

# Observatoire de l'éolien

# 2020

Analyse du marché,  
des emplois  
et des enjeux  
de l'éolien en France  
Septembre 2020





# Avant-propos

La publication de la Programmation pluriannuelle de l'énergie le 21 avril 2020 confirme l'importance de la filière éolienne, tant terrestre que maritime, dans la stratégie de transition énergétique portée par la France. Les objectifs sont ambitieux, puisqu'il s'agit de doubler la capacité installée d'ici 2028 pour l'éolien terrestre et de lancer chaque année un appel d'offres pour l'éolien en mer au rythme d'environ 1 GW par an.

La crise sanitaire que nous venons de traverser montre que ce choix est le bon. La production d'électricité renouvelable s'est maintenue à des niveaux très importants durant cette période hors norme à plus d'un titre. Pour l'éolien, le taux de couverture moyen a été de 8,8% en ce premier semestre, et a même atteint 31% en mai.

Cette crise a apporté une première démonstration de la capacité des énergies renouvelables à contribuer à notre sécurité d'approvisionnement électrique, en plus de leur impact positif pour le climat. Cela conforte donc notre détermination à développer très largement les EnR afin d'atteindre les objectifs ambitieux de la Programmation pluriannuelle de l'énergie.

La filière démontre également que la transition énergétique est porteuse d'emploi, avec une progression de 11% des emplois en 2019. 20 200 personnes travaillent désormais dans ce secteur. Elle est également un facteur de développement économique des territoires, en permettant une production d'électricité décentralisées et proche des citoyens. Grace aux dispositions en faveur de l'engagement participatif portées par le gouvernement, collectivités et citoyens sont davantage engagés dans des projets éoliens.

# Avant-propos

**D**ans son rôle de fer de lance de la transition énergétique, l'éolien se doit d'être exemplaire. C'est pourquoi, en concertation avec les fédérations professionnelles, le gouvernement a pris de nouvelles mesures qui répondent aux attentes des citoyens. Elles concernent en particulier l'excavation des fondations, les garanties financières ou encore le recyclage des parcs éoliens. Nous poursuivrons nos travaux avec l'ensemble des parties prenantes afin d'assurer un développement harmonieux de l'éolien, indispensable à l'atteinte de nos objectifs. Nous poursuivrons par ailleurs nos travaux pour simplifier les procédures relatives à l'éolien en mer, sans réduire la place accordée au dialogue avec les parties prenantes, et accompagner le développement des premiers parcs, dont la réussite conditionnera celle de l'ensemble de la filière.

**J**e tiens à saluer tous les acteurs de cette filière qui peuvent être fiers de leur action en faveur de la transition écologique, du développement de nos territoires et de notre économie.



**Barbara POMPILI**

Ministre de la Transition écologique



# Édito

Depuis la dernière publication de l'Observatoire, **l'épidémie de la COVID-19** a engendré une crise sanitaire sans précédent dont les conséquences s'inscriront dans la durée.

Dans ce contexte difficile, la filière éolienne n'a pas démérité et a su montrer qu'elle était un atout fondamental non seulement pour le secteur énergétique, mais aussi pour l'ensemble de l'économie française. **La filière a en effet assuré une continuité de ses opérations** tout au long de cette période inédite et a joué un **rôle exemplaire** grâce à la mobilisation et à la réactivité de l'ensemble de ses membres. Cela démontre la **résilience de la filière éolienne**.

En outre, en plein cœur de la crise, les pouvoirs publics ont confirmé qu'ils comptaient sur le **développement soutenu** de l'éolien dans les années à venir en publiant la version définitive de la **Programmation Pluriannuelle de l'Énergie (PPE) pour la période 2023-2028**. La PPE prévoit que les capacités éoliennes installées devront **augmenter de 140% d'ici 2028** par rapport à 2019. Ces objectifs donnent un cap qui ne sera respecté que si le retard dû à la crise sanitaire est rattrapé et surtout, le cadre réglementaire simplifié.

La filière éolienne est un **pilier de la transition énergétique qui a su démontrer sa compétitivité**. C'est pourquoi, ses représentants souhaitent un plan de relance économique durable, un véritable Wind Deal français, à l'image du Green Deal européen. La France doit se donner les moyens d'atteindre ses objectifs.

Cette année 2020 marque aussi la **structuration de la filière de l'éolien en mer** et le début de plusieurs chantiers (Saint-Nazaire et Fécamp). Cela amorce un essor attendu et espéré pour cette technologie qui peut être à l'origine d'une filière industrielle française d'envergure mondiale.

Au 31 décembre 2019, la filière compte plus de **20 200 emplois directs**, soit une **croissance de 11%** par rapport à l'an passé. D'ici 2028, l'éolien, terrestre et en mer confondus, devrait générer près de 50 000 emplois en France. La filière est le **1<sup>er</sup> employeur** dans le secteur des énergies renouvelables à l'échelle nationale.

Cependant, en tant que représentants de la filière, nous restons conscients que des challenges nous attendent.

Alors que 73% des Français ont une bonne image de l'éolien<sup>1</sup>, la **bonne insertion de nos parcs** sur le territoire reste notre priorité. Nous travaillons sans cesse à un développement harmonieux et à une répartition équitable des parcs éoliens grâce à leur modernisation (repowering) et à l'instauration de groupes de travail constitués du gouvernement et des acteurs de la filière qui œuvrent en ce sens.

**Les enjeux de recyclabilité** des parcs restent toujours autant d'actualité. La filière continue de progresser sur ces aspects en travaillant conjointement avec l'Etat sur un contexte réglementaire exemplaire qui exige une recyclabilité proche des 100% des composants des turbines pour les nouveaux projets.

Le déploiement des outils digitaux et technologiques améliore aussi l'insertion territoriale des projets notamment par le respect de la **biodiversité, enjeu devenu majeur pour la filière**. A titre d'exemple, de plus en plus de profils liés au digital mais aussi à la protection des écosystèmes (écologues) sont recherchés pour neutraliser l'impact sur l'environnement des projets éoliens, **preuve de la diversité des emplois du secteur**.

Autre challenge que nous entendons surmonter : la filière peine à recruter des techniciens pour l'exploitation et la maintenance des parcs. **Ces emplois sont pourtant hautement qualifiés, non délocalisables et s'inscrivent dans la durée**, soit *a minima* vingt à vingt-cinq ans. Cet apport de compétences est crucial pour assurer la résilience de la filière, d'où la nécessité de renforcer la visibilité des formations pour pérenniser ce maillon de l'industrie éolienne.

**La filière éolienne est aujourd'hui à un tournant de son développement**. Le contexte de crise sanitaire a démontré que l'éolien a toute sa place dans le mix énergétique comme **source d'énergie propre, résiliente et compétitive**. L'ambition fixée par la PPE et l'urgence écologique entérinent le rôle de premier plan que l'éolien doit jouer dans la transition énergétique.

Nicolas Wolff, Président de France Energie Eolienne,  
et Cécile Maisonneuve-Cado, Présidente de la  
Commission Industrie

Capgemini invent

France  
Energie  
Eolienne

# Chiffres clés de la filière en 2019

**8 000** éoliennes installées

Un parc installé de **16,6 GW** au 31/12/2019

**6,3 %** de la production électrique française

**20 200** emplois au 31/12/2019, **+11 %** par rapport à 2018

**200 millions d'euros** de recettes fiscales

**2<sup>ème</sup>** énergie renouvelable en production en France

**1<sup>er</sup>** employeur du secteur des énergies renouvelables

Des éoliennes recyclables jusqu'à **95 %**



**~2 GW/an** de capacités additionnelles jusqu'en 2028

**62,2 €/MWh** au dernier appel d'offres AOS de février 2020

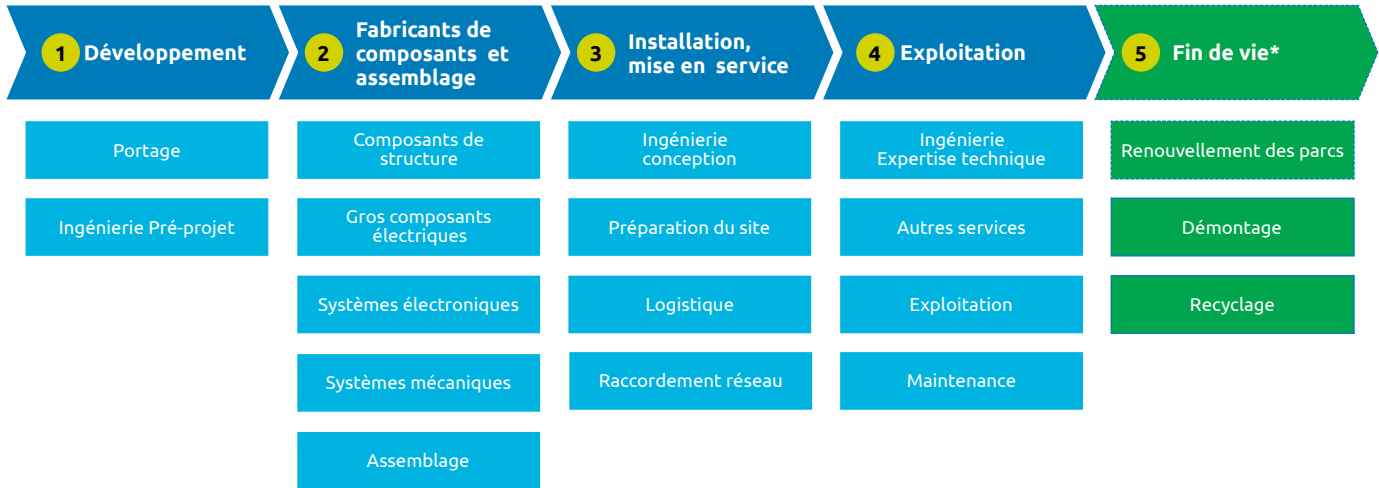


**1 GW/an** de capacités additionnelles d'ici à 2024

**44 €/MWh** au dernier appel d'offres de Dunkerque

# La filière

## Aperçu de la chaîne de valeur de la filière éolienne



Jusqu'à **70% de la valeur d'une éolienne est acquis en Europe**, preuve que la filière est bien ancrée sur le continent.

Source : ADEME - Etude sur la filière éolienne française : bilan, prospective et stratégie

\* Les entreprises spécialisées uniquement sur ce maillon n'ont pas été comptabilisées

# Sommaire

## Le marché de l'éolien en France

- a. Bilan du marché de l'éolien p.11
- b. Covid-19 et résilience de la filière p.17
- c. La relance de l'économie française par l'éolien p.23
- d. Le marché éolien français dans le contexte européen p.25
- e. La place de l'éolien dans le mix énergétique français p.28
- f. Les retombées économiques et fiscales pour les collectivités locales p.30
- g. Des technologies d'éolien terrestre qui poursuivent leurs évolutions p.35
- h. L'éolien en mer p.40

## Les emplois dans l'éolien

- a. La dynamique de l'emploi sur le territoire p.56
  - i. La croissance de l'emploi
  - ii. Détails par maillons de la chaîne de valeur
- b. La répartition des emplois éoliens par région p.62
- c. L'animation de la filière p.70
- d. Vision prospective sur le marché de l'emploi de l'éolien p.81
- e. Focus sur l'Observatoire des énergies de la mer p.84

## Les enjeux de l'éolien

- a. L'adhésion des Français à l'éolien p.93
- b. Innovation et progrès de la filière p.96
- c. La recherche et le développement (R&D) p.106
- d. Le mécanisme d'appels d'offres p.109
- e. Intégration dans le réseau p.112
- f. Les enjeux de flexibilité p.128
- g. Couplage avec le stockage p.133
- h. Formation p.136
- i. Economie circulaire (repowering) p.144
- j. Focus sur les nouveaux modèles d'affaires : corporate PPA, VPP p.153

## Annexes

- a. Cartes de l'implantation du tissu éolien en régions p.161
- b. Cartes d'identité des acteurs éoliens par catégorie p.175

# Le marché éolien

# Introduction

## La PPE publiée le 23 avril 2020 est une preuve de la confiance acquise par la filière

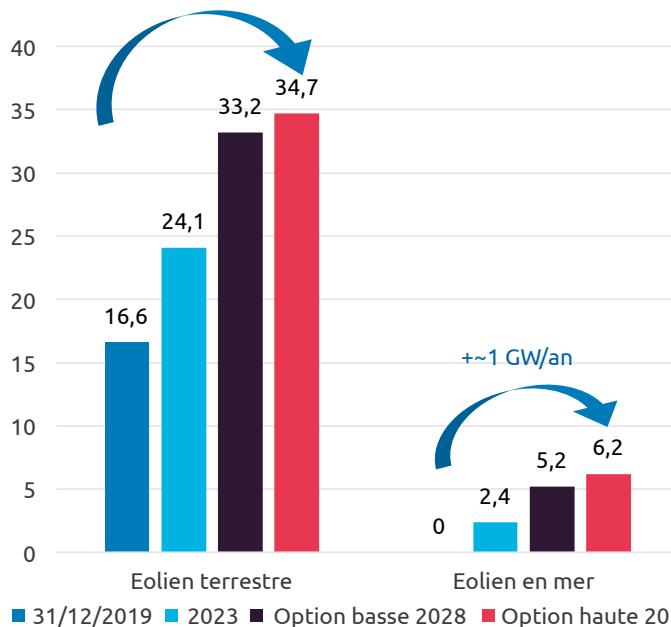
La France s'est fixée un objectif de **neutralité carbone en 2050**. La PPE publiée en avril fixe les objectifs de transition énergétique du pays jusqu'en 2028. Le texte prévoit que la capacité de l'énergie éolienne augmente de **45% d'ici 3 ans**.

Or, avec seulement 1 337 MW raccordés en 2019, la capacité éolienne installée doit s'accélérer. La France vise, sur la prochaine décennie, un rythme d'installation de capacité éolien terrestre à **2 000 MW** par an afin d'atteindre l'objectif de 34 GW de capacité cumulée raccordée en 2028.

Les capacités de l'éolien en mer doivent aussi croître à un rythme soutenu. Pour atteindre les objectifs de la PPE, près de **1 000 MW** de capacités doivent être attribuées par le biais d'appels d'offres, chaque année d'ici à 2024, jusqu'en 2028.

Le respect de ce calendrier est impératif pour soutenir la politique de la transition énergétique du pays. Or, la crise sanitaire et ses impacts économiques vont engendrer des **retards dans la mise en service des nouveaux projets**.

Objectifs de capacité installée en GW fixés par la PPE  
+~2 GW/an



Source : Décret d'application de la PPE, publié au JO le 23/04/2020  
PPE: Programmation pluriannuelle de l'énergie

# Le marché éolien

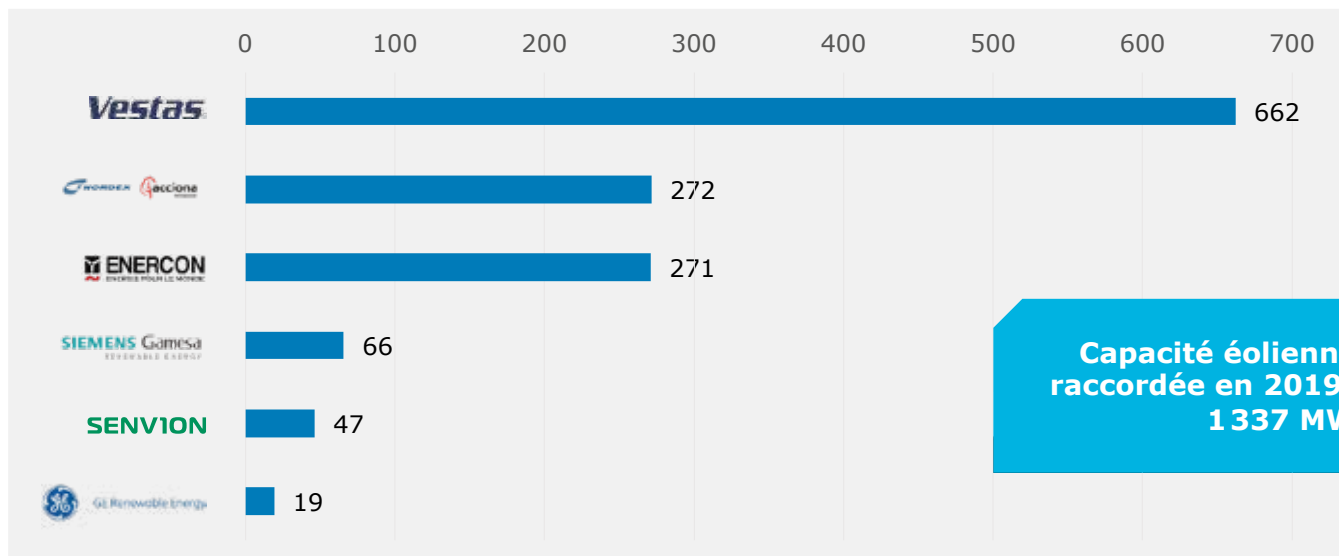
11

## A. Bilan du marché de l'éolien

# Bilan du marché de l'éolien

## 1,3 GW de capacité éolienne a été mise en service en France en 2019

MW mis en service par constructeur (arrondis à l'unité) du 1<sup>er</sup> Janvier 2019 au 31 décembre 2019



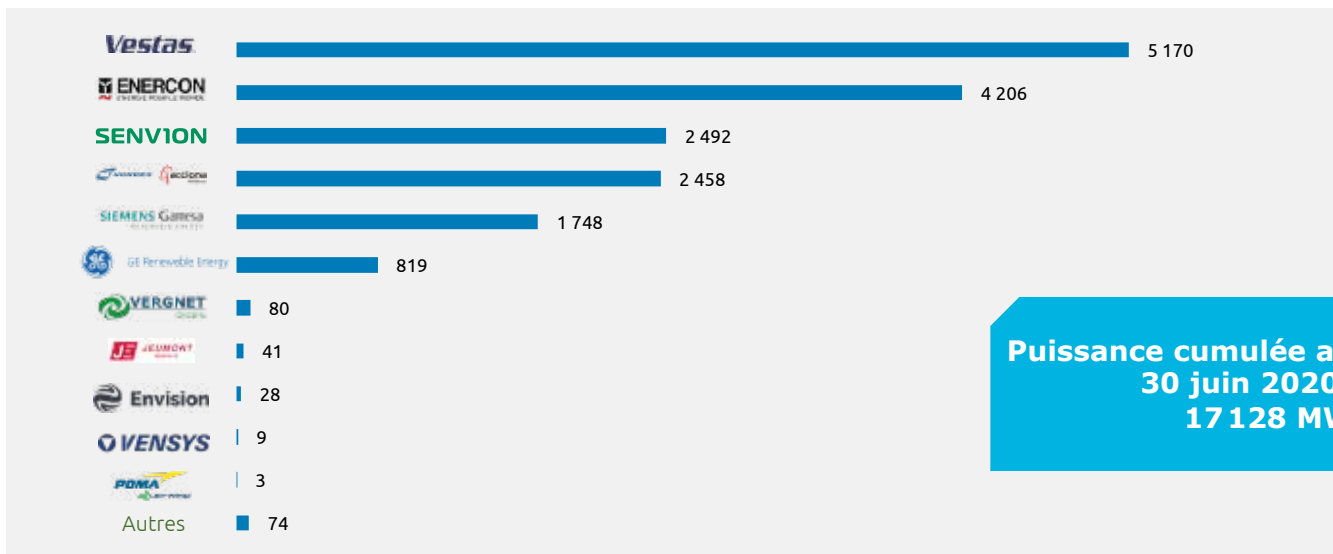
Source : Etude FEE



# Bilan du marché de l'éolien

La puissance cumulée en service en France au 30 juin 2020 est de 17,13 GW

MW en service par constructeur (arrondi au MW)

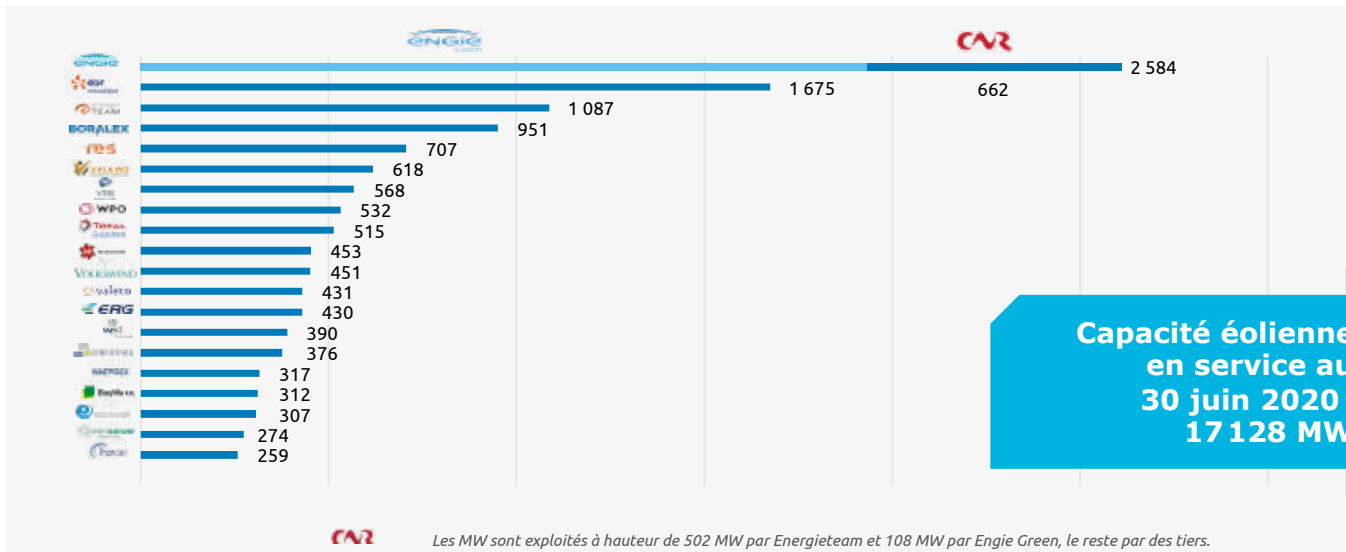


Source : Etude FEE

# Bilan de la puissance raccordée

## 17 exploitants gèrent chacun plus de 300 MW de capacité éolienne

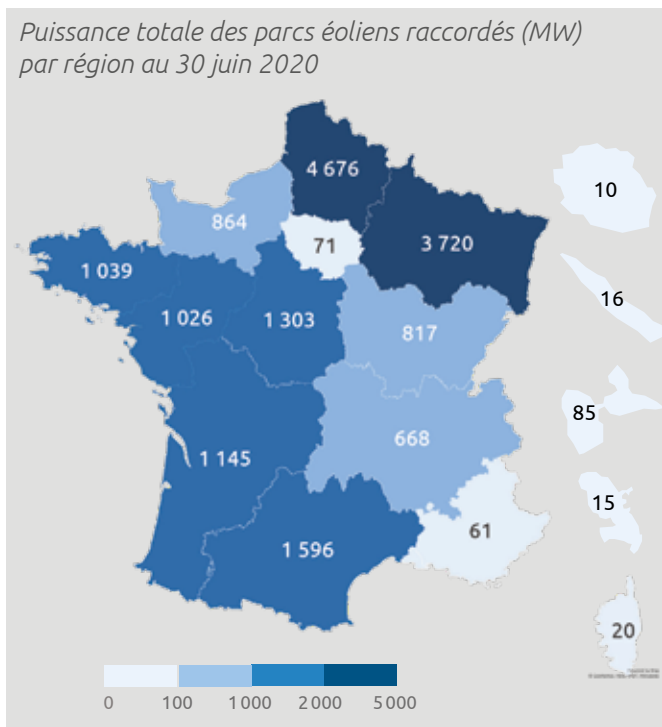
Top20 - MW en service exploités en direct et pour compte de tiers<sup>(1)</sup>



(1) Données issues de la base de données FEE au 01/07/2020; chiffres arrondis à l'unité. Les données du second semestre sont consolidées sur le semestre suivant.

# Bilan du marché de l'éolien

## La filière continue de progresser sur l'ensemble du territoire



Source : Etude FEE

Les capacités éoliennes sont réparties sur l'ensemble du territoire français, **avec plus de 1 450 parcs** comptant 8 436 éoliennes, implantés dans l'ensemble des régions métropolitaines ainsi qu'en Outre-Mer.

Les **Hauts-de-France** et le **Grand Est** sont les premières régions éoliennes. Ces 2 régions représentent à elles seules **50% de la puissance raccordée** en France. **L'Occitanie**, berceau historique de l'éolien en France, occupe quant à elle la **3<sup>ème</sup> position au niveau national**.

D'autres régions poursuivent leur progression. A titre d'exemple, le **Centre-Val de Loire**, les **Pays de la Loire** et la **Nouvelle-Aquitaine** ont raccordé respectivement **plus de 100 MW** entre juin 2019 et juin 2020.

La région des **Pays de la Loire** passe ainsi le **cap du gigawatt** d'éoliennes installées, preuve du **développement harmonieux** de la filière en cours sur l'ensemble du territoire.

