

Dossier de presse

ÉOLIEN EN MER AU LARGE DE L'ÎLE DE LA RÉUNION



ENJEUX ET OPPORTUNITÉS



Les sociétés Akuo et BlueFloat Energy se sont rapprochées afin de développer un projet éolien flottant à La Réunion d'une puissance d'au moins 200 MW, conformément aux ambitions politiques locales et nationales.

Le contexte insulaire induit des **contraintes techniques et logistiques** qui imposent de bâtir dès à présent la **filière industrielle locale**.

1• L'éolien en mer

L'éolien est une source d'énergie renouvelable très développée. En France hexagonale, la production d'électricité d'origine éolienne s'est élevée à 25,0 TWh au cours des trois premiers trimestres 2022, soit 7,4% de la consommation électrique française.

D'abord installées à terre, les éoliennes sont également déployées en mer depuis plus de trente ans. Le premier parc éolien offshore du monde a ainsi été installé en mer danoise en 1991.

Il existe plusieurs avantages à développer ce type de technologie en mer. Premièrement, les vents sont plus forts et plus réguliers au large. Des turbines plus puissantes et plus grandes peuvent ainsi être installées afin de capter ce vent aux caractéristiques intéressantes, ce qui permet d'avoir une production éolienne bien plus importante qu'à terre.

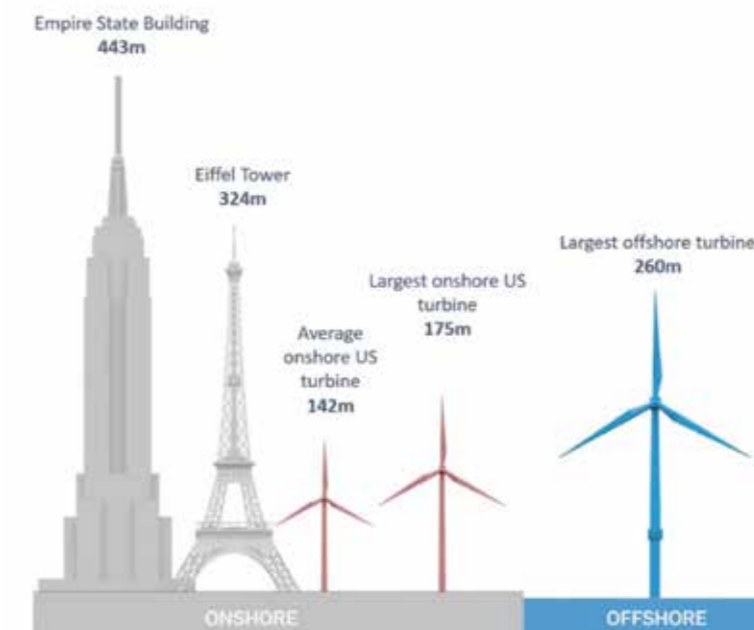


Figure 1. Evolution de la taille des éoliennes -
Source : GE, Vox research [2021]



Figure 2. Parc éolien Borssele 1 & 2 au Danemark -
Source : Ørsted

Le développement de projets éoliens offshore permet également d'amener une activité maritime supplémentaire, créant un nouveau secteur d'activité générateur d'emplois, que ce soit pour la fabrication des différents composants (par exemple les flotteurs), ou les activités portuaires et les métiers associés à la construction et la maintenance tout au long de la durée de vie du parc éolien en mer.

Les parcs d'éoliennes en mer constituent enfin une alternative intéressante aux éoliennes terrestres en permettant notamment de limiter l'utilisation des sols tout en optimisant la production d'énergie grâce à une puissance unitaire des turbines très importante. L'éolien offshore est donc une solution pertinente pour les territoires à forte démographie et à l'espace foncier à terre limité.

Depuis quelques années, un engouement croissant pour l'éolien offshore s'observe à travers le monde. Les avancées technologiques permettent désormais de développer des projets sur des zones jusqu'ici non exploitées. La capacité installée mondiale d'éoliennes offshore est ainsi passée de 3 à 57 GW entre 2010 et 2021.

