

Le recyclage éolien innove

La masse des éoliennes est essentiellement faite d'acier et de béton, dont les voies de recyclage sont bien établies. Pour le retraitement des pales en matériaux composites en revanche, l'industrie éolienne explore toutes les voies possibles et établit d'intéressantes réutilisations de ces matériaux.

Utilisation de pales d'éolienne comme support pour des panneaux photovoltaïques. Projet pilote mené en Suisse par Turn2Watt avec l'Office fédéral de l'armement et situé à la Stadera dans le canton des Grisons.



TURNZWATT

Recyclage : les éoliennes montrent l'exemple

Augmentation du nombre d'éoliennes en fin de vie, durcissement de la réglementation concernant le recyclage : la filière se met en quatre pour relever ces défis. PAR CAROLE RAP

De plus en plus d'éoliennes vont être recyclées dans les années à venir. En nombre d'unités, mais aussi en tonnage, puisque la puissance des turbines est en constante augmentation. L'âge d'une éolienne en fin de vie varie entre 15 et 20 ans. Un écart qui s'explique entre autres par leurs conditions de vie. « *Les parcs de première génération, avec des éoliennes en bord de mer exposées au mistral et à la tramontane, souffrent plus qu'ailleurs* », explique Ronan Guermeur, responsable de l'activité démantèlement éolien pour le groupe Suez. « *Les parcs sont renouvelés au bout de dix-sept à vingt ans, parfois quinze ans, cela dépend des machines. En 2024, la capacité cumulée de parcs ayant 20 ans ou plus s'élève à 300 MW. Ils vont être bientôt démantelés. En 2025, il y en aura 200 MW de plus* », indique Vincent Guénard, coordinateur du pôle éolien et énergies marines à l'Ademe. D'ici 2027, près de 2 GW auront atteint le bel âge de 20 ans. Et environ 1 GW par an à partir de 2028. Avec une incertitude. « *Une partie de ces volumes pourra être réutilisée pour du marché d'occasion, mais il est compliqué de savoir combien* », prévient Rachel Ruamps, responsable des affaires économiques et industrielles pour France Renouvelables. « *Quand un parc est démonté, nous ne savons pas ce qui est fait des pièces. Vont-elles dans la filière recyclage ou revamping (restauration), en particulier pour les composants des nacelles ? Nous n'avons pas une vision claire du marché du démantèlement* », confirme Vincent Guénard.

RECYCLAGE IMPOSÉ

En attendant, chacun se positionne. Suez, qui a déjà recyclé un peu plus d'une quarantaine d'éoliennes, espère obtenir 60 % de part de marché d'ici trois ans. Toute une filière du recyclage se développe pour respecter les objectifs de plus en plus ambitieux fixés au secteur. L'arrêté



THIBAUT MATTREJEAN / KALLISTA ENERGY

du 22 juin 2020 impose un minimum de 90 % de la masse totale des aérogénérateurs démantelés qui doivent être réutilisés ou recyclés depuis le 1^{er} juillet 2022. Ce taux s'entend fondations incluses, lorsque les fondations sont excavées en totalité. Il est sinon de 85 % lorsque, pour un meilleur bilan environnemental, il est préférable de maintenir la partie inférieure des fondations dans le sol. « *Les taux de recyclage de nos projets en incluant les fondations sont de l'ordre de 96 %. En effet une éolienne, c'est beaucoup d'acier et de béton. Le béton est concassé, la ferraille est découpée et recyclée dans les aciéries* », assure Ronan

Guermeur. Le béton concassé est réutilisé dans les matériaux de remblais. L'acier des mâts et des nacelles est refondu pour entrer dans la composition de l'acier neuf. Les câbles et divers composants sont recyclés ou revendus pour être réutilisés. Les déchets dangereux telle l'huile sont évacués vers des sites de traitement spécifiques. Pas d'inquiétude non plus concernant les objectifs futurs : pour les éoliennes dont le dossier d'autorisation complet a été déposé après le 1^{er} janvier 2024, 95 % de leur masse totale (intégrant tout ou partie des fondations) devront être recyclés ou réutilisés.

GRADATION SUR LES PALES

En revanche, les objectifs concernant les rotors sont davantage contraignants. Actuellement, au minimum 35 % de la masse des rotors doivent être réutilisés ou recyclés, ce qui exclut la valorisation énergétique. « *Le moyeu en acier assure largement ces 35 %* », précise Ronan Guermeur. Mais ce taux va passer à 45 % pour tout dossier déposé depuis le 1^{er} janvier 2023, et atteindra 55 % à partir du 1^{er} janvier 2025. Or, les pales ne sont toujours pas simples à recycler¹. Elles sont constituées de matériaux composites – fibres de verre ou de carbone prises dans des résines thermodurcissables – qui ne peuvent plus être séparés, ou bien au prix de dégradations rédhibitoires. C'est pourquoi elles terminent généralement leur vie comme combustibles dans les fours des cimenteries, les résidus étant incorporés au ciment. Des acteurs émergent, avec des propositions novatrices, pour valoriser le broyat de pales par exemple (lire p. 34). Les fabricants ont eux aussi fait des efforts de recherche dans l'éco-conception de pales répondant à ces critères réglementaires, en utilisant par exemple de la résine thermoplastique plus facilement recyclable. Les contraintes ouvrent de nouveaux marchés. ■

¹. Vestas promet de mettre sur le marché un procédé de recyclage chimique des anciennes pales d'ici 2026. Lire Le Journal de l'Éolien n° 50.

Que pèse une éolienne ?

Selon une étude de l'Ademe parue en 2015, le poids moyen pour une éolienne terrestre asynchrone avec un mât acier était à l'époque de 124 tonnes / MW dont 91 tonnes d'acier et un peu moins de 10 tonnes de composites. La fondation en béton représentait alors 414 tonnes de béton et 20 tonnes d'acier. Ainsi la masse d'une éolienne de 2 MW de ce type, âgée donc d'une dizaine d'années aujourd'hui, serait d'environ 1 116 tonnes, fondation comprise. Son recyclage (ou sa réutilisation) doit concerner au moins 90 % de cette masse, soit 1 004 tonnes.



Démantèlement d'une éolienne durant le chantier de renouvellement du parc éolien de Trébry (Côtes-d'Armor), en 2021.

Démantèlement et recyclage, en images

La masse des éoliennes étant pour l'essentiel constituée d'acier et de béton, les composants sont recyclés dans des filières déjà bien établies. Leur démantèlement n'en reste pas moins un chantier minutieux et impressionnant. La preuve en images.

PAR VINCENT BOULANGER



L'intérieur du mât contient différents composants : échelles et plateformes métalliques, luminaires, câbles.



Le mât doit être « curé » de tous ces éléments, qui partent chacun dans les filières de recyclage dédiées.



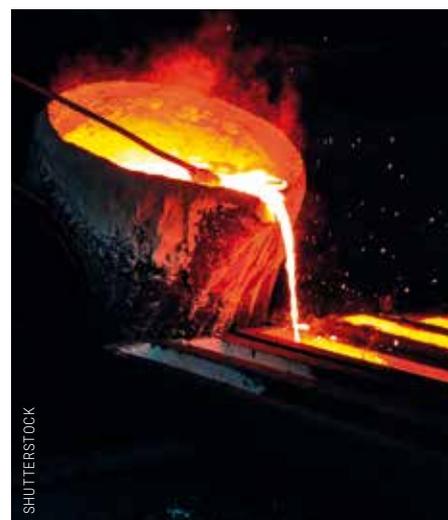
Avant d'engager le démantèlement de l'éolienne, les chemins d'accès et les plateformes de démontage doivent être refaits pour accueillir les engins. Ensuite, des sociétés spécialisées déposent au sol des composants de l'éolienne, rotor, nacelle, sections de mât. Suivant sa taille, il faut 2 à 7 jours pour démonter une éolienne.



Les composants en acier – hub, châssis de la nacelle et mât – sont découpés au chalumeau sur site.



Les composants sont découpés au format adapté pour pouvoir être transportés en camion et entrés dans le four des aciéries.



L'acier, le cuivre (des câbles par exemple) peuvent être refondus à l'infini et resservir de matière première.



La nacelle doit être démontée pièce par pièce, générateur, armoire électrique et autres. Les composants encore en bon état, boîte de vitesse par exemple, peuvent être revendus sur le marché de l'occasion. Les déchets dangereux (huiles, liquide de refroidissement, etc.) sont placés dans des conteneurs sécurisés pour être évacués.



Le poste de livraison électrique est également démonté pièce par pièce et vidé de son contenu.



Les pales sont découpées sur place. Les tronçons pouvant servir de mobilier urbain, par exemple (voir p. 31), sont évacués par camion.



Chez Suez, les sections de pale sont amenées sur les sites du groupe pour être broyées, selon différentes granulométries en fonction des filières de recyclage du broyat : cimenteries (valorisation énergétique) ou intégration dans de nouveaux produits (valorisation matière, lire p. 34).



Le châssis de la nacelle en acier sera découpé et envoyé en aciérie pour être fondu. Les déchets industriels banals, déchets du chantier de déconstruction, mousses, plastiques, sont collectés et recyclés.



Le sol est protégé, les poussières de découpe sont plaquées au sol par l'eau injectée sur la scie circulaire. La pale est découpée de telle sorte que les tronçons puissent être chargés dans la remorque d'un camion.



**VOTRE
EXPERT EN
BALISAGE
AÉRIEN**



**Contrôle à distance
de votre parc de balisage**



www.obsta.com



Un arrêté du 22 juin 2020 impose le retrait de l'intégralité des fondations des éoliennes, sauf si le bilan environnemental du décaissement total est défavorable. Dans ce cas, les fondations doivent être excavées d'au moins deux mètres sur terrain forestier et d'au moins un mètre ailleurs.



Le massif en béton est concassé. Le béton peut être réutilisé de différentes manières, réemployé dans les matériaux de remblais, sur les voies d'accès du site en cas de repowering, ou ailleurs comme sous-couche routière. Il peut aussi être transformé en granulats de béton recyclé (GBR) et servir en mélange à l'élaboration de nouveaux bétons dans le BTP.