---

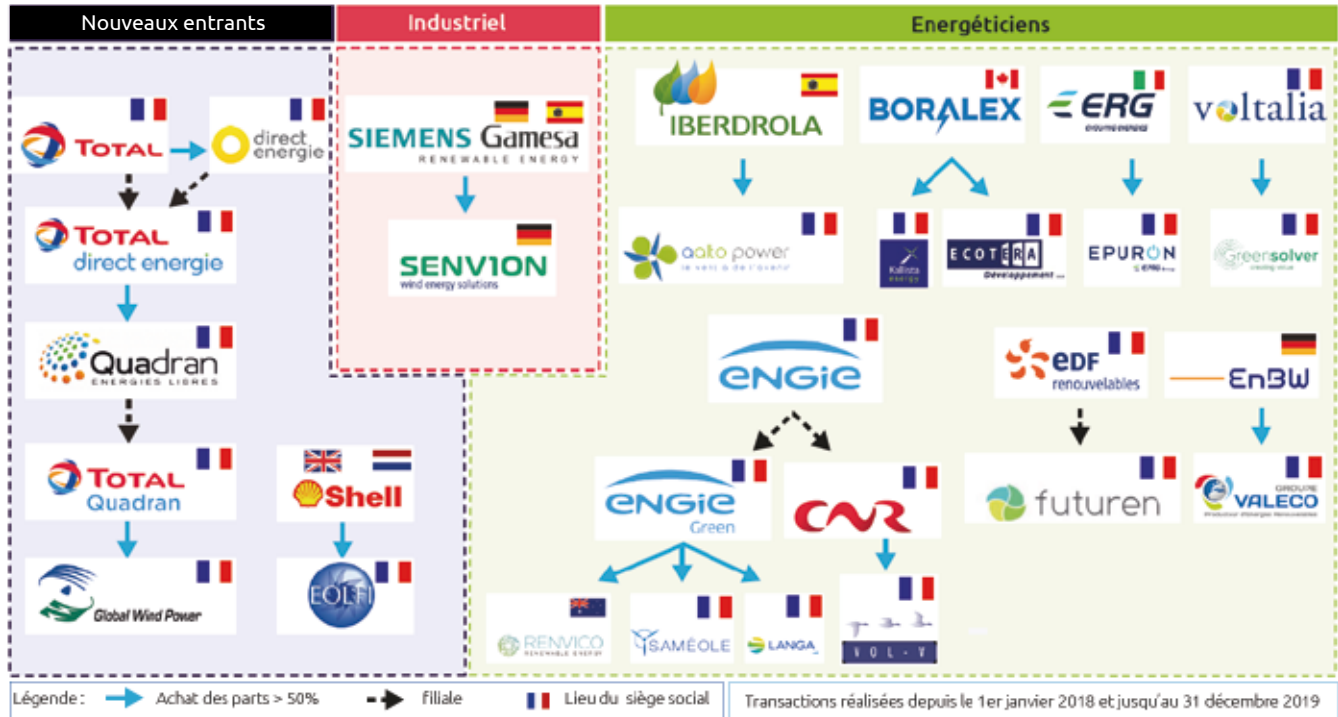
7 régions sur 13 comptent plus de **1 000 MW** de puissance éolienne raccordée sur le réseau à fin juin 2020

---

15

# Bilan du marché de l'éolien

L'éolien se consolide via des opérations de fusions-acquisitions



Source : Etude Capgemini Invent

# Le marché éolien

17

## B. Covid-19 et résilience de la filière

# Covid-19 et résilience de la filière

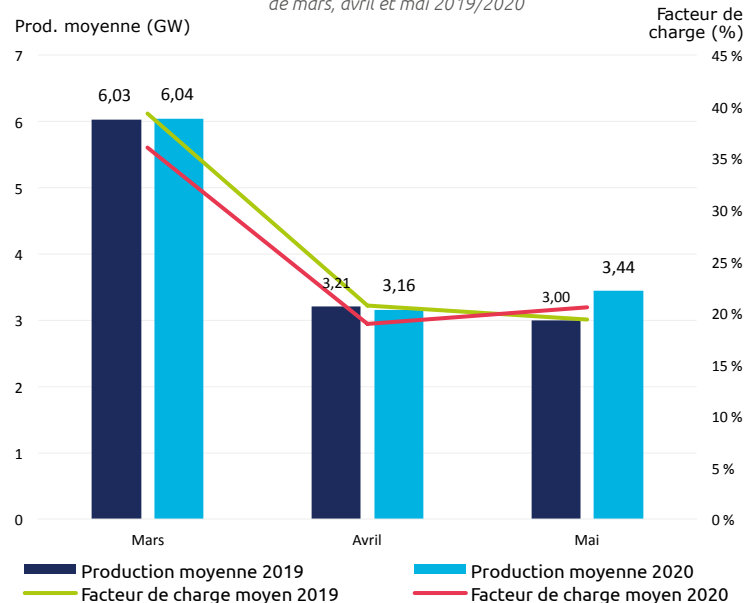
## La filière éolienne a su se montrer exemplaire en assurant une continuité de ses opérations tout au long de la crise sanitaire

Au cours de la période de confinement, du 17 mars au 11 mai 2020, la filière a démontré sa **résilience** en assurant une **continuité de ses opérations**. Les opérations de maintenance ont été assurées en respectant les gestes barrières et la supervision des parcs a été réalisée à distance.

Pour preuve, la production moyenne de l'éolien pendant la période de confinement de mars à mai, a été **3,5% plus élevée qu'en 2019, et jusqu'à 15%** sur le seul mois de mai, preuve que **la filière a su faire face à la crise avec succès**. Quant au **facteur de charge moyen** sur la période il est **sensiblement identique** entre 2019, 26,43%, et 2020, 25,13%.

La filière a su parfaitement **s'adapter**.

Production moyenne en GW du parc éolien français sur les mois de mars, avril et mai 2019/2020



Sources : Eco2mix, RTE, 2020

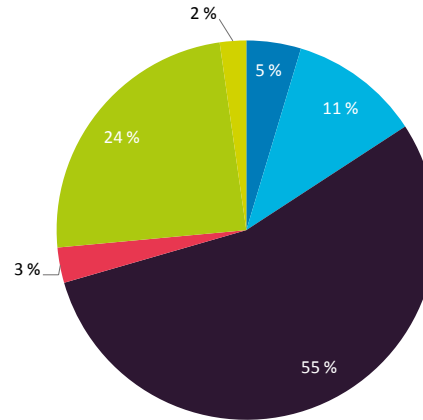
# Covid-19 et résilience de la filière

## Le dimanche 29 mars 2020, l'éolien contribue à 24 % du mix électrique français

A titre d'exemple, **en plein cœur de la crise sanitaire**, les énergies renouvelables ont contribué à jusqu'à **39% du mix électrique** français, dont **24% provenaient de l'éolien** uniquement. Le parc éolien français a alors produit **12,8GW d'électricité**. Cette performance a été réalisée le 29 mars 2020, **deux semaines après l'instauration du confinement**.

La filière a ainsi su pendant le confinement **assurer une continuité de service exemplaire** et **contribuer significativement** au mix électrique français.

Production en MW du parc éolien français à 18h, le dimanche 29 mars 2020



■ Gaz ■ Hydraulique ■ Nucléaire ■ Solaire ■ Eolien ■ Bioénergies

Sources : Eco2mix, RTE, 2020

# Covid-19 et résilience de la filière

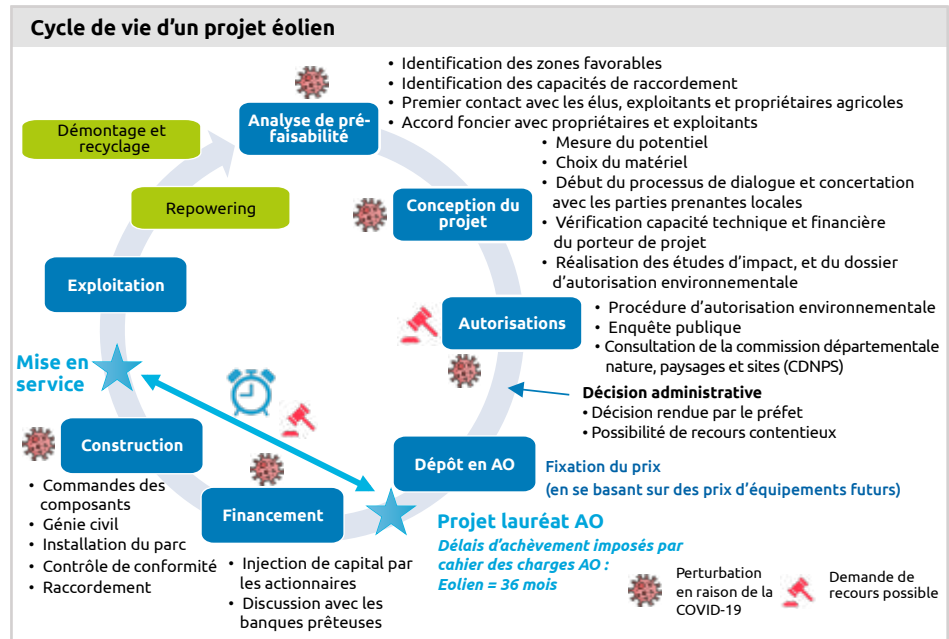
## Certaines étapes du cycle de vie d'un projet éolien rallongées par la crise sanitaire

La réalisation d'un projet éolien, de l'analyse de pré-faisabilité jusqu'à son exploitation s'inscrit dans le temps long. Cela prend en moyenne **6 à 8 ans**.

En raison de la Covid-19, de nombreuses étapes ont été perturbées notamment en lien avec la **suspension puis la reprise progressive** du dialogue avec les élus et autres parties prenantes locales.

La **phase d'exploitation** a été peu impactée et a démontré la **résilience de la filière**.

Les délais de recours ayant été prolongés jusqu'à la fin de l'été, et les projets en construction ayant été temporairement arrêtés en raison du confinement, **un impact à la baisse est à craindre sur le volume de projets raccordés en 2020**.



Source : Etude FEE



# Covid-19 et résilience de la filière

## La crise sanitaire risque de retarder entre 300 et 700 MW de capacité éolienne sur les prochaines années

Au-delà de l'impact opérationnel, les conséquences de la crise sur les acteurs de la filière, en raison du retard pris par certains projets, sont attendues et seront perceptibles dans les mois à venir.

En effet, en raison de la mise en œuvre des mesures de distanciation sociale et du respect des gestes barrières, les projets en cours de construction ont connu une **période d'arrêt temporaire au cours de la période de confinement**. Certains chantiers ont pu reprendre avant que le déconfinement ne soit officialisé mais **le retard pris risque de causer un décalage** dans le calendrier de la mise en service des projets.

En outre, l'impact sur le développement est bien réel en raison du **ralentissement des procédures administratives**, de la **difficulté de poursuivre le dialogue avec les élus** et la **suspension des concertations publiques**. Ainsi, cet impact se mesure en plusieurs mois sur le planning prévu par les développeurs et risque de **rendre difficile le respect des objectifs fixés par la PPE**.

Enfin, la **chaîne de valeur** risque **d'être également touchée** par cet arrêt d'activité en raison de la suspension ou du report de certaines commandes.



21

---

« Il nous faut collectivement trouver les moyens de rattraper le retard pris pendant la crise » Pauline Le Bertere, Déléguée générale de FEE

---

Source : Etude FEE

# Covid-19 et résilience de la filière

## Le réseau électrique a su faire face à la crise sanitaire

### Crise sanitaire et continuité de service des réseaux électriques

**Les gestionnaires de réseaux ont été particulièrement mobilisés** pour assurer une **continuité de service** lors de la crise sanitaire de la COVID-19 de début 2020. Les équipes se sont mobilisées plus que jamais afin d'assurer la **sécurité et l'équilibre permanent du réseau électrique**. Ce bon fonctionnement a été possible grâce au concours du régulateur, des pouvoirs publics, de tous les acteurs du secteur – producteurs, gestionnaires de réseaux, fournisseurs, et au maintien des marchés de l'électricité.

### Soutien aux filières industrielles européennes

Cette crise aura souligné la nécessité de renforcer, au niveau européen, les filières industrielles indispensables aux infrastructures stratégiques. C'est un **enjeu de souveraineté**. RTE s'engage dans un plan de relance permettant le maintien et le développement en Europe de prestataires et fabricants, spécialistes de technologies clés pour les réseaux électriques, qui permettra d'affermir notre **indépendance énergétique, technologique et industrielle**. Cette démarche contribuera également activement à la **reconstruction économique**.

### Le développement d'un réseau résilient et flexible au cœur de la relance verte

Le Green Deal européen devra être la pierre angulaire de cette relance. La modernisation des systèmes électriques et la décarbonation du secteur électrique, au travers notamment du développement des énergies renouvelables, constituent un programme de croissance de nature à **préserver les emplois et à en créer de nouveaux**.

Enedis continuera à être un investisseur majeur en matière de transition énergétique, au service de la décarbonation de l'économie par l'électricité et sera au cœur des ambitions de la PPE qui prévoit un doublement de la puissance installée de la filière éolienne (dont près de 90% sont actuellement raccordés sur le réseau de distribution).

De plus, la crise sanitaire a mis en exergue la nécessité de développer un **réseau encore plus résilient et flexible**. Les « infrastructures numériques » contribuent largement à ces deux objectifs en facilitant l'exploitation et la maintenance des réseaux au plus près des limites techniques. C'est pourquoi, RTE propose d'investir dans des technologies numériques innovantes pour permettre aux réseaux électriques de jouer pleinement leur rôle de « système nerveux central » du système électrique. De plus, une gamme de solutions flexibles sera nécessaire sur les réseaux de transport et de distribution pour intégrer une plus grande part d'énergies renouvelables et contribuer à la transition énergétique.

# Le marché éolien

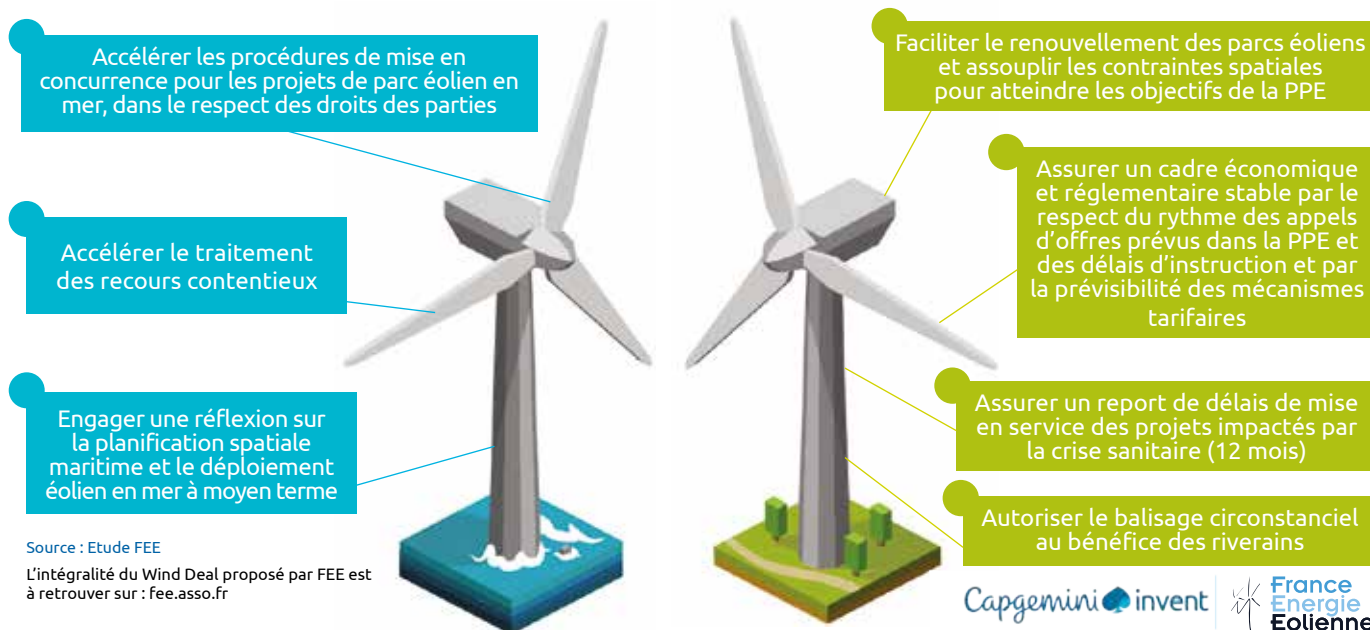
23

## C. La relance de l'économie française par l'éolien

# La relance de l'économie française par l'éolien

## Le Wind Deal, nos recommandations pour un Green Deal à la française

Le **Green Deal**, le plan de relance européen annoncé le 11 décembre 2019 par la Commission européenne, prévoit de mettre au cœur de son dispositif le développement des énergies renouvelables. Quant au plan de relance présenté par le gouvernement français, il destine 30 milliards au financement de la transition écologique. L'éolien est une solution incontournable du « monde d'après ». C'est pourquoi FEE propose un **Wind Deal** afin d'exploiter l'intégralité du **potentiel de la filière** pour contribuer significativement au paysage énergétique de demain. Plusieurs mesures ont été annoncées pour atteindre cet objectif.



# Le marché éolien

25

## D. Le marché éolien français dans le contexte européen

# Le marché éolien français dans le contexte européen

L'Europe de l'éolien poursuit sa croissance, avec des stratégies différentes entre l'onshore et l'offshore selon les pays



Puissance raccordée (onshore et offshore) fin 2019 en Europe

Légende : Puissance totale des parcs éoliens raccordés – en MW



Variation de la puissance raccordée en 2019

< 10% > 10%

Zoom sur les 15 pays avec les plus grandes puissances raccordées fin 2019

Pays	Puissance raccordée en 2017 (MW)	Puissance raccordée en 2018 (MW)	Puissance raccordée en 2019 (MW)	Puissance cumulée à fin 2019 (MW)	Dont puissance offshore à fin 2019 (MW)	% mix électrique 2019
1 Allemagne	6 581	3 122	2 189	61 357	7 445	24,6 %
2 Espagne	96	397	2 319	25 808	5	20,8 %
3 Royaume-Uni	4 270	1 901	2 393	23 515	9 945	19,8 %
4 France	1 692	1 548	1 337	16 646	2	6,3 %
5 Italie	252	452	456	10 512	0	6,7 %
6 Suède	197	707	1 588	8 985	192	10,5 %*
7 Danemark	342	268	402	6 128	1 703	47 %
8 Pologne	41	16	53	5 917	0	8,7 %
9 Portugal	0	53	69	5 437	8	27,8 %
10 Pays-Bas	81	104	97	4 600	1 118	9,5 %
11 Irlande	426	193	463	4 155	25	33 %
12 Belgique	467	513	577	3 879	1 556	9,5 %
13 Grèce	282	192	727	3 576	0	12 %*
14 Autriche	196	201	152	3 159	0	8,8 %*
15 Roumanie	5	0	0	3 029	0	11,5 %

\* Données 2018 Sources : WindEurope, « Wind energy in Europe in 2019 », 2020, IEA et énergéticiens nationaux

En moyenne, l'éolien contribue à hauteur de 17% du mix électrique dans les 15 pays européens qui possèdent les capacités éoliennes les plus importantes. En France, l'éolien contribue à hauteur de 6,3%, ce qui place la France en 13<sup>ème</sup> position. Le potentiel à exploiter reste considérable.

# Le marché éolien français dans le contexte européen

L'Europe de l'éolien poursuit sa croissance, avec de fortes disparités selon les pays; la France est le 4<sup>ème</sup> pays éolien en Europe par sa puissance raccordée

En Europe, la puissance éolienne raccordée totale à fin 2019 est de **205 GW** dont 183 GW sur terre et 22 GW en mer. Cette puissance raccordée a permis de produire **417 TWh** d'électricité en 2019 et de couvrir **15%** des besoins totaux en électricité de l'Europe.

La progression des installations éoliennes a augmenté en Europe de **15,4 GW** en 2019. C'est 27% de plus qu'en 2018 mais 10% de moins que le record de 2017.

**Trois pays** ont dépassé 2 GW de **capacité éolienne** raccordée en 2019 en Europe : Le **Royaume-Uni**, l'**Espagne** et l'**Allemagne**.

Le **Royaume-Uni** est en tête en termes de capacité raccordée, avec **2 393 MW raccordés en 2019 dont 1764 MW de capacité offshore**. L'Espagne est en deuxième position avec **2 319 MW de capacité onshore exclusivement**.

Sources : WindEurope, « Wind energy in Europe in 2019 », 2020, RTE Bilan électrique 2019

**L'Allemagne est le troisième pays européen** avec 2 189 MW raccordés en 2019.

**La Suède et la France** complètent le classement des pays les plus dynamiques en Europe avec respectivement 1 588 MW et 1 336 MW de nouvelles capacités installées en 2019.

La France **demeure au quatrième rang européen** par sa puissance éolienne totale raccordée, avec 16,6 GW, loin derrière **l'Allemagne** qui garde sa première place européenne avec un parc raccordé de **61,4 GW**. L'électricité éolienne en France a par ailleurs couvert 7,2% de la consommation en 2019.

27

# Le marché éolien

28

## E. La place de l'éolien dans le mix énergétique français



# La place de l'éolien dans le mix énergétique français

L'éolien représente aujourd'hui 6,3 % de la production d'électricité française, avec un taux de croissance important : +21 % entre 2018 et 2019

Production totale d'électricité  
**537,7 TWh**  
-2 %



Nucléaire  
**379,5 TWh**  
-3,5 %



Hydraulique  
**60 TWh**  
-12,1 %



Eolienne  
**34,1 TWh**  
+21,2 %



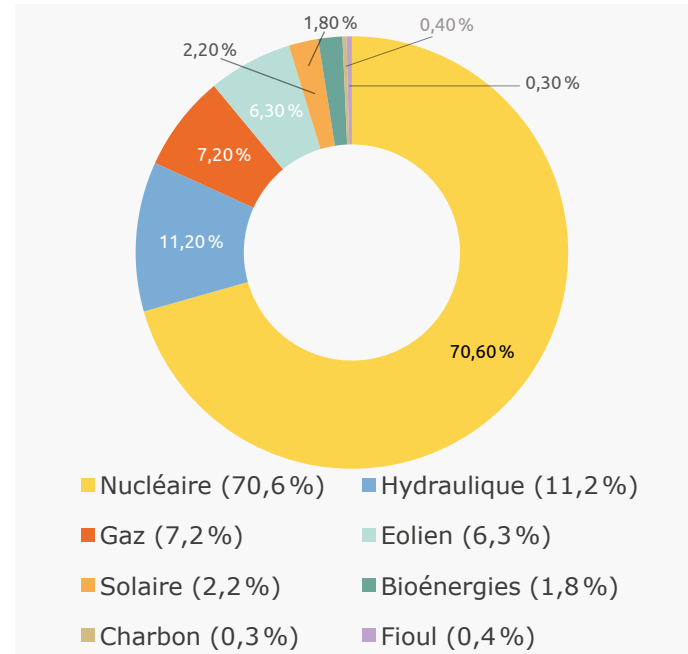
Solaire  
**11,6 TWh**  
+7,8 %



Bioénergies  
**9,9 TWh**  
+3,6 %



Thermique  
**42,6 TWh**  
+9,8 %



Source : RTE Bilan électrique 2019

# Le marché éolien

F. Les retombées économiques  
et fiscales pour les collectivités  
locales

30

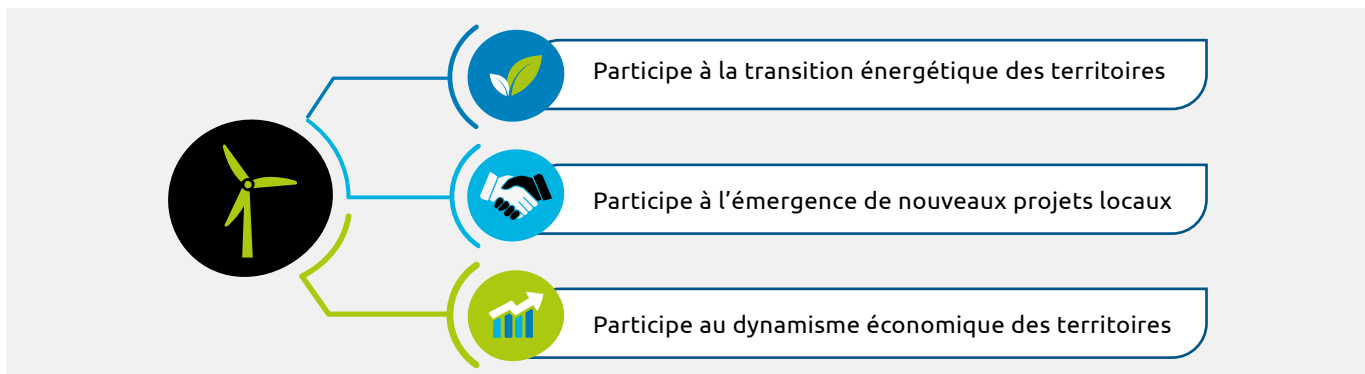
# Les retombées économiques et fiscales pour les collectivités locales

## L'éolien participe à l'activité et à l'attractivité économiques des territoires...

Au sein des territoires, **l'éolien constitue un catalyseur pour la transition énergétique** des régions. De nombreuses collectivités, telles que les communes, l'Établissement Public de Coopération Intercommunale (EPCI) à fiscalité propre, les départements et les régions se mobilisent pour le développement de cette technologie. Acteurs privés ancrés dans les territoires, syndicats d'énergie, entreprises locales de distribution et élus locaux s'engagent pour permettre l'implantation réussie des parcs éoliens afin d'en faire des signaux forts, modernes et emblématiques du dynamisme local.

De même, le développement d'un parc éolien sur un territoire permet souvent l'**émergence de projets locaux porteurs d'avenir** : chaufferies au bois, réhabilitation des bâtiments publics, mise en place de circuits courts d'approvisionnement alimentaire, etc...