Il existe deux types majeurs de technologies d'éolienne en mer :

- Les **éoliennes en mer posées** dont les fondations sont directement fixées au plateau continental, à une profondeur allant jusqu'à environ 60 à 70 m.
- Les **éoliennes en mer flottantes** qui reposent sur des fondations flottantes ancrées au sous-sol marin par le biais de systèmes d'ancrage.

Les éoliennes posées bénéficient d'une longue expérience d'installation et d'exploitation, ce qui a contribué à minimiser les risques et à développer l'expertise de cette industrie. L'installation de ces structures, comme pour celle des éoliennes flottantes, requiert la disponibilité de navires spécialisés sur les structures offshore, comme des navires de levage et de forage, ainsi que de navires de services et de transport de personnel. L'installation de ces turbines demande également un espace de stockage portuaire pour les éléments constitutifs du parc. L'assemblage des composants du parc se fait en pleine mer directement sur le site d'exploitation. De nombreuses technologies existent pour poser les éoliennes sur le fond marin.

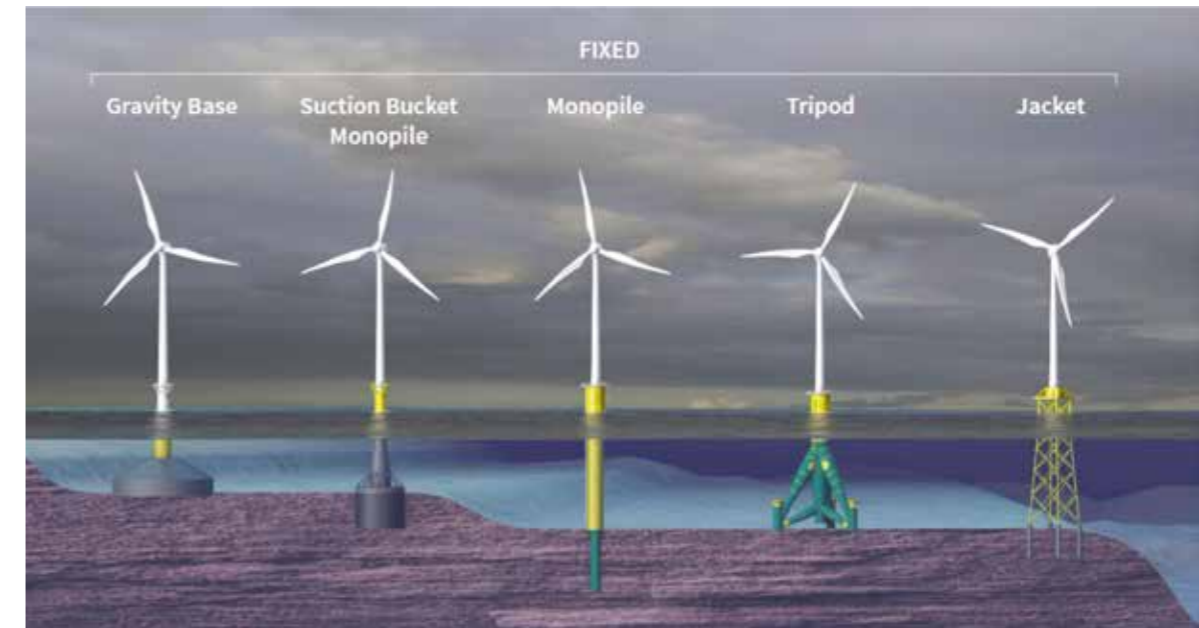


Figure 3. Éolien en mer posé : différents types de structures.
Source : PNNL



Historiquement développé en Europe du Nord (la première éolienne en mer a été installée en 1991 au Danemark), le secteur de l'éolien en mer est pleine phase d'expansion. Ceci notamment en France avec les projets de Saint Nazaire et de Saint Brieuc qui produisent à pleine capacité et le premier projet pré-commercial flottant installé au large de Fos-sur-mer.

