. Les données issues de ce modèle montrent que les hauteurs significatives moyennes annuelles de la houle sont plus importantes sur le littoral Sud de l'île.

Le CEREMA préconise en 2019 pour les parcs éoliens pilote une hauteur significative cinquantennale de la houle (impactant notamment le dimensionnement des structures et leurs coûts) inférieure à 15 m et une hauteur significative médiane maximale (impactant la fréquence d'accessibilité au site) inférieure à 2,7 m. **En l'absence de données** modélisant les hauteurs significatives médianes et cinquantennales autour de l'île, **les conditions de houle ne seront pas prises en compte dans l'étude.**

c) Les courants

Les courants peuvent exercer des charges sur les fondations des éoliennes et participer à leur affouillement. Ces contraintes concernent principalement les éoliennes posées.

Le projet HYDRORUN a calculé, pour l'année 2006, les vitesses et direction de courant autour de la Réunion selon une maille de 100 m de côté et sur 30 niveaux de profondeur en chaque point. Les vitesses maximales annuelles des courants barotropes (moyennés sur toute la hauteur de la colonne d'eau) ou des courants de surface ne dépassent pas 1 m/s.

Dans son étude de 2019, le CEREMA estime que la vitesse des courants de marée de vives-eaux doit être inférieure à 2,5 m/s pour les parcs éoliens flottant commerciaux. **Par manque de données, ce paramètre ne sera pas pris en compte dans l'étude.**

II. Contexte géologique et morphologique

a) La bathymétrie

Le choix de la technologie éolienne posée ou flottante d'un parc dépend de la bathymétrie. Une éolienne en mer peut reposer sur le fond marin (éolien posé) ou sur une base flottante (éolien flottant). Jusqu'à 50 m l'éolien posé sera privilégié pour des raisons technique et budgétaire, au-delà l'éolien flottant sera préconisé.

Les données bathymétriques utilisées dans cette étude ont été produites par le SHOM. La Réunion présentant un relief sous-marin très pentu, l'isobathe des 50 m se trouve très proche de du trait de côte c'est pourquoi, afin de diminuer l'impact visuel du parc, la technologie de l'éolien flottant y est privilégiée.

Actuellement, les éoliennes flottantes en Europe se situent à des profondeurs maximales de 200 m environ. Plus la profondeur est grande et plus les défis techniques et économiques augmentent. Des technologies et des équipements spécifiques pour l'ancrage, la transmission d'énergie et la maintenance sont alors nécessaires. Ainsi, les coûts d'installation et de maintenance peuvent être plus élevés et donc avoir un impact sur la viabilité économique du projet. Cependant, la filière de l'éolien flottant évolue rapidement et pourrait bien devenir plus compétitive. Aux Etats-Unis, un

projet de parc éolien de 2 GW devrait voir le jour avant 2030 au large de Morro Bay à des profondeurs minimales de 500 m et jusqu'à 1000 m de fonds.

Compte tenu de ce qui précède, les zones situées **en deçà de 50 m et au-delà de 1000 m de profondeur** seront exclues de cette étude.

b) Le contexte structural et sédimentaire

Le contexte structural et sédimentaire des fonds marins et du littoral aura une incidence sur le type d'ancrage des éoliennes mais également sur le coût de l'atterrage du parc.

- Les cirques de la Réunion sont soumis à une érosion très importante. Les sédiments volcanoclastiques résultants sont transportés sur les pentes sous-marines lors d'événements parfois de grande ampleur telles des **crues torrentielles ou des avalanches de débris**. La localisation et la fréquence de ces évènements sont à prendre en compte dans la localisation de l'implantation du parc. De même, des systèmes de canyons et de chenaux incisent les flancs de l'île et leur emplacement doit être connu.
- Sur le littoral, la présence de **falaises** est peu favorable à l'atterrage des câbles électriques du parc, même si des options de remontées de falaise ont pu être proposées par RTE en métropole (exemple du parc éolien en mer de Dieppe Le Tréport).

Deux projets ont permis une première **cartographie du littoral et jusqu'à 100 m de fonds** :

- Le projet CARTOMAR financé par le BRGM et l'ex-DIREN Réunion, qui propose une cartographie des sédiments déposés entre 20 et 100 m de profondeur.
- L'atlas POLMAR (DCE-POLMAR-RUN) réalisé par le laboratoire GEOMER, qui fournit des données morpho-sédimentaires du littoral et permet de distinguer 4 systèmes :
    - Le système rocheux et les côtes à falaises
    - Le système côtier corallien
    - Le littoral artificialisé
    - Le système alluvial.