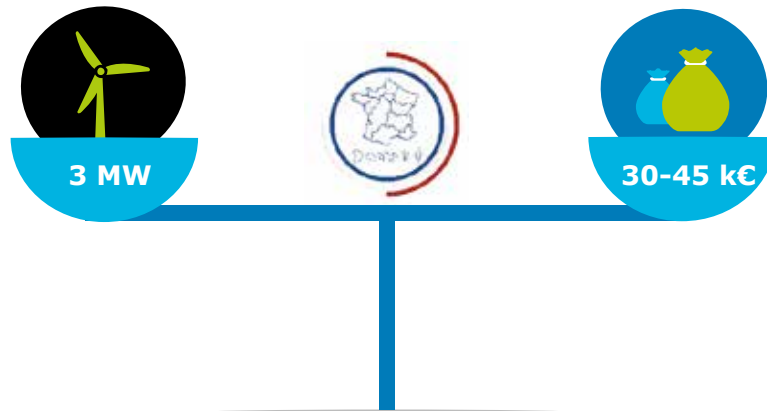
31



# Les retombées économiques et fiscales pour les collectivités locales

## ... et contribue aux budget des collectivités

En tant qu'activité économique, une installation éolienne génère différents **revenus fiscaux**, au titre notamment des **taxes foncières**, de la **Cotisation Foncière des Entreprises**, de la **Cotisation sur la Valeur Ajoutée des Entreprises** et de l'**Imposition Forfaitaire sur les Entreprises de Réseaux**. Ces revenus fiscaux sont de l'ordre de **10 à 15000 euros par MW et par an**, qui sont redistribués entre les différentes collectivités en fonction principalement du régime fiscal de l'établissement public de coopération intercommunale auquel appartient la commune d'implantation.



D'une façon générale, pour les projets mis en service en 2019-2020, le bloc communal et le bloc des collectivités (département et région) reçoivent respectivement chacun du centre des impôts départemental approximativement 7 500 et 4 500 euros par MW raccordé par an, toute fiscalité confondue.

# Les retombées économiques et fiscales pour les collectivités locales

## Zoom sur l'IFER (Impôt Forfaitaire sur les Entreprises de Réseau)

Le produit de l'**IFER** est réparti entre la commune d'accueil, le département et l'Etablissement Public de Coopération Intercommunale (EPCI), une structure administrative regroupant plusieurs communes. En fonction de l'appartenance ou non de la commune à un EPCI (selon le choix de fiscalité locale), la répartition du fruit de l'IFER est différente :

	Commune isolée	EPCI à fiscalité additionnelle (FA)	EPCI à fiscalité professionnelle de zone (FPZ)	EPCI à fiscalité éolienne unique (FEU)	EPCI à fiscalité professionnelle unique (FPU)
Composantes de l'IFER relatives aux éoliennes	20 % Commune 80 % Département	20 % Commune 50 % EPCI 30 % Département		70 % EPCI 30 % Département	

Il arrive que certaines communes d'accueil, alors qu'elles ont été proactives sur l'implantation d'un parc éolien sur leur territoire, ne perçoivent rien de l'IFER (l'EPCI décidant de ne rien redistribuer) ; une des mesures du Groupe de Travail national éolien permet d'**attribuer systématiquement une part de 20 %** du produit de l'IFER aux communes d'implantation, pour les projets autorisés depuis le 1er janvier 2019.

# Les retombées économiques et fiscales pour les collectivités locales

Un parc éolien français récemment mis en service dégage environ 50 M€ de chiffre d'affaires pendant sa durée de vie, mais contribue également à 7 M€ de contributions locales et nationales

## Revenus du parc éolien

**Un parc français récemment mis en service (cas générique ici)**

- Comporte 5 éoliennes
- D'environ 3 MW chacune
- Produisant 2 500 h par an en équivalent pleine puissance
- Pour un contrat de 20 ans
- Avec un prix fixé par appel d'offres de 62,2 \* €/MWh

## Contributions à l'État

- Impôt sur les sociétés

## Contributions locales

- Impôt forfaitaire sur les entreprises du réseau (IFER) : 7 470 €/MW raccordé et par an (contre 3 115 €/MW/an pour le nucléaire et thermique à flamme)
- Cotisation foncière des entreprises (CFE)
- Cotisation sur la valeur ajoutée des entreprises (CVAE)
- Taxe foncière
- Loyer

**50 M€ sur 20 ans dont 40 M€ provient du marché et 10 M€ proviennent de subventions (complément de rémunération)**

**1 M€ de contributions à l'Etat cumulées sur 20 ans**

**6 M€ de contributions locales cumulées sur 20 ans**

\* Résultat du dernier appel d'offre en date du 13/02/2020

# Le marché éolien

G. Des technologies terrestres  
qui poursuivent leurs évolutions

35

# Des technologies terrestres qui poursuivent leurs évolutions

## Une éolienne transforme l'énergie cinétique du vent en énergie électrique



Source : Etude FEE

### Le vent, une source à maîtriser

L'efficacité d'une éolienne dépend de la vitesse et de la fréquence des vents. Un site avec des vents de 30 km/h de moyenne sera environ huit fois plus productif qu'un autre site avec des vents de 15 km/h de moyenne. En France, un projet est considéré comme intéressant économiquement si la vitesse moyenne annuelle du site est aux alentours de 21 à 25 km/h.

**D'autres critères rentrent aussi en compte comme la nature du sol pour supporter les fondations et la connexion au réseau électrique.**



Les éoliennes doivent viser une taille de rotor optimale pour être en mesure de capter un vent puissant et continu.














Plus le diamètre du rotor (5 et 6) est étendu, plus l'énergie captée est importante.















# Des technologies terrestres qui poursuivent leurs évolutions

La tendance est à l'accroissement de la puissance unitaire des turbines

Turbines les plus installées au 30 juin 2020 (cumul)

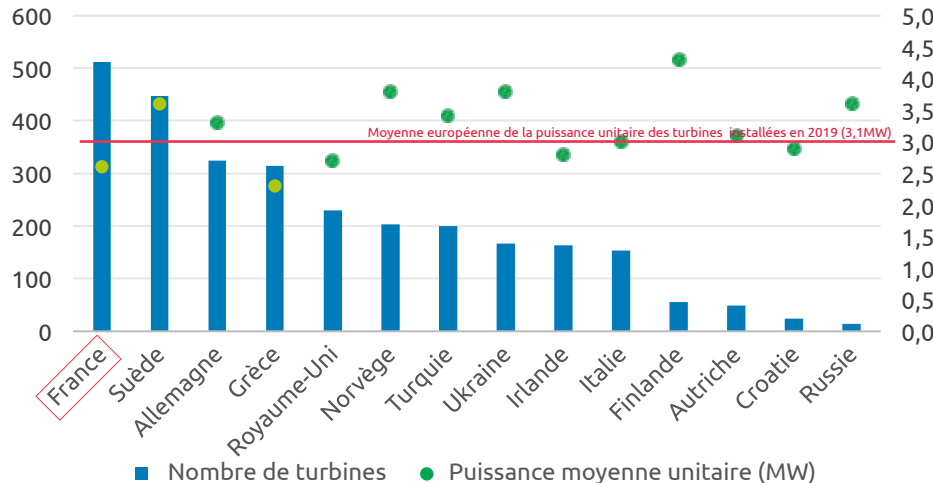
	Modèle	Constructeur	Puissance cumulée (MW)
1	E-82	 ENERCON ENERGIE POUR LE MONDE	1 650
2	V-90		1 612
3	MM-92		1 520
4	E-70	 ENERCON ENERGIE POUR LE MONDE	1 452
5	V-100		1 268
6	N-90	 	854
7	N-100	 	685
8	V112		635
9	MM-82		589
10	N-117	 	552

Turbines les plus installées en 2019

	Modèle	Constructeur	Puissance installée (MW)
1	N117	 	171
2	V100		156,2
3	V112		153,45
4	V117		102,15
5	V105		102,15
6	N131	 	82,2
7	E82	 ENERCON ENERGIE POUR LE MONDE	77,9
8	V110		75
9	E103	 ENERCON ENERGIE POUR LE MONDE	70,5
10	E70	 ENERCON ENERGIE POUR LE MONDE	36,8

# Des technologies terrestres qui poursuivent leurs évolutions

L'éolien de grande hauteur arrive en France, mais les éoliennes installées restent dotées d'une puissance unitaire parmi les plus faibles du continent



Sources : Wind energy in Europe in 2019, Trends and statistics, 2020

**L'éolien de grande hauteur** arrive peu à peu en France (par exemple les parcs de Chamole dans le Jura et Massay dans le Cher). Les éoliennes de très grandes tailles permettent d'atteindre les **vents plus forts et réguliers** qui soufflent en hauteur. Un diamètre de rotor plus important permet aussi de produire une **plus grande quantité d'énergie**. Dans les deux cas, les éoliennes mesurent 193 mètres en bout de pales, avec un mât de 135 mètres dans l'exemple ci-dessus.

Néanmoins, la puissance unitaire des éoliennes installées en France en 2019 est parmi **les plus faibles** du continent européen alors que c'est la France qui a installé le plus grand nombre d'éoliennes en 2019.



Cela participe à la multiplication **de petits parcs sur l'ensemble du territoire** due au respect de la réglementation nationale composée de nombreuses contraintes et prive ainsi les citoyens d'une énergie moins chère.

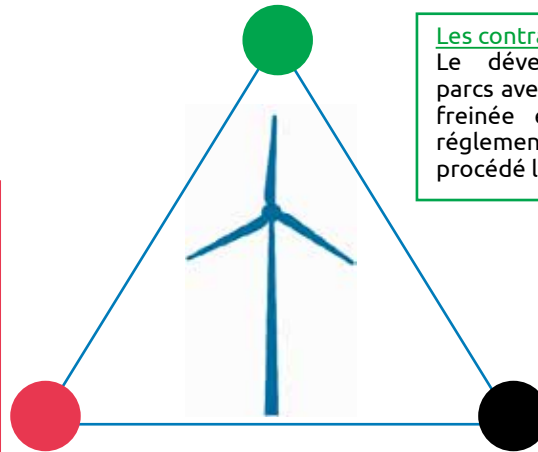
# Des technologies terrestres qui poursuivent leurs évolutions

La filière travaille à résoudre ces contraintes qui ralentissent l'arrivée de l'éolien de grande hauteur que ce soit pour le renouvellement ou les nouveaux parcs

## Les contraintes aéronautiques :

Il est impossible d'implanter une éolienne à moins de 30 km d'un radar militaire. En outre, alors que seulement 10 % du trafic aérien est militaire, ses couloirs de navigation, empêchent l'implantation d'éoliennes sur près de 50 % du territoire. Ainsi, il est difficile d'implanter des éoliennes et *a fortiori* de plus de 150 mètres de hauteur, sur une grande partie du pays.

Source : Etude FEE



## Les contraintes réglementaires :

Le développement et le renouvellement des parcs avec des éoliennes de plus grande taille est freinée en France, en raison de contraintes réglementaires et paysagères qui rendent ce procédé long et complexe.

La logistique : Il est plus difficile d'acheminer des grands composants (pales excédant 74 m) en raison de routes parfois exigües, de nombreux ronds points, du franchissement des ponts et, parfois, de l'interdiction d'acheminer ces composants de nuit. Cela contraint les constructeurs à trouver d'autres voies (aérienne, maritime) pour acheminer les pales.

# Le marché éolien

## H. L'éolien en mer

40

# L'éolien en mer

## L'éolien en mer, une technologie en plein essor

En 2020, la France compte **7 projets lauréats de parcs éoliens en mer en cours de développement et 4 projets pilotes flottants**. Alors que les premiers chantiers ont démarré en 2019, la filière de l'éolien en mer devrait représenter 10% de la capacité éolienne raccordée en France en 2023.

Le marché de l'éolien en mer est composé de deux segments liés à la distance et au type de fondation:

### L'éolien en mer posé

Fixes et destinées aux fonds marins jusqu'à 50-60 m, ces éoliennes peuvent exploiter les forts vents marins côtiers. Puissance unitaire prévue : 6-8 MW (AO1) jusqu'à 12 – 15 MW (AO3)

### L'éolien en mer flottant

Avec une fondation flottante, reliée aux fonds marins par des lignes d'ancrage, ces éoliennes peuvent être implantées plus au large, dès 30-50m de profondeur. Puissance unitaire prévue : 8 MW à 10 MW (fermes pilotes)

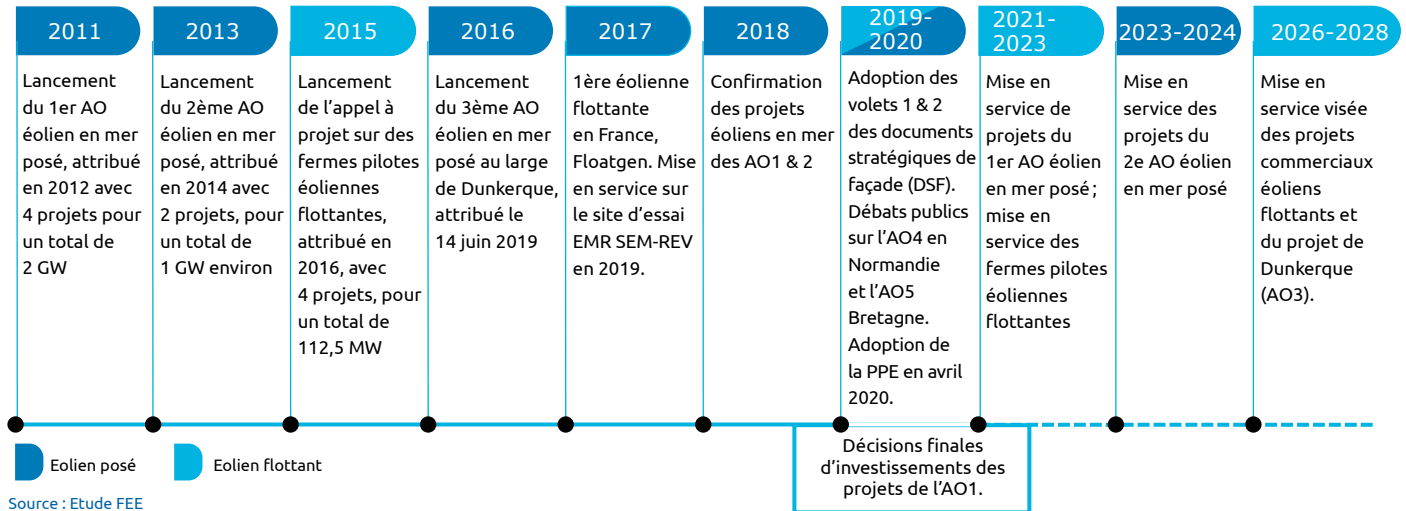


L'éolien en mer devrait représenter **10%** de la capacité éolienne raccordée en France en 2023

# L'éolien en mer

## La France fixe une feuille de route pour l'éolien en mer

Avec 3 500 km de côtes, la France métropolitaine dispose du 2ème gisement de vent éolien d'Europe, derrière le Royaume-Uni et devant l'Allemagne. Pourtant, la France est aujourd'hui moins ambitieuse que ses voisins européens : la PPE publiée en avril 2020 prévoit un objectif de 5,2 à 6,2 GW d'éolien en mer en service en 2028 alors que l'objectif du Gouvernement britannique pour l'éolien en mer est d'atteindre 40 GW en 2030. L'Allemagne devrait dépasser son objectif 2020 fixé à 6,5 GW et table sur 20 GW à horizon 2030 et 40 GW en 2040



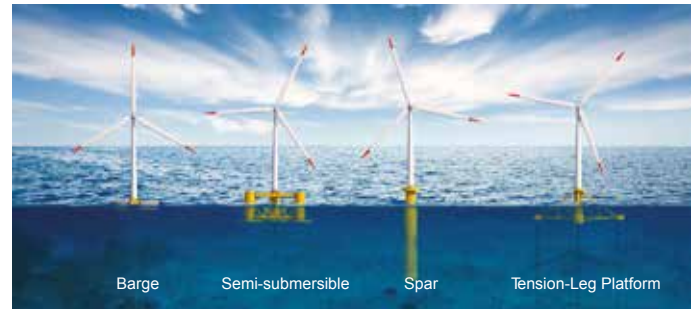
# L'éolien en mer

Les atouts de la France dans l'éolien marin sont nombreux : espace maritime, savoir-faire industriel, énergétique et maritime, infrastructures portuaires, réseau électrique maillé

Les éoliennes en mer constituent des technologies de pointe, innovantes et matures, spécifiquement conçues pour un milieu marin très exigeant. **Plus puissantes que leurs homologues terrestres**, les éoliennes en mer exploitent également des vents plus forts et plus réguliers.

Ces nouvelles installations de production d'énergie renouvelable en mer contribueront d'une part à **concrétiser les objectifs nationaux** en matière de mix énergétique et permettront d'autre part la **mise en place d'une filière nationale prenant des parts croissantes sur les marchés à l'international**. Plusieurs usines et des centaines d'emplois dédiés à cette filière ont déjà été créés, plusieurs milliers d'autres pourront voir le jour à partir de l'installation et de la mise en service des projets (voir le focus dédié à **l'Observatoire des énergies de la mer 2020**). La filière table sur 15 000 emplois liés à l'éolien en mer en France en 2030.

Exemples d'installations éoliennes en mer flottantes :

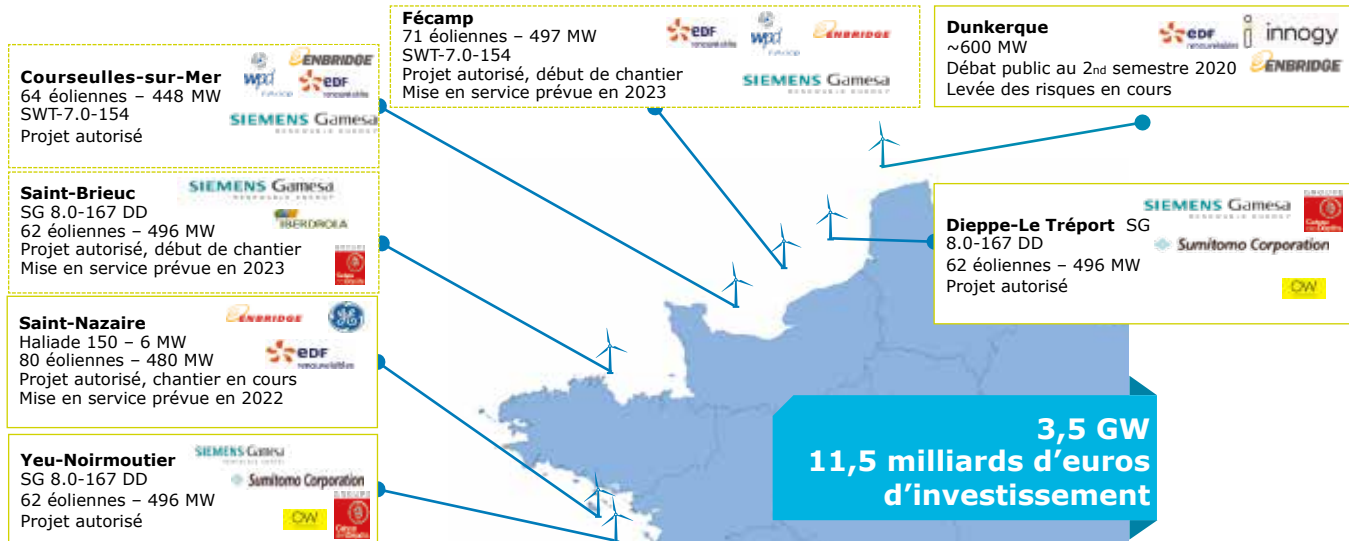


L'éolien posé est la technologie la plus mature et compétitive parmi les EMR avec des projets à des stades avancés. L'éolien posé représente **82 %** du chiffre d'affaires de la filière

Source : Etude FEE, Observatoire des énergies de la mer 2020

# L'éolien en mer

## Après le début des travaux sur Saint-Nazaire, les projets de Fécamp et Saint-Brieuc sont désormais engagés



La hausse des investissements et de l'emploi en 2019 et début 2020 est en grande partie liée à l'entrée en construction du premier parc éolien en mer de 480 MW au large des côtes françaises, à **Saint-Nazaire** dont la production des nacelles dans l'usine de GE Renewable Energy a commencé à Saint-Nazaire.

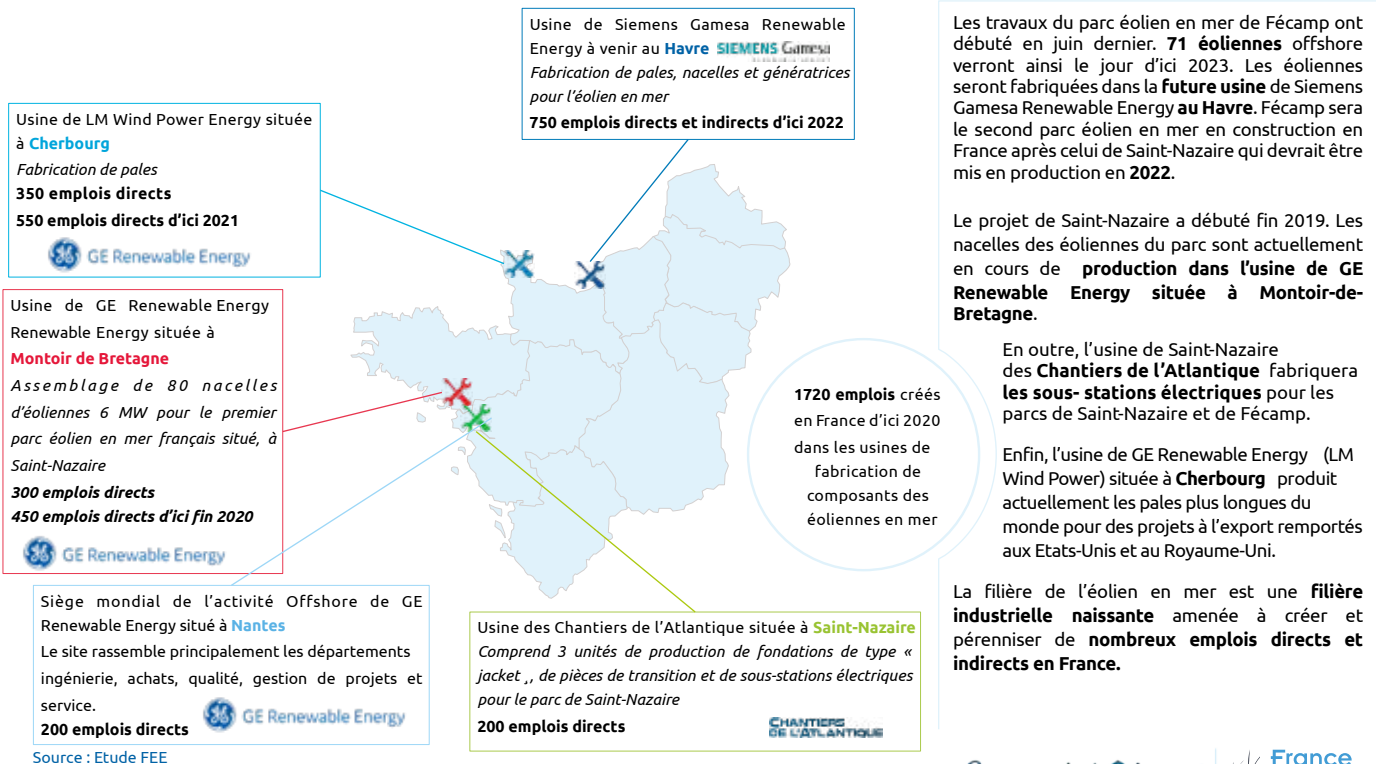
Le parc éolien en mer de Fécamp, d'une puissance de **497 MW** va également débuter sa construction et devrait être **mise en service d'ici 2023**. Le chantier devrait mobiliser plus de **1 400 emplois locaux** ainsi que plus de **100 emplois liés à la maintenance** du parc. Le parc de Saint-Brieuc d'une puissance de **496 MW, a lui aussi confirmé sa décision finale d'investissement et devrait être mis en service d'ici 2023**. La prochaine décision finale d'investissement devrait concerner le projet de Courseulles (AO1), en Normandie.

Source : Etude FEE



# L'éolien en mer

## L'éolien en mer, les projets français boostent le développement de la filière



Source : Etude FEE

LE MARCHÉ

# L'éolien en mer

## Zoom sur les usines de Cherbourg et du Havre

En novembre 2019, GE Renewable Energy (filiale LM Wind Power) a inauguré son usine à Cherbourg pour la construction de pales destinées à l'éolien en mer. L'usine compte à mi 2020 plus de 300 collaborateurs et a engagé le recrutement de 250 nouveaux emplois d'ici début 2021.

En juin 2020, Siemens Gamesa a démarré la construction de son usine de pales et de nacelles au Havre après avoir reçu la confirmation de deux commandes fermes en France (Fécamp et Saint-Brieuc). Cette usine générera **750 emplois** supplémentaires et devrait être opérationnelle fin 2021 - début 2022.

**L'éolien en mer représente une filière industrielle d'avenir, la France détiendra bientôt 1/3 des capacités de production offshore en Europe.**

Usine LM Wind Power de Cherbourg



La plus grande pale au monde est fabriquée à l'usine LM Wind Power de Cherbourg



Représentation 3D de l'usine Siemens Gamesa Renewable Energy au Havre

L'usine de GE Renewable Energy (filiale LM Wind Power) a déjà fabriqué **la plus grande pale jamais réalisée**, 107 mètres de long pour **l'éolienne la plus puissante au monde, l'Haliade-X 12MW**, développée par GE Renewable Energy, dont le démonstrateur est installé et en service à Rotterdam pour des tests.

Source : Etude FEE, LM Wind Power

# L'éolien en mer

## 220 millions d'euros d'investissement pour l'aménagement du terminal EMR\* du port de Brest destiné aux énergies marines renouvelables

L'industrialisation de la filière de l'éolien en mer contribue à des investissements massifs dans certains ports français. En effet, l'assemblage de certains composants se fait à quai. Pour réaliser ces opérations complexes, l'infrastructure portuaire doit être adaptée. Ces investissements s'inscrivent dans une perspective de long terme pour asseoir le savoir-faire de **l'industrie française de l'éolien en mer** et ainsi consolider **son expertise pour exporter les turbines en Europe et dans le monde**.