Le ferrailage du béton est trié pour partir à son tour vers une aciérie, comme tous les autres éléments en acier de l'éolienne.





Remerciements à Ronan Guerneur, responsable activité démantèlement éolien de Suez, et à l'entreprise Boralex pour leur collaboration à l'élaboration de ce dossier.

DÖRKEN

UN LIQUIDE UNE TECHNOLOGIE DE POINTE

FONCTIONNE DANS LE VENT ET PAR TOUS TEMPS

Les composants de l'industrie éolienne doivent résister à toute une série de contraintes. Nos systèmes de zinc lamellaire conviennent aussi bien aux goujons de fixation ou aux pales de rotor et épousent parfaitement chaque filet. Une qualité supérieure qui résiste à différentes charges et permet des intervalles de maintenance aussi longs que possible. Cependant, nous ne nous contentons pas du meilleur et sommes constamment à la recherche de nouvelles solutions et d'innovations - pour chaque problème, pour chaque défi.

Haute protection cathodique

Possibilité de coefficient de frottement définis

Sous couche et finitions



www.doerken.com

INDUSTRIAL COATINGS

Dörken Coatings France . BP 29130 . 95074 Cergy-Pontoise Cedex
Tél. +33 (0)1 34 30 42 42

Pales d'éolienne : le défi du recyclage des composites

Présents dans de nombreux secteurs comme le bâtiment, l'aéronautique, le nautisme, l'automobile, le sport... et l'éolien, les matériaux composites therm durcissables n'ont pas de filière de recyclage mature. Plusieurs solutions commencent cependant à émerger et les travaux de recherche vont bon train, notamment dans le secteur de l'éolien. PAR GÉRALDINE HOUOT

Dans une éolienne, il y a les fondations, le mât, la nacelle et souvent trois pales. Si 90 % de la masse des machines actuellement démontées sont réutilisées ou recyclées dans des filières existantes (béton, métaux, huiles, câbles, etc.), les matériaux composites présents notamment dans les pales, constitués de fibres de renforcement mêlées à une résine, ne le sont que très rarement. La principale voie de traitement des pales est, actuellement, leur intégration dans des combustibles solides de récupération (CSR). Les matériaux composites utilisés dans les pales n'ont pas, en effet, de filière de recyclage mature. Ils ne sont pourtant pas nés avec l'éolien. Ces matériaux sont utilisés dans de nombreux secteurs industriels comme ceux du nautisme, de l'aéronautique, du bâtiment, de l'automobile, de l'électricité/électronique, pour certains articles de sport et de loisirs, pour les tuyaux et les réservoirs... En 2017, selon une étude

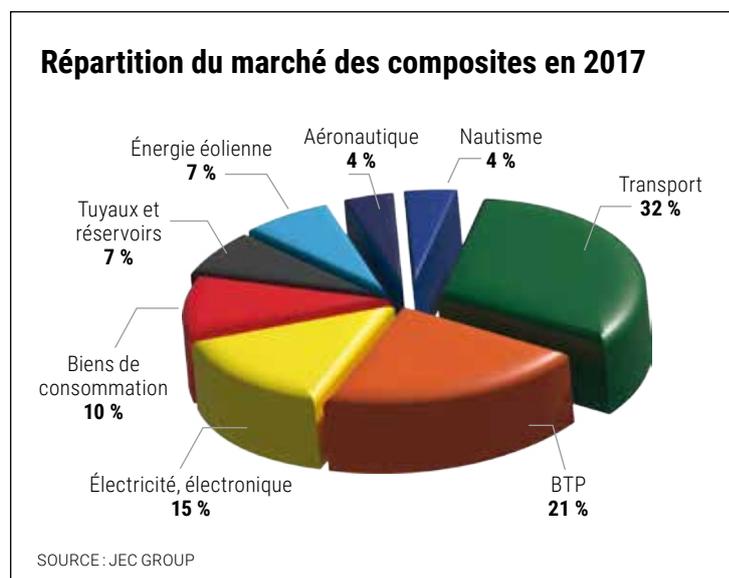
publiée par JEC Group¹, l'énergie éolienne représentait ainsi seulement 7 % du marché français des matériaux composites (voir graphique ci-dessous)

COMPOSANTS INSÉPARABLES

L'absence de filière de recyclage massive pour les matériaux composites de l'éolien s'explique d'abord par leur nature. Comme la majorité de ceux actuellement sur le marché, il s'agit de matériaux composites therm durcissables dans lesquels les résines utilisées (polyester, époxyde, etc.) pour noyer les fibres de renforcement ne peuvent être refondues après leur synthèse. Il est ainsi très difficile de séparer les fibres de la résine pour les intégrer dans de nouveaux processus de fabrication.

D'autre part, dans beaucoup d'autres filières que l'éolien, ils sont utilisés de manière diffuse. « Si les matériaux composites représentent des tonnages importants dans les transports, le BTP et les articles de sport et de loisirs, ils ne constituent qu'une petite quantité de la totalité des matériaux utilisés. Or les filières REP [responsabilité élargie du producteur, ndlr] concentrent leurs efforts sur des applications à fort impact », explique Romain Agogué, responsable du programme Composites au Centre technique industriel de la plasturgie et des composites (CTI) et copilote du *Guide du recyclage et de l'écoconception des composites* (GREC) publié par l'Ademe en mai 2022.

Ce n'est pas le cas pour la filière aéronautique. Sur les derniers avions, plus de 50 % de la masse





*Opération de polissage
d'une pale dans une des usines
du fabricant danois Vestas.*

VESTAS



KERN



APER



AIRBUS

Les coques des bateaux de plaisance, le fuselage et les ailes des avions modernes sont également constitués de matériaux composites.

est en matériaux composites thermodurcissables (fuselage et ailes). Mais ces matériaux ont intégré le secteur de façon progressive. Les appareils déconstruits actuellement ont ainsi une fraction métallique importante (77 % d'aluminium, 12 % d'acier) et peu de matériaux composites (seulement 3 %) selon les données du GREC. Devant l'augmentation des gisements de déchets à venir, notamment ceux à base de fibre de carbone, « la filière a cependant pris conscience de ces sujets, affirme Romain Agogué. De nombreux projets se structurent actuellement, par exemple dans le cadre de Clean Aviation, partenariat public-privé du programme Horizon Europe. On peut également citer le projet structurant "décarbonation du secteur" inscrit dans le cadre du Contrat stratégique de la filière aéronautique. Le recyclage fait partie des pistes explorées. »

LA PLAISANCE S'ORGANISE

Mais la collecte et le recyclage des déchets composites sont majoritairement tirés vers le haut par le nautisme et l'éolien, poussés par l'émergence de gisements, souligne le GREC. Les matériaux composites sont utilisés pour fabriquer la coque de beaucoup de bateaux,

Le recyclage des composites dans l'industrie aéronautique ou nautique est un sujet relativement nouveau.

parfois aussi pour le pont et de façon plus marginale, dans les aménagements intérieurs. Selon le GREC, les bateaux actuellement déconstruits présentent ainsi 68 % de matériaux composites. Petite filière, le nautisme ne représentait cependant en 2017, selon JEC Group, que 4 % du marché français des matériaux composites. Mais elle s'est organisée de manière exemplaire en France pour gérer la fin de vie des bateaux de plaisance en créant en 2019 la première filière REP au monde dédiée à ce secteur. « Cette année-là, l'Association pour la plaisance éco-responsable, dite Aper, a été agréé par le ministère de la Transition écologique comme éco-organisme national en charge du traitement des bateaux de plaisance en fin de vie », explique Lucas Debievre, adjoint à la déléguée générale de l'Aper.

Si avant 2019, les bateaux de plaisance en fin de vie étaient souvent abandonnés ou coulés en mer (!), une grande partie est désormais traitée par l'un des 35 professionnels des déchets sous contrat avec l'Aper. Les déchets composites, majoritairement verre/polyester, sont orientés vers le stockage et la valorisation énergétique sous forme de combustibles solides de récupération. « Il n'y a pas encore de filière de recyclage opérationnelle en raison des difficultés à séparer les fibres de la résine et des coûts qui ne permettent

pas d'obtenir un modèle économique stable. Mais nous menons des travaux de recherche et développement pour incorporer des broyats de matériaux composites dans des bétons ou des thermo-plastiques. Nous avons des résultats positifs mais il nous faut trouver des débouchés industriels, ce qui n'est pas évident car il s'agit de petites quantités de matériaux réparties dans toute la France », poursuit Lucas Debievre.

L'Aper a également signé un partenariat avec la société Composite Recycling pour déployer des unités mobiles autonomes en énergies pour traiter par pyrolyse (chauffage à très haute température) les déchets composites issus de la déconstruction des bateaux de plaisance. Une fois séparées de la résine et nettoyées, les fibres de verre pourront être à nouveau utilisées, dans la fabrication de bateaux de plaisance ou d'autres produits. « Elles auront gardé 97 % de leurs propriétés techniques », détaille Lucas Debievre. À l'issue du traitement, la résine pourra, elle, par exemple être récupérée sous forme d'huile de pyrolyse et à terme de gaz pour alimenter en énergie l'unité mobile », poursuit Lucas Debievre.



Abri à vélo fabriqué à partir d'une section de pale d'éolienne, installé dans le port d'Aalborg (Danemark) en 2020.

ÉOLIEN SOUS PRESSION RÉGLEMENTAIRE

L'éolien fait également preuve d'un dynamisme important pour améliorer le bilan carbone des machines, souligne le GREC, poussé notamment par la contrainte réglementaire (lire p. 20). À titre d'exemple, le réemploi d'éoliennes dans un marché de seconde main est aujourd'hui

Buy
your ticket
now!

WindEnergy
Hamburg

The global on & offshore event

24 ————— 27
September 2024

Driving the
energy transition.
Together!

Be sure to take part in the world's biggest and most important business platform for the onshore and offshore wind industry!