L'éolien en mer flottant

La technologie flottante est en pleine expansion et est de plus en plus utilisée à travers le monde. Elle permet d'ancrer les éoliennes à une **plus grande profondeur** que celle atteinte par les fondations des éoliennes posées, implantant ainsi les parcs plus loin des côtes et sur de plus grands espaces. Les éoliennes flottantes permettent également de **réduire l'impact environnemental** en mer, car les méthodes d'installation requises pour leur déploiement présentent moins d'enjeux pour la faune et la flore marine locale que la plupart des fondations utilisées pour des éoliennes posées. Si les éoliennes utilisées restent les mêmes que pour la technologie posée, le concept de la fondation diffère.

Le flotteur

Le flotteur permet de garantir la stabilité de l'éolienne en mer. La majorité des concepts de flotteurs disponibles sur le marché aujourd'hui peuvent être classés en quatre catégories différentes : les barges, les semi-submersibles, les spars et les plates-formes à jambes en tension (plus communément appelées « Tension Leg Platform ou TLP). Le choix final d'une technologie par rapport à une autre dépend des spécificités techniques du site considéré. La turbine est fixée sur cette plateforme flottante, elle-même ancrée sur le fond marin via un système de lignes d'ancrage et de points d'ancrage adaptés. La stabilité de la plateforme est ainsi assurée. Les ancrages d'éoliennes flottantes peuvent atteindre plusieurs centaines de mètres de profondeur.



Figure 4.
En haut : Semi-submersible, acier. Source : Principal Power
En bas : Barge en béton. Source : Idéol

Ancrage

Les points d'ancrage garantissent que les forces imposées à la structure flottante, qui sont transmises par les lignes d'amarrage, soient correctement transférées au sol, en gardant la structure stable. Les propriétés structurales varient en fonction de la nature du sol, il convient alors d'accorder une attention particulière aux détails du sol marin afin de trouver la meilleure solution d'ancrage.

Dans l'illustration ci-dessous, les principaux types de points d'ancrage utilisés sont présentés, classés par types de sol (sol dur à sol meuble en abscisse) et par profondeur d'eau (des eaux peu profondes aux eaux très profondes en ordonnée)