Démarrés en 2017, les travaux du port de Brest visent à créer un polder, étendue artificielle de terrain sur l'eau, de 40 hectares dédié aux **énergies marines renouvelables (EMR)**, comprenant **l'éolien en mer (posé et flottant) et l'hydrolien**.

Le projet représente un investissement de **220 millions d'euros** de la part de la Région Bretagne et de ses partenaires. L'essor du secteur des EMR générerait **400 à 500 emplois directs** à la fin des travaux, **prévue en 2024**. La société espagnole Navantia a choisi de s'installer sur le port et mettra en place une unité de pré-assemblage de fondations « jackets » pour le futur parc offshore de la baie de Saint-Brieuc. Ce marché mobilisera **250 emplois directs sur 2 ans**.

Outre le port de **Brest**, les ports de **Cherbourg**, **Le Havre** et **Saint-Nazaire** ont aussi entrepris des investissements conséquents dans le développement des EMR sur les façades maritimes. Les ports de **Marseille-Fos** et de **Port-la-Nouvelle** autour du bassin méditerranéen empruntent aussi cette voie. La France est très dynamique sur ce **secteur d'avenir** promis à **une forte croissance** en Europe et dans le monde.

\* EMR : Energies Marines Renouvelables



Travaux en cours pour la réalisation d'un polder sur le port de Brest visant à attirer les activités liées aux énergies marines

Source : Etude FEE

# L'éolien en mer

## 252 millions d'euros investis pour l'extension du port de Port-la-Nouvelle notamment destiné aux activités de l'éolien en mer flottant

En 2016, l'Occitanie avait été choisie par l'État comme site favorable pour deux fermes éoliennes flottantes. C'est sur le site du port de Port-la-Nouvelle, **3<sup>ème</sup> port français de Méditerranée** que les éoliennes devraient être assemblées avant d'être installées au large et il sera également utilisé pour la coordination logistique. Sur quatre projets pilotes d'éoliens flottants en France, **deux sont au large de Leucate-Barcarès et Gruissan**, face au littoral audois. Elles devraient être mises en eau à partir de **2021-2022**, pour une phase de test d'environ trois ans.

Les travaux d'extension du port ont été lancés à l'automne 2019. La région Occitanie s'est engagée à investir **252 millions d'euros** dans le projet d'extension qui comprend notamment la création d'un nouveau bassin portuaire et un nouveau quai pour l'éolien en mer.

Ces travaux devraient s'achever en **2023**. Au total, pas moins de **3 000 emplois** (directs, indirects et induits) seront créés grâce aux activités qui s'implanteront sur le port audois. La première étape de l'agrandissement du port, lancée en septembre dernier, représente **déjà 200 emplois** équivalents temps plein. Dix entreprises locales ont été retenues pour mener à bien ce projet, et cinq autres entreprises locales sont sous-traitantes.

Pour que l'agrandissement du port soit exemplaire du point de vue environnemental, la Région a mis en place plusieurs instances, notamment un comité scientifique composé d'experts ainsi qu'un comité de suivi environnemental, regroupant collectivités, associations, pêcheurs. Elle a aussi mobilisé plus de **12 millions d'euros au titre des compensations environnementales**.



Aménagement du port de Port-la-Nouvelle



Aménagement du port de Port-la-Nouvelle

Source : Etude FEE

# L'éolien en mer

## RTE se positionne pour adapter son réseau aux enjeux de l'éolien en mer

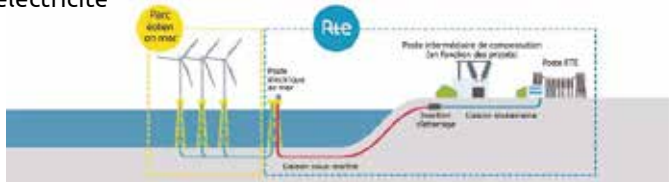
En France, depuis fin 2017, un nouveau cadre législatif et réglementaire a été défini dans l'objectif d'accélérer le développement des projets éoliens en mer et de réduire les coûts associés. Il est inspiré du modèle appliqué en mer du Nord.

Le corpus juridique évolue pour intégrer de nouvelles mesures d'**anticipation**, de **simplification** et de **dérisquage** des projets dans l'intérêt de la collectivité, parmi lesquelles :

- Le raccordement financé par RTE et refacturé à l'ensemble des consommateurs
- Une indemnisation des retards du raccordement et des avaries en exploitation
- Un permis enveloppe pour gagner en flexibilité
- Une planification spatiale maritime prenant en compte les capacités d'accueil à date du réseau de transport d'électricité

RTE se positionne au service d'un **développement ambitieux des énergies marines renouvelables** via :

- Une planification de long terme partagée avec les pouvoirs publics et les territoires pour anticiper et optimiser le dimensionnement du réseau, permettant :
  - La mutualisation du réseau public de transport en mer (« hub » de raccordement) pour baisser les coûts et les impacts
  - La standardisation de certaines infrastructures pour faire des économies d'échelles
- Le développement innovant de plateformes multi-usages au service des territoires et des parties prenantes
- La réduction des impacts socio-économiques et environnementaux des ouvrages



# L'éolien en mer

## Les premiers projets d'éolien flottant voient le jour

En France, la mer Méditerranée et la façade maritime bretonne bénéficient d'un **gisement conséquent** pour l'installation de parcs éoliens flottants en raison des régimes en **vent très favorables** et réguliers et de la **bathymétrie** (fonds océaniques plongeant très rapidement au-delà de 60m de profondeur).

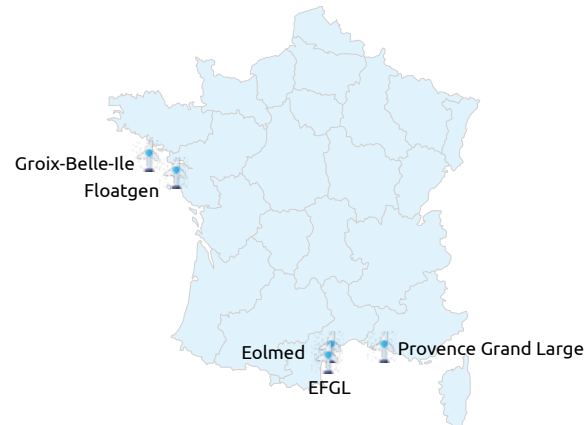
L'enjeu principal pour l'éolien flottant est de faire converger son coût vers celui de l'éolien en mer posé, d'où la nécessité de développer plusieurs projets pour industrialiser la filière et **gagner en compétitivité**.

Des projets similaires se développent partout en **Europe**, preuve de l'importance de la filière éolienne flottante.

Source : Etude FEE

Projet	Caractéristiques	Partenaires industriels
Provence Grand Large	3 éoliennes - 24 MW	EDF, E.ON, SIEMENS Gamesa
Groix-Belle Ile	3 éoliennes - 28,5 MW	EDF, CGN, VINCI, NATAL, MIV
Eolmed	3 éoliennes - 30 MW	Qair, ideal, MIV
Eoliennes flottantes du golfe du Lion (EFGI)	3 éoliennes - 30 MW	OW, MIV, EFGI

« **80%** de la ressource éolienne européenne se trouve dans les zones à plus de 60m de profondeur » Wind Europe



**FLOATGEN**, 1<sup>er</sup> démonstrateur d'éolienne flottante en France, installée en 2018  
**Objectif** : confirmer la performance de la combinaison de l'éolienne et de la fondation flottante  
**Capacité** : 2 MW (Vestas V-80)  
**Site d'installation** : Le Croisic  
**Profondeur d'eau** : 33 mètres  
**Production** : 6 GWh en 2019  
**Consortium** :









# Les emplois éoliens

53

# La croissance de l'emploi

La croissance de la filière s'est poursuivie sur l'année 2020, avec une augmentation de 11% des emplois éoliens, soit un total de 20 200 emplois en France au 31 décembre 2019



Ce nouvel observatoire confirme la bonne dynamique de la filière industrielle de l'éolien. En 2020, **20200 emplois directs et indirects ont été identifiés sur la chaîne de valeur** au total, soit une augmentation de **11%** par rapport à 2018, et de plus de 25% depuis 2016.

Ces emplois s'appuient sur environ **900 sociétés** présentes sur toutes les activités de la filière éolienne et constituent de ce fait un tissu industriel diversifié. La baisse d'un nombre de sociétés s'explique par la **consolidation de la filière** via la **concentration de ces sociétés** allant de la TPE au grand groupe industriel.



Fortement ancrées dans les territoires, ces entreprises contribuent à **la structuration de l'emploi en régions** en se positionnant sur un marché d'avenir, qui a su se montrer exemplaire de résilience pendant la crise liée à la COVID-19.

L'essor de la **filière en mer** et le début de plusieurs **chantiers** dopent la croissance de l'emploi cette année et notamment le secteur de la **fabrication de composants**.



# Les chiffres clés de l'emploi au 31 décembre 2019

**20 200 emplois éoliens** localisés en France, dont...

**2 000 emplois éoliens** supplémentaires en 2019 répartis sur plus de **900 sociétés** actives dans l'éolien

Soit une augmentation de **11%** sur l'année 2019

55

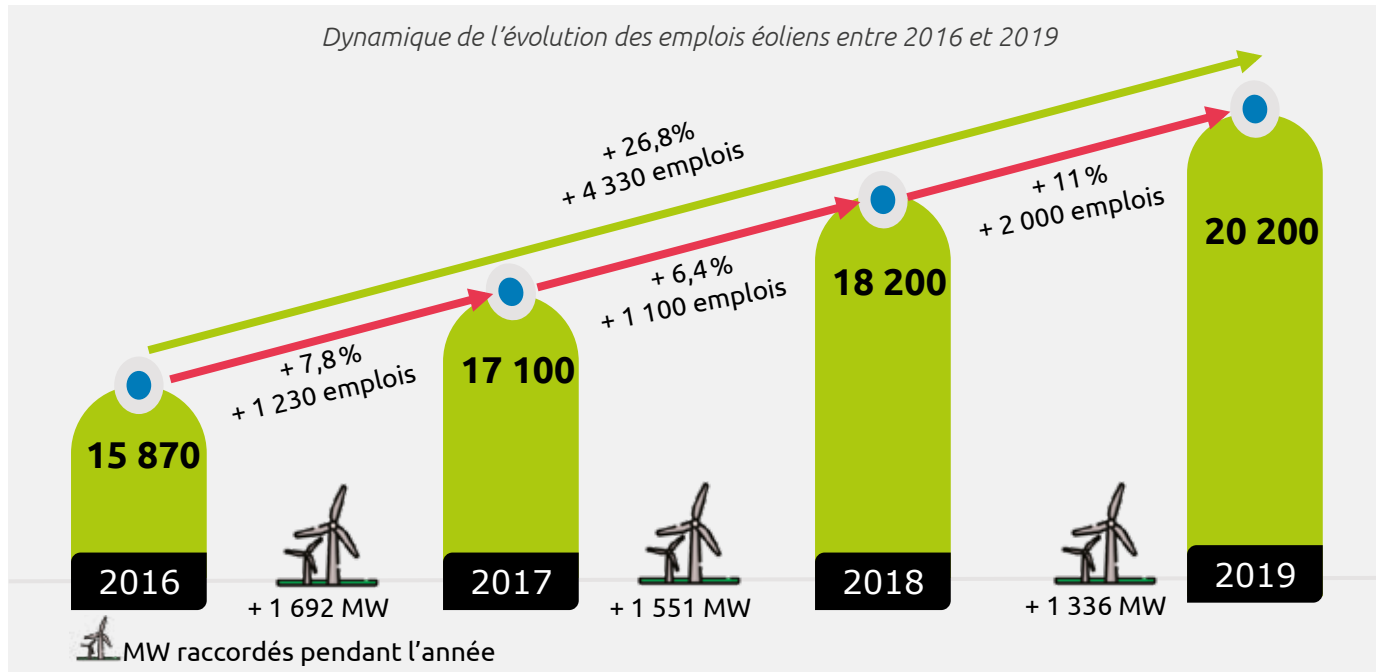
# Les emplois éoliens

56

A. La croissance de l'emploi  
/ détails par maillons de la  
chaîne de valeur

# La croissance de l'emploi

Le nombre d'emplois éoliens continue à augmenter malgré un ralentissement de la croissance de la capacité installée







Source : Etude FEE et traitement des données Capgemini Invent

# Détails par maillon de la chaîne de valeur

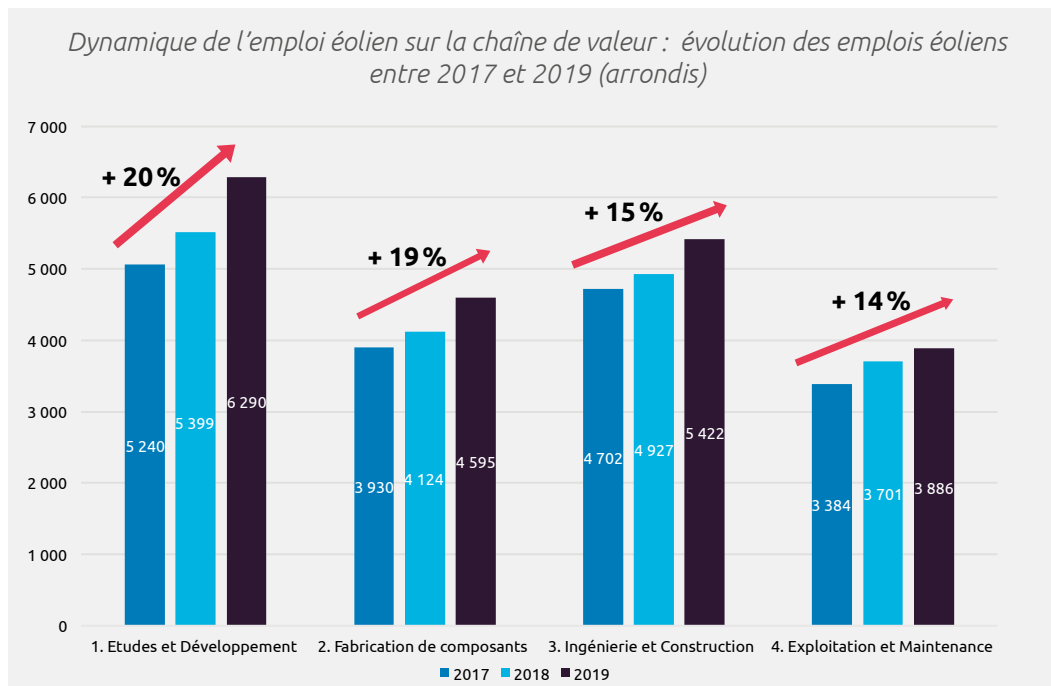
## Une activité répartie sur 4 segments

Les acteurs éoliens implantés en France couvrent l'ensemble des segments de la chaîne de valeur, sur lesquels les emplois éoliens sont répartis :

		% par rapport au total des emplois
	<b>Etudes et Développement</b> <b>Ex. :</b> bureaux d'études, mesures de vent, mesures géotechniques, expertises techniques, bureaux de contrôle, développeurs, financeurs	<b>31%</b>
	<b>Fabrication de composants</b> <b>Ex. :</b> pièces de fonderie, pièces mécaniques, pales, nacelles, mâts, brides et couronnes d'orientation, freins, équipements électriques pour éoliennes et réseau électrique	<b>23%</b>
	<b>Ingénierie et Construction</b> <b>Ex. :</b> assemblage, logistique, génie civil, génie électrique parc et réseau, montage, raccordement réseau	<b>27%</b>
	<b>Exploitation et Maintenance</b> <b>Ex. :</b> assemblage, logistique, génie civil, génie électrique parc et réseau, montage, raccordement réseau	<b>19%</b>

# Détail par maillon de la chaîne de valeur

Une dynamique forte sur les maillons « amont » 1 et 2 permet la croissance de l'emploi malgré la baisse des MW installés



Source : Etude FEE et traitement des données Capgemini Invent

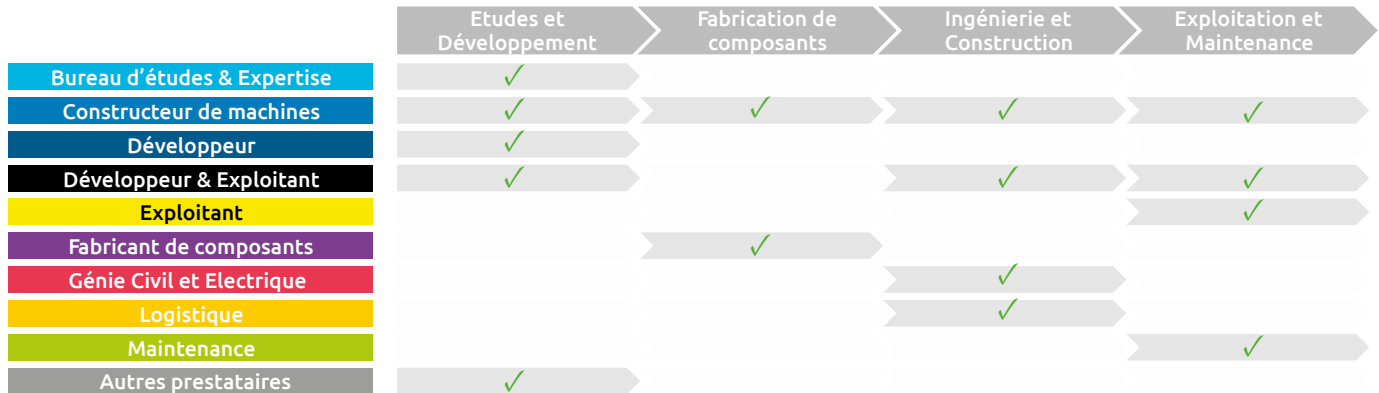
Grâce au développement des projets offshore, les segments « Etudes et Développement » et « Fabrication de composants » sont dopés.

« Fabrication de composants », après une légère augmentation en 2018 (seulement 7%), enregistre une croissance de **19%** voire de **35%** pour les entreprises dédiées à l'éolien offshore. Ce rebond sera visible sur le nombre de MW installées dans quelques années

# Détail par maillon de la chaîne de valeur

## La chaîne de valeur de l'éolien est multi-métier et intégré

Les emplois éoliens se répartissent sur une chaîne de valeur complexe et diversifiée, depuis des structures spécialisées, positionnées sur un des différents maillons de la chaîne de valeur, jusqu'aux acteurs intégrés couvrant plusieurs types d'activités.



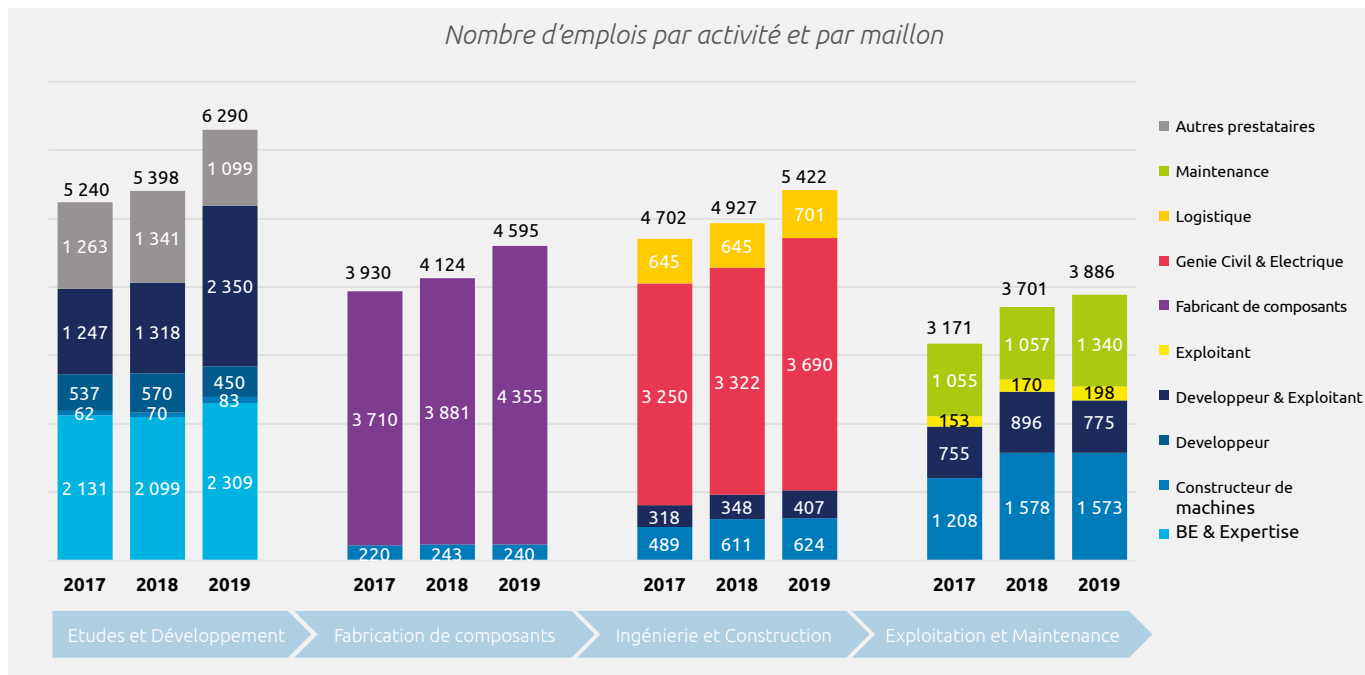
60

De nombreux services se sont développés avec les nouvelles possibilités offertes par la technologie et la réglementation. Du scaphandrier au développeur informatique en passant par le manager de plateforme participative, ils se sont répartis sur l'ensemble de cette chaîne de valeur.



# Evolution des acteurs au sein de la chaîne de valeur

Les emplois éoliens sont répartis sur l'ensemble de la chaîne de valeur en 2019



Source : Etude FEE et traitement des données Capgemini Invent

LES EMPLOIS

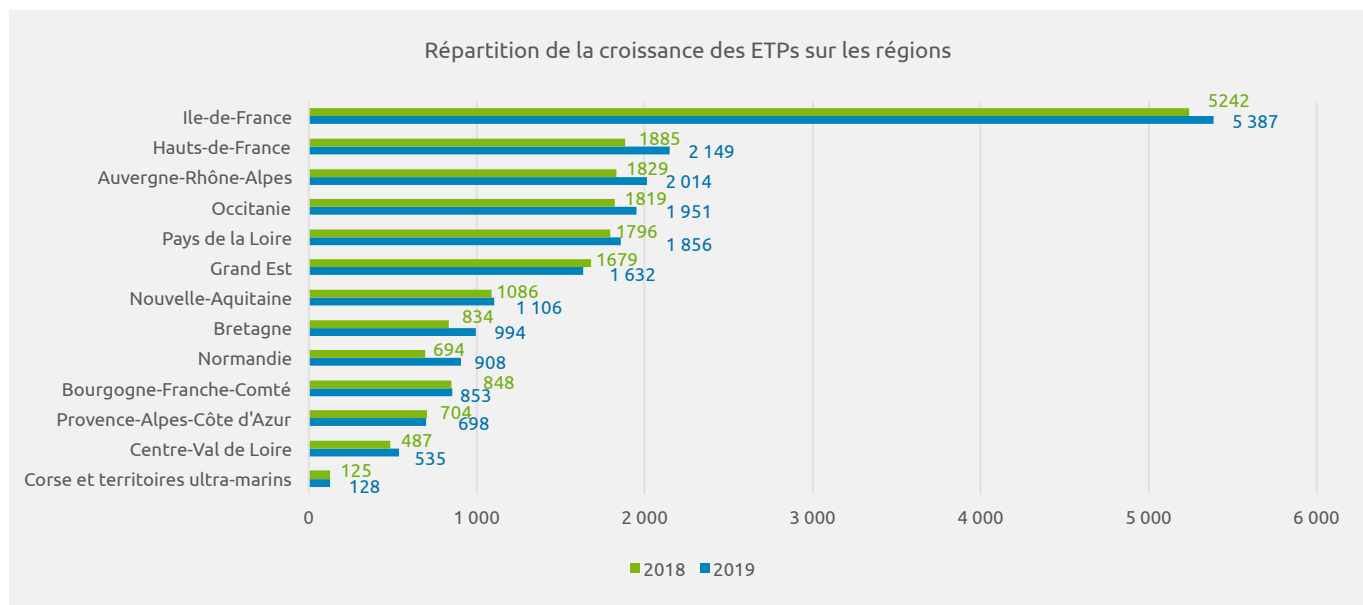
# Les emplois éoliens

## B. La répartition des emplois éoliens par région

62

# La répartition des emplois éoliens par région

Comme en 2018, les emplois créés en 2019 sont répartis sur presque tout le territoire, avec une part plus importante en Ile-de-France

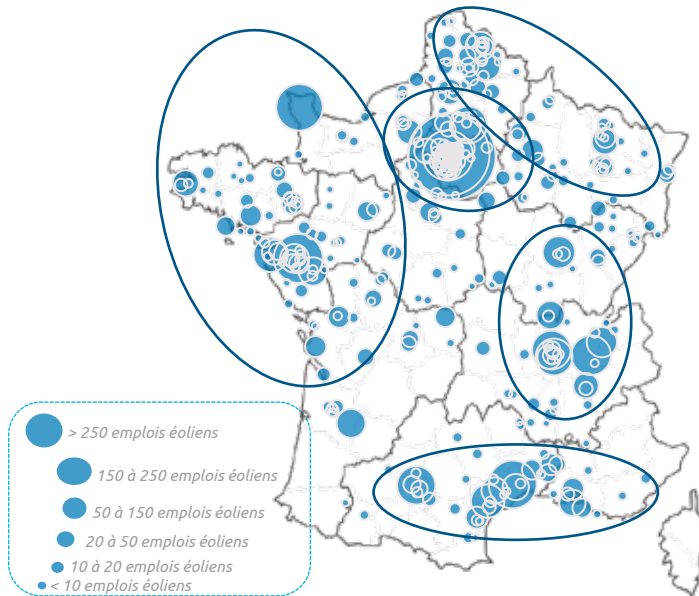


Source : Etude FEE et traitement des données Capgemini Invent

# La répartition des emplois éoliens par région

La filière éolienne crée des bassins d'emplois partout en France et au plus près des territoires