- Meet up with 1,500 exhibiting companies from 40 countries across 10 halls
- Get in touch with the key decision makers of the international wind energy sector
- Visit the first-rate conference programme on 4 stages in the halls free of charge
- Two days dedicated to recruiting – for career starters, specialists and career changers

Organised by:



Global Partner:



European Partner:



Partners:



windenergyhamburg.com



largement mis en pratique en cas d'opérations de repowering. Des morceaux de pales sont également utilisés pour fabriquer des tables ou du mobilier urbain. « Cette solution reste cependant pour l'instant une niche », commente Ronan Guermeur, responsable de l'activité démantèlement éolien chez Suez qui a développé une filière du démantèlement des éoliennes et de la valorisation des déchets.

D'autres débouchés se mettent ainsi en place. Comme dans la filière nautique, les composites peuvent être broyés puis utilisés pour fabriquer d'autres matériaux composites, aux propriétés cependant dégradées (fabrication de barrières routières, de traverses de chemin de fer, de plaques type carrelage de terrasse, jeux pour enfants, Abribus...). Suez effectue par exemple ce broyage. « Notre objectif est d'arriver à ce que 10 % du poids d'un gisement de pales servent à faire du mobilier, 40 % servent à produire d'autres matériaux [détails encore confidentiels, nous y reviendrons, ndlr], 40 % soient broyés et 10 % seulement soient valorisés énergétiquement », détaille Ronan Guermeur.

La pyrolyse se développe également mais elle consomme beaucoup d'énergie et, comme pour le broyage, les techniques utilisées « dégradent souvent les propriétés structurelles et la valeur économique des matériaux composites », selon le fabricant d'éolienne danois Vestas qui développe dans le cadre du projet Cetec (Circular Economy for Thermosets Epoxy Composites) mené en collaboration avec l'université danoise d'Aarhus, l'Institut technologique danois et l'entreprise Olin, un nouveau procédé chimique pour décomposer la résine époxy (Lire *Journal de l'Éolien* n° 50). Financé par le Fonds pour l'innovation du Danemark, le projet consiste à faire pénétrer un liquide dans la structure pour briser l'époxy en fragments. « Les différents matériaux de la pale pourront ainsi être décollés les uns des autres et ensuite envoyés vers des filières de recyclage individuelles. La résine obtenue sera de qualité vierge, adaptée à la production de nouvelles pales d'éoliennes infusées d'époxy », poursuit le fabricant. Les fibres de verre et de carbone, quant à elles, pourront être intégrées à des cycles de valorisation existants. Vestas travaille actuellement avec Stena Recycling à l'industrialisation du processus dans le cadre d'un projet pilote de deux ans. La technologie pourrait ensuite être adaptée pour être utilisée hors éolien.

L'entreprise Nordex participe, elle, au projet EoLO-HUBs, cofinancé par l'UE et doté de près de 10 millions d'euros, qui consiste à mener des recherches sur le démantèlement et le prétraitement des pales, sur les procédés durables de récupération des fibres grâce à la pyrolyse à faible bilan carbone ou la solvolysse (dépolymérisation par un solvant), ainsi que sur les procédés de valorisation des fibres récupérées (verre et carbone). Le projet a débuté en janvier 2023 et se terminera en décembre 2026. Les démonstrateurs sont en train d'être mis en place.



VESTAS

Quand elle peut être récupérée, la fibre de verre peut être refondue et réutilisée.

RAPPROCHEMENT DES FILIÈRES

En parallèle, des travaux sont menés par les différents secteurs industriels autour de l'éco-conception. Siemens Gamesa a commencé la commercialisation de ses RecyclableBlades 100 % recyclables, faisant intervenir une nouvelle résine. En fin de vie, la pale sera immergée dans une solution acide chauffée pour séparer la résine des différents composants. On peut aussi citer le projet Zebra (Zero waste Blade ReseArch) qui vise également à développer des pales 100 % recyclables. Piloté par l'Institut de recherche technologique (IRT) Jules Verne, avec un budget de 18,5 millions, il a débuté en 2020, pour une durée prévue de quarante-deux mois et implique de nombreux acteurs : Engie, le producteur de pales LM Wind Power, le fabricant de fibres de verre Owens Corning, le fabricant de résine liquide thermoplastique Arkema et Suez. Les recherches se basent sur la résine liquide thermoplastique Elium d'Arkema. Développée en 2013, au départ pour le secteur de l'automobile et déjà utilisée dans certaines coques de bateau, elle présente l'avantage de pouvoir être mêlée



à des fibres de renfort de verre ou de carbone, selon les mêmes procédés de fabrication que les résines thermodurcissables, mais avec une recyclabilité favorisée. « *Comme elle polymérise au lieu de réticuler [former un réseau de chaînes moléculaires, ndlr] comme le font les résines thermodurcissables, elle peut se dépolymériser par thermolyse et donc être réutilisée ensuite sous forme de résine recyclée aux propriétés équivalentes à la résine d'origine, pour fabriquer d'autres pales par exemple, avec un bilan environnemental et un coût très intéressant* », explique Pierre Gérard, en charge du programme de recyclage des composites au centre de recherche de Lacq d'Arkema. Les fibres de verre récupérées peuvent, elles, être refondues et réutilisées également pour former de nouvelles pales. « *La filière composite a vraiment pris conscience des enjeux de recyclage, conclut Romain Agogué. Sous la houlette de l'Union des transformateurs de polymères Polyvia, elle a mis en place une action spécifique dans le cadre du Contrat stratégique de filière chimie et matériaux, dédiée à la collecte et au recyclage des composites.* » Rendez-vous fin 2027 pour le bilan. ■

1. Citée dans le Guide du recyclage et de l'écoconception des composites (GREC), Ademe, mai 2022.

Alexis Assurances



LE pionnier de l'assurance des EnR

04 78 42 68 46 ou info@alexis-assurances.com
1 rue Louis Juttet, 69410 CHAMPAGNE AU MONT D'OR
Courtier d'assurances immatriculé à l'Orias - N°18001240

www.alexis-assurances.com

Quand les pales deviennent dalles

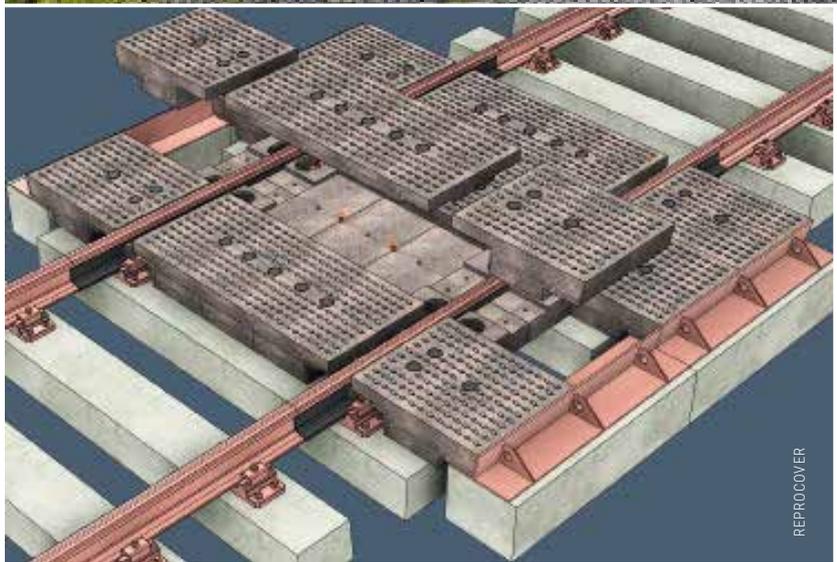
Des sociétés sont parvenues à réemployer le broyat de pales d'éoliennes pour en faire des dalles perméables et des solutions destinées aux infrastructures ferroviaires, de voirie ou aux aménagements urbains.

PAR CLAIRE BAUDIFFIER

Attention, vous marchez sur une pale. Enfin presque... Depuis 2009, Reprocover, société belge, réutilise des déchets industriels thermodurcissables (prises électriques, pièces d'automobiles en fin de vie...) pour les transformer en matériaux utilisables pour la voirie et certaines infrastructures. Ces déchets sont en général composés de matériaux composites faits de fibres de verre, de résine epoxy, de polyuréthane, de polyester, etc. « Concrètement, nous récupérons des déchets à 600 kilomètres à la ronde autour de Verviers [non loin de Liège, dans l'est de la Belgique, ndlr], nous les trions pour éliminer les impuretés, puis nous les réduisons en toutes petites quantités », explique Charles Göbbels, dirigeant de Reprocover. Ensuite, on ajoute un liant¹. Les matières sont malaxées, puis compactées à très haute pression. « À la fin, on obtient ce que l'on appelle le RtS (Reprocessed ThermoSet), un matériau léger, anti-dérapant, qui résiste au feu et à de très fortes températures et sur lequel on peut rouler. »

BACS À FLEURS ET CANIVEAUX

Ce matériau innovant, recyclé, mais aussi recyclable, intègre depuis quelque temps aussi des pales d'éoliennes. Un partenariat a en effet été noué avec Suez, qui a commencé à démanteler des parcs en France. « Les pales sont découpées sur les parcs éoliens. Une partie des tronçons est utilisée pour des projets aux diverses applications, puis nous broyons le reste à des granulométries différentes selon le débouché », indique Ronan Guermeur, chargé du démantèlement éolien chez Suez. Reprocover a donc commencé en 2018 à faire des tests en incorporant petit à petit ce broyat de pales dans son processus. « La fibre de verre des pales étant très abrasive, il a fallu



REPROCOVER

fabriquer des machines spécifiques. Notre matériau final contient donc désormais du broyat de composites, tout en conservant les mêmes propriétés », poursuit Charles Göbbels. 1 200 tonnes de broyat de pales ont ainsi été absorbées dans le matériau depuis deux ans et la société belge estime qu'elle pourrait, avec l'automatisation de ses machines, traiter maintenant 10 000 tonnes par an. Il y a donc d'ores et déjà du broyat de pales dans certaines des applications commercialisées de Reprocover.

Que deviennent concrètement ces produits, justement ? On peut trouver du RtS dans nos espaces publics sous forme de chambres de visite (trapillons, bouches à incendie...), mobilier urbain (poubelles, cendriers, bacs à fleurs...), couvercles et caniveaux pour la voirie et le secteur ferroviaire... « Nous sommes aussi en train de faire certifier nos platelages pour les passages à niveau pour pouvoir fournir la SNCF », précise le dirigeant de Reprocover, qui assure

Le broyat de pales peut entrer dans la fabrication de dalles de passage à niveau (en bas à gauche) ou de dalles de parking (ci-contre).