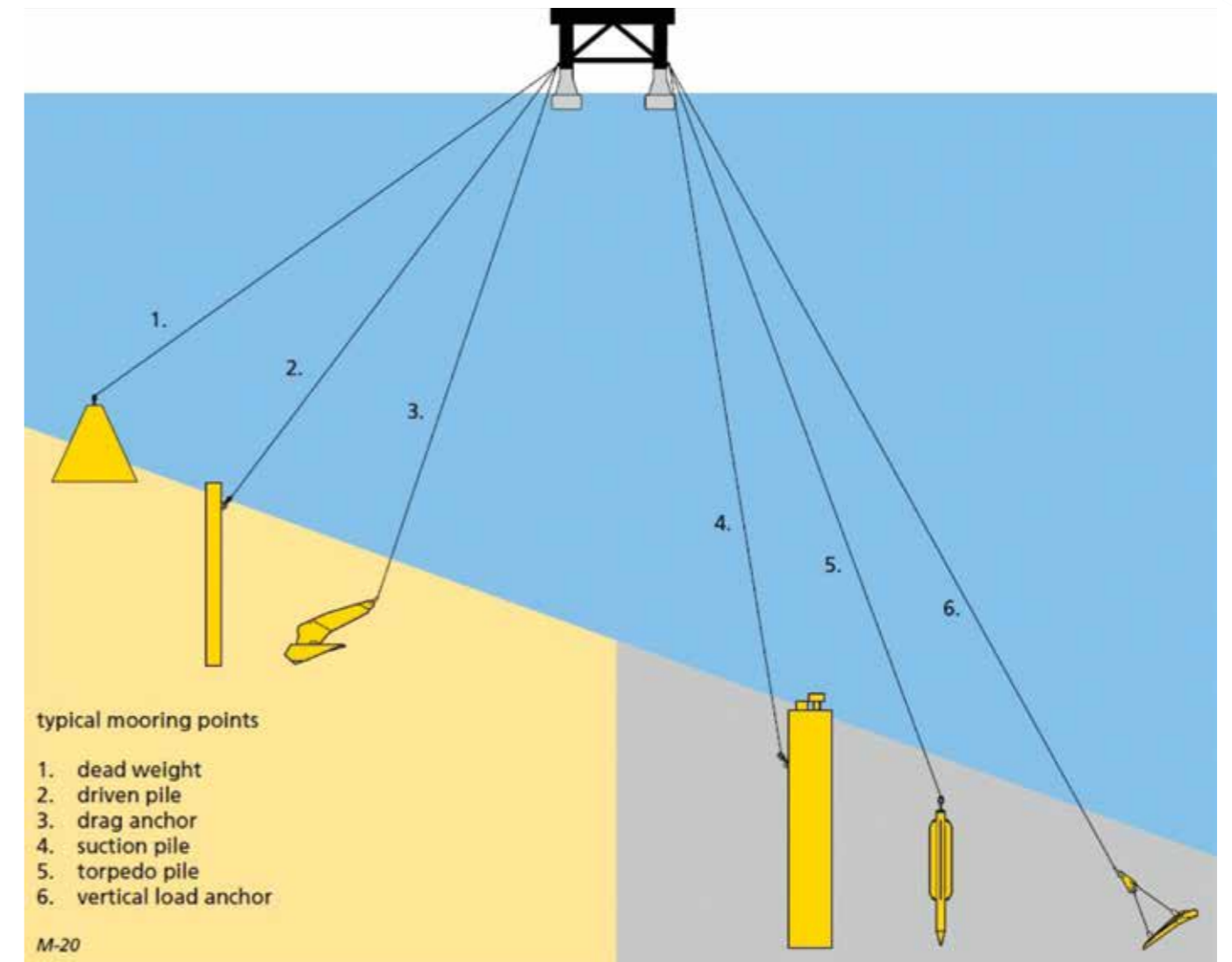


Figure 5.
Différents types d'ancrage.
Source : Vryhof

2• Une technologie adaptée à la géographie et aux conditions météorologiques de La Réunion

La typologie de La Réunion, caractéristique de sa condition d'île volcanique, induit la présence de grandes profondeurs d'eau très rapidement en s'éloignant de la côte. Au large du site de Sainte Suzanne par exemple, on trouve un plateau océanique jusqu'à 500 m de profondeur environ, inadapté à l'éolien offshore dit « posé », mais parfaitement adéquat pour de l'éolien flottant, dont les ancrages peuvent descendre à des profondeurs très importantes. Les éoliennes flottantes permettent de s'affranchir des contraintes relatives à la profondeur auxquelles sont confrontées les éoliennes posées sur le fond de la mer. De plus, elles augmentent leur performance et leur production, en se plaçant au large de la côte, en eaux plus profondes, où la ressource en vent est plus importante et plus stable. Du fait de sa localisation, l'île de La Réunion est régulièrement soumise à des conditions météorologiques cycloniques, conditions qui pourraient affecter l'intégrité globale des éoliennes [pales, mâts, interface mât/fondation...]. Toutefois, l'industrie de

l'éolien flottant a déjà démontré à plusieurs reprises qu'il est possible de construire des parcs éoliens flottants en zone cyclonique. D'autres territoires ayant des conditions similaires développent de nombreux projets d'éolien flottant, notamment en Asie et aux Etats-Unis.

Compte tenu des besoins et potentiels de production d'énergie renouvelable en mer, de plus en plus de fabricants d'éoliennes développent des turbines certifiées résistantes à ces conditions extrêmes. Ce type d'éolienne est déjà présent sur l'île et a encore récemment démontré sa robustesse face au cyclone Belal. De longue date, l'industrie pétrolière a été confrontée à des cyclones et a développé de nombreux guides et standards pour gérer ce risque avec succès, notamment au niveau des flotteurs. Les technologies éoliennes flottantes compatibles avec les zones cycloniques s'appuient donc sur ces deux expériences complémentaires, combinant les savoir-faire des turbiniers et de l'industrie pétrolière en mer.