*Localisation des bassins d'emplois éoliens en France*



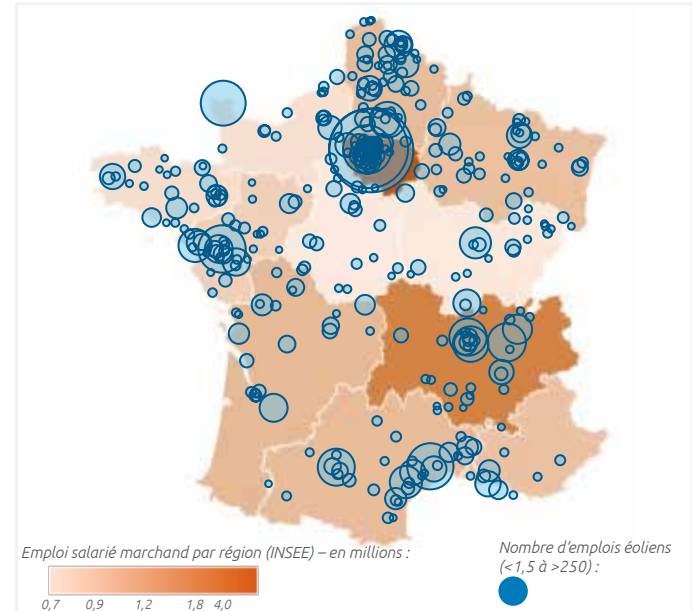
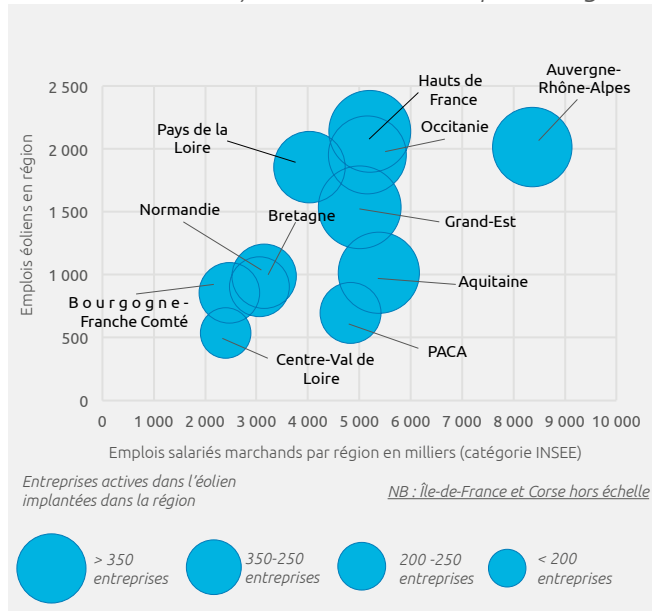
Source : Etude FEE et traitement des données Capgemini Invent

- **Les régions Grand Est et Hauts-de-France**, territoires où la filière éolienne connaît un très fort développement des parcs éoliens, contribuant au dynamisme économique local,
- **Le Bassin parisien (Île-de-France ainsi qu'une partie de la région Centre-Val de Loire)** regroupant traditionnellement une part importante des sièges sociaux d'entreprises,
- **Le Grand Ouest (Bretagne, Pays de la Loire, Normandie et une partie de la région Nouvelle-Aquitaine)**, importante aire d'implantation de l'éolien dont la façade maritime va bénéficier de la croissance de l'éolien en mer,
- **Les régions Auvergne-Rhône-Alpes et Bourgogne-Franche-Comté**, régions industrielles anciennes diversifiant leurs activités et spécialisées dans la fabrication de composants pour l'activité éolienne,
- **La Méditerranée (Régions Sud-Provence-Alpes-Côte d'Azur et Occitanie)**, berceau de l'industrie éolienne et de plusieurs de ses acteurs historiques.

# La répartition des emplois éoliens par région

Plus la région est dynamique en termes d'emplois marchands plus le secteur de l'éolien en profite

Contribution de la filière éolienne à l'emploi en région

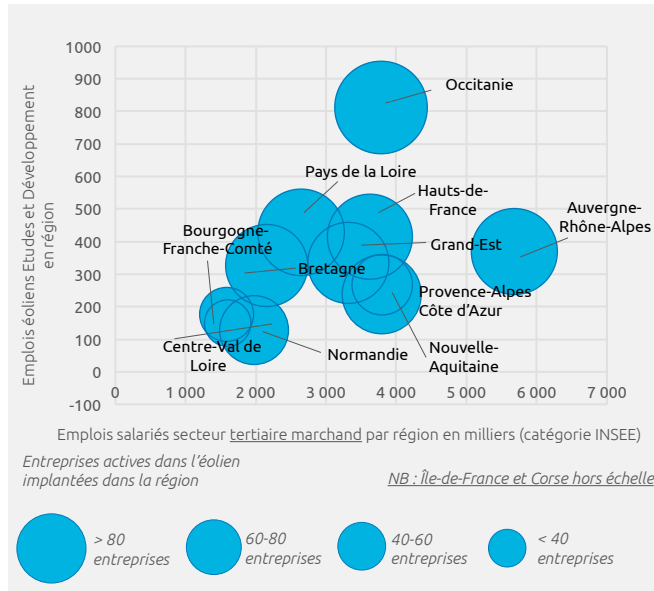


Source : Etude FEE et traitement des données Capgemini Invent, INSEE 2020

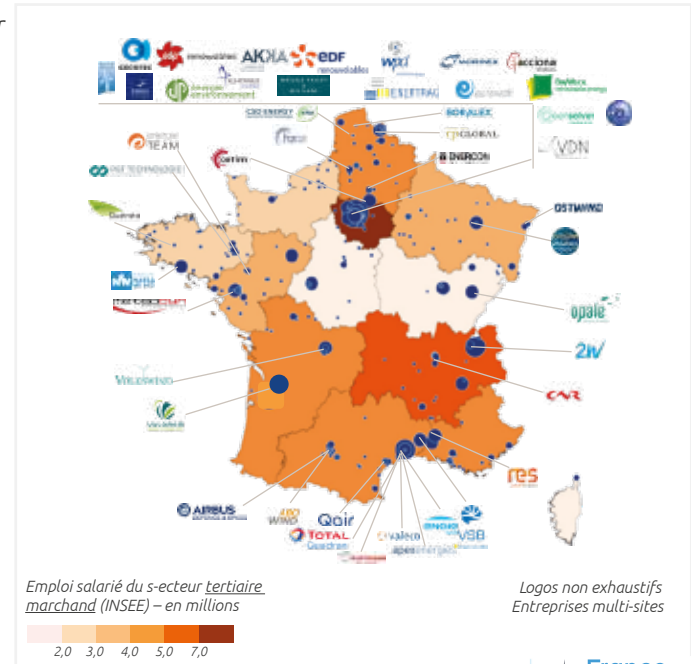
# La répartition des emplois éoliens par région

Les emplois d'étude et développement sont majoritairement présents autour des grands centres urbains

Les emplois éoliens liés aux activités d'études et développement par rapport aux emplois du secteur tertiaire marchand



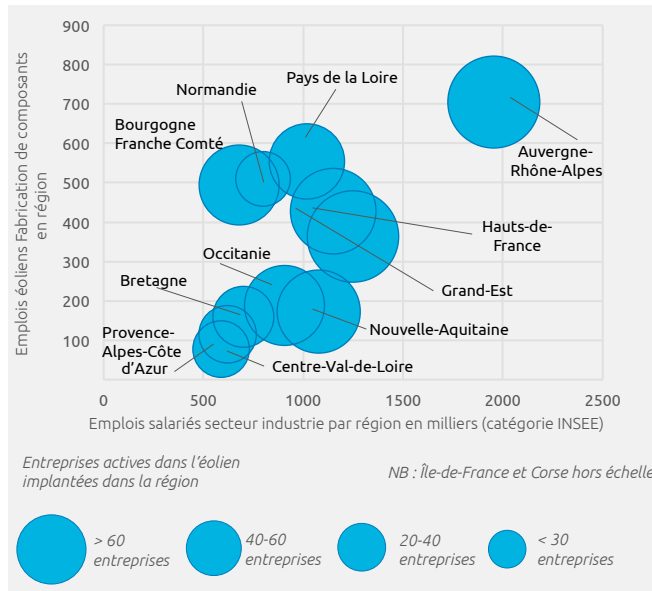
Source : Etude FEE et traitement des données Capgemini Invent, INSEE 2020



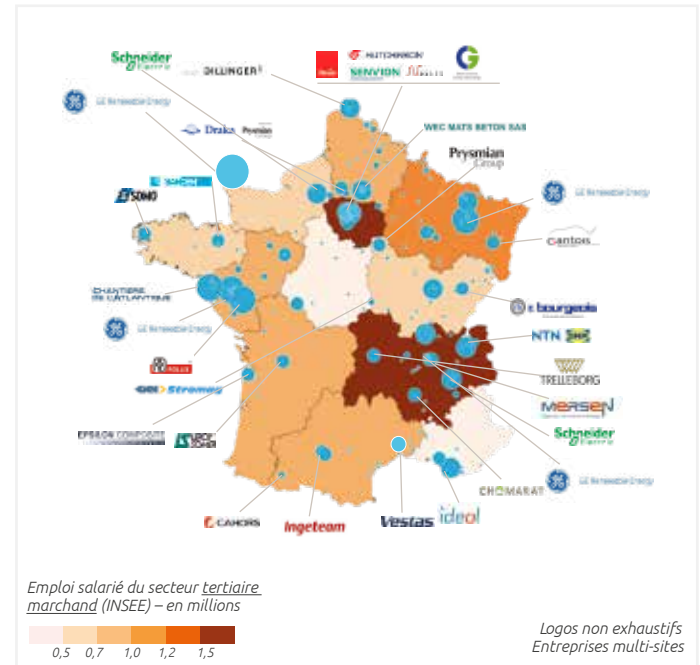
# La répartition des emplois éoliens par région

La fabrication de composants génère 4 500 emplois répartis sur tout le territoire

Les emplois éoliens liés à la fabrication de composants par rapport aux emplois du secteur industriel



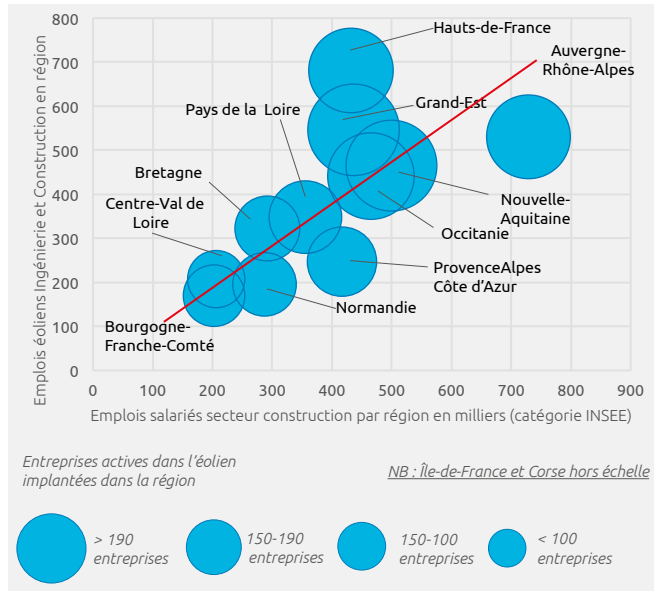
Source : Etude FEE et traitement des données Capgemini Invent, INSEE 2020



# La répartition des emplois éoliens par région

Dans la construction, au moins un emploi pour mille est généré par l'éolien, dans la grande majorité des régions

Les emplois éoliens liés à l'ingénierie et à la construction par rapport aux emplois du secteur construction



Source : Etude FEE et traitement des données Capgemini Invent, INSEE 2020

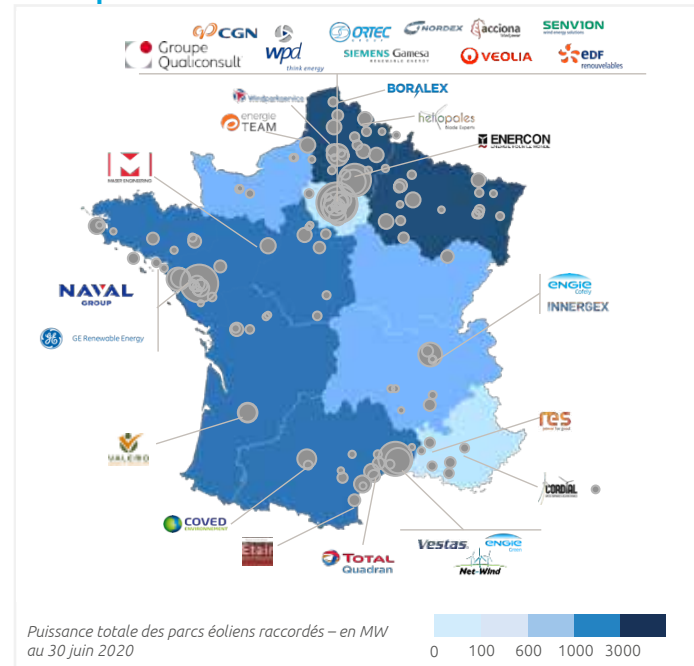
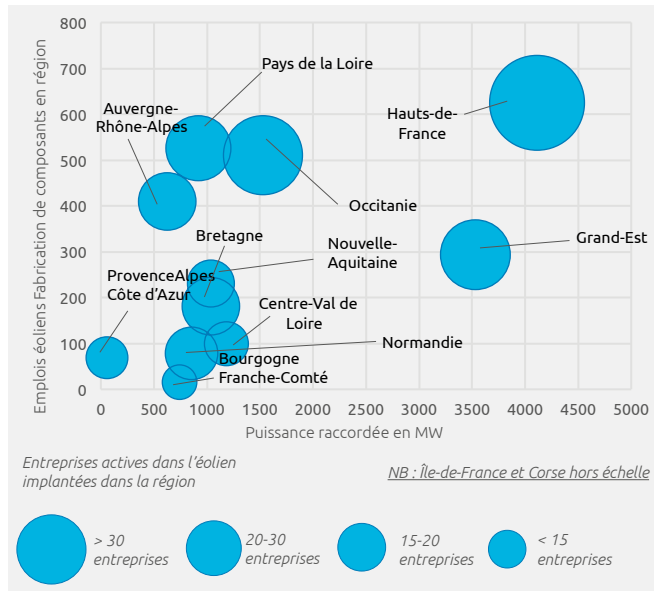




# La répartition des emplois éoliens par région

Les emplois de maintenance et d'exploitation se situent en majorité dans les régions avec de plus grandes capacités installées

Les emplois éoliens liés aux activités d'exploitation et de maintenance par rapport à la puissance raccordée



Source : Etude FEE et traitement des données Capgemini Invent, INSEE 2020

# Les emplois éoliens

## C. Animation de la filière

70

# Animation de la filière

La filière est animée par des acteurs diversifiés, qualifiés en trois grands types



## Les pôles de compétitivité

Sept pôles de compétitivité actifs dans l'éolien en France, que l'on retrouve aussi près des zones de développement de l'éolien en mer : Bretagne-Atlantique et Méditerranée.

- PÔLE MER Bretagne Atlantique
- Technopole Brest-Iroise
- EMC2
- DERBI
- PÔLE MER Méditerranée
- Capenergies
- Tenerrdis



## Les clusters

Regroupement d'acteurs publics et privés permettant les transferts de connaissances entre tous ces acteurs. Huit clusters actifs dans le domaine de l'éolien ont été recensés en France :

- Cluster Maritime Français
- MEDEE
- Ouest Normandie Energies Marines
- France Energies Marines
- Neopolia
- Technocampus Ocean, West Atlantic Marine Energy Center
- Cluster Eolien Aquitain
- CEMATER



## Autres acteurs

Syndicats et fédérations professionnelles qui, à l'instar de France Energie Eolienne, regroupent des professionnels de l'industrie éolienne : FNTF, FNTR, UFL, Cluster Maritime Français, Gimélec, EVOLEN, SER...

# Animation de la filière

## Cartographie des acteurs animant la filière



FEE anime la filière éolienne en région grâce à ses représentants sur les territoires (groupes régionaux).

Légende :

- Pôle de Compétitivité
- Cluster
- Autre acteur
- France Energie Eolienne

# Animation de la filière

## Zoom sur Tenerrdis

Tenerrdis est le pôle de compétitivité de la région Auvergne Rhône-Alpes, dédié à la transition énergétique visant, via l'innovation, à développer des filières d'excellence créatrices d'emplois pérennes.

Tenerrdis anime un réseau dynamique de 300 membres (dont 230 adhérents) et partenaires

- **Industrie** : Groupes industriels (énergéticiens et end-users), PME, Start Up
- **Laboratoires de recherche et centres techniques**
- **Collectivités territoriales**

6 domaines d'activités stratégiques :

- Production d'énergie renouvelable et insertion dans le mix décarboné
- Intelligence et cybersécurité des systèmes énergétiques
- Stockage et conversion d'énergie
- Micro-réseaux multi-vecteurs
- Mobilité décarbonée
- Efficacité énergétique Bâtiment et Industrie

Tenerrdis agit sur les thématiques des nouvelles énergies entre acteurs du pôle et leurs partenaires :

- **L'accompagnement de projets innovants**, principalement collaboratifs (régionaux, nationaux, européens) et l'aide à l'**accès aux financements** publics et privés
- La valorisation et la **promotion des filières industrielles** des nouvelles énergies, incluant l'internationalisation
- La **coordination** d'acteurs ouvrant l'ensemble des compétences techniques (matériaux, prévision météo, vieillissement des installations, stockage, hybridation)

### Chiffres clés 2019 :

- 229 adhérents, 41 nouveaux adhérents, 58% de PME, Start-Ups, TPE
- 132 adhérents concernés par la filière éolienne dont 72 dans la production
- 52 événements organisés ou co-organisés, pour plus de 1200 participants
- 16 actions à l'international, avec 90 entreprises
- 25 nouveaux projets nationaux labellisés, 8 projets financés pour 24 M€
- 39 projets européens en émergence, dont 15 déposés
- 20 685 sessions sur le site web, 3000 abonnés sur Twitter, 1800 abonnés sur Linked In



Sources : Tenerrdis

LES EMPLOIS



# Animation de la filière

## Zoom sur Cemater

Pour aider les entreprises de la région Occitanie dans leur développement et dans leur pérennisation, le groupement **Cemater** leur propose un **accompagnement** sur différents thèmes : valorisation des compétences et des savoir-faire, développement commercial, recrutement, innovation, mutualisations intra-entreprises,...

Les entreprises membres de Cemater se sont engagées à respecter une **Charte Ethique** qui garantit un niveau de qualité optimale à leurs clients. Les Composantes de la Charte éthique Cemater reposent sur les éléments suivants :

Conseil  
Éducation  
Mutualisation  
Adaptation  
Transparence  
Engagement  
Respect



# Animation de la filière

## Zoom sur Le Cluster Maritime Français

Le Cluster Maritime Français (CMF) rassemble tous les acteurs de l'écosystème maritime, de l'industrie aux services et activités maritimes de toute nature dans un objectif de développement durable des activités maritimes. Il est aujourd'hui composé de plus de 430 entités : entreprises de toutes tailles, pôles de compétitivité, fédérations et associations, laboratoires et centres de recherche, écoles et organismes de formation, collectivités et acteurs économiques locaux, ainsi que de la Marine nationale. FEE est membre du CMF.

Le CMF est au service de ses membres, en tant que facilitateur pour le développement de leur business et l'émergence de nouveaux projets innovants. Il accompagne ses membres dans le développement durable et responsable de leurs activités et de leurs projets, en France et à l'international.

75

Depuis 2007, le CMF a contribué à la promotion et défense de la filière EMR auprès des décideurs, et à la création de synergies entre acteurs du maritime et de l'énergie.

Depuis 2017, le CMF a créé l'Observatoire des énergies de la mer auquel contribue la FEE. Consultez les résultats de la 4ème édition sur [www.merenergies.fr](http://www.merenergies.fr)

La France possède aujourd'hui le 2ème espace maritime du monde : l'Outre-mer donne à la France 97% des 11 millions de kilomètres carrés de sa ZEE (Zone Économique Exclusive). Conscient des opportunités offertes par l'Outre-mer (notamment le développement des EMR), le CMF y a développé des clusters : Guadeloupe, Réunion, Guyane, Martinique, Polynésie Française, Nouvelle Calédonie et Saint-Pierre et Miquelon.

# Animation de la filière

## Zoom sur FOWT, le plus grand événement mondial dédié à l'éolien en mer flottant, co-organisé par FEE.

Depuis 2013, le Pôle Mer Méditerranée et la Chambre de Commerce et d'Industrie Marseille Provence co-organisent annuellement les Rencontres Scientifiques et Technologiques de l'Eolien Offshore Flottant contribuant à l'émergence de la filière. Depuis 2016, cette conférence se nomme désormais FOWT (Floating Offshore Wind Turbines) et France Energie Eolienne en est co-organisatrice.

FOWT présente une triple ambition : accélérer la part de l'éolien flottant dans le mix énergétique mondial ; soutenir la structuration d'un écosystème et encourager les échanges entre acteurs de la chaîne de valeur ; faire de FOWT la vitrine du savoir-faire international de l'industrie éolienne en mer flottant.

### FOWT 2020 s'est tenu les 7 et 8 septembre 2020 à Marseille.

#### Quelles thématiques ?

Financement, assurances, zoning, cadre réglementaire, impacts environnementaux, innovations technologiques...

Toutes ces thématiques sont abordées pendant les jours de conférences pour décrypter les enjeux liés à l'émergence et à l'industrialisation de l'éolien en mer flottant en France et dans le Monde.

#### Le meilleur de la science & le meilleur de la technologie

Afin d'assurer un programme varié et pertinent au cours des 3 jours, le comité d'organisation lance chaque année un « call for papers ».

Parmi les intervenants de l'édition 2019 : Giles Dickson (WindEurope), Laurent Michel (Ministère de la Transition Ecologique / DGEC), et d'autres grands acteurs du marché comme Ideol, PPI, SBM Offshore, EDF EN, Equinor, Shizen Energy, Engie, Naval Energies, The Carbon Trust, Siemens Gamesa...

Informations sur [www.fowt-conferences.com](http://www.fowt-conferences.com).

### Eléments clés de l'événement (bilan édition 2019) :

Quatre régions partenaires : La Région Occitanie, la région Sud-Provence-Alpes-Côte d'Azur, la Région Bretagne et la Région Pays de la Loire • + de 40 sponsors & partenaires industriels et institutionnels • 2 journées de Conférences plénières • 1 journée académique • 810 participants • 28 nationalités représentées • 500 rendez-vous BtoB / Meet the Buyers



# Animation de la filière

## Zoom sur le Cluster Neopolia Eolien Offshore & EMR

Le Cluster Neopolia Eolien offshore & EMR fédère plus **de 100 entreprises industrielles** qui unissent leurs savoir-faire pour répondre de façon collaborative aux besoins du marché des **énergies marines renouvelables (EMR)**. Le Cluster fait partie du réseau **Neopolia composé de 5 clusters** présents dans la région **Pays de la Loire**.

Ce cluster a pour missions de renforcer les partenariats avec les grands acteurs du marché EMR, la construction d'un **réseau de compétences**, l'animation de la filière EMR au sein de la région Pays de la Loire avec la mise en contact d'acteurs de la filière en créant des rencontres business, des business trip ciblés , la commercialisation d'offres industrielles globales et collaboratives.

77

Neopolia EMR propose plusieurs solutions intégrées au service des projets EMR notamment :

- **Ingénierie développement de projets**
- **Support à l'installation en mer**
- **Opération & Maintenance**
- **System Health Monitoring**
- **Monitoring du béton en condition océanique**

Neopolia Eolien Offshore & EMR était partenaire de l'atelier Eole Industrie 2018, les 25 et 26 juin en Pays de la Loire sur le thème « Eolien terrestre et en mer : perspectives et innovations technologiques ». Il sera également partenaire du 10ème colloque national éolien de FEE.

# Animation de la filière

## Zoom sur le pôle Mer Méditerranée

La zone méditerranéenne est un gisement important d'énergie éolienne, encore inexploité en France. Cependant, la bathymétrie ne permet que l'exploitation offshore flottante de ces gisements.

Présent dans les régions Sud Provence-Alpes-Côte d'Azur et Occitanie, le Pôle Mer Méditerranée intervient sur 6 Domaines d'Actions Stratégiques :

- Défense, Sécurité et sûreté maritimes
- Naval et nautisme
- Ressources biologiques marines
- Environnement et valorisation du littoral
- Ports, logistique et transports maritimes
- Ressources énergétiques et minières marines (englobant les problématiques de l'éolien en mer). Celui-ci se divise en

- **41 projets labellisés et financés pour les EMR**

Avec un budget total de :

- **167 M€ pour l'éolien flottant**

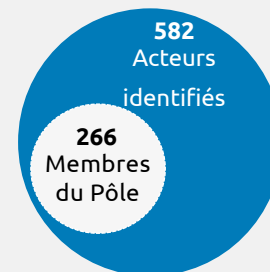
Et 3 axes transverses :

- Transition écologique,
- Transformation numérique
- Robotique

Sources : Pole mer méditerranée

Fort de 422 membres (Laboratoires, grands groupes, ETI et PME), le Pôle Mer Méditerranée anime depuis 2013 un travail de recensement des acteurs de la filière éolien flottant. Ce travail a permis d'identifier 582 acteurs potentiels dont 60 confirmés dans les régions Sud-Provence-Alpes-Côte d'Azur et Occitanie. 266 sont déjà membres du Pôle Mer Méditerranée.