PURPLE

que ce matériau est compétitif dans des secteurs avec peu de spécificités techniques.

15 000 M² DE DALLES PURPLE

En France, l'entreprise Purple a développé une dalle de parking perméable à partir de matières plastiques composites des déchetteries, habituellement enterrées ou incinérées (déchets de l'industrie, de l'automobile...). « *Après quelque 800 essais débutés en 2021, nous sommes parvenus à un matériau pouvant être utilisé en revêtement routier et qui répond à toutes les constantes nécessaires : résistance aux ultraviolets, aux hydrocarbures...* », développe Pierre Quinonero, directeur général de Purple, situé à Cravanche, près de Belfort. En France, 15 000 m² de ces dalles ont déjà été posés sur des parkings divers (entreprises, écoles, terrains de camping...), comme celui de l'entreprise spécialiste de l'hydrogène McPhy à Fontaine, installée aussi dans le Territoire de Belfort, qui a permis de recycler 8 tonnes de déchets plastiques non valorisés et d'économiser 27 tonnes équivalent CO₂ (tCO₂ eq). Depuis la création de l'entreprise, ce sont près de 500 tonnes de déchets qui ont déjà

été réemployés, soit 1 675 tCO₂ eq économisées. Purple, qui a fait une partie de ses essais sur le bateau Plastic Odyssey (plateforme de recherche embarquée) et a donc travaillé aussi sur le recyclage des coques de bateau, s'est également lancé dans des tests sur le broyat de pales d'éoliennes – matériau ressemblant aux coques. « *Et c'est concluant ! Nous sommes parvenus à intégrer jusqu'à 30 % de broyat de pales issues des démantèlements de parcs de Suez, et le matériau reste tout aussi intéressant* », indique Pierre Quinonero. Ces dalles perméables permettent donc l'infiltration des eaux pluviales en profondeur dans les nappes phréatiques et sont très intéressantes, notamment en cas de grosses pluies comme nous en connaissons de plus en plus avec le changement climatique. « *Elles permettent aussi d'éviter de bétonner, ce qui a pour effet de réduire les effets d'îlots de chaleur urbains. Nos dalles, très faciles et rapides à mettre en place, économisent les terrassements, réduisent le volume d'apports granulaires. À l'heure de la loi zéro artificialisation nette notamment, proposer des alternatives à l'artificialisation des sols est capital !* » Purple assure que sa solution est intéressante financièrement, dans la mesure où elle évite l'installation de réservoirs d'eau, la création de pentes pour les écoulements...

Les dalles Purple avec du broyat de pales d'éoliennes n'ont cependant pas – encore – été installées. « *Nous avons obtenu des financements dans le cadre du plan d'investissement France 2030 et avec d'autres parties prenantes nous allons débuter trois ans d'études pour valider que les dalles intégrant du broyat éolien détiennent les mêmes caractéristiques que les autres, via divers tests (vieillesse accélérée, en situation...).* Il faut aussi que l'on voie comment la fibre de verre, abrasive et composant les pales, va éventuellement user plus vite nos moules et machines pour les adapter... » L'objectif est de savoir si l'industrialisation de ce process avec broyat de pales est possible ou non. Dans ses projections concernant les exutoires du démantèlement des pales, Suez imagine qu'autour d'un tiers du poids des pales sera broyé. L'espoir est permis ! ■

1. Il y a là bien sûr un secret industriel, donc le processus développé dans l'article est simplifié.

Hambourg se chauffe à l'éolien

Les réseaux de chaleur de la ville hanséatique allemande sont encore majoritairement alimentés par des centrales à charbon. Pour sortir de cette énergie fossile d'ici 2030, la ville fait feu de tout bois et construit plusieurs installations électrothermiques, pour que l'éolien aussi produise de la chaleur. PAR VINCENT BOULANGER

Une espèce de grosse cocotte minute couverte de rouille est en construction sur le port de Hambourg. On peut l'apercevoir quand on sort de la ville par l'autoroute A7, direction Hanovre, peu après la sortie du tunnel passant sous l'Elbe. Il s'agit d'un réservoir d'eau de 50 mètres de haut, pour une capacité de 55 000 m³ (55 millions de litres d'eau), raccordé au réseau de chaleur de la régie municipale Hamburger Energiewerke. Il sera au cœur du futur Energiepark Hafen (voir carte p. 38), le parc énergétique du port, qui doit collecter la chaleur fatale de différentes sources, usine d'incinération des déchets, chaleur des usines énergie-intensives du port, station d'épuration, le tout couronné par une centrale à cogénération de 290 MW_{th} et 180 MW_{el}, dont une installation électrothermique, plus connue sous le terme power-to-heat (PtH) de 30 MW. Cette dernière chauffera l'eau via des électrodes alimentées par l'électricité renouvelable, essentiellement éolienne, abondante dans le nord du pays.

ÉVITER D'ÉCRÊTER

Sur le sujet, Hambourg n'en est pas à son coup d'essai. En 2018, l'installation pilote PtH Karoline de 45 MW a été construite en plein centre-ville, dans le cadre d'un projet de recherche. Elle peut potentiellement alimenter en chaleur renouvelable 20 000 foyers. Après l'avoir utilisé comme réserve pour couvrir les pointes de consommation, Hamburger Energiewerke étudie aujourd'hui la faisabilité économique de son intégration au moyen d'équilibrage du réseau. En revanche, en juin 2023, une autre unité PtH de 80 MW, une des plus imposantes du pays, est entrée en service à une dizaine de kilomètres à vol d'oiseau à l'ouest de l'Energiepark Hafen, à Wedel, ville limitrophe située sur la rive nord de l'Elbe. Elle contient deux énormes chaudières électriques contenant chacune 23 000 litres d'eau pour chauffer l'équivalent de 27 000 ménages raccordés au réseau de chauffage urbain. L'eau est chauffée à jusqu'à 138 °C par les excédents d'électricité éolienne. « Cette installation a été financée par l'opérateur du réseau de transport 50Hertz, explique Friederike Grönemeyer, porte-parole de Hamburger Energiewerke. Elle constitue une mesure de "redispatching" [d'équilibrage du réseau, ndlr] basée sur une disposition de la loi sur l'industrie énergétique (EnWG). 50Hertz peut solliciter l'installation lorsque davantage d'énergie éolienne est produite



HAMBURGER ENERGIEWERKE

Ci-dessus : L'Energiepark Hafen, sur le port de Hambourg, comporte un réservoir d'eau chaude de 55 000 m³. Ci-dessous : L'installation power-to-heat de Wedel, à l'ouest de la ville, est entrée en service en juin 2023.



HAMBURGER ENERGIEWERKE



en Allemagne du Nord que ne peuvent transporter les lignes électriques. De plus, nous pouvons également exploiter l'installation nous-mêmes. Cela est économiquement et écologiquement judicieux, lorsqu'il y a une surabondance d'énergie renouvelable et que le prix de l'électricité sur le marché est très bas voire négatif. Cela permet également de réduire l'utilisation de charbon [lire plus bas, ndlr] et de diminuer les émissions de CO₂. »

La loi EnWG prévoit en effet qu'un opérateur de réseau puisse investir dans une installation PtH, si cette dernière permet de réduire l'écrêtage d'électricité renouvelable, un phénomène qui prend de l'ampleur en Allemagne. L'an dernier, ce sont ainsi plus de 10 TWh, l'équivalent de la production d'une centrale nucléaire, qui n'ont pas pu être injectés dans le réseau en raison des congestions (lire *Journal de l'Éolien* n° 54). 50Hertz n'est pas pour autant propriétaire de l'installation, qui lui a coûté 31,5 millions d'euros, mais a conclu un contrat de redispatching d'une durée de cinq ans avec Hamburger Energiewerke. « Pour 50Hertz, il n'y a ni avantage ni inconvénient économique,

Dans la zone du gestionnaire du réseau de transport 50Hertz, dix installations de power-to-heat, en service ou en projet, totalisent 350 MW, la puissance d'un parc offshore.

assure Volker Gustedt, responsable communication de 50Hertz. Au lieu de payer des compensations pour l'écrêtage, nous finançons la construction de ces installations et disposons ainsi d'un instrument supplémentaire pour réduire les congestions du réseau. À ce jour, cinq installations PtH sont en service dans notre zone de réseau, et des contrats ont été conclus pour cinq autres installations. Au total, cela nous donne un volume de redispatching d'environ 350 MW, ce qui correspond à la capacité d'un parc éolien offshore en mer Baltique. »

SORTIR DU CHARBON

Sous ses airs précurseurs, la ville de Hambourg est en réalité loin d'être une pionnière de la chaleur renouvelable et affiche un bilan écologique assez mauvais. Le réseau de chaleur est en effet principalement alimenté par deux grosses centrales à charbon – Wedel (389 MWth/250 MWel) et Tiefstack (779 MWth/321 MWel) – et quelques autres à cogénération gaz réparties dans divers quartiers de la ville. Ainsi en 2022, le mix énergétique du réseau de chaleur urbain était composé de 71 % de charbon, 13 % de gaz, 14 % de chaleur fatale industrielle et seulement à hauteur de 2 % d'énergies renouvelables, dont biogaz et solaire thermique. Toutefois, l'année suivante, la part de la chaleur industrielle avait grimpé à 19 %,



Réservoir de 4000 m³ pour récupérer la chaleur fatale de l'usine de cuivre d'Aurubis.

HAMBURGER ENERGIEWERKE

La centrale de production de froid du quartier d'affaires City Nord fonctionne de façon flexible, selon la disponibilité de l'électricité éolienne.