Figure 6.
Installation en Chine de la première éolienne flottante résistante aux cyclones (07/2021)



3• Le retour d'expérience

L'éolien en mer s'est développé d'abord en Europe, où les conditions extrêmes sont sévères mais potentiellement moins dures qu'en zones cycloniques. À titre illustratif, le premier parc flottant en mer de 30 MW portée par Equinor et installé depuis 2017 a passé plusieurs hivers sans difficulté et rencontré des tempêtes avec des creux de 8 m, des vents dépassant les 160 km/h et a atteint un facteur de charge de près de 60% sur l'année.

Pour s'attaquer à de nouvelles zones aux États-Unis [golfe du Mexique] ou en Asie, le secteur a bien compris qu'il fallait développer de nouvelles classes d'éoliennes capables de résister à des conditions cycloniques, d'où la mise en place de nouveaux standards de certifications pour des applications terrestres et en mer. Plusieurs fabricants ont déjà fait certifier leurs machines à ce nouveau standard « typhoon proof ». Elles ont déjà trouvé leurs premiers marchés :

- Vestas s'est vu passer la commande de 33 machines « typhoon proof » de 4,2 MW pour le projet de 139 MW au nord du Japon, **Akita Noshiro**, qui a été mis en service fin 2022. Le Japon a annoncé un objectif de 10 GW en 2030 éolien en mer et de 30 à 45 GW en 2040, dont une majorité à terme en flottant. Il est important de rappeler que **le Japon est un des pays les plus frappés au monde par des cyclones** [1 à 2 par an avec jusqu'à 10 alertes].

- En Corée du Sud, Doosan Heavy Industry s'est vu commander 18 modèles « typhoon proof » de 5,5 MW pour un projet de 100 MW à côté du port de Hallim qui

devrait être en place en 2024. À noter que le prototype installé en 2016 par Doosan à Gimnyeong a fonctionné parfaitement lors du cyclone Chaba [vent enregistré de 56 m/s]. La Corée du Sud a annoncé sa volonté de voir installer 12 GW d'éolien en mer d'ici à 2030 dans ces eaux, dont la moitié en flottant. Il faut noter que la Corée du Sud est frappée en moyenne une fois par an par un cyclone.

- Taiwan prévoit 5 GW d'éolien en mer installé dès 2025 et 15 GW supplémentaires d'ici à 2035. Taiwan est une des zones au monde les plus exposées aux cyclones [2 à 4 par an].

Il est à noter que plusieurs prototypes éoliens flottants sont déjà en opération dans ces zones avec succès depuis plusieurs années : le projet **Fukushima Forward** au Japon en opération depuis 2013 en est une bonne illustration. L'éolienne flottante du projet **NEDO** installée elle aussi au Japon en 2018 a **fait face à trois supertyphons de catégorie 5 avec succès**. Plus récemment, la Chine a mis à l'eau cet été son premier démonstrateur d'éolien flottant, lui aussi localisé en zone cyclonique.

Les conditions météorologiques de l'île de La Réunion très similaires à celles de Taïwan, le développement de nouvelles normes pour l'éolien flottant par les sociétés de classe, et les connaissances historiques de l'industrie pétrolière en matière de plateformes ancrées en conditions cycloniques permettent d'affirmer qu'un projet éolien flottant de 200 MW au large de l'île de La Réunion est technologiquement viable.



4• Un projet important pour l'autonomie énergétique du territoire

La mise en œuvre d'un projet éolien flottant à La Réunion permet une production d'électricité renouvelable additionnelle importante, locale et décarbonée, dans un contexte insulaire contraint en termes de capacité de production d'énergies renouvelables locales.