Le Pôle Mer Méditerranée est par ailleurs **co-organisateur des rencontres internationales de l'offshore flottant (FOWT)**, avec la CCI Marseille-Provence et France Energie Eolienne.



# Animation de la filière

## Zoom sur : Pépinière Entreprises Energies Renouvelables (80)

La Pépinière d'Entreprises Energies Renouvelables, positionnée géographiquement sur les régions Hauts-de-France et Normandie, contribue par ses actions opérationnelles auprès des PME industrielles, produits et services, au développement des filières éoliennes on- et offshore et autres énergies marines renouvelables (EMR).

### Animation de la plateforme d'intermédiation donneurs d'ordre/preneurs d'ordre CCI Business ENR

- 2060 membres sur l'éolien posé, flottant, le marémoteur et l'hydrolien
- Actif sur l'ensemble de la façade maritime continentale française
- Co-organisation d'événements B-to-B sur les territoires, co-élaboration et publication d'appels d'offres (AMIs), cartographie des entreprises locales par famille technique...

### Accompagnement à la diversification dans l'éolien et les EMR

Accompagnement expert personnalisé de PME industrielles de Normandie et Hauts-de-France, à partir de la pépinière d'Oust-Marest (Somme / Seine-Maritime), dont 25 entreprises locales via le dispositif Windustry, auprès des donneurs d'ordres, en France et en Europe, notamment à l'occasion de Salons internationaux (Windenergy Hambourg (28-29 septembre 2016, Offshore Wind London (6-8 juin 2017))

### Des entreprises éoliennes présentes à la Pépinière ENR

- Enercon Service France : Base de services éolien terrestre
- Energie Team : Développement et exploitation de parcs éoliens terrestres
- Réseau Jade : Formation et prestations travaux en hauteur Protection anti-chutes, EPI

### Co-organisation et co-animation d'événements d'ampleur nationale ou interrégionale sur l'éolien

Journée FEE/Eole Industrie à la CCI de Région à Lille (23 juin 2015) et Journée technique exploitation-maintenance à la Pépinière ENR (3 novembre 2015)

- Rencontres Windustry France 2010 (Oust-Marest), 2011 (Amiens), 2013 (Le Havre)...
- Conventions internationales EMR SEANERGY au Havre (21-24 mars 2017), Cherbourg (12-14 juin 2018), à Dunkerque (5-7 juin 2019)
- Journée d'affaires éolien offshore avec 15 donneurs d'ordres internationaux et 50 entreprises régionales à la CCI à Dunkerque (8 novembre 2017)
- Journée entreprises CUD/Dunkerque Promotion de sensibilisation aux EMR au Pavillon des Maquettes à Dunkerque (4 avril 2019)

# Animation de la filière

## Zoom sur : L'École Centrale de Nantes et la plateforme SEM-REV

L'École Centrale de Nantes fait partie des **principaux acteurs académiques** français spécialisés sur **les Energies Marines Renouvelables (EMR)** et elle compte ainsi un ensemble de formations à tout niveau qui leur sont dédiées et notamment en ingénierie.

**SEM-REV** est une plateforme océanique gérée par le laboratoire LHEEA et destinée aux projets de R&D. **C'est le 1<sup>er</sup> site européen d'essais en mer combinant plusieurs technologies**, en lien avec les énergies éoliennes en mer et de la houle, il dispose également d'une connexion au réseau public d'électricité.

Le site d'essai en mer SEM-REV et les bassins d'essai du laboratoire sont une des composantes de l'infrastructure de recherche THOEREM, qui réunit les moyens d'essai de l'Ifremer, Centrale Nantes et L'université Gustave Eiffel sur la thématique EMR.



TheoREM listed on the 2018 national research infrastructure roadmap

80



Le site accueillant notamment **FLOATGEN, la première éolienne offshore de France** (en production depuis septembre 2018), est localisé dans une zone réservée de 1 km<sup>2</sup> au large du Croisic en Région Pays de la Loire. FLOATGEN est raccordée au réseau moyenne tension d'Enedis. Une base de recherche terrestre héberge également chercheurs et ingénieurs.

Les **activités menées sur le site autour des tests de technologies** sont notamment :

- l'accueil et la conduite de **projets de recherche nationaux et Européens**, notamment pour l'amélioration des performances et de la fiabilité
- l'acquisition de **données d'environnement** (Météo-Océano, Physique et biologiques, etc.)
- **l'exploitation et la maintenance** de l'infrastructure
- **l'étude de l'impact environnemental** des EMR concernées (sur la faune, les transports sédimentaires...).
- la **sécurité et la surveillance** de l'espace maritime.

# Les emplois éoliens

D. Vision prospective sur le  
marché de l'emploi de l'éolien

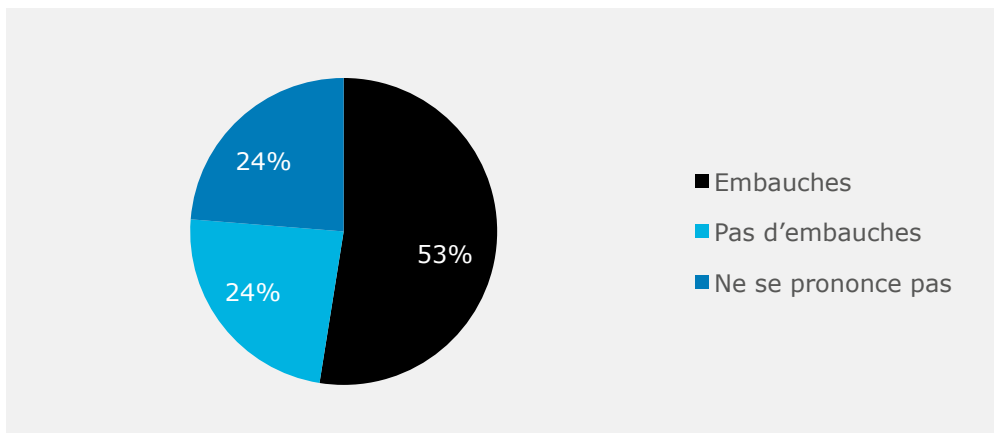
81

# Vision prospective

## Plus de 50 % des acteurs envisagent de recruter en 2020 malgré la crise liée à la COVID-19, signe de vitalité de la filière

En parallèle du recensement, une enquête a été menée par France Energie Eolienne pour connaître les perspectives d'embauches en 2020. Sur la base de ces réponses, une estimation a été faite de ce que pourrait représenter les recrutements en 2020.

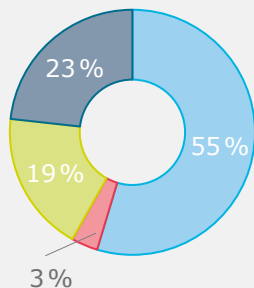
*Perspective d'embauches de notre échantillon pour 2020*



# Vision prospective

...majoritairement pour des emplois de maintenance et de développement mais aussi des nouveaux métiers

Répartition des projections d'emplois 2020



- 1. Etudes et Développement
- 2. Fabricants de composants
- 3. Ingénierie et construction
- 4. Exploitation et Maintenance

- **L'exploitation et la maintenance** représentent un gros vivier d'emplois dans les territoires, non-délocalisables et sur la durée de vie des installations
- Le dynamisme de la filière permet d'anticiper de nombreux projets notamment dans l'éolien en mer. Cela implique de nombreux recrutements dans le secteur du **développement de projets** mais aussi dans de nombreux cabinets **d'expertise et de recherche** autant techniques que juridiques
- Le secteur de **l'ingénierie et de la construction** bénéficie des nombreux projets approuvés et dont la construction se fait actuellement, notamment en région et sur le littoral
- Le secteur de la **fabrication de composants** devrait bénéficier de l'essor de l'éolien offshore mais a souffert de la crise de la filière car il est composé de nombreuses PME et TPE, moins résilientes que les grandes entreprises.

*Toutefois, malgré leurs nombreux atouts les métiers de la filière et son potentiel croissant restent méconnus auprès des jeunes*

# Les emplois éoliens

E. Focus sur l'Observatoire des énergies de la mer

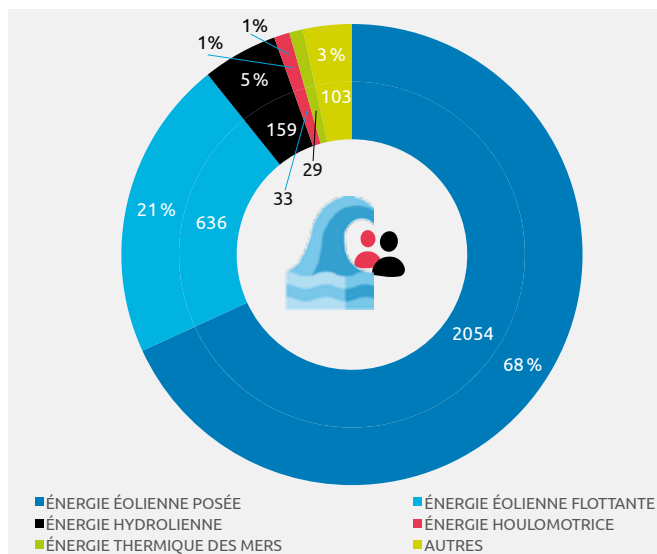
84





# Focus sur l'observatoire des énergies de la mer

## Les emplois de l'éolien en mer et leur place dans les EMR\*



\* EMR : Energies Marines Renouvelables

Source : Observatoire des énergies de la mer 2020, C2 stratégies pour le Cluster maritime français

Fin 2019, le nombre **d'ETP pour l'éolien en mer** représentait **89%** de l'ensemble des ETP sur les EMR, soit **2 690 ETP** sur 3014 (dont 68% pour l'éolien posé et 21% pour l'éolien flottant, soit 2054 ETP pour l'éolien posé et 636 ETP pour l'éolien flottant).

**Ces ETP sont en nette augmentation par rapport aux chiffres de fin 2019**, avec un gain de 731 ETP pour l'éolien posé et 105 ETP pour l'éolien flottant.

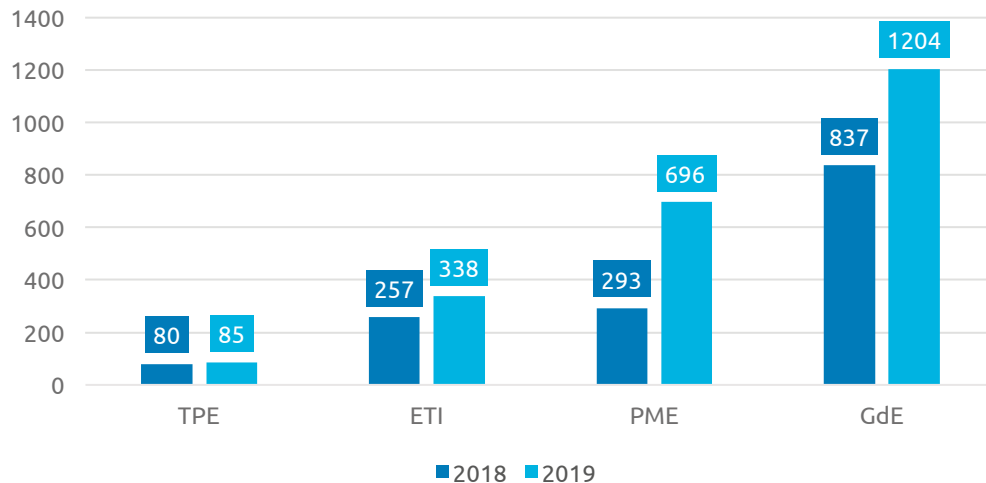
L'éolien posé et flottant étant les technologies les plus matures et compétitives de la filière avec des projets à des stades avancés, celles-ci représentent logiquement la quasitotalité des ETP et du chiffre d'affaires. **Le chiffre d'affaires concernant l'éolien flottant a connu une augmentation de 50% sur l'année écoulée grâce aux projets pilotes français.**



# Focus sur l'observatoire des énergies de la mer

La filière éolienne en mer concerne l'ensemble des entreprises françaises, de la très grande entreprise à la start-up

Évolution de l'emploi par taille d'entreprises



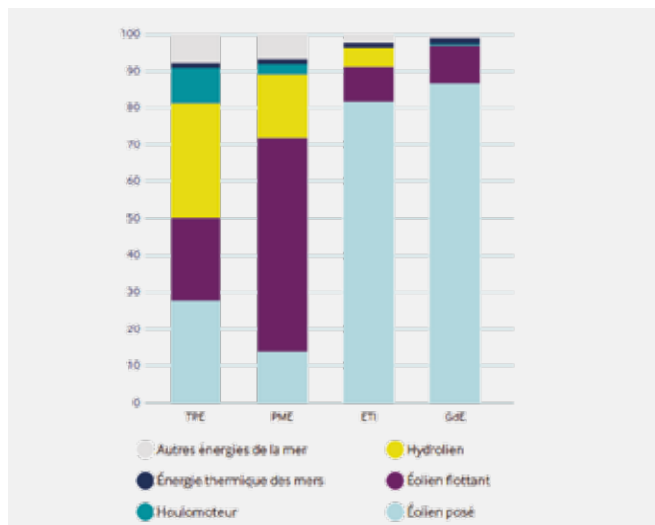
Les emplois se consolident autour des PME et des grandes entreprises



# Focus sur l'observatoire des énergies de la mer

## Répartition des ETP sur l'éolien en mer par taille d'entreprise

Répartition des ETP par technologie et par taille d'entreprise



Plus de **90% des embauches réalisées en 2019 par les grandes entreprises (GdE) et les ETI concernent l'éolien en mer** – dont les trois-quarts sont pour l'éolien posé. Cet engouement des grandes entreprises démontre la maturité de la filière éolienne en mer et la confiance des entreprises sur la croissance du marché.

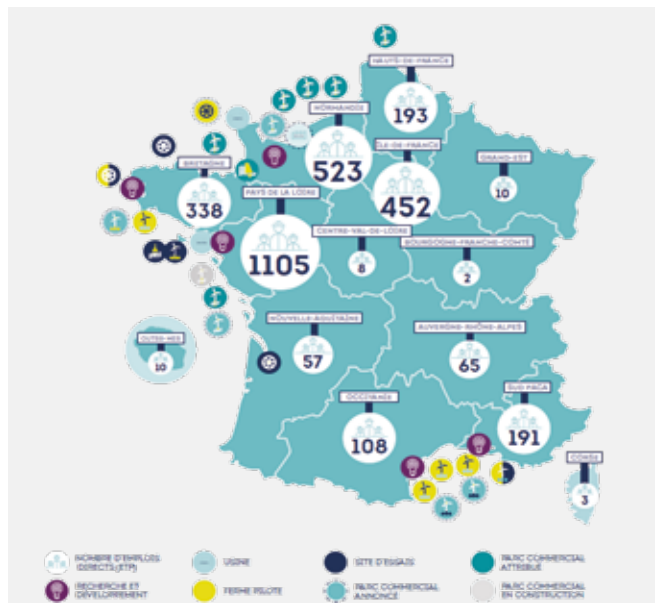
A l'inverse, les très petites entreprises (TPE) sont peu présentes dans l'éolien posé, notamment du fait de l'importance des capitaux requis pour rentrer dans l'industrie. Les TPE sont plus orientées vers les filières émergentes telles que l'hydrolien et le houlomoteur, dans lesquelles de nombreuses innovations sont le fait de startups.

Enfin, les PME sont fortement présentes sur l'éolien flottant, signe des progrès faits par la technologie.

Source : Observatoire des énergies de la mer 2020, C2 stratégies pour le Cluster maritime français

# Focus sur l'observatoire des énergies de la mer

## Répartition des ETP sur les énergies de la mer en France



Après une mauvaise année 2018, avec plus de 700 emplois perdus, les emplois en France tournés vers les énergies de la mer sont en nette hausse en 2019.

De manière globale, **les ETP sont en hausse dans toutes les régions**, et en particulier dans **les Pays de la Loire**. La région enregistre la plus forte hausse avec près de **330 ETP (40%)** en plus. **La Normandie** enregistre une hausse similaire et devient ainsi la deuxième région française pour l'emploi dans les EMR.

**La Bretagne, l'Île-de-France et les Hauts-de-France** connaissent également des hausses importantes.

Ces augmentations sont notamment dues à l'essor de **l'éolien posé** : avec les débuts des chantiers du parc d'éolien en mer de Saint-Nazaire et de Saint-Brieuc mais aussi par exemple les usines de pales de Cherbourg et de nacelles de Montoir-de-Bretagne.

Source : Observatoire des énergies de la mer 2020, C2 stratégies pour le Cluster maritime français

Le rapport complet de l'Observatoire des énergies de la mer est consultable sur [www.merenergies.fr](http://www.merenergies.fr)



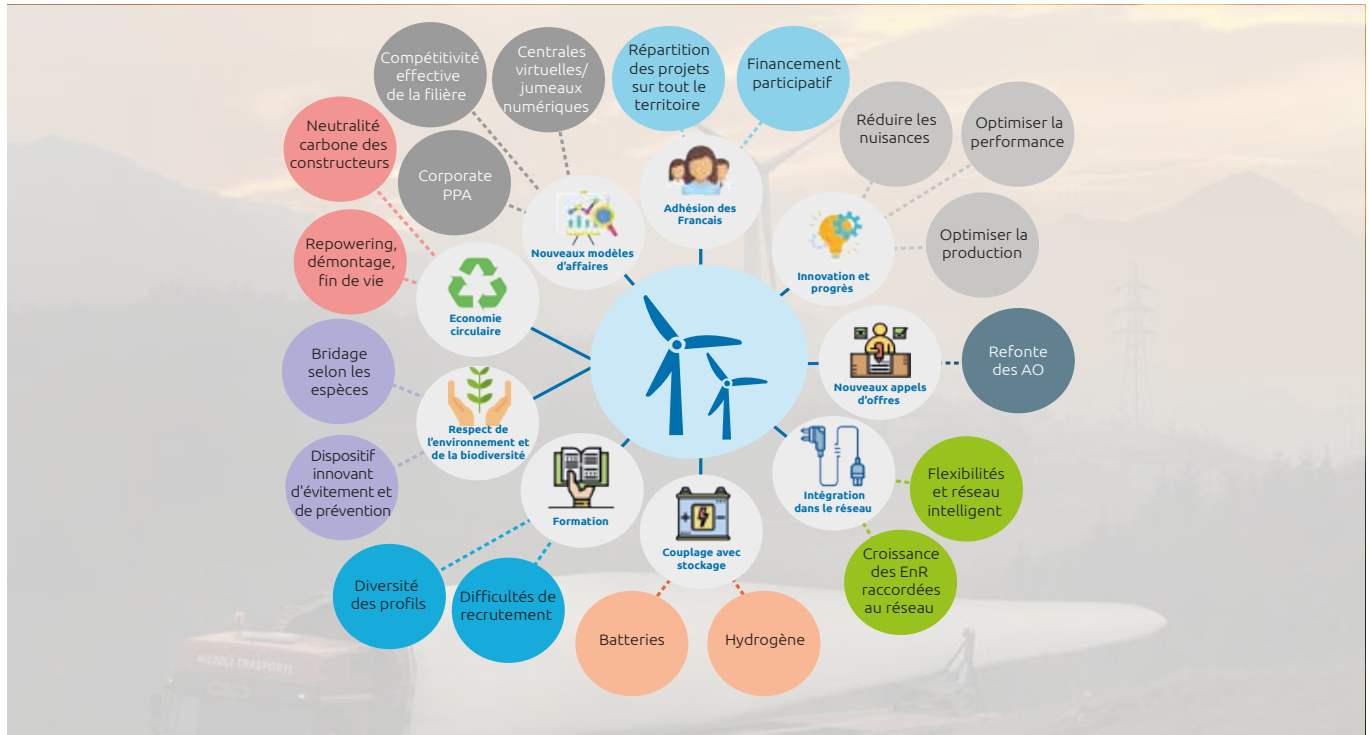


# Les enjeux de l'éolien

91

# Introduction aux grands enjeux

## L'éolien au cœur de nombreux enjeux





# Les enjeux de l'éolien

93

## A. L'adhésion des Français à l'éolien

# L'adhésion des Français à l'éolien

## L'éolien, un projet de territoire avant tout



Prise en compte du patrimoine et des paysages



Des études environnementales et des expertises menées par des écologues assurent la préservation des différentes espèces (avifaune, chiroptères, ...) concernés par l'implantation de parcs éoliens



Le démontage du parc, conformément à la loi, assure la remise en état du terrain dans ses conditions d'origine, à la charge de l'opérateur éolien.



Eloignement suffisant aux habitations



Un parc éolien assure des retombées économiques et fiscales à la commune d'implantation du parc et aux communes environnantes.



La technologie de balisage des éoliennes ne cesse de progresser et vise à terme à assurer la sécurité des aéronefs en réduisant la gêne auprès des riverains.



Respect des directives européennes et françaises en matière de protection de la biodiversité



Tout projet éolien est générateur d'emplois qualifiés et locaux pérennes sur l'ensemble de la durée de vie du parc, soit 20 à 25 ans.

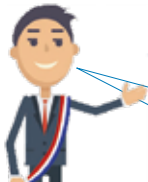


Le financement participatif permet aux citoyens de recevoir chaque année les fruits de leur investissement dans un projet d'énergie renouvelable

94



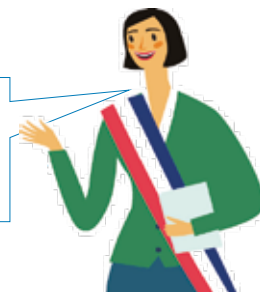
« Les retombées fiscales du parc éolien nous ont permis de lancer des projets sans toucher aux impôts et de faire les choses bien. » François Sanson, maire d'Ardouval (Normandie)



« C'est très important d'informer au maximum. Les seuls rares opposants que nous avons eus n'étaient pas de la commune. Et quelques agriculteurs au départ opposés au projet m'indiquent aujourd'hui qu'ils ont changé d'avis. » Eric Cornuau, maire de La Faye (Nouvelle-Aquitaine)

« L'augmentation de la part des énergies marines renouvelables dans les objectifs gouvernementaux est une très bonne nouvelle et conforte notre ambition. [...] L'emploi et la transition écologique sont mes principales priorités et je mets tout en œuvre pour y répondre. »

Carole Delga, Présidente de la Région Occitanie



# L'adhésion des Français à l'éolien

## Les citoyens de plus en plus nombreux à être attirés par les plateformes de financement participatif

**80%** des Français ont une bonne image des EnR, **40%** seraient intéressés à l'idée d'investir ou de continuer à investir dans les projets EnR.

**67,17** millions d'euros collectés en 2019, c'est **74%** de plus qu'en 2018. **476** projets bénéficiaires.



Sur le montant total des financements, **8** millions d'euros ont été collectés pour des projets éoliens terrestres et **2** millions d'euros pour l'éolien en mer.

**55%** des Français souhaitent financer des projets EnR pour donner l'exemple du changement souhaité pour la planète.

Sources : Etude menée par YouGov en Février 2019 auprès de 1038 particuliers et 2367 investisseurs dans des projets EnR  
Baromètre 2019 du financement participatif des EnR en France réalisé par GreenUnivers avec Financement Participatif France (FPF) en avril 2020

# Les enjeux de l'éolien

96

## B. Innovation et progrès

# Innovation et progrès

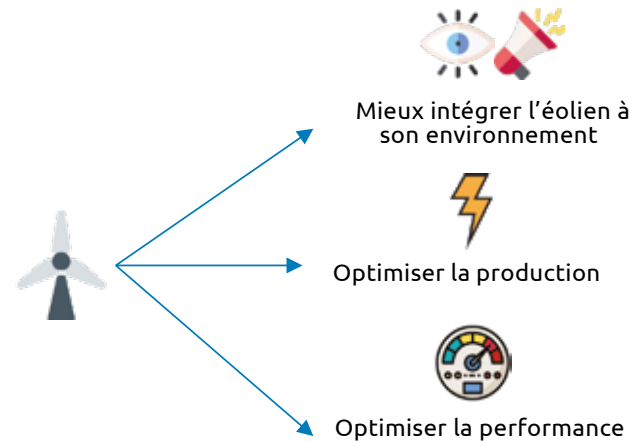
## Des améliorations continues qui répondent à des enjeux clés de la filière

La filière éolienne ne cesse **d'innover et de se réinventer**. Des **améliorations continues** sont réalisées tant sur le **design de l'éolienne** que sur les **infrastructures** qui constituent les parcs éoliens, afin d'être plus **compétitive** et de renforcer son **insertion territoriale**.