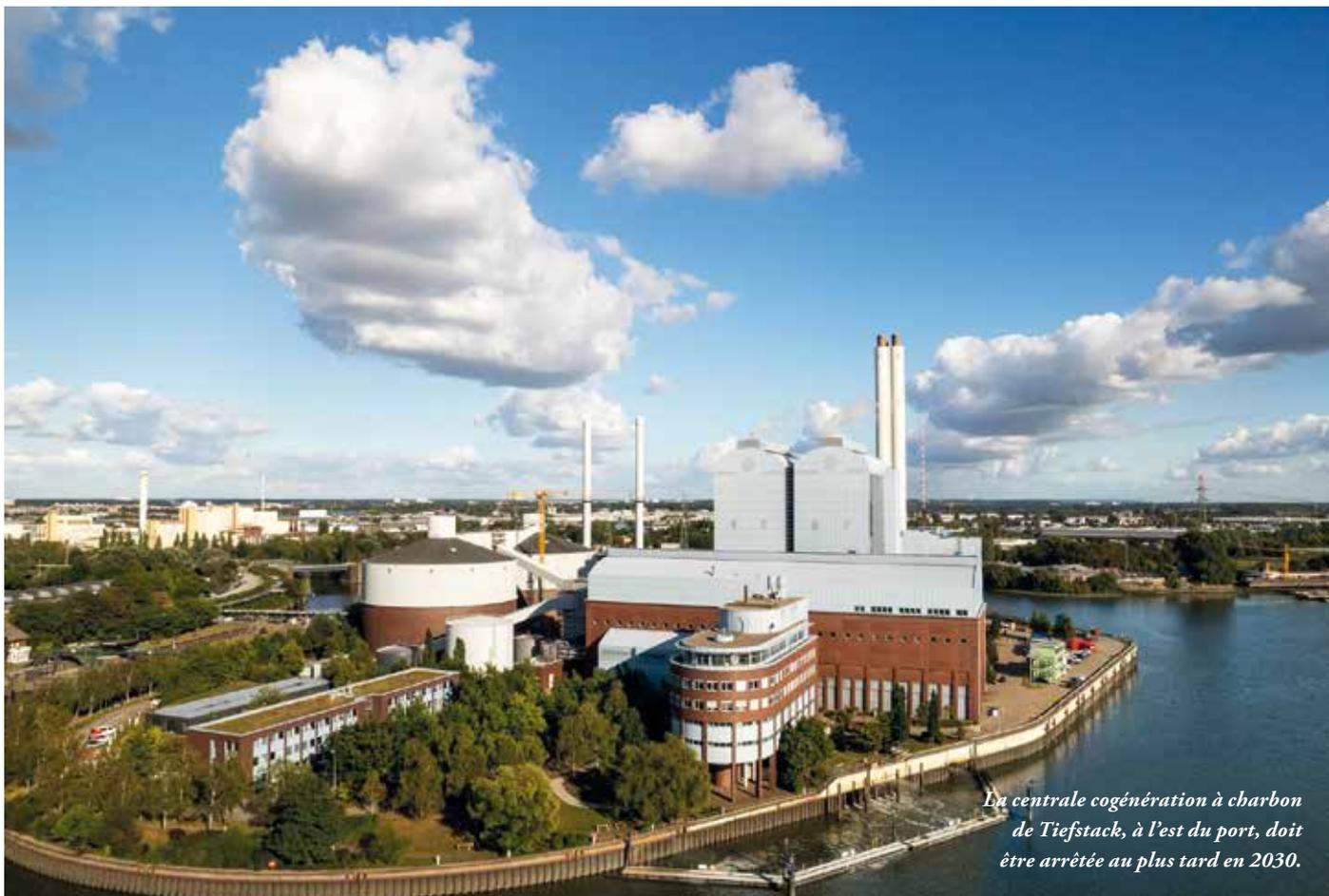


Power-to-cold à City Nord

L'électricité peut se stocker sous forme d'eau chaude, mais aussi sous forme d'eau glacée. Les bureaux, centres de recherche et serveurs du quartier d'affaires de Hamburg, City Nord, au nord de la ville, sont climatisés par un réseau de froid créé en 1968 et depuis périodiquement rénové. En 2021, l'installation a été modernisée et équipée de quatre nouvelles machines de production de froid pouvant fonctionner de façon flexible pour s'adapter à la disponibilité de l'électricité renouvelable. Elles s'ajoutent aux quatre machines installées en 2018 pour amener la puissance totale de cette centrale à 38,5 MW, l'équivalent de 400 000 frigos. Ici, le réseau de froid de 12 kilomètres fait office de moyen de stockage, avec jusqu'à 3,5 millions de litres d'eau circulant à l'aller à une température de 6 à 8 °C, et entre 12 et 15 °C sur le circuit de retour. Cette modernisation a été soutenue par le Fonds européen de développement régional (Feder) et permet de réduire de 900 tonnes par an les émissions de CO₂ de cette unité.

défend Hamburger Energiewerke. À sa décharge, il faut rappeler que la Ville n'a récupéré qu'en 2019 la gestion de ce réseau¹, racheté à Vattenfall, et qu'elle met depuis les bouchées doubles. « La production de chaleur urbaine à Hamburg va fondamentalement changer dans les années à venir, assure Friederike Grönemeyer. D'ici 2030 au plus tard, nous sortirons du charbon, et d'ici 2045, la production de chaleur sera climatiquement neutre. Une étape importante sur cette voie est le remplacement de la centrale de Wedel. » L'Energiepark Hafen doit en effet être raccordé, via des canalisations passant sous l'Elbe, au réseau de chaleur actuellement alimenté par la centrale à charbon de Wedel. Par ailleurs, l'entreprise publique de collecte de déchets, Stadtreinigung Hamburg, construit de son côté un nouveau centre de tri, recyclage et valorisation des déchets, baptisé Zentrum für

Ressourcen und Energie (Centre de ressources et d'énergie, ZRE), dont l'unité de cogénération sera capable de livrer jusqu'à 75 MW de chaleur à ce réseau. Avec leurs entrées en service, toutes deux prévues pour 2025, la part de chaleur neutre en carbone devrait atteindre 55 %. Pour aller plus loin, un autre projet d'ampleur a été entrepris : le parc énergétique de Tiefstack, ou Energiepark Tiefstack, à l'est du port, également au bord de l'Elbe. « Le futur parc énergétique Tiefstack, qui remplacera la centrale thermique du même nom, marquera d'ici 2030



La centrale cogénération à charbon de Tiefstack, à l'est du port, doit être arrêtée au plus tard en 2030.

au plus tard la sortie du charbon à Hambourg, poursuit Friederike Grönemeyer. La production de chaleur urbaine se fera alors à 70-80 % par des sources de chaleur climatiquement neutres. Pour les 20-30 % restants, seule la biomasse renouvelable ou le gaz naturel sera utilisé en fonction des besoins, principalement en hiver, afin de garantir la sécurité de l'approvisionnement. » À Tiefstack, les travaux sont également visibles. Un autre réservoir d'eau de 35 mètres de haut, d'une capacité de 4 000 m³ (4 millions de litres) est en passe d'être achevé. Il stockera la chaleur fatale de l'usine Aurubis, un producteur de cuivre situé à proximité, pour décaler l'injection de chaleur dans le réseau, en fonction des besoins. S'y ajouteront dans les années à venir la récupération de chaleur d'une usine d'incinération, une pompe à chaleur de 60 MW qui ira puiser les calories dans le fleuve, une centrale thermique bi-combustibles (biomasse et gaz), et, à nouveau, une installation PtH dont la puissance reste à définir. Là aussi, un gros réservoir de 40 000 m³ (40 millions de litres) doit sortir de terre d'ici 2029 pour stocker la chaleur.

En définitive, avec à terme environ 200 MW d'unités électrothermiques réparties dans la ville, plusieurs dizaines de milliers de logements de cette autoproclamée « capitale de l'éolien », qui compte près de 2 millions d'habitants, seront bel et bien chauffés par les parcs éoliens qui les entourent. ■

1. Suite à une votation citoyenne de 2013, la ville de Hambourg a progressivement racheté et remunicipalisé tous ses réseaux d'énergies, chaleur, gaz, distribution d'électricité, désormais gérés en régie.



E-SHOP



PIÈCES ET CONSOMMABLES

S.H.A : PIÈCES SECONDES MAINS

MARKET PLACE

<https://eshop.mywindparts.com>



Éolien offshore en hausse : la Chine et l'Europe dominant

Avec 10,8 GW raccordés l'an dernier dans le monde, l'éolien en mer poursuit sa croissance. Malgré les défis, les prévisions de long terme sont prometteuses, annonçant une augmentation significative du marché annuel, portée principalement par la Chine et l'Europe.

PAR KATHIA TERZI

Dans son rapport « Global Offshore Wind Report 2024 », le Global Wind Energy Council (GWEC) dresse le bilan de l'industrie éolienne en mer pour l'année 2023¹. Au cours de cette période, 10,8 GW de nouvelles capacités ont été installés à travers le monde, marquant une hausse de 24 % par rapport à l'année précédente. À fin 2023, la capacité totale des éoliennes offshore opérationnelles à l'échelle mondiale atteignait 75,2 GW. Pour la sixième année consécutive, la Chine constitue le principal contributeur à la croissance du parc mondial. Après une performance exceptionnelle enregistrée en 2021 (16,9 GW de puissance installée), la dynamique chinoise semble s'être normalisée au fil des années, avec un niveau de nouvelles installations mises en service de 5 GW en 2022, puis 6,3 GW en 2023. Cette résilience atteste de la capacité du pays à maintenir une croissance allante malgré la suppression, à la fin de l'année 2021, du tarif d'achat proposé par le gouvernement pour les nouvelles installations.

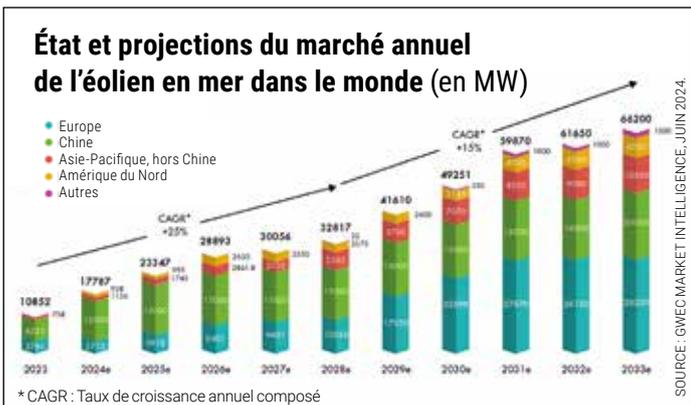
Autre moteur du développement de la filière dans le monde, l'Europe a établi un record en 2023 avec 3,8 GW de nouvelles capacités. Sur le Vieux Conti-

ent, les Pays-Bas occupent la première place du podium avec 1,9 GW installé, suivis du Royaume-Uni (833 MW) et de la France (360 MW). Le Danemark (344 MW), l'Allemagne (257 MW), la Norvège (35 MW) et l'Espagne (2 MW) ont également été actifs l'an dernier sur cette filière.