Un projet éolien flottant de 200 MW à La Réunion permettrait de générer de l'ordre de 876 000 MWh par an, soit 25% de la production d'électricité qui sera consommée sur l'île en 2028. La mise en place d'un tel projet permettrait également d'éviter 600 000 t CO₂eq/an en utilisant un facteur d'émission de la Réunion d'aujourd'hui (mix électrique composé à 70% de charbon et de diesel) et 210 000 t CO₂eq/an sur la base du facteur d'émission anticipé de la Réunion en 2028 (mix électrique composé à 70% de pellets et de biodiesel importé).

Le prix moyen de production d'électricité à la Réunion était de 267 €/MWh en 2021. La PPE (Programmation Pluriannuelle de l'Energie) en cours a entériné le passage d'un mix électrique sur l'île basé sur le charbon et le diesel à un mix électrique basé sur la biomasse importée. Compte tenu des différentiels de prix constatés au moment de la rédaction de la PPE entre la biomasse importée (liquide et solide) et les combustibles fossiles utilisés, il était anticipé une forte hausse du coût de production de l'électricité à La Réunion.

Cette hausse devrait être encore renforcée compte tenu du contexte actuel de tension sur les prix de l'énergie et d'un effet de relative rareté sur le pellet et le biodiesel. Cette hausse devrait se reporter sur la CSPE (pour mémoire, la CSPE permet d'assurer la continuité du territoire français en termes de prix de l'électricité en Outre-Mer). La construction d'un projet éolien flottant à la Réunion permettrait de contenir cette hausse, compte tenu d'un prix cible de l'ordre de **200 €/MWh**.

La problématique exposée pour La Réunion, ZNI pionnière sur l'éolien en mer, est généralisable à d'autres territoires insulaires tels que la Martinique et la Guadeloupe qui se trouvent dans des situations comparables en termes de dépendance, aujourd'hui aux énergies fossiles, et demain à la biomasse solide et liquide importée. En effet, les mêmes substitutions du charbon et du diesel par de la biomasse solide et liquide importée sont prévues dans ces territoires. On notera que l'évolution vers l'utilisation de la biomasse importée dans les DROM-COM est en contradiction avec la loi sur la transition énergétique et la croissance verte de 2015 qui impose à ces territoires de viser l'autonomie énergétique en 2030. De ce point de vue un projet éolien en mer permet d'améliorer l'autonomie énergétique des îles en valorisant une énergie renouvelable aujourd'hui inexploitée et abondante.

¹ En vertu du principe de péréquation à l'échelle nationale, les consommateurs situés en ZNI paient un niveau de facture d'électricité, hors taxes, identique à celui de la France continentale : les surcoûts structurels entre coûts de production et recettes tarifaires des fournisseurs historiques sont compensés au titre des charges de service public de l'énergie (SPE). Jusqu'en 2015, celles-ci étaient financées par une contribution spécifique payée par tous les consommateurs d'électricité nationaux (ancienne CSPE sur les factures d'électricité). Depuis, le financement est issu du budget de l'Etat et repose sur tous les contribuables, pour un montant annuel de 2,5 milliards d'euros en 2022 pour les ZNI. Source : CRE

² Les Programmes pluriannuels de l'énergie (PPE), outils de pilotage de la politique énergétique, ont été créés par la loi relative à la transition énergétique pour la croissance verte de 2015. Elles concernent la métropole continentale et les zones dites non interconnectées (ZNI), à savoir la Corse, la Réunion, la Guyane, la Martinique, la Guadeloupe, Wallis et Futuna et Saint-Pierre et Miquelon. La PPE de métropole continentale est élaborée par le Gouvernement tandis que les PPE des ZNI sont co-élaborées avec les collectivités territoriales. Source : Ministère de la transition écologique

5• La bonne intégration du projet sur le réseau électrique

Il existe désormais les technologies qui permettent l'intégration d'un tel projet sur le réseau électrique hérité et construit autour des technologies de production d'électricité à base d'énergie fossile. Les systèmes de stockage d'énergie par batterie permettent de lisser les variations de production et d'avoir une injection continue de l'électricité en cas de réduction du vent et de maintenir la fréquence du réseau. La Réunion maîtrise parfaitement ces technologies puisque Akuo a mis en service en 2014 la première unité de stockage

d'électricité connectée au réseau au monde sur le projet Bardzour.