Les innovations technologiques s'appuient sur la **digitalisation** :

- **Internet des Objets / « Internet of Things » (IoT)** : connexion des objets à l'Internet permettant une communication entre les biens physiques et leur existence numérique
- **« Machine Learning »** : technologie d'intelligence artificielle (IA) permettant aux ordinateurs d'apprendre et d'anticiper sans avoir été programmés explicitement à cet effet
- **Robotique** : robotisation et automatisation des outils utilisés comme composants ou capteurs par les éoliennes qui améliorent leur production
- **« Digital Manufacturing »** : digitalisation de l'ensemble du processus de production et d'exploitation de la filière éolienne
- **« Digital Plant »** : digitalisation de l'ensemble d'un parc éolien afin de piloter les parcs à distance et de prédire leur production ou leur interruption

La filière éolienne continue son **développement sur trois grands axes de progrès** :



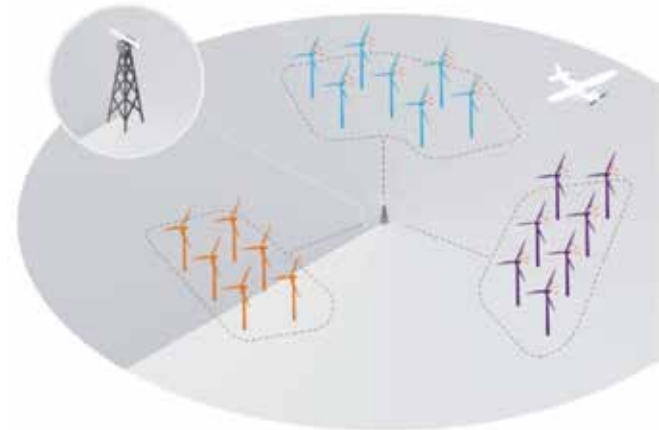


## Le balisage circonstantié, une solution pour atténuer l'impact visuel des éoliennes terrestres

Le balisage, cette lumière rouge qui s'allume afin de préserver la sécurité des avions en vol au-dessus des parcs afin d'éviter tout risque de collision avec les éoliennes peut parfois déranger les riverains. Afin de remédier à cette nuisance, les industriels, parmi lesquels **Vestas**, **développent de nouvelles technologies.**

Le **balisage circonstantié** est un balisage raisonné qui ne s'allume qu'après avoir détecté la présence d'un avion. Ceci rend le balisage inactif **98% du temps.**

Ce système, appelé Vestas Intelilight, a commencé à être mis en place dès 2007 et a depuis été continuellement optimisé. Le fonctionnement est assuré de façon automatique et est vérifié en permanence à distance. Tout est assuré grâce à un radar installé à proximité des parcs éoliens qui couvre un rayon de 36km.



**Lorsqu'un avion est détecté**, le radar permet d'activer le balisage des parcs éoliens qui se trouvent à proximité de sa trajectoire. Dans le cas ci-dessus, seuls le balisage des parcs bleu et violet s'active, celui du parc orange reste inactif.

Source : Vestas, Etude Capgemini Invent



## Siemens Gamesa développe l'éolienne en mer la plus puissante au monde, de 14 MW

En mai dernier, **Siemens Gamesa Renewable Energy (SGRE)** a annoncé la sortie d'un prototype d'éolienne en mer d'une puissance de 14 MW appelé SG-14 222 DD.

Par rapport aux turbines prévues pour les parcs de Saint-Nazaire, Saint-Briec et Fécamp, la capacité de production théorique augmente de 75%. **En 10 ans, la puissance nominale des générateurs offshore a triplé passant de 5 MW à 15 MW.** SGRE précise que cette nouvelle éolienne pourra atteindre les 15 MW, en vitesse de pointe, grâce à un débridage (power boost).

Les premières installations sont envisagées en 2024.

Diamètre du rotor    Longueur de pale    Puissance



222 m



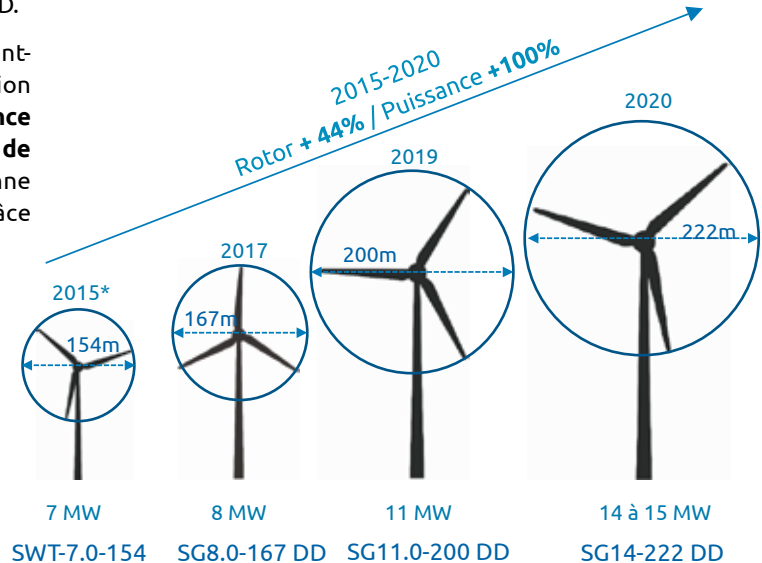
108 m



14-15 MW

**30** turbines SG 14-222 DD en mer pourraient couvrir la consommation en électricité d'une ville de 345 000 habitants, telle que Nice

Modèles des éoliennes offshore conçues par SGRE



Source : Etude Capgemini Invent

\* Date de l'annonce du modèle par le constructeur - Source : Etude FEE, SGRE

# Innovation et progrès



EOLINK  
L'art offshore floating wind farm



Optimiser la production

## EOLINK développe une nouvelle génération d'éolienne flottante d'une puissance cible de 12 MW

Eolink est une entreprise française qui conçoit des **éoliennes flottantes** dont les caractéristiques sont des **turbines de tailles importantes basées sur de petits flotteurs** afin de **maximiser la puissance de l'éolienne** et d'avoir un **coût de l'électricité compétitif**. Il s'agit du **2<sup>ème</sup> projet de démonstrateur d'éolienne flottante** en France après Floatgen.

Le prototype devrait être mis en **test à partir de 2021** sur un site en mer déjà raccordé au réseau et **produit en série en 2025 le cas échéant**. La société prépare déjà un prototype à l'échelle 1, ce qui correspond à une éolienne de **puissance 12 MW**. C'est deux fois plus que les éoliennes qui seront installées au large de Saint-Nazaire en 2022 pour le premier parc éolien marin.

L'éolienne d'Eolink repose sur quatre pieds et est arrimé à un flotteur carré de relativement faible masse. Cette structure pyramidale permet une meilleure stabilité et des fondations flottantes plus légères, Enfin l'éolienne est ancrée à un câble qui lui permet de s'aligner sur le vent. La société bretonne espère obtenir un prix de l'électricité à **35 €/MWh dans dix ans** pour l'éolien flottant.



100



L'éolienne flottante de 12 MW serait **deux** fois plus puissante que les éoliennes en mer installées à Saint-Nazaire en 2022





## Les plateformes flottantes multi - éoliennes sont au cœur des projets de R&D de Capgemini pour leurs futurs clients

**Capgemini** à travers son entité Digital Engineering & Manufacturing Services mène un projet de recherche afin de développer de nouvelles solutions technologiques permettant d'optimiser la production d'énergie éolienne offshore.

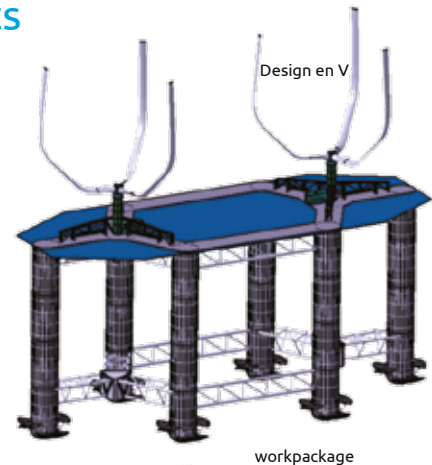
Ces travaux s'appuient sur l'étude de cas de la conception d'un parc flottant constitué de plateformes accueillant des éoliennes à axe vertical.

**Différents concepts d'éoliennes à axe vertical** sont investigués dans une approche d'optimisation multi-critères et multi-objectifs permettant de :

- densifier le parc;
- capter les vents dans les diverses **conditions, avec des vitesses différentes** et ainsi des larges couvertures géographiques;
- augmenter la production du parc;
- prendre en compte les **critères environnementaux**.

Les recherches comprennent les études mécaniques, électriques, d'implantation, économiques et analyse de cycle de vie.

Source : Capgemini | Digital Engineering and Manufacturing Services





## Le projet des éoliennes flottantes du golfe du Lion (EFGL) représente un investissement de 215 millions d'euros

Le projet retenu par l'Etat en 2016 prévoit l'installation d'une **ferme flottante** au large de Leucate-Le Barcarès à l'horizon 2022. Il est porté par Ocean Winds (Engie, EDP Renewables), la Caisse des Dépôts et leurs partenaires Eiffage, Principle Power et General Electric.

Il prévoit l'installation d'un parc pilote de **3 éoliennes flottantes**. Les éoliennes d'une **puissance unitaire de 10 MW** seront assemblées sur des structures flottantes en acier et installées à environ 16 km des côtes. L'aspect innovant de ce projet réside dans la structure des flotteurs développée par Principle Power à Aix-en-Provence et qui seront construits par Eiffage sur son site de Fos-sur-Mer avant d'être assemblés à Port-la-Nouvelle.

Le flotteur est constitué de **3 colonnes cylindriques reliées par des tubes**. La **plus large colonne reçoit l'éolienne** et les deux autres colonnes assurent la **stabilité par ballastage**. Cette structure permet de supporter des éoliennes d'une puissance de 10 MW. Ce seront les éoliennes les plus puissantes installées sur un flotteur à une phase pré-commerciale.



102

Les 3 éoliennes couvriront à elles seules les besoins en électricité de plus de **50 000** habitants du littoral (l'équivalent d'une ville comme Narbonne).



## Les sous-stations électriques, une innovation majeure pour transporter l'énergie à terre de manière optimale

Les sous-stations électriques permettent de transformer l'électricité produite par les machines pour la transférer vers la terre. Elles assurent la **même fonction qu'un poste de transformation** implanté à terre, en élevant la tension de l'électricité générée par les éoliennes marines pour limiter les pertes dans les câbles alimentant le réseau terrestre.

**Les Chantiers de l'Atlantique**, plus précisément, l'entité Atlantique Offshore Energy, entité dédiée à l'activité offshore fabrique ces sous-stations électriques. L'entreprise a remporté le marché pour la sous-station qui sera installée au centre du **1<sup>er</sup> parc éolien en mer français à Saint-Nazaire**. La livraison est prévue en 2021. Elle a également été retenue pour la conception, la fabrication et l'installation du parc de **Fécamp et de Courseulles-sur-Mer** prévus en 2023. **400 emplois directs sont générés** grâce à la production de ces sous-stations sur une durée de 6 à 9 mois et **8 millions d'euros seront dédiés aux prestataires** de tous corps de métier comme la construction mécanique, la serrurerie, l'électricité ou le tuyautage.

**L'entreprise a déjà vendu 3 sous-stations à l'export**, en mer Baltique allemande, au Royaume-Uni et au large de la Belgique.



103

« Si 80 % des commandes de sous-stations le sont pour l'instant à l'export, nous espérons être à **50%** sur le marché national et 50 % l'export dans quelques années », Frédéric Grizaud, directeur d'Atlantique Offshore Energy

Source : Etude Capgemini Invent



## Le machine learning au service de la performance opérationnelle

Le « **machine learning** » est une **technologie d'intelligence artificielle** permettant aux ordinateurs d'apprendre sans avoir été programmés explicitement à cet effet. À partir d'une base de données hétéroclite, l'ordinateur est capable d'apprendre et d'adopter le comportement pour lequel il est amené à être utilisé.

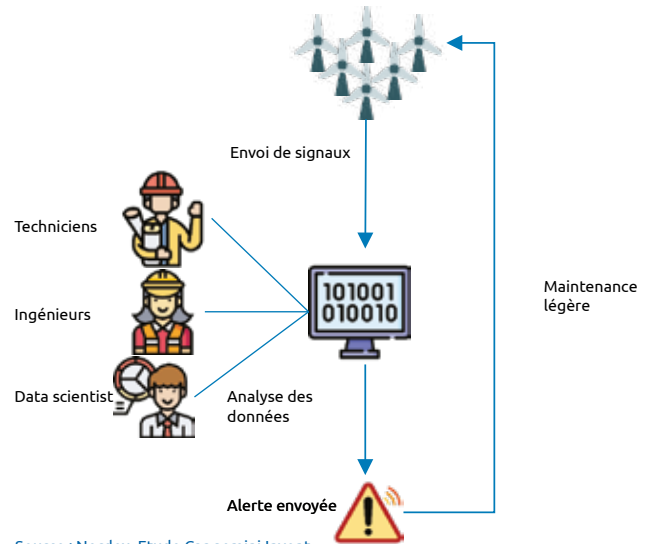
En l'occurrence, dans le cas de l'éolien, Nordex utilise le machine learning pour **auditer l'état des composants de l'éolienne en exploitation, grâce à l'émission de signaux.**

Les signaux sont envoyés sur une base contrôlée par des ingénieurs, des techniciens et des **data-scientists** afin de donner l'alerte en cas de problème sur une pièce défectueuse. Cette technique permet d'**éviter les opérations de maintenance trop lourdes** qui conduisent à un arrêt de la production du parc éolien.

Cette méthode basée sur l'intelligence artificielle permet ainsi de bénéficier d'un **coût de l'énergie plus faible et donc de rendre l'électricité produite plus compétitive.**

L'ensemble des données envoyées par les capteurs des éoliennes sont si nombreuses et diversifiées que l'on parle de « **Big Data** ». L'intérêt du Big data est de bénéficier d'une éolienne capable d'atteindre son maximum de productivité **100% du temps** grâce à des conditions optimales et une maintenance sur-mesure.

### La maintenance prédictive améliorée grâce au machine learning



Source : Nordex, Etude Capgemini Invent

# Innovation et progrès



Optimiser la performance

## SubSEE4D, le jumeau numérique des parcs d'éoliennes flottantes

Le projet SubSEE4D consiste à faciliter l'exploitation des parcs d'éoliennes flottantes avec une solution de jumeau numérique. La solution s'appuie donc sur une **modélisation en 3D** des parcs qui sera actualisée par des remontées d'images sous-marines et l'évolution de l'environnement marin (conditions météocéaniques).

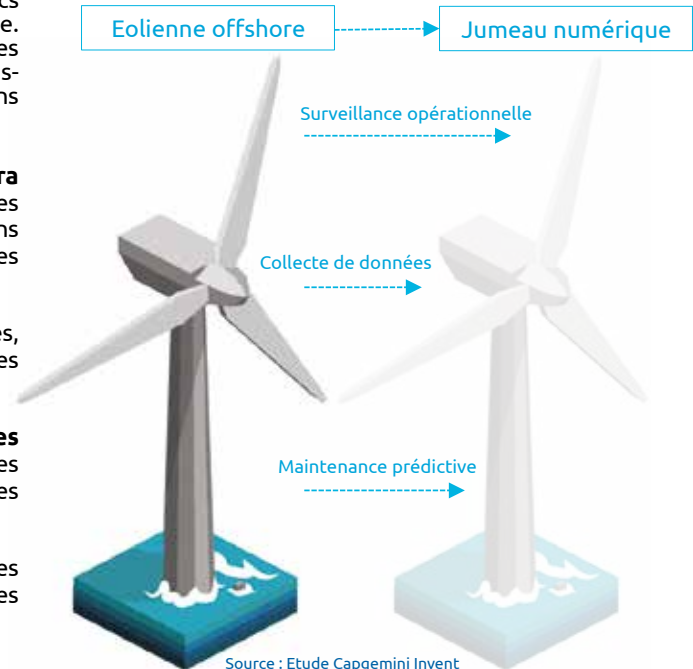
Grâce à cette technologie, **le gestionnaire de parcs aura une vue exhaustive et dynamique** de l'état des structures et pourra superviser, optimiser et planifier ses opérations de maintenance en fonction de la situation réelle et des prédictions de simulation.

Enfin, les méthodologies d'apprentissage par les données, appelées Deep learning\*, vont être utilisées afin d'apporter des fonctionnalités de **modélisation complexes en temps réels**.

Les bénéfices attendus sont notamment une **baisse des coûts de maintenance** et un plus grand attrait de la part des investisseurs qui souhaitent s'associer à des projets d'éoliennes flottantes.

Le projet est labellisé par les Pôles Mer Méditerranée et Images & Réseaux. Les partenaires sont CERVVAL, France Energies Marines et le Lab-STICC.

\* Deep learning : apprentissage automatique de données permettant une mise en relation de celles-ci afin d'établir un modèle prédictif



Source : Etude Capgemini Invent

# Les enjeux de l'éolien

106

C. La recherche et le  
développement (R&D)

# La recherche et le développement (R&D)

## L'éolien en mer renforce l'effort de R&D, positionnant la filière française comme acteur clé dans un environnement international

Le développement de l'éolien en mer renforce les efforts de R&D des acteurs français sur des problématiques de conception de systèmes, permettant à ces derniers de viser les places de leaders, sur un périmètre international. Les activités de R&D onshore se focalisent plutôt sur la performance des machines et les parcs.

### Sur terre

Des enjeux de performance dans l'exploitation et la maintenance des parcs éolien

- Préviation du potentiel : Lidars (Léosphère), outils de simulations court-moyen terme (Météodyn, Mines ParisTech)
- Gestion des énergies variables et prédictibles
- Pertes aérodynamiques (Polytech Orléans)
- Interaction radars (ONERA)
- Augmentation de la taille des rotors et mâts (EOLIFT / INSA Rouen)
- Travail de R&D pour réduire les coûts en matières premières

### En mer

Des enjeux de conquête de marchés en concevant les futurs systèmes éoliens (dont flottant)

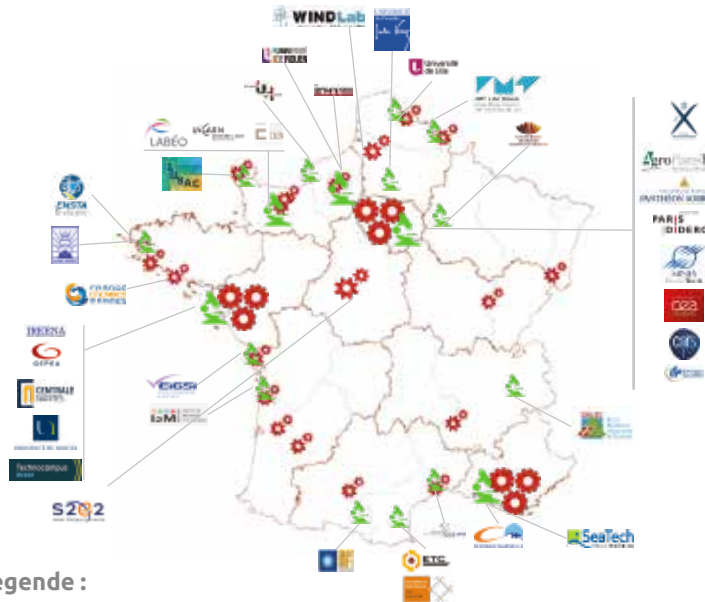
- Association de compétences navales / Oil&gas
- Structures et conditions marines Impact des fondations (Univ. du Havre, de Caen)
- Vieillessement des matériaux (IRT Jules Vernes...)
- Outils de simulation (IFPEN, CORIA...)
- Analyse des phénomènes couplés, nécessitants des moyens d'essais (bassins et souffleries, avec le projet VALEF de FEM...)

107

Les activités de R&D **rassemblent acteurs publics et privés autour de projets de recherche**. En particulier, grâce au budget de 67Mds€ des Programmes d'Investissements d'Avenir (dont 57 Mds€ sur la période 2010-2017 et 10 Mds€ pour le P.I.A. 3 initié en février 2017), dont une partie est dédiée à la transition énergétique, **l'ADEME constitue un catalyseur significatif pour diminuer le risque** des projets au stade de démonstrateurs en attribuant des fonds.

# La recherche et le développement (R&D)

## Cartographie des acteurs de la R&D



Légende :



Université ou Grande Ecole



Acteur privé de la R&D





# Les enjeux de l'éolien

109

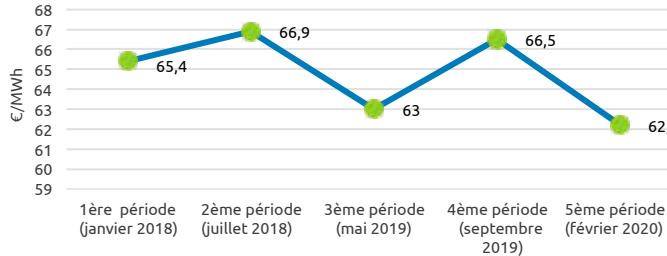
## D. Le mécanisme d'appels d'offres

# Le mécanisme d'appels d'offres

A chaque appel d'offres, l'éolien prouve sa compétitivité croissante et sa maturité



Evolution des prix moyens de réponse aux appels d'offres pour les installations de plus de 6 éoliennes terrestres (source : CRE)

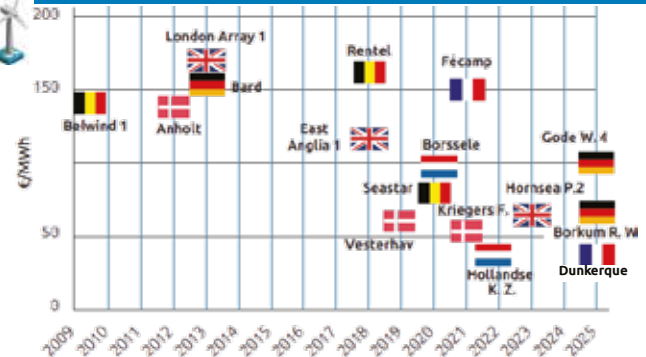


Le prix moyen des projets sélectionnés pour l'éolien en mer ne cessent de baisser. Il était de **44 €/MWh** sur 20 ans au dernier appel d'offres remporté à Dunkerque (juin 2019). La filière de l'éolien en mer, au même titre que pour le terrestre, est elle aussi rapidement devenue compétitive face aux autres technologies de production d'énergie.

Source : Etude Capgemini Invent, Ifri

Le prix moyen des projets sélectionnés pour l'éolien terrestre au dernier appel d'offres (avril 2020) est de **62,2 €/MWh**. Une **baisse tendancielle** se dégage depuis la première période. L'éolien terrestre est **compétitif** face aux autres technologies de production d'énergie.

Prix de réponse aux appels d'offres pour les installations d'éoliennes en mer en Europe selon la date de mise en service



# Le mécanisme d'appels d'offres

## L'agrégateur de production lors de l'apparition du complément de rémunération

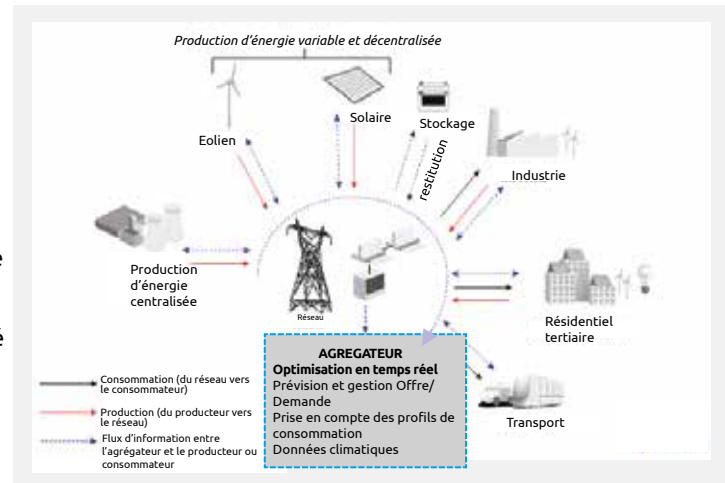
### Fin des tarifs d'achats, apparition du système de complément de rémunération

Jusqu'en 2015, les exploitants bénéficiaient d'obligations d'achat auprès d'EDF OA et des entreprises locales de distribution (ELD). Ces contrats, souscrits sur 15 ans prévoyaient un tarif fixe pour chaque MWh produit. Ce mécanisme a pris fin en 2016, une année de transition : le 1<sup>er</sup> janvier un système de complément de rémunération est introduit. Les exploitants vendent l'électricité produite directement sur le marché de gros et au prix du marché. EDF OA verse ensuite à l'exploitant la différence entre ce prix de marché et une valeur de référence définie soit par arrêté tarifaire, soit issu d'un appel d'offres. L'objectif de compétitivité est donc clé.

### L'essor du modèle d'agrégation

Le mécanisme de complément de rémunération a permis le développement en France d'un nouveau métier : celui d'agrégateur de production. L'agrégateur est un **intermédiaire** entre les producteurs d'électricité (injectant leur électricité sur le réseau) et le marché de gros de l'électricité. L'agrégateur est également un **administrateur de flexibilité**, il œuvre aussi bien sur les fluctuations de production que sur les fluctuations de consommation. Afin d'optimiser son rôle de coordinateur, il doit pouvoir réunir la production de plusieurs centrales électriques (jouer sur la flexibilité d'une seule installation n'est pas suffisant). Les technologies sont de plus en plus couplées entre elles, (éolien, solaire, stockage, etc.) cela correspond à l'émergence des **parcs hybrides**. Ces centrales ont une production optimisée, flexible et limite les pertes.

Source : Etude Capgemini Invent



Source : Dalkia

# Les enjeux de l'éolien

112

## E. Intégration dans le réseau

# Intégration dans le réseau – À tous les échelons

Enedis et RTE préparent les réseaux du futur, capables d'accueillir d'ici 2035 cinq fois plus de renouvelables qu'aujourd'hui

**Les pages suivantes ont été élaborées en collaboration avec Enedis, opérateur français de réseaux publics de distribution d'électricité et RTE, gestionnaire du réseau public de transport d'électricité.**

Enedis et RTE sont engagés depuis plusieurs années dans une démarche d'adaptation profonde de leurs réseaux afin d'accueillir les nouvelles installations de production d'électricité dont l'éolien tout en garantissant la sécurité et la sûreté du système électrique.