Ces données sont toutefois insuffisantes dans le cadre d'un projet éolien flottant qui implique une connaissance plus fine de la géologie des grandes profondeurs et des impacts associés. Le contexte structural et sédimentaire ne sera donc **pas pris en compte dans cette étude**.

c) Les aléas et risques naturels

Les aléas naturels (volcanisme, cyclone…) et leurs conséquences seront à prendre en compte par les porteurs de projet. A titre d'exemple, l'activité volcanique peut générer des écoulements sur les reliefs pentus sous-marins de l'Est de l'île ce qui, outre les considérations paysagères, interdit tout ancrage en prolongement de l'enclos. De même, la tenue aux vents extrêmes des cyclones devra être considérée dans le dimensionnement des éoliennes.

Par **manque de données**, ce paramètre ne sera **pas pris en compte** dans cette étude.

B. Milieu naturel

Le territoire réunionnais présente une valeur écologique importante tant au niveau régional que national. Les outils de protection des milieux et espaces marins mais aussi de la flore et de la faune qui y vivent doivent être pris en compte par les porteurs de projet. La plupart de ces périmètres de protection se situent à terre ou sur le littoral : la réglementation associée ne concerne dans ce cas pas directement l'implantation d'éoliennes flottantes mais l'autorisation de raccordement.

I. Classements rédhibitoires

Parmi les classements rédhibitoires à l'installation d'un parc en mer et/ou à son raccordement on dénombre :

- Les réserves naturelles : L'article L.332-9 du Code de l'environnement prévoit que « les territoires classés en réserve naturelle ne peuvent, ni être détruits, ni modifiés dans leur état ou dans leur aspect, sauf autorisation spéciale (...) du représentant de l'Etat pour les réserves naturelles nationales » ; l'implantation d'éoliennes et leurs atterrages y sont donc proscrits. A la Réunion, ces dispositions concernent :
    - La réserve naturelle marine qui s'étend du Cap La Houssaye à l'Etang Salé sur un linéaire côtier de 40 km environ et d'une largeur de 300 à 1600 m. Les activités y sont réglementées par le décret n°2007-236 du 21 février 2007 portant création de la réserve naturelle marine.
    - La réserve naturelle de l'étang de Saint-Paul délimitée par le décret n°2008-4 du 2 janvier 2008 portant création de la réserve naturelle nationale de l'étang de St Paul.
- Les Arrêtés Préfectoraux de Protection de Biotope (APPB) qui sont des outils réglementaires en application de la loi du 10 juillet 1976 et encadrés par les articles R.411-15 du Code de l'environnement. Ils ont pour vocation la protection du milieu de vie d'une espèce et non les espèces en elles-mêmes. Parmi les trois APPB existant à la Réunion, seul l'APPB de l'îlot de Petite Ile pris en 1986 concerne l'espace littoral (2 ha) : bien qu'il soit hors zone d'implantation d'éolienne, aucun atterrage ne pourra se faire dans le périmètre protégé.
- Les réserves biologiques (intégrales et dirigées), protégées par arrêtés interministériels et soumises au régime forestier géré par l'ONF. Du fait de ces arrêtés, l'autorisation d'emprise nécessaire pour les travaux d'un parc éolien se verrait refuser. Sur le littoral réunionnais, seul l'enclos de la Fournaise et le littoral de Saint-Philippe sont concernés.

- Les Espaces Naturels Remarquables du Littoral (ENRL) définis par les articles L.121-23 et R. 121-4 et où ne sont autorisés qu'un certain nombre d'aménagements prévus au Code de l'urbanisme. Notamment, l'article R121-5 du Code de l'Urbanisme autorise dans ces espaces, « *à la condition que leur localisation dans ces espaces corresponde à des nécessités techniques*, ***les canalisations nécessaires aux services publics ou aux activités économiques***, *dès lors qu'elles sont enfouies et qu'elles laissent le site dans son état naturel après enfouissement, et que l'emprise au sol des aménagements réalisés n'excède pas cinq mètres carrés*. ». La zone Nord est la moins concernée par cet outil de protection.
- Le domaine foncier du Conservatoire du Littoral non compris au sein des ENRL. Le conservatoire possède à ce jour 17 sites (1713 ha) répartis sur le littoral réunionnais.
- La loi n° 2023-175 du 10 mars 2023 relative à l'accélération de la production d'énergies renouvelables se veut d'assouplir le cadre juridique autour de l'implantation d'éoliennes et de leur raccordement. L'article 66 prévoit ainsi que « *dans la bande littorale définie aux articles L. 121-16 et L. 121-45, dans les espaces identifiés comme remarquables ou caractéristiques et dans les milieux identifiés comme nécessaires au maintien des équilibres biologiques en application de l'article L. 121-23, l'autorisation ne peut être accordée (…) que* ***pour le passage de lignes électriques, lorsque leur localisation répond à une nécessité technique impérative démontrée***. »