PROJECTIONS OPTIMISTES

Entre inflation, hausse des coûts du capital et tensions sur les chaînes d'approvisionnement, l'année 2023 a été synonyme de multiplication des challenges pour les acteurs de cette industrie. Le GWEC a ainsi réduit ses prévisions de croissance mondiale de 10 % sur la période 2024-2028. Pour autant, les perspectives du secteur à plus long terme demeurent bien orientées, avec une croissance annuelle de 25 % jusqu'en 2028 et de 15 % jusqu'au début des années 2030. Les nouvelles installations (annuelles) devraient dépasser la barre symbolique des 40 GW en 2029, puis de 60 GW d'ici 2032.

Au cours de la prochaine décennie, le développement de l'offshore mondial devrait être porté par la Chine, et plus largement par la région Asie-Pacifique, qui devrait représenter près de la moitié des nouvelles installations mondiales d'ici 2033. Le rôle de l'Europe serait aussi prépondérant dans ce scénario de long terme. Bénéficiant des politiques européennes en faveur de l'indépendance énergétique et de lutte contre le changement climatique, les installations annuelles devraient dépasser les 10 GW en 2028 et les 20 GW en 2030. Enfin, l'Amérique du Nord restera le troisième marché mondial, bien que les prévisions pour 2030 aient été réduites à 15 GW, contre 25 GW dans la précédente édition du rapport. ■



1. <https://gwec.net/global-wind-report-2024>



PARC ÉOLIEN EN MER DE FÉCAMPI-LAURENT CRITTO

En France, l'éolien en mer se structure

Peu à peu, le secteur de l'éolien en mer français entre dans de nouvelles dimensions. Énergétique d'une part, avec près de 1,5 GW pour 1,8 TWh d'énergie produite, et industrielle d'autre part avec 8 300 emplois et 3,5 milliards de chiffre d'affaires dont plus de 40 % à l'export. PAR FRÉDÉRIC TUILLÉ



Fabrication des fondations gravitaires du parc de Fécamp au Havre en 2021 et 2022.

Après une gestation particulièrement longue de plus de dix ans, l'éolien en mer français a finalement accouché de son premier parc en 2022 avec le site de Saint-Nazaire (480 MW). Depuis, la filière n'a cessé de se développer et remet le secteur dans la trajectoire de la feuille de route que lui a assignée le gouvernement, soit 45 GW à fin 2050 contre 1,45 GW actuellement.

Dans sa dernière publication, l'Observatoire des énergies de la mer (OEM) revient sur les principaux marqueurs de cette montée en puissance pour l'année 2023¹. Le constat est simple : jamais autant de projets n'avaient été simultanément en construction en France en matière d'éolien en mer. Si aucun nouveau parc n'a été inauguré l'an passé, les sites de Fécamp et de Saint-Brieuc ont grandement avancé leur chantier au point de commencer à injecter leurs premiers kWh sur le réseau. Au total plus de 1,8 TWh d'énergie a été produit par les sites en mer, soit environ 3,5 % de l'ensemble de la production éolienne française en 2023 (50,7 TWh). Dans ce contexte, le secteur poursuit sa structuration industrielle. À travers le pacte éolien en mer, la filière s'est engagée à créer 1 000 emplois par an pour atteindre 20 000 emplois en 2035 contre un pointage de 8 300 fin 2023. Avec une moyenne de 1 243 emplois créés sur les cinq dernières années, elle respecte pour l'instant ses engagements. Pour 2024, la création d'au moins 1 100 postes est attendue.

RÉSULTATS À L'EXPORT

Côté activité économique, les chiffres sont à l'avenant avec plus de 3,8 milliards d'euros investis pour un chiffre d'affaires réalisé de 3,5 milliards. Pour ce dernier chiffre, près des deux tiers, soit 2 milliards, proviennent des activités de construction des cinq projets commerciaux d'éolien posé (aux trois déjà cités s'ajoutent ceux de l'île d'Yeu –Noirmoutier et de Dieppe–Le Tréport) ainsi que des trois premières fermes pilotes pour l'éolien flottant. Pour ces chantiers, l'OEM met en avant la captation par des entreprises françaises du marché national des parcs éoliens en mer. De plus, aux 2 milliards de chiffre d'affaires des chantiers nationaux viennent s'ajouter les très bons résultats à l'export, à hauteur d'1,5 milliard d'euros en 2023. Le rapport porte une attention particulière à la dimension industrielle en détaillant finement la chaîne de valeur du secteur et ses ancrages dans les régions. Ainsi, on apprend que la région Pays de la Loire reste leader de la filière avec 2 498 emplois, devant la Normandie (2 246 ETP), et que les cinq plus grosses entreprises présentes en France (GE Vernova, Siemens Gamesa Renewable Energy, Chantiers de l'Atlantique, Rollix Defontaine et Dillinger France) représentent 3 807 emplois soit un peu moins de la moitié des emplois de la filière. Le rapport est disponible en libre téléchargement sur le site de l'OEM. ■

¹. « La construction des premiers parcs éolien en mer bat son plein », OEM, juin 2024. <https://urlz.fr/rhzw>



Europe

POLOGNE

Une bonne dynamique pour l'éolien

Selon un rapport publié le 4 juin dernier et présenté lors de la conférence de l'Association polonaise de l'énergie éolienne (PWEA), la Pologne connaît un développement dynamique du secteur de l'éolien. Selon le rapport, deux tiers des investisseurs ont indiqué que l'état général du marché de l'éolien terrestre en Pologne s'améliorerait en 2023 par rapport à l'année précédente. La principale raison de cette amélioration est l'assouplissement de la règle dite des 10H, voulant que les éoliennes soient éloignées des habitations d'une distance équivalente à 10 fois leur hauteur. Une règle qui a grandement limité les projets. La moitié des investisseurs sont optimistes pour 2024, jugeant que l'année sera bonne à très bonne. Plusieurs opportunités clés pour le développement du secteur de l'éolien terrestre ont été identifiées par les acteurs interrogés,

notamment le raccordement mutualisé au réseau, le développement du réseau de transport et de distribution et un nouvel assouplissement des distances d'éloignement des habitations. Le pays fait toujours face à de nombreux refus de raccordement au réseau que les acteurs de secteur devront régler pour développer le terrestre. En mer, les insuffisances des services et infrastructures portuaires provoquent des retards. Selon les investisseurs, le prix moyen de l'énergie sur le marché de gros POLPX se situera entre 350 et 400 PLN/MWh (entre 83 et 93 euros par MWh) en 2024. Le portefeuille actuel des acteurs en Pologne s'établit à plus de 9 GW pour le terrestre et de plus de 15 GW pour l'éolien en mer. *

Source : Maja Mos, BalticWind.eu, 06/06/2024, <https://vu.fr/lmnAy>



ULRICH MERTENS ATELIER FÜR KUNST UND FOTOGRAFIE

FINLANDE

Un projet hybride de 450 MW

VSB Finland, filiale du développeur d'énergie renouvelable VSB Group, a obtenu les autorisations pour la mise en place d'un parc hybride éolien et photovoltaïque situé à l'ouest de la Finlande dans la région d'Ostrobotnie. Nommé Puutionsaari, le projet a déjà reçu le permis de construire des 49 éoliennes, qui totaliseront 350 MW. D'ici l'automne 2024, l'installation de 100 MW de panneaux photovoltaïques supplémentaires devrait être approuvée. Ce projet hybride fournira plus de 1,3 million de personnes en électricité. La combinaison de l'éolien et du solaire permettra d'assurer une offre d'électricité plus stable toute l'année. De plus, la connexion au réseau national est simplifiée et aucune ligne électrique supplémentaire ne sera nécessaire. L'investissement réalisé pour la construction du parc s'élève à 500 millions d'euros. « Un parc hybride complet bénéficie également à d'autres nouvelles technologies, telles que la production d'hydrogène vert, grâce à une production d'électricité plus conséquente [...] », a souligné Seppo Tallgren, directeur général de VSB Finlande. La construction du parc devrait débuter en 2025 pour une mise en service en 2028. *

Source : [enewablePress.com](https://www.enewablepress.com), 24/06/2024, <https://vu.fr/OPkFH>

ALLEMAGNE

Éoliennes chinoises pour un parc offshore

Les constructeurs éoliens européens ont de quoi s'inquiéter. Le gestionnaire d'actif renouvelable allemand Luxcara a annoncé la signature d'un accord avec le constructeur chinois Mingyang Smart Energy pour la fourniture d'éoliennes offshore destinées au projet Waterkant, en mer du Nord allemande. C'est la première fois que les Allemands font affaire avec la Chine pour un parc en mer. L'accord comprend la fourniture de seize turbines de 18,5 MW chacune, les plus puissantes du monde. Mingyang Smart Energy s'engage à produire les turbines en utilisant 100 % d'énergie renouvelable et à créer des emplois en Europe en faisant appel aux sous-traitants locaux.