De plus, le réseau dispose déjà de capacités de productions importantes. Ainsi, en cas d'événement cyclonique majeur ou en cas d'absence de vent, les moyens de production existants continueront d'injecter de l'électricité sur le réseau. Les outils de prévisions météorologiques permettent d'anticiper ces fluctuations et d'avoir une flexibilité entre les différentes sources du mix électrique réunionnais.

6• Un projet de territoire soutenu au niveau politique

L'une des recommandations du comité Interministériel de la Mer de mars 2022 était de faire émerger rapidement des projets avec des procédures et des soutiens adaptés à la diversité des technologies et des territoires.

Lors de la visite de Mr Hervé Berville, Secrétaire d'état à la Mer, à La Réunion le 24 novembre 2022, la Réunion la 1ère rapporte : Hervé Berville et Huguette Bello ont aussi discuté du «développement de l'économie maritime». «La Réunion est une île, le Port et les métiers de la mer sont des éléments importants pour la souveraineté économique de notre pays et de ce territoire, assure le secrétaire d'Etat. Nous allons lancer des projets ambitieux sur l'éolien flottant».

Lors de la session du 29 novembre 2022 à l'Assemblée Nationale, Elizabeth Borne, 1ère Ministre en poste, répond : "Dans le budget pour 2023, [...] nous

investissons également pour accélérer la transition écologique dans ces territoires, par exemple pour faire de La Réunion un territoire pilote de l'éolien flottant."

Lors de la COP Régional de La Réunion organisée le 8 décembre 2023, IMAZ Press rapporte du discours de Huguette Bello : Elle a rappelé la volonté de la Région d'atteindre l'autonomie énergétique en 2050, qui passerait par «un grand plan solaire, la reprise des initiatives sur les énergies marines, l'éolien et notamment l'éolien offshore couplé à l'hydrogène qui représente un enjeu décisif pour le transport collectif propre, et enfin avec la relance des études sur la géothermie».

Dans ce contexte de soutien politique fort, les sociétés Akuo Energy et BlueFloat Energy se sont rapprochées afin de développer un projet éolien flottant à La Réunion d'une puissance d'au moins 200 MW.

³ Bardzour est une centrale solaire photovoltaïque de l'île de La Réunion construite et exploitée Akuo Energy depuis 2014, couplée à des serres photovoltaïques situées autour de la commune du port à La Réunion. En créole réunionnais, le bardzour désigne l'aube naissante ou l'espoir. La centrale rassemble 27 000 panneaux solaires pour un total de 9 MWc et des batteries lithium-ion d'une capacité de stockage de 9 MWh, alimentant 12 000 foyers. Elle a été la première centrale solaire au monde à être couplée à un dispositif de stockage de cette puissance. Elle permet de fournir de l'électricité jusqu'à 1h30 après le coucher de soleil. Source : Wikipédia

⁴ Le Comité Interministériel de la Mer institué par le décret n° 95-1232 du 22 novembre 1995, est chargé de délibérer sur la politique du Gouvernement dans le domaine de la mer sous ses divers aspects nationaux et internationaux et de fixer les orientations gouvernementales dans tous les domaines de l'activité maritime. Le secrétariat général de la mer en assure la préparation et veille à l'exécution des décisions prises. Le Comité Interministériel de la Mer réunit annuellement depuis 2015, sous la présidence du Premier ministre, tous les ministères qui traitent de questions maritimes.

Contacts presse :

Akuo – Mila Averlant
averlant@akuoenergy.com

BlueFloat Energy – Isabel Rodrigo Romero
irodrigo@bluefloat.com