II. Espaces naturels de protection forte

Certains espaces naturels de protection forte ne sont pas rédhibitoires mais ont des enjeux forts et peuvent être soumis à avis favorable. Parmi ces espaces protégés, ceux qui peuvent impacter la faisabilité d'un projet éolien en mer sur le territoire réunionnais sont :

- Les zones humides d'importance internationale au sens de la convention « Ramsar », qui n'a pas de portée juridique mais dont la reconnaissance a pour objectif d' « *élaborer et maintenir un réseau international de zones humides importantes pour la conservation de la diversité biologique mondiale et la pérennité de la vie humaine, en préservant leurs composantes, processus et avantages/services écosystémiques* ». A la Réunion, l'Etang de Saint-Paul a obtenu le label Ramsar le 15 juillet 2019.
- L'inventaire des Zones Naturelles d'Intérêt Ecologique Faunistique et Floristique marines (ZNIEFF marines) qui est un inventaire de référence du patrimoine naturel national en domaine marin. Bien que n'ayant pas de portée réglementaire directe, il convient de veiller dans ces milieux à la présence d'espèces protégées pour lesquelles existe une réglementation stricte. Le littoral réunionnais est concerné par 44 ZNIEFF mer de type 1 (qui possèdent un patrimoine naturel riche) et 20 ZNIEFF mer de type 2 (qui constituent une zone de transition avec les ZNIEFF de type 1 et qui définissent les ensembles naturels homogènes peu modifiés aux potentialités biologiques importantes).

- Les sites classés, notamment ceux de la Pointe au sel (décret ministériel du 5 mai 1988) et des Grottes des premiers français (classées le 1er juin 1973) qui, selon l'article L.341-10 du Code de l'environnement, « *ne peuvent ni être détruits ni être modifiés dans leur état ou leur aspect sauf autorisation spéciale* ». Cette autorisation préalable sera délivrée en fonction du type de travaux par le Ministère chargé des sites, après avis de la DREAL, de la DRAC (Service Territorial de l'Architecture et du Patrimoine du département) voire de la Commission Départementale de la Nature, des Paysages et des Sites (CDNPS) ou par le préfet du département.
- Les biens inscrits sur la liste du patrimoine mondial de l'UNESCO, qui ont une valeur patrimoniale importante bien que leur proximité ne soit pas incompatible avec l'implantation d'éoliennes. Le bien des « Pitons, cirques et remparts de l'Ile de la Réunion » est classé depuis le 1er avril 2012 sur la liste du patrimoine mondial de l'Unesco. Bien que l'implantation d'éoliennes en mer se feraient en dehors de tout périmètre du bien, l'impact visuel d'un projet éolien et de son raccordement devra être mesuré au regard de la vue des biens qu'il pourrait modifier.
- Les abords des monuments historiques, qui sont protégés par les articles L 621-31 à 32 du Code du Patrimoine. Toute construction se situant dans leur champ de visibilité doit obtenir l'accord préalable de l'architecte des bâtiments de France.

III. Espaces de continuité écologiques

Il existe des espaces de continuité écologique dans lesquels l'implantation d'éoliennes n'est pas interdite mais peut avoir un impact écologique important :

- La trame marine, composante maritime de la trame bleue définie par les articles L.371-1 à 6 du Code de l'environnement qui concerne la zone côtière jusqu'à une profondeur de 100 m. A la Réunion, elle détermine des corridors écologiques ainsi que la présence de réservoirs de biodiversité pour :
    - La tortue verte : EN (en danger d'extinction) et la tortue imbriquée : CR (danger critique) ;
    - Le grand dauphin indopacifique : EN (en danger d'extinction) ;
    - La baleine à bosse : VU (vulnérable).
- La trame noire, qui a pour objectif de lutter contre la pollution lumineuse perturbant les espèces diurnes. La Loi Biodiversité de 2016 a agrémenté l'article 371-1 du Code de l'environnement de la notion de gestion de la lumière artificielle la nuit. De plus, les articles 583-1 à 5 portent sur la prévention des nuisances lumineuses contre lesquelles lutte la

trame noire. A la Réunion, la trame noire est circonscrite au pourtour de l'île. Elle est basée sur 4 espèces d'oiseaux :

- Le Pétrel noir de Barau ;
- Le Pétrel noir de Bourbon ;
- Le Puffin Tropical ;
- Le Puffin du Pacifique.

IV. Préservation du patrimoine biologique

Conformément à l'article L 411-1 du Code de l'environnement, les animaux appartenant à une espèce protégée ne peuvent subir de destruction, mutilation, ou de perturbation intentionnelle. De même, leurs habitats ne peuvent être détruits ou altérés.