« En choisissant les turbines offshore les plus puissantes au monde, nous allons accélérer la transition énergétique de l'Allemagne tout en favorisant la concurrence dans l'industrie. La gestion, l'exploitation et le contrôle du parc éolien Waterkant resteront entièrement entre les mains d'une entreprise allemande indépendante » a déclaré Holger Matthiesen, directeur de projet chez Luxcara et directeur général de Waterkant Energy. L'installation des turbines devrait se faire en 2028. Leur production couvrira l'équivalent de la consommation d'électricité d'environ 400 000 foyers. *

Source : [Energynews](https://www.energynews.com), 05/07/2024, <https://vu.fr/diBKM>



Afrique - Moyen-Orient

ARABIE SAOUDITE

Le Royaume s'industrialise

Le Fonds d'investissement public (PIF) d'Arabie Saoudite a annoncé mi-juillet la signature de trois accords avec des industriels chinois pour la construction d'usines d'éoliennes et de modules solaires dans le royaume. En ce qui concerne l'éolien, une co-entreprise a été créée par le Chinois Envision Energy, détenant 50 % des parts, et les entreprises saoudiennes Renewable Energy Localization Company (RELC), filiale du PIF, et Vision Industries, possédant respectivement 40 % et 10 % des parts de l'entreprise. L'usine doit produire 4 GW par d'éoliennes, pales incluses. De même pour le solaire, RELC et Vision Industries ont conclu un

premier accord avec Lumetech, filiale de TCL Zhonghuan Renewable Energy, et un second avec Jinko Solar, pour des usines de respectivement 20 GW et 10 GW de modules photovoltaïques. La date d'entrée en service et la localisation de ses trois usines n'ont pas été précisées. *

Sources : *Energías Renovables*, 18/07/2024, <https://vu.fr/bVpvF>

ÉGYPTE

Inauguration du parc du golfe de Suez

Début juin, le ministre de l'Électricité et de l'Énergie renouvelable Mohamed

Shaker a inauguré le parc éolien du golfe de Suez 1 de 252 MW, situé près de Ras Gharib. Développé par Tractebel (Groupe Engie) pour la New and Renewable Energy Authority (NREA) égyptienne, le parc représente un investissement de 220 millions d'euros, financés par l'Agence française de développement (AFD), la banque publique allemande KfW, la Banque européenne d'investissement (EIB) et la Commission européenne. Ce parc contribuera à atteindre l'objectif de 42 % l'électricité renouvelable d'ici 2030, que s'est donné l'Égypte. Le ministre a rappelé pour l'occasion que son pays dispose d'un potentiel technique de 350 GW d'éolien et de 650 GW de solaire. *

Source : *Anna Ivanova, Renewables Now*, 03/06/24, <https://vu.fr/vNiY>

TANZANIE

Électrification rurale éolienne

L'entreprise tanzanienne Rift Valley Energy (RVE), propriété du groupe français Meridiam, a reçu fin juin un financement de 15 millions de dollars de la British International Investment, le bras financier de la diplomatie britannique, pouvant être étendu à 25 millions de dollars. Il soutiendra la construction d'installations éolienne et hydraulique de 7,6 MW connectées à un réseau alimentant 170 000 personnes et 4 000 entreprises. Elles seront mis en service à proximité de centrales au fil de l'eau et du parc Mwenga Wind Project (photo ci-contre), situé au village d'Usokami dans la région d'Iringa, dans le sud du pays. Mis en service en 2020, ce parc compte trois éoliennes de 800 kW, soit 2,4 MW au total. L'éolien sert à compenser la baisse de la production hydraulique durant la saison sèche, afin d'alimenter en continu ce réseau rural. L'électricité renouvelable subviendra notamment aux besoins des industries locales,



RIFT VALLEY ENERGY

comme les usines de conditionnement du thé, de transformation du bois, ou de traitement de l'eau, contribuant à la création de 1 800 emplois. Le taux d'accès à l'électricité dans les zones rurales du pays n'est que de 24 %, contre 37 % pour l'ensemble du pays. *

Source : *Martina Markosyan, Renewables Now*, 19/06/2024, <https://vu.fr/yKyHM>



Amériques

BRÉSIL 480 MW pour EDF Renouvelables

EDF a mis en service mi-juillet son plus grand parc d'Amérique du Sud, dans l'État de Paraíba dans le nord-est du Brésil. Le parc Serra do Seridó compte 85 éoliennes pour une puissance de 480 MW, de quoi alimenter 1,5 million de ménages en électricité. Pour ce projet, EDF Renouvelables avait remporté un appel d'offres en 2019 lui octroyant un tarif d'achat pour une partie de la production du parc, l'autre partie est vendue via des power purchase agreement (PPA). Débuté en 2021, le chantier s'est déroulé en deux phases et a mobilisé 2 000 personnes, dont 30 % d'employés locaux. *

Source : *Renews.biz*, 19/07/24,
<https://vu.fr/qarqy>



EDF

ÉTATS-UNIS Moitié moins d'offshore en 2030

Dans son récent rapport « Offshore Wind Market Report », l'American Clean Power Association (ACP) prévoit que seuls 14 GW d'éolien en mer seront déployés d'ici 2030, soit moitié moins que l'objectif de 30 GW fixé par l'administration Biden en 2021. Des problèmes liés à la chaîne

MEXIQUE Complexe éolien transfrontalier

Le constructeur d'infrastructures espagnol Elecnor SA a annoncé début juillet le démarrage de la construction du parc de Cimarron de 320 MW, situé dans la municipalité de Tecate, en Basse Californie, à la frontière avec les États-Unis. Développé par l'entreprise nord-américaine Sempra Infrastructure, ce parc produira au Mexique l'électricité qui sera consommée en Californie, via le réseau existant. Ce projet est en effet la troisième phase du complexe éolien Energia Sierra Juarez, qui aura une capacité totale de 580 MW une fois le parc de Cimarron opérationnel, d'ici fin 2025. De l'autre côté de la frontière, la compagnie électrique Silicon Valley Power achètera la production du complexe via un power purchase agreement (PPA) courant sur 20 ans. *

Source : *Sladjana Djunusic, Renewables Now*, 09/07/2024, <https://vu.fr/iTEjz>

d'approvisionnement et l'augmentation des coûts des matériaux ont notamment conduit plusieurs développeurs en 2023 à annuler ou renégocier des accords d'achat d'électricité de certains projets éoliens. Toutefois, l'ACP estime que le jalon des 30 GW pourrait être atteint en 2033, puis 40 GW dès 2035. Selon le rapport, 12 GW de projets ont déjà conclu des contrats d'achat de leur production, dont 4 GW sont en cours de construction à Vineyard Wind (Massachusetts), Revolution Wind (Connecticut et Rhode Island) et Coastal Virginia Offshore Wind (Virginie). « Après le démarrage réussi du parc éolien South Fork de 132 MW plus tôt cette année, et avec 136 MW opérationnels à Vineyard Wind, l'éolien offshore gagne en dynamisme avec trois projets en construction et trente-sept autres en développement », a déclaré Frank Macchiarola, directeur des politiques de l'ACP. Le rapport souligne le rôle des États dans le développement de l'éolien en mer. Suite aux appels d'offres en cours, le New Jersey, New York, le Massachusetts, Rhode Island et le Connecticut pourraient retenir de

8,8 à 12,2 GW de projets au second semestre 2024, tous situés au large de la côte nord-est. Dans d'autres États, le Bureau of Ocean Energy Management (BOEM) devrait ouvrir des concessions en mer pour un potentiel de 20 GW supplémentaires. *

Source : *Adnan Memija, Offshorewind.biz*, 10/07/2024, <https://vu.fr/eTSms>



ORSTED



Asie - Océanie

CHINE

Éolienne de 18 MW à l'essai

Le 5 juin, la société chinoise Dongfang Electric Corporation (DEC) a installé une éolienne offshore de 18 MW sur une base d'essai côtière à Shantou, dans la province du Guangdong au sud du pays. Le diamètre du rotor est de plus de 260 mètres. Selon DEC, une seule éolienne pourrait produire jusqu'à 72 GWh/par an, soit la consommation de 36 000 foyers. Le cœur de la machine est un générateur à entraînement semi-direct à aimant permanent générant peu de vibrations et de bruit, affichant une montée en température uniforme. En 2020, l'équipementier chinois avait installé une éolienne de 10 MW, ce qui en fait la plus puissante de Chine. Deux ans plus tard, l'entreprise produisait sa première éolienne offshore anticyclonique de 13 MW. *

Source : Adrijana Buljan, *offshoreWind.biz*, 10/06/2024. <https://vu.fr/FNIVz>



MINGYANG SMART ENERGY

CHINE

OceanX : éolienne à double rotor

Le fabricant chinois Mingyang Smart Energy a lancé début juillet le démonstrateur de son éolienne flottante à double rotor, baptisée OceanX. Deux nacelles de 8,3 MW chacune, soit 16,6 MW au total, sont hissées sur des mâts en forme de V, tenu par des haubans précontraints. Cette conception doit permettre de répartir les charges afin de réduire les dimensions de la structure. Les fondations flottantes conçues en béton haute performance compteront un point d'ancrage unique. *

Source : Adnan Memija, *Offshorewind.biz*, 15/07/2024, <https://vu.fr/NLNev>

CORÉE DU SUD

Objectif 14,3 GW offshore en 2030

Le constructeur américain de plateformes flottantes Principle Power et l'entreprise de construction naval Sud-coréenne HSG Sungdong ont convenu d'un accord non exclusif pour la production à l'échelle industrielle de fondations WindFloat en Corée du Sud. Cet accord a pour objectif de favoriser le développement d'une chaîne d'approvisionnement durable en Corée du Sud. Le pays a en effet l'ambition d'atteindre une capacité éolienne en mer de 14,3 GW d'ici 2030.

Parmi les projets développés par Principle Power figure la ferme pilote Les Éoliennes flottantes du golfe du Lion (EFGL) de 30 MW, en cours d'installation au large de Leucate, en Occitanie. *

Source : Adnan Memija, *offshoreWind.biz*, 20/06/2024, <https://vu.fr/zXbBR>

AUSTRALIE

Un parc de 1 333 MW

Le producteur d'énergie renouvelable TagEnergy peut commencer la construction de la deuxième partie du parc éolien Golden Plains, situé à Victoria. D'un coût de 4 milliards de dollars, le parc aura une capacité de production installée totale de 1 333 MW. La deuxième partie représente 577 MW. L'entreprise a obtenu un financement sans recours auprès d'un groupe de financeurs, dont la Clean

Energy Finance Corporation (CEFC) du gouvernement fédéral australien. Les banques australiennes du Commonwealth et de la Westpac, le Fonds d'exportation et d'investissement du Danemark, la banque japonaise Mizuho, la banque française Natixis, la Banque de Chine et la Deutsche Bank allemande ont également contribué au financement. Comme pour la première tranche, Vestas a été choisi pour fournir les 93 turbines de la phase 2 du projet. La première tranche du parc éolien de Golden Plains devrait commencer à produire au premier trimestre 2025.