L'article 411-2 du Code de l'environnement prévoit que l'on puisse déroger à ces interdictions *« à condition qu'il n'existe pas d'autre solution satisfaisante, (…) et que la dérogation ne nuise pas au maintien, dans un état de conservation favorable, des populations des espèces concernées dans leur aire de répartition naturelle ».*

Les enjeux relatifs à la biodiversité marine devront être identifiés notamment pour les compartiments suivants :

- Les mammifères marins ;
- Les tortues ;
- L'avifaune : oiseaux marins et migrateurs ;
- Les chiroptères ; Les chauves-souris de la Réunion (Roussette noire, Taphien de Maurice et Petit Molosse) sont inféodées au milieu terrestre pour leur recherche de nourriture et leurs gîtes. L'impact d'éoliennes sur leur population est donc à priori faible.
- Les poissons, mollusques, crustacés et invertébrés benthiques ;
- Les habitats benthiques.

Le manque d'exhaustivité en matière de biodiversité devra être comblé par des mesures in-situ ainsi que par des études d'impact environnemental.
Les observations de mammifères marins et de tortues (**Annexe 1**) étant conditionnées par les sorties bateau (principalement situées sur la côte sous le vent), elles n'ont pas été prises en compte dans la hiérarchisation des zones identifiées. Les suivis de baleines à bosse par balise Argos (campagnes Miromen) ne sont quant à elle pas librement accessibles.
Dans cette étude, le compartiment de l'avifaune a été sommairement investigué à partir des observations d'oiseaux marins protégés de l'Atlas Borbonica (Portail SINP de la Réunion).

C. Milieu humain

I. Servitudes techniques dans l'espace aérien

L'implantation d'un parc éolien en mer peut perturber la transmission des ondes électromagnétiques ou constituer un danger pour les aéronefs en vol. Le respect de certaines règles permet d'éviter toute incidence dommageable.

a) Les servitudes radioélectriques

Les éoliennes peuvent perturber les ondes hertziennes ou constituer un obstacle à leur propagation en raison de leur hauteurs et dimensions : ces perturbations altèrent la performance des radars météorologiques, militaires et de la navigation aérienne. La prise en compte d'une distance minimale réglementaire d'éloignement vis-à-vis des zones d'émissions est donc un enjeu de sécurité publique :

- Périmètre de servitude contre les perturbations électromagnétiques PT1 :

  Les articles L.57 à L.62-1 et R.27 à R.39 du Code des postes et télécommunications définissent un périmètre de sécurité entre « *les limites d'un centre de réception radioélectrique et le périmètre des zones de servitudes* » de 3000 m.

- Périmètre de servitude contre les obstacles PT2 :

  Les articles L.54 à L.56-1 et R.21 à R.26 du Code des postes et télécommunications définissent des servitudes de protection contre la propagation des ondes électromagnétiques.

  « *La distance séparant les limites d'un centre radioélectrique de toute nature et le périmètre des zones de servitudes ne peut excéder :*

  - 2 000 mètres dans le cas d'une zone secondaire de dégagement ;
  - 800 mètres dans le cas d'une zone primaire de dégagement entourant une installation de sécurité aéronautique ou un centre radiogoniométrique ;
  - 200 mètres dans le cas d'une zone primaire de dégagement entourant un centre autre que ceux mentionnés ci-dessus ;
  - 6 000 mètres dans le cas d'un secteur de dégagement (Zone de servitude autour des stations de radiorepérage ou de radionavigation d'émission ou de réception). »

La Réunion dispose de 35 stations radioélectriques disposant d'une servitude protection de type PT1 ou PT2. Les plus importantes correspondent aux radars de l'aviation civile, militaires et météorologiques (Source SRE 2020).

(1) Radars météorologiques

Les **zones de protection des radars de Météo** France définissent un périmètre réduisant au maximum les éventuels impacts sur leur fonctionnement. Ce périmètre varie en fonction du type de radar :

Type de radar	Distance de protection (km)	Distance d'éloignement minimale (de coordination) (km)
Radar de bande de fréquence C	5	20
Radar de bande de fréquence S	10	30
Radar de bande de fréquence X	4	10

A la Réunion il existe deux radars météos à bande S situés sur la commune de Saint Denis au Colorado et sur la commune du Tampon.

L'implantation d'un parc dans la zone de protection n'est possible que sous avis favorable de Météo France. Si la zone propice se situe à l'intérieur d'une zone de coordination d'un radar, les conditions suivantes devront être remplies (Source : SRE 2020) :

- une longueur maximale de 10 km de chaque zone d'impact associée au projet ;
- une inter-distance minimale de 10 km entre les différentes zones d'impacts ;
- une occultation maximale, à tout moment, de 10 % de la surface du faisceau radar par un ou plusieurs aérogénérateurs ;
- une inter-distance minimale de 10 km entre chaque zone d'impact et les sites sensibles constitués des installations Seveso.

(2) Radars de l'aviation civile

Les zones de protection autour des antennes situées dans les sites aéroportuaires sont incluses dans les servitudes aéronautiques.

(3) Stations radioélectriques militaires

En cas de proximité du parc avec une station radioélectrique militaire, un avis favorable du ministre des Armées est requis (conformément à l'article R.181-32).

A la Réunion, on dénombre 6 centres radioélectriques. Le périmètre de servitude de ces stations comprend une **zone de garde** dans laquelle l'installation d'éoliennes est **prohibée**, et une **zone de dégagement** soumise à une **autorisation spéciale** (Source : SRE 2020).

b) *Les servitudes aéronautiques et militaires*

L'espace aérien doit être exempt d'obstacles portant atteinte à la sécurité des aéronefs (articles L.6351-1 et suivants du Code des transports). Le Code de l'aviation civile défini un ensemble de restrictions représentées sur un plan de servitudes de dégagement sur fond de carte IGN. Le **Plan de Servitude Aéronautique (PSA)** délimite les zones où sont réglementées la hauteur des constructions.

Le PSA de l'aéroport Roland Garros à Sainte-Marie est en cours de révision. En attendant sa disponibilité, nous avons pris en compte pour cette étude les prescriptions issues du plan de servitude de Géoportail.

La Réunion dispose également de deux zones de servitude type AR6 correspondantes aux champs de tirs militaires à Saint Pierre et à la Plaine des Cafres (Source : SRE 2020).

II. Servitudes et usages de l'espace maritime

a) *Les zones de stationnement et de mouillage des navires, zones soumises à prescription*

À la Réunion, l'arrêté préfectoral n° 2080-2022 du 14/10/2022 définit les zones de stationnement et de mouillages autorisées et interdites en fonction du type de navire et de son activité, ainsi que les zones en mer dont l'accès ou l'usage est réglementé.

b) *Les obstructions sous-marines*

(1) *Les épaves de bateaux*

Les épaves sont à prendre en compte dans l'établissement des zones propices afin de ne pas gêner l'ancrage des flotteurs. Les lignes d'ancrage peuvent être tendues ou caténaires, ce qui impacte leur longueur mais aussi leur emprise sur la colonne d'eau. A titre d'exemple, le parc éolien du Golfe du Lion sera constitué de lignes d'ancrages libres dont l'emprise surfacique aura un rayon maximal de 500 m environ pour une profondeur de moins de 70 m. L'emprise spatiale augmente avec la profondeur et donc la longueur des lignes d'ancrage ; elle sera à définir par le porteur de projet en fonction du type de système d'ancrage et des caractéristiques du site.

A la Réunion, **une cinquantaine d'épaves sont recensées** par le SHOM.

(2) *Les câbles et conduites sous-marines*

Les règles relatives à la protection des câbles sous-marins sont fixées par les dispositions du chapitre V du titre II du livre II du Code des postes et des communications électroniques (articles L.72 à L.86).

Il existe quatre câbles de télécommunication qui pourraient constituer des obstacles au nord de l'île. L'implantation des éoliennes devra autant que possible s'en éloigner afin qu'ils ne soient pas impactés par les ancrages.

c) Les zones de restriction

Des zones de restriction peuvent être établies par les autorités qualifiées. L'accès et la navigation à l'intérieur de celles-ci sont soumises à des conditions particulières (Source : SHOM).

A la Réunion, l'arrêté préfectoral n° 2080-2022 du 14/10/2022 impose une interdiction générale de mouillage et de draguage dans les zones d'atterrage des câbles sous-marins.

d) Activités halieutiques, aquacole, nautique et de plaisance

L'implantation d'un parc éolien doit prendre en compte les activités halieutique, aquacole, nautique et de plaisance existantes. Une étude d'impacts devra être réalisée par le porteur de projet en prévention des conflits d'usage maritimes.

Les paramètres pris en compte pour avoir un aperçu cartographique de l'activité de pêche côtière sont :

- Les zones statistiques de pêche côtière telles que définies par le Système d'Information Halieutique de l'IFREMER ;
- Les Dispositifs de Concentration de Poisson (DCP) recensés par le Comité Régional des Pêches. Leur durée de vie en mer étant courte, leur nombre réel est fluctuant et il faut plutôt voir cette donnée comme une estimation haute ;
- Les zones de mouillage des navires définies par l'arrêté préfectoral n° 2080-2022 du 14/10/2022.

En ce qui concerne les statistiques de pêche côtière, le premier critère pris en compte est le nombre de mois de présence des navires dans chaque zone (Ifremer, 2017). On considère qu'un navire est actif un mois donné dès lors qu'il pratique une activité de pêche au moins un jour dans le mois. Ce critère restitue, pour chaque zone, le nombre total de mois d'activité des navires concernés. Il ne donne donc pas une information de l'intensité de l'activité par unité de surface.