VESTAS

La deuxième entrera en service mi-2027. Le parc fournira 9 % de l'énergie de Victoria, soit suffisamment pour alimenter plus de 750 000 foyers. *

Source : Sophie Vorrath, *RenewEconomy*, 19/06/2024, <https://vu.fr/nOkYg>

Le Journal de l'Éolien a décidé de se pencher sur le métier de celles et ceux qui ont fait de l'éolien leur secteur d'activité. Cadres, techniciens, agents territoriaux, chargés de missions, tous participent à l'essor de la filière. Fiche-métier, formation et témoignage... Dans ce numéro, découvrez le métier de responsable gestion d'actifs éoliens.

MÉTIER : responsable gestion d'actifs éoliens

Missions

- Représenter les intérêts des sociétés d'exploitation détenues par wpd en tant que maître d'ouvrage et président.
- Veillez à la sécurité des biens et des personnes autour de chaque projet.
- Assurer la coordination des parties prenantes internes et externes pour consolider et faire évoluer les processus de gestion des actifs.
- Définir et assurer le bon déploiement de la stratégie groupe en exploitation des différents sites en lien avec les autres services du groupe (Finances et autres membres du COMEX).
- Être l'interlocuteur « privilégié » en matière d'évolutions industrielles et contractuelles en phase d'exploitation, valorisation de l'énergie (PPA), développement de projet, repowering.
- Pérenniser l'image de marque du groupe wpd auprès de nos partenaires locaux.

Qualités exigées

Avoir l'esprit de synthèse, être organisé et polyvalent, maîtriser les normes environnementales. Il faut également être bon communicant et savoir travailler en mode transverse.

Expérience requise

Un minimum de 5 ans dans la gestion d'actifs, la production ou l'exploitation d'énergie, idéalement sur des sites EnR/éoliens auprès d'un gestionnaire d'actifs, IPP, exploitant.

Comment y parvenir ?

H/F, titulaire d'un bac +5 type école d'ingénieur ou MBA.



DR

C'est mon job !

Scott Berthier est diplômé d'un master en management de projet. Après dix années d'expérience dans le secteur des énergies renouvelables, il occupe aujourd'hui le poste de responsable gestion d'actifs éoliens pour le portefeuille français du groupe wpd.

« **L**e marché de l'éolien est encore jeune et dynamique et de fait il est en constante évolution, que ce soit au niveau politique, réglementaire ou même technologique. Cela nous oblige à nous adapter en permanence à ces nouveaux contextes avec les enjeux qui en découlent, notamment une fois que le parc éolien est en exploitation. La gestion d'actif est passionnante par la diversité des sujets abordés. En effet, on travaille sur des thématiques de rendement, de sécurité, de budget mais également sur les enjeux écologiques et d'acceptation locale. C'est un environnement challengeant mais très épanouissant. La maîtrise complète, par le groupe wpd, de toute la chaîne de valeur d'un projet EnR allant de la prospection foncière, du développement, de la construction jusqu'à l'exploitation me permet de gérer notre portefeuille en toute sérénité et d'avoir accès à un historique complet de nos parcs. »

11-12
DÉCEMBRE
2024



Parc des
Expositions
Montpellier



enerGaia

Forum des énergies renouvelables

RASSEMBLONS NOS ÉNERGIES !



Plateforme digitale mise à disposition
pour vos rendez-vous d'affaires



Espace Business Meetings



Pavillon Bâtiment Durable
Pavillon Emploi - Formation



500
exposants



Trophées
de l'innovation



100
conférences,
ateliers, pitches

**Le Forum
100% EnR**



www.energaia.fr

Suivez-nous   



Partenaires
officiels

envirobât
OCCITANIE

FRANCE
renouvelables
Agence de développement économique



Montpellier
métropole



DERBI
Pôle de compétitivité



REPUBLIQUE
FRANÇAISE
Loisirs
Tourisme

France
Travail



POLE MER
MEDITERRANEE



wind **PRO**

4.0



Le logiciel d'étude de vos projets Eolien - Photovoltaïque - Stockage

PRODUCTIBLE EOLIEN

Calcul du productible P50, évaluation des pertes (sillage, plan de fonctionnement, puiss. max. d'injection, ...) et incertitudes
Interfaçage avec WAsP et CFD

ACOUSTIQUE EOLIEN

Evaluation de l'impact acoustique (ISO 9613-2, NORD2000, ...)
Optimisation du plan de fonctionnement en fonction de limites réglementaires

DUREE DE VIE EOLIEN

Evaluation des conditions du site (IEC 61400-1 ed,4)
Estimation de la durée de vie des composants

EXPLOITATION EOLIEN

Evaluation détaillée des pertes
Calcul d'indices énergétiques
Réévaluation du productible

DONNEES

Téléchargement de fonds de carte, et de données topographiques, météorologiques et climatiques
Visualisation et traitement de données météorologiques (correction long-terme, extrapolation verticale, ...)
Base de données des modèles d'éoliennes du marché

PRODUCTIBLE PV

Calcul du productible tenant compte des effets de masques (relief, éoliennes, modules PV)
Téléchargement de séries temporelles d'irradiance Heliosat

STOCKAGE

Dimensionnement en fonction des conditions de raccordement et d'injection/soutirage de la centrale (PV et/ou éolienne) sur le réseau public de distribution

OPTIMISATION

Aide à l'ajustement des paramètres d'implantation (éoliennes ou tables de modules) pour optimiser le productible, le LCOE ou la VAN

PHOTOMONTAGES

Création de photomontages
Ajout d'aménagements pour les vues rapprochées
Interfaçage avec SketchUp

INTEGRATION

Calcul de Zone d'Influence Visuelle et de la visibilité par un radar
Evaluation des effets stroboscopiques (éolien) et de miroitement (PV)





**Sécurisez
vos chantiers
éoliens**
avec la
vidéosurveillance Kooi



247kooi.fr | Vidéosurveillance



PUBLIEZ VOTRE OFFRE D'EMPLOI ICI !

Professionnels de l'éolien, dynamisez votre recrutement en plaçant votre annonce dans notre journal spécialisé :

Le Journal de l'Éolien

Tarifs sur demande.

Contactez-nous :

redaction@journal-eolien.org

Responsable Exploitation Éolien h/f

Nantes (44)

ENERGY CONSULT est aujourd'hui leader européen dans l'exploitation et la gestion de parcs éoliens et centrales solaires.

Mission : Garant de la sécurité et de l'optimisation de la production des parcs éoliens, piloter et développer l'activité exploitation éolienne, définir, déployer et optimiser les processus, outils et méthodes. Être le garant de la bonne exploitation des sites. Piloter la bonne gestion des actions d'entretien et de maintenance en veillant à l'optimisation de la disponibilité des sites. Veiller au respect des normes de sécurité et de la bonne application de la réglementation. Être l'interlocuteur privilégié des clients. Assurer le bon reporting des sites tout en optimisant l'utilisation du monitoring/GMAO. Développer et cultiver des relations privilégiées avec les fournisseurs et partenaires. Travailler en étroite collaboration avec les autres services du groupe tout en apportant votre support technique au niveau européen.

Compétences : Organisation, esprit d'équipe et pragmatisme.

Profil : F/H/X exp. min 5 ans en maintenance/exploitation de sites de production EnR ou dans l'industrie.

Envoyez CV et LM sous la réf. REEFB1 à candidat@elatos.fr ou sur elatos.fr

Chef de Projet Éolien f/h/x

Nantes (44)

Avec 3 700 collaborateurs et plus de 2 600 éoliennes installées en Europe, le groupe **wpd** fait partie des leaders mondiaux de l'énergie éolienne onshore.

Mission : Véritable moteur et garant du bon développement des projets éoliens, prospecter afin de trouver de nouveaux sites propices, lancer les études environnementales et lever les risques sur les projets. Obtenir le soutien des collectivités territoriales concernées et piloter la sécurisation foncière. Entretenir une connaissance fine des territoires qui vous sont confiés. Initier une concertation efficace auprès de l'ensemble des acteurs concernés. Être le garant de la bonne notoriété de wpd auprès des collectivités locales et de la population. Travailler en étroite collaboration avec l'équipe qui assurera la préparation et l'instruction des demandes d'autorisation, jusqu'à la mise en service des parcs.

Compétences : Engagé, sens des responsabilités, personne de terrain.

Profil : F/H/X, exp. min. 2 ans dans le développement de projets avec sécurisation foncière.

Envoyez CV et LM sous la réf. CHPDE1 à candidat@elatos.fr ou sur elatos.fr

Responsable Développement Régional EnR n f/h

Paris 14^e – télétravail possible

Depuis 2004, **AN AVEL BRAZ** s'impose comme un acteur indépendant majeur de l'éolien, couvrant l'ensemble de la chaîne énergétique éolienne.

Mission : Pilote et moteur du développement soutenu de l'activité EnR et de la mise en service des projets sur votre région, définir la stratégie de développement EnR et assurer sa bonne mise en œuvre. Identifier au sein de cette région des pôles géographiques de développement EnR à prioriser. En lien et avec l'appui du responsable foncier, prioriser la sécurisation du foncier sur ces zones prioritaires. Assurer le développement de votre portefeuille de projets, de l'identification des sites jusqu'à la mise en service réussie. Constituer, piloter et faire évoluer votre équipe. Piloter les réponses aux appels d'offres et à manifestations d'intérêts et apporter les réponses en collaboration avec la direction. Identifier et piloter les conseils techniques, juridiques et travailler étroitement avec les fonctions supports internes et externes. Être responsable de la bonne réalisation et mise en service des projets en suivant les partenaires et sous-traitants.

Compétences : Leadership, rigueur et autonomie.

Profil : F/H exp. min 5 ans dans le développement éolien, solaire PV ou EnR en France.

Envoyez CV et LM sous la réf. KLDVAV à candidat@elatos.fr ou sur elatos.fr