Afin d'avoir une idée de l'intensité de l'activité de pêche par unité de surface, les données issues du site globalfishingwatch.org ont été présentées en **Annexe 2** et permettent d'avoir l'effort de pêche apparent de 2020 à 2023.

e) Routes maritimes

Un parc éolien doit respecter des distances minimales de sécurité avec les routes de navigation et les radars de surveillance. Un flux de trafic maritime déjà présent sur la zone pourra être réorienté en fonction du projet. Ainsi, les zones les plus favorables sont les **secteurs de faible densité** de trafic maritime, **éloignés des routes de navigation**.

Les règles de sécurité maritime recommandent une **distance minimale de 2 miles nautiques** (3704 m) **entre une éolienne et une voie de trafic maritime** (note technique du 11 juillet 2016 relative aux mesures de sécurité maritime applicables à la planification d'un champ éolien en mer). Si cette distance n'est pas respectée, l'opérateur doit réaliser une analyse des risques et proposer des mesures compensatoires.

Les densités annuelles moyennes du trafic maritime (en heures par km²) sont disponibles sur le site Global Maritime Traffic. Elles mettent en évidence les grandes routes de navigation de part et d'autre de l'île.

III. Aspect paysager

L'implantation d'un parc éolien flottant aura un impact significatif sur le paysage, il faudra donc déterminer en amont le système paysager sur lequel il intervient afin de préserver son harmonie.

Les côtes d'où seraient visibles les futurs parcs peuvent présenter de forts enjeux paysagers. Pour limiter l'impact depuis certains points de vue, il est nécessaire de recenser les sites culturels et paysagers à préserver, notamment ceux qui bénéficient d'une protection au niveau national (sites classés ou inscrits, monuments historiques, prise en compte de la VUE du bien inscrit au patrimoine mondial…). Lors de la phase d'exploitation, les éoliennes pourraient être aperçues depuis ces sites où être en co-visibilité avec certains d'entre eux : cela en altérerait la perception.

L'éloignement à la côte devra être privilégié autant que possible : au fur et à mesure de l'éloignement, les éoliennes sembleront plus petites et la courbure de la Terre en masquera la partie inférieure.

La présence d'épaves est également à prendre en compte en tant que patrimoine archéologique : l'implantation et le tracé du raccordement devront les éviter.

Les parties terrestres du projet auront un impact paysager moindre dans la mesure où le raccordement sera réalisé en technique souterraine, exception faite du poste électrique qui devra bénéficier d'une intégration paysagère cohérente.

Une étude paysagère incluant des photomontages permettra d'identifier les scénarios d'implantation (disposition, hauteur, emprise…) de moindre impact. De même, une étude de climatologie de visibilité permettra de modéliser la perception visuelle et la fréquence de visibilité des parcs en fonction des conditions météorologiques locales.

IV. Rentabilité du parc éolien

a) Réseau électrique et raccordement

Le réseau électrique de la Réunion est composé de 23 postes de transformation 63 kV/15kV. Il possède une capacité d'injection limitée. Un schéma de raccordement au réseau des énergies renouvelable (S2RENR) a été approuvé en mars 2019. Il mentionne pour chaque poste source les capacités d'accueil de production afin d'atteindre les objectifs définis par la PPE (Source : Ministère

de la Transition écologique). Les conditions de raccordement sont cadrées notamment par l'article L 342-1 et suivants du Code de l'énergie et l'arrêté du 9 juin 2020 (Source : SRE de la Réunion, 2022)

L'accueil d'un parc éolien commercial implique le renforcement des réseaux électriques, actuellement insuffisants, et la création d'un ou plusieurs postes sources dédiés. A la Réunion, la faisabilité technique d'un raccordement est déterminée par EDF en fonction des capacités d'accueil du réseau électrique. Dans le cadre de cette étude, la capacité d'accueil du réseau sera considérée comme étant suffisante.

b) Infrastructures portuaires et distance au port

Le processus de construction d'un parc comprend une phase de fabrication des éléments, une phase d'assemblage à quai, d'installation en mer, de câblage et de raccordement du parc.

Il n'existe pas encore de parc éolien flottant commercial en France. Dans les parcs éoliens posé, la puissance unitaire des éoliennes actuellement implantées s'étale entre 6 et 8 MW (tranche basse de la technologie). Le marché mondial du flottant étant en expansion, on peut s'attendre au déploiement d'éoliennes de puissance unitaire de 15 MW (tranche haute de la technologie) d'ici la fin de la décennie.

Un parc éolien doit disposer d'un port d'attache en capacité de recevoir les activités de construction, puis de maintenance. Cette capacité d'accueil portuaire se détermine suivant :

- **La longueur à bord de quai** : elle doit être suffisamment longue pour permettre le déchargement des **pales** des éoliennes ;
- **Le tirant d'eau** : il doit être en adéquation avec celui des navires de livraison et de travail, et surtout avec celui des **flotteurs** des éoliennes ;
- **La surface à quai disponible** : elle doit pouvoir accueillir le **chantier de montage** des pales sur les éoliennes, et des éoliennes sur leur flotteur ;
- **La charge maximale au sol** des quais et zones de construction, qui doivent résister au poids des équipements manipulés et stockés ;
- Une distance raisonnable au parc pour limiter les coûts d'exploitation et une accessibilité permanente pendant les phases d'exploitation et de maintenance.

Parmi les 5 ports principaux que dénombre la Réunion, 4 sont orientés vers la plaisance et la petite pêche. Leurs conditions d'accès sont limitées (tirants d'eau faibles) et leurs infrastructures peu développées.

Le **Grand Port Maritime de la Réunion** (GPMDLR) est le seul de l'île à pouvoir prétendre à l'accueil de la filière de l'éolien offshore. Le porteur de projet devra prendre en compte les infrastructures dont il dispose notamment pour le dimensionnement des éoliennes du futur parc.

c) *Capacité maximale d'un parc commercial*

Les éoliennes les plus puissantes qui seront commercialisées dans les prochaines années se situent aux environs de 15 MW de puissance nominale. La hauteur de moyeu d'une éolienne de référence de 15 MW est d'environ 150 m (dimensions fournies par le modèle de référence du US National Renewable Energy Laboratory - NREL). Les vitesses de vent augmentent avec l'altitude ; il faut donc connaître la vitesse à 150 m. Celle-ci peut être extrapolée à partir de la vitesse à 100 m à partir de la formule suivante :

$$v_2 = v_1 \frac{\ln\left(\frac{h_2}{Z_0}\right)}{\ln\left(\frac{h_1}{Z_0}\right)}$$

Où :

- v1 est la vitesse de référence mesurée à la hauteur de référence h1 ;
- v2 est la vitesse du vent à la hauteur h2 ;
- z0 est la rugosité (valeur = 0.0002 en mer).

Sur les sites étudiés, un écart d'un maximum de 0,3 m/s a été calculé entre les vitesses issues du modèle AROME à 100 m d'altitude et les vitesses de vent recalculées à 150 m d'altitude. Cet écart de vitesse étant négligeable, le calcul de la puissance s'est fait à partir des mêmes données de vitesses à 100 m d'altitude.

2. Délimitation des zones potentiellement favorable à l'éolien flottant

La méthodologie employée pour déterminer les zones potentiellement favorables d'un point de vue technico-économique est la suivante :

1 - Identification des **zones strictement rédhibitoires**. Sont ainsi concernés :

- Les servitudes radioélectriques de Météo-France ;
- Les servitudes militaires ;
- Les servitudes aéronautiques ;
- La réserve naturelle marine ;
- Les arrêtés préfectoraux de protection du biotope ;
- Les Espaces Naturels Remarquables du Littoral ;
- Les espaces du conservatoire du littoral non compris au sein des ENRL.

2 – Identification des **paramètres technico-économiques clefs** du milieu physique pour la détermination du potentiel éolien flottant.

En 2019, Le CEREMA réalise un retour d'expérience sur l'identification du potentiel d'énergie éolienne en mer. À la suite d'analyses identifiant le potentiel technico-économique à partir de critères validés par les organisations professionnelles de la filière éolienne en mer (Syndicat

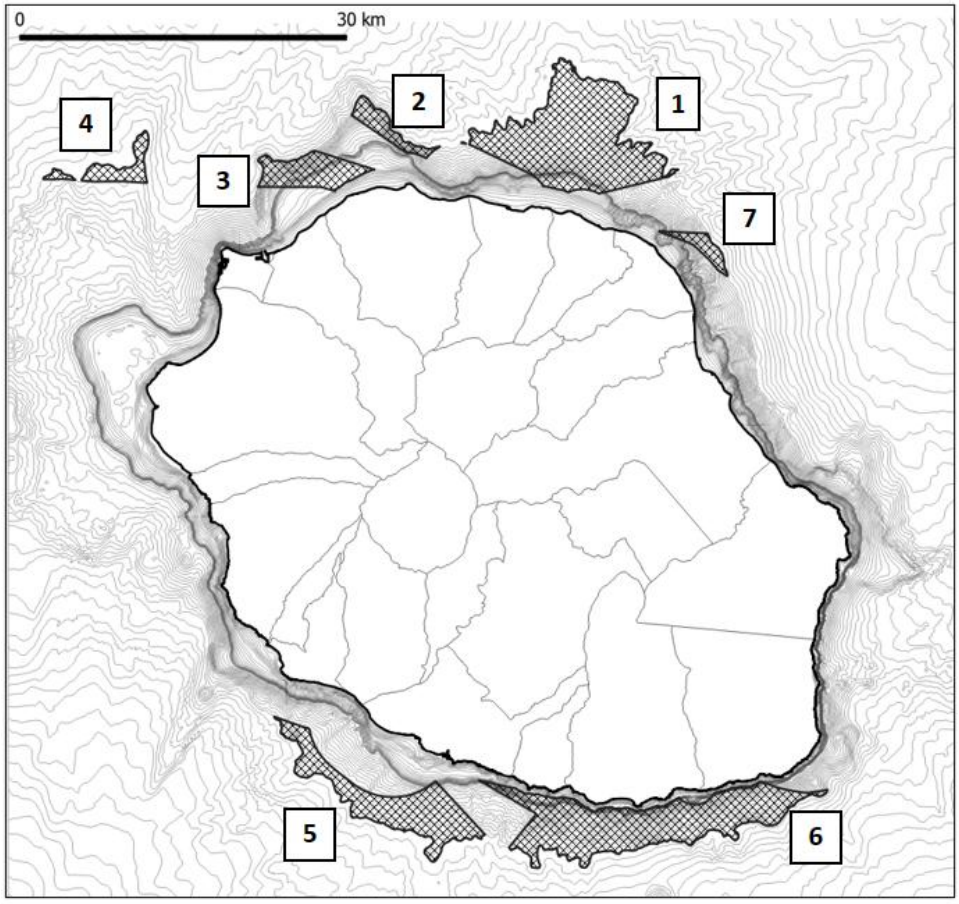
des Energies renouvelables et France Energie Eolienne), il identifie trois paramètres clefs pour la détermination du potentiel des parcs éoliens flottant commerciaux :

- **La bathymétrie**, un critère impactant sur le coût du projet. Dans cette étude, la bathymétrie sera inférieure à 1000 m (au regard des grandes profondeurs en projet à l'international).
- **La vitesse moyenne du vent à 100 m d'altitude**, un critère impactant sur la production. Dans cette étude, la vitesse des vents sera supérieure à 7 m/s (au regard de la préconisation du CEREMA).
- La vitesse maximale des courants de marées de vives-eaux à la surface[1].

3 – Délimitation des **zones potentiellement favorables d'un point de vue technico-économique**.

Sont superposées aux zones rédhibitoires le croisement des zones d'une profondeur inférieure à 1000 m et celles où la vitesse des vents est supérieure à 7 m/s : sept zones potentiellement favorables sont ainsi délimitées : l'analyse multicritère portera sur l'ensemble de ces zones :

[1] Non pris en compte dans cette étude par manque de donnée.



Dans l'objectif de proposer une première prise en compte de l'impact visuel d'un parc éolien flottant, des cartes de visibilité ont été réalisées sous SIG pour chacun des sites potentiellement favorables. Pour cela, l'outil utilisé sur le logiciel QGIS a été le plug-in « Visibility analysis » développé par Zoran Čučković dans le cadre d'une thèse soutenue en 2021[2].

Les cartes obtenues présentent la fraction visible d'une éolienne dans un scénario considéré comme étant le plus contraignant :

- Choix d'une éolienne d'une hauteur de 270 m en bout de pâle (gamme d'éolienne de puissance nominale de 15 MW) ;
- Localisation de l'éolienne au plus proche de la côte au sein des zones potentiellement favorables ;
- Observateur d'une taille moyenne d'un mètre quatre-vingts.
- Effets masquant de la végétation et du bâti non pris en compte ;
- Hypothèse d'une absence de nébulosité.

[2] Advanced viewshed analysis: a Quantum GIS plug-in for the analysis of visual landscapes." by Zoran Čučković in The Journal of Open Source Software 4(1). doi: 10.21105/joss.00032

Références

Eolienne de référence 15 MW utilisée par le US National Renewable Energy Laboratory : IEA_15MW_240_RWT — NREL/turbine-models power curve archive 0 documentation

Modèle de vent AROME Océan Indien de Météo France : données extraites sur la période 2016-2018.

IFREMER, 2018. Activité des navires de pêche 2017 : quartier maritime Saint-Denis de La Réunion. Système d'informations halieutiques. 20 p.

CEREMA, 2019. Énergie éolienne en mer - Retour d'expérience sur l'identification du potentiel. Collection : Connaissances. ISBN : 978-2-37180-333-6.

Observatoire des Énergies de la Mer, 2020. Les ports français, acteurs incontournables du déploiement des énergies marines renouvelables. Note n°08 de l' Observatoire des Énergies de la Mer du Cluster Maritime Français, réalisée en partenariat avec l'Union des Ports de France, octobre 2020, 13 pages.

National Renewable Energy Laboratory (2016). Floating offshore wind in Hawaii: potential for jobs and economic impacts from two future scenarios. Strategic Partnership Project Report NREL/TP-5000-65481. April 2016, 28 p.

National Renewable Energy Laboratory (2016). 2016 Offshore Wind Energy Resource Assessment for the United States. Technical Report NREL/TP-5000-66599. September 2016, 88 p.