Les opérateurs se mobilisent pour accueillir les énergies renouvelables dans le réseau actuel et investissent à long terme pour développer un réseau capable d'intégrer des quantités croissantes d'électricité renouvelable. **D'ici à 2035, les réseaux électriques devront être capables d'accueillir 5 fois plus d'éolien et de solaire qu'aujourd'hui.** Pour faire face à ce challenge, Enedis et RTE se mobilisent notamment autour de **trois axes** :

- Des expérimentations de terrain permettant de tester des solutions innovantes et flexibles nécessaires à l'accueil des EnR :
- La planification pour anticiper l'accueil des EnR par les réseaux
- L'évolution du cadre réglementaire



# Intégration dans le réseau – À tous les échelons

L'accueil des EnR se prépare à tous les échelons des territoires...



Local

Une présence au niveau local afin de réaliser les **travaux de raccordement**, de favoriser le **dialogue avec les collectivités** et contribuer aux phases de **concertation** sur les projets ancrés localement.



Régional

Une présence au niveau régional notamment dans l'élaboration des **Schémas Régionaux de Raccordement au Réseau des Énergies Renouvelables (S3REnR)** et leur mise en œuvre.



National

Une présence au niveau national dans les réflexions menées par **l'État** et la Commission de Régulation de l'Énergie (**CRE**) sur l'accueil des EnR : au travers notamment de la **concertation** pour l'implémentation à l'échelle de la France des **codes de réseaux** européens et des **groupes de travail autour de la Transition Énergétique**.



Européen

Une présence au niveau européen (interconnexions, codes réseaux, etc.) grâce à des contributions dans l'élaboration des **directives européennes** qui structurent l'arrivée des EnR dans les réseaux.

# Intégration dans le réseau – À tous les échelons

... ainsi que pour différents horizons temporels

**Le développement du réseau de transport se fait sur la base d'études technico-économiques, à différents horizons de temps.** Pour réaliser ces études, il est nécessaire d'avoir une vision prospective de l'évolution des grands déterminants pour le réseau : la consommation d'électricité, le mix énergétique français, avec en particulier le développement de la production d'énergies renouvelables et les échanges internationaux.

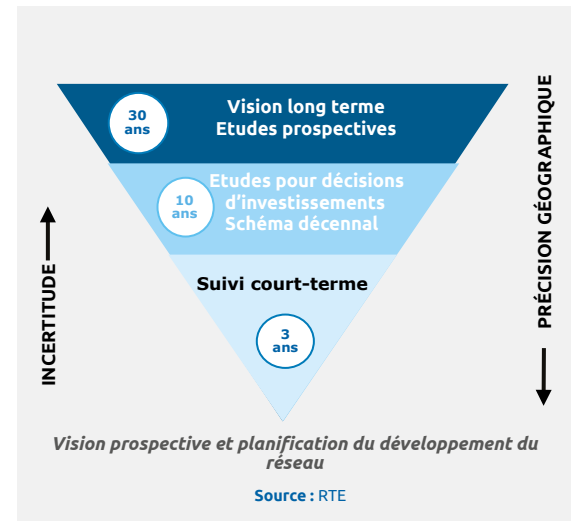
La vision prospective est ensuite affinée au fur et à mesure des études plus approfondies menées sur les projets, **en prenant en compte des hypothèses de plus en plus précises sur l'évolution des déterminants.**

**L'ensemble de ces études s'appuie sur les exercices** de la Programmation pluriannuelle de l'énergie, le Bilan prévisionnel, les Schémas régionaux de raccordement au réseau des énergies renouvelables (S3REnR) le Schéma décennal de développement du réseau (SDDR) et t le plan décennal de développement du réseau européen (TYNDP).

Le **Bilan prévisionnel de RTE** est une étude approfondie de l'évolution de l'équilibre entre la production et la consommation d'électricité. **Sa prochaine édition long-terme ira jusqu'en 2050 et étudiera des scénarios contrastés notamment un scénario avec un mix 100% EnR. L'élaboration de ces scénarios est largement concertée.**

Le **Schéma décennal de développement du réseau (SDDR)** établi par RTE est un document qui englobe et synthétise les visions court-terme, moyen-terme et long-terme de l'évolution du réseau de transport français (voir pages suivantes).

Enfin, les **S3REnR** permettent d'identifier et d'anticiper les besoins sur le réseau pour accueillir les ambitions de développement EnR régionales fixées par le préfet de région, à un horizon de 10 ans (voir pages suivantes).



# Intégration dans le réseau – À tous les échelons

Le schéma décennal de développement du réseau (SDDR) permet l'anticipation des besoins du système électrique de demain

**Le SDDR est une mission confiée à RTE par la loi depuis 2011. Il éclaire les diverses parties prenantes sur les conséquences techniques, économiques et environnementales de l'évolution du réseau électrique, selon différents scénarios de politiques énergétiques à différents horizons :**

- **à 3 ans :** il répertorie les investissements déjà décidés ainsi que les nouveaux investissements qui doivent être réalisés dans les trois ans
- **à 10 ans :** il mentionne les principales infrastructures de transport qui doivent être construites ou modifiées, en fournissant un calendrier de tous les projets d'investissements
- **à plus long terme : la dernière édition publiée en 2019** fournit une vision stratégique et prospective de l'évolution globale du réseau jusqu'à 2035, en évaluant les impacts économiques et environnementaux des différents scénarios du Bilan Prévisionnel et de la PPE. **Ces travaux mettent notamment en lumière le fait que les besoins d'adaptations du réseau de transport seront largement déterminés par le rythme effectif de développement des énergies renouvelables, et restent du second ordre par rapport au coût global de la transition énergétique.** Pour la réalisation de ce dernier volet, RTE a associé de manière élargie les parties prenantes à l'élaboration du schéma 2019, via une consultation formelle qui a eu lieu au mois de mai 2018.

Le SDDR est soumis à l'approbation de la CRE. La consultation publique de la CRE sur le SDDR s'est terminée le 8 juin, celle-ci en a délibéré à l'été 2020.

**France Energie Eolienne souligne que** le SDDR doit permettre d'accompagner les acteurs de la transition énergétique en donnant une feuille de route claire de la restructuration du réseau électrique sur le long terme.



# Intégration dans le réseau – À tous les échelons

## Les S3REnR permettent de mieux raccorder les énergies renouvelables

**Les S3REnR, institués par la loi « Grenelle II », sont des outils de planification des réseaux élaborés par RTE, avec l'appui des gestionnaires de réseaux de distribution, dont Enedis. Ils permettent d'anticiper les besoins en capacités d'accueil sur le réseau réservées aux énergies renouvelables et optimisent les évolutions des réseaux électriques en conséquence. Les S3REnR ont un triple enjeu : offrir une visibilité à moyen terme sur les capacités d'accueil des réseaux (d'ici 2030 en principe pour les prochains schémas) ; optimiser et anticiper les développements nécessaires pour atteindre ces objectifs et mutualiser les coûts entre producteurs pour ne pas faire porter l'ensemble des coûts d'infrastructures aux premiers projets EnR.**

**Les S3REnR sont entrés dans une nouvelle phase d'élaboration.** En effet, conformément à l'ordonnance n°2019-501, les préfets de chaque région fixeront les capacités d'accueil des nouveaux schémas en tenant compte des objectifs nationaux de développement EnR définis par la PPE, des ambitions régionales définies dans les SRADDET ainsi que de la dynamique de développement des EnR dans la région, et ce, dans les conditions fixées par le décret n°2020-382 du 31 mars 2020 et reprises dans le code de l'énergie.

**RTE collabore d'ores et déjà avec les territoires pour l'élaboration de ces nouveaux schémas.** Les travaux de révision sont désormais engagés sur de nombreuses régions, en particulier sur Nouvelle Aquitaine (dont la phase de consultation publique s'est terminée fin 2019), Hauts-de-France (dont le schéma est entré en vigueur en 2019), Grand Est, AURA, Centre-Val de Loire, Occitanie, et Sud-Provence-Alpes-Côte d'Azur. Seules Nouvelle-Aquitaine, AURA, Sud et Grand-Est disposent, à ce jour, d'objectifs fixés par le préfet.

En attendant l'approbation des schémas révisés, les gestionnaires de réseau mettent en œuvre les adaptations de schéma permettant de résorber les saturations locales identifiées sur les réseaux.

Les S3REnR ne sont pas suffisants pour couvrir la totalité des besoins du réseau pour accueillir les EnR, les ouvrages grands transports et inter-régionaux n'y étant pas inclus. D'où la nécessité de mettre en œuvre le SDDR, qui, lui, couvre l'ensemble des besoins pour obtenir à l'horizon 2035 un réseau pensé pour un mix diversifié.

# Intégration dans le réseau – À tous les échelons

A ce jour, les 20 S3REnR cumulent 29 GW de capacités d'accueil d'EnR sur le territoire...

## Chiffres clés 2019

- Cumul des capacités d'accueil réservées aux EnR : **29 GW**
- Le montant total des investissements pour l'accueil des EnR dans les S3R s'élèvent à 1041 M€ de créations et 272 M€ de renforcements

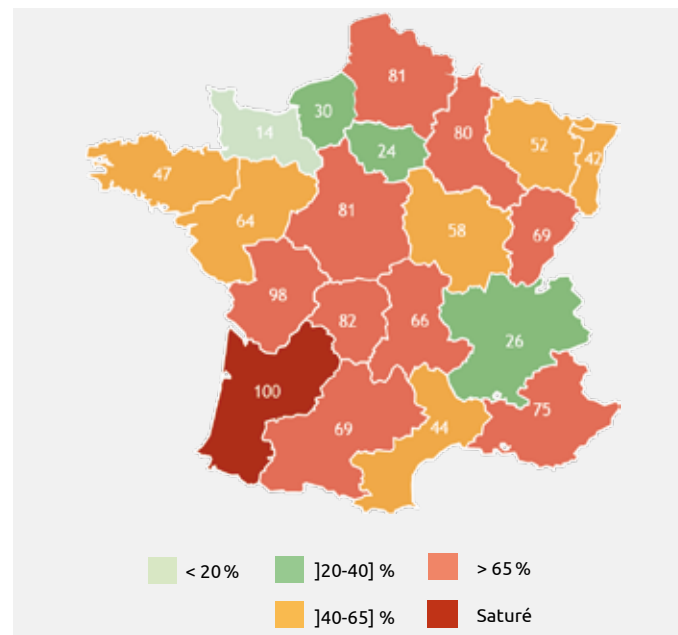
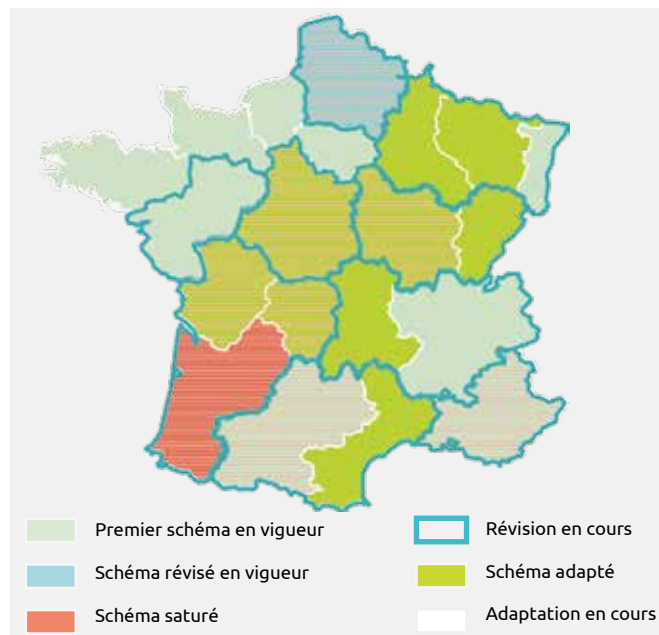
## Montant total des investissements pour l'accueil des EnR dans les S3REnR à fin 2019

- Travaux sur le réseau d'Enedis : 203 M€ dépensés à fin 2019 en créations d'ouvrages et 38 M€ en renforcement
- Travaux sur le réseau de RTE : 177 M€ pour les créations d'ouvrages et 112 M€ en renforcement



# Intégration dans le réseau – À tous les échelons

... Néanmoins, de fortes disparités subsistent dans l'utilisation des capacités d'affectation réservées à mi-année 2020



Source : RTE, 2020

# Intégration dans le réseau – À tous les échelons

## L'INSAS vise à accélérer le raccordement

Un Groupe de Travail lancé en 2018 au sein du Comité des utilisateurs du réseau de transport d'électricité (CURTE) sur l'**accélération et l'anticipation des adaptations** du réseau nécessaires au développement des énergies renouvelables a conduit à la mise en place de l'Instance Nationale de Suivi et d'Amélioration des S3REnR (INSAS) regroupant **les fédérations de producteurs, les gestionnaires de réseaux, les services de la CRE et de la DGEIC**. L'INSAS vise à partager les visions régionales et nationales des S3REnR en vigueur, l'évolution des perspectives de gisements des énergies renouvelables, l'avancement des études et des procédures anticipées, et de préparer des propositions communes pour améliorer la mise en œuvre des schémas.

**Plusieurs réalisations concrètes issues de ce GT et placées sous la responsabilité de l'instance nationale :**

### •Lancement de la réalisation d'une plateforme de collecte des gisements de production EnR

**Cet outil, en cours de définition par RTE en proche collaboration avec les GRD et les fédérations professionnelles**, permettra de recueillir directement auprès des producteurs les informations relatives aux gisements de production EnR à intégrer lors de l'élaboration et de la vie des S3REnR, en respectant le niveau de confidentialité qu'ils auront défini eux-mêmes. **Cet outil permettra ainsi d'améliorer la robustesse des gisements pris en compte** et de ce fait, la pertinence des adaptations des réseaux publics nécessaires.

120

### •Élaboration d'une note de synthèse des propositions pour accélérer et anticiper les adaptations du réseau

La principale proposition porte sur l'**anticipation des études et des procédures administratives** sur les ouvrages structurants (délai de réalisation supérieur à 4 ans). **L'objectif est de réaliser un exercice prospectif tous les 5 ans au maximum** permettant, sur la base de gisements localisés par les fédérations de producteurs, d'identifier et concerter avec les parties prenantes les ouvrages structurants qui seront nécessaires au-delà des S3REnR en vigueur, puis de lancer les études et procédures administratives de ces projets sans attendre la révision du schéma. Le décret de mars 2020 a d'ailleurs intégré les modalités de financement de ces études dans le cadre des S3REnR. Une procédure opérationnelle de mise en œuvre de l'anticipation des études et des procédures administratives est en cours de finalisation au sein de l'INSAS.

### •Mise en place d'un Groupe de Travail sur l'opportunité de développer un nouveau palier technique sur les réseaux publics

Fin 2019, ce groupe a débuté ses travaux d'analyses techniques et économiques globales de nouvelles structures de réseau, **afin d'évaluer l'opportunité de développer un nouveau palier pour faciliter le raccordement des EnR**.

# Intégration dans le réseau – L’innovation

## Les gestionnaires de réseau innovent pour accélérer le raccordement des énergies renouvelables

**Aujourd’hui construire un poste source prend environ 2 ans** (précédés d’une instruction administrative de 3 ans). Enedis s’est engagée dans une transformation du processus et des conditions industrielles de construction des Postes Sources avec le **Poste Source Express** : **une innovation qui réduit de moitié la durée des travaux de construction d’un Poste Source.**

### Les 2 principes du Poste Source Express :

- **Modularité** : la nature modulaire du Poste-Source Express permet une pré-construction en usine d’éléments structurels, une mise en parallèle des processus, un assemblage accéléré et une grande souplesse.
- **Standardisation** : la rationalisation des processus et du contrôle qualité, ainsi que l’uniformisation des matériels.



121

Le Poste-Source Express est une **solution adaptée au déploiement accéléré en milieu rural** et dont les performances dépendent également des conditions de raccordement au réseau de transport.



### 2020 : première mise en service

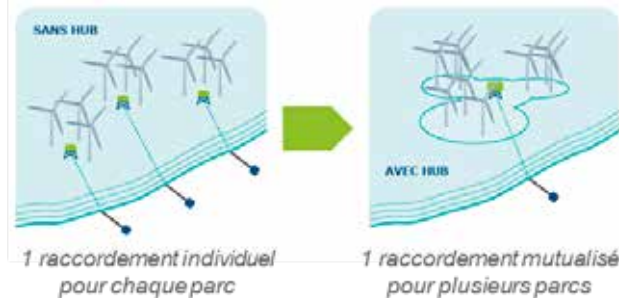
Le 1<sup>er</sup> **Poste Source Express** a été mis en service en Juillet **2020** à Montpinson en Champagne-Ardenne et **5 nouveaux Postes Sources Express**, répartis sur l’ensemble du territoire, le seront **avant 2025**.

*Travaux de construction du Poste-Source Express de Montpinson*

# Intégration dans le réseau – L'innovation

## Construire un nouveau réseau en mer, pour raccorder plus de 10 GW d'éolien en mer sur les 15 prochaines années

Les objectifs de la filière éolien en mer sont définis dans la **Programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE)**. Le décret fixant la PPE paru en avril 2020 fait suite à la **loi Energie-Climat** adoptée en novembre 2019. Le Gouvernement français affiche la volonté d'accélérer le déploiement de l'éolien en mer avec une ambition de lancement et d'attribution de futurs projets à hauteur d'1 GW par an. Les projets attribués à partir de 2024 porteront notamment sur des extensions des parcs éoliens en mer précédents, avec un raccordement mutualisé.



Levier d'optimisation pour le raccordement des parcs éoliens en mer

RTE se positionne au service d'un **développement ambitieux des énergies marines renouvelables**.

- Trois leviers d'optimisation pour baisser les coûts et tenir les délais:
  - le développement de **plateformes mutualisées** et modulaires (« hubs ») et la diversification des usages de ces plateformes ;
  - le **dimensionnement adéquat de la puissance des parcs**, en vue d'éviter les effets de seuil ;
  - la **standardisation** de certaines infrastructures pour faire des économies d'échelles.
- Ces leviers dépendent en partie de l'Etat et illustrent la **nécessité d'une planification à long terme** (économie de 15% sur les coûts de raccordement pour les futurs appels d'offres).

- Le SDDR se prolongera par l'élaboration de « **plans de développement du réseau en mer** », à l'échelle de chaque façade maritime pour faciliter la planification conjointe réseau à terre / raccordements en mer. Cet exercice sera par exemple réalisé sur la façade normande à l'issue du débat public en cours.

# Intégration dans le réseau – L'innovation

## Les Offres de Raccordement Intelligentes (ORI) avec limitation de la puissance injectée permettent des économies d'investissement, ainsi qu'un raccourcissement des délais de raccordement

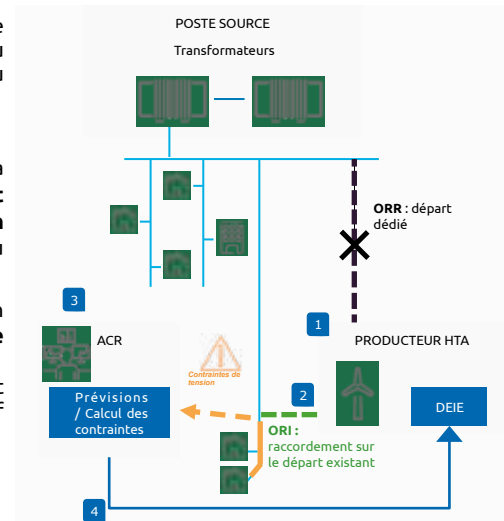
Les Offres de Raccordement Alternatives avec limitation de la puissance injectée en cas de contrainte sur le réseau assurent une **économie d'investissement** sur les ouvrages de réseau à mettre en œuvre (de l'ordre de 100 k€/MW raccordé). Elles permettent une **réduction du délai** de raccordement (de l'ordre de 7 à 10 mois).

### Principes

1. Un producteur HTA (Haute Tension A) fait une **demande de raccordement** au réseau à Enedis qui effectue une étude de réseau afin de déterminer **l'offre de raccordement de référence**, permettant l'injection de la totalité de la puissance de l'installation en **permanence**. Cette offre peut, dans certains cas, nécessiter la création d'un nouveau départ ou de renforcements sur le réseau HTA existant.
2. Sur demande du producteur, Enedis peut proposer une ORI, consistant en un **raccordement plus rapide et plus économique** (sur un départ existant), **en échange de la possibilité de limiter l'injection sur le réseau en cas de contrainte**.
3. En cas de contrainte estimée avant le temps réel, Enedis envoie au producteur ayant fait le choix de l'ORI un **ordre temporaire de limitation d'injection** via son Dispositif d'Echange d'Informations d'Exploitation (DEIE).

### Une intégration du dispositif dans un nouveau cadre réglementaire en 2020

Après avoir mené plusieurs expérimentations, le **cadre réglementaire a évolué** en 2020 avec la publication d'un décret **modifiant le code de l'énergie** et offrant la possibilité de souscrire à ces offres dans un cadre hors expérimentation. Un arrêté devrait paraître prochainement détaillant les conditions d'application de ces offres comprenant notamment **deux conditions cumulatives** : une puissance garantie à tout moment d'au moins 70% de la puissance de raccordement demandée et une énergie écrêtée annuellement ne dépasse pas 5% de la production annuelle de l'installation. Les travaux d'industrialisation de ces offres alternatives démarreront dès la parution de cet arrêté.



# Intégration dans le réseau – L’innovation

## Accélérer la transition énergétique en s’appuyant sur des flexibilités locales et une optimisation du dimensionnement des réseaux

L’**optimisation du dimensionnement des postes sources S3REnR** correspond au plus grand gisement de valeur des flexibilités sur le réseau public de distribution pour la collectivité. C’est l’objet du projet **ReFlex** d’Enedis en association avec RTE.

### De nouvelles hypothèses de dimensionnement des postes-sources

Lors de l’élaboration des S3REnR, les transformateurs des postes sources HTB/HTA sont aujourd’hui dimensionnés pour garantir l’évacuation de 100% de la puissance maximale injectable du gisement identifié de producteurs renouvelables. L’**activation ponctuelle de flexibilités** de production lors des périodes de contraintes de transit liées à l’injection au niveau d’un transformateur HTB/HTA représente un **levier de flexibilité collectif** pour **augmenter la capacité d’accueil des postes-sources S3REnR**.

### Mise en œuvre : un appel au marché

Les activations des flexibilités feront l’objet de **compensation financière individuelle** de l’énergie écrêtée. L’**appel au marché** est la voie privilégiée, pour concurrencer l’écrêtement de production techniquement accessible, pilotable, à un **coût encadré et maîtrisé**.



### 2020 : des expérimentations pour valider la mise en œuvre de ces flexibilités

- Lancement sur **deux zones** : la **Somme** et les **Landes**,
- Utilisation envisagée du dispositif de « **bac à sable réglementaire** », introduit par la loi Energie Climat,
- Des études et une feuille de route conjointes avec RTE,
- Un **appel au marché en 2021** pour des **1<sup>ères</sup> activations de flexibilités**, lors de contraintes, en **2022**,
- Concertations avec acteurs externes lancées dès 2019.

### Un gisement de valeur pour la collectivité

Des études réalisées par Enedis en 2018 ont démontré que :

- **l’économie cumulée à 2035** pour la collectivité pourrait aller jusqu’à **250 M€**,
- **2,5 GW de capacité d’accueil supplémentaires** pourraient être **immédiatement dégagés**, soit l’équivalent d’une année de raccordement et **7,5 GW d’ici 2035**.

*Source : Feuille de route pour la transformation des méthodes de dimensionnement des réseaux, Enedis, 02/2020*



# Intégration dans le réseau – L’innovation

## Les opérateurs investissent dans des projets R&D à long terme pour développer un réseau capable d’intégrer des quantités croissantes d’EnR

Enedis et RTE s’impliquent dans des projets ambitieux de recherche à long terme et nouent des liens étroits avec les parties prenantes des territoires et des partenaires variés (industriels, PME-PMI, start-up, universités et laboratoires) afin de collaborer à l’édification du réseau électrique du futur.

### Budgets R&D en lien avec la transition énergétique :

- **RTE** : 55 M€ sur les 140 M€ du Turpe 5 entre 2017 et 2020
- **Enedis** : 144 M€ sur 225M€ de budget R&D entre 2017 et 2020

### Partenariats – les nouveautés :

#### RTE :

- Adhésion à **France Energies Marines** et à l’initiative **Bits&Watts** de l’université de Stanford.
- Partenariat autour de la biodiversité avec le **Museum d’Histoire Naturelle** avec lequel RTE mène le projet SPECIES (Submarine Power Cables Interactions with Environment and associated surveys)

#### ENEDIS :

- Partenariat renforcé avec **Grenoble INP** sur l’intégration des EnR, le fonctionnement des réseaux et les formations aux métiers des SmartGrids.
- Nouveaux partenariat avec **l’Institut Interdisciplinaire d’Intelligence Artificielle 3IA** dont les travaux pourront s’articuler autour de l’intégration des EnR et la conduite des réseaux.

### CAP R&D – feuille de route R&D de RTE

**RTE a lancé en 2020, une démarche pour établir une feuille de route de R&D pour les dix prochaines années.** En effet, les dix dernières années ont permis à RTE d’engager et de porter certaines réflexions notamment **concernant l’intégration des énergies renouvelables au systèmes électriques.** Certaines de ces réflexions arrivent à maturité ce qui poussent RTE à réactualiser les objectifs à traiter pour l’avenir. De plus, les enjeux à long-terme évoluent : à la performance technico-économique s’ajoutent la solidarité, le climat, la biodiversité, la sobriété et la résilience. **Ainsi, RTE souhaite se doter d’une nouvelle feuille de route qui guidera ses axes de recherches et permettra de répondre aux enjeux long terme.**

Modalité : les travaux sur la feuille de route R&D de RTE sont partagés et concertés dans le cadre de la CPSP

Échéance : fin d’année 2020

# Intégration dans le réseau – L'innovation

## OSMOSE : un projet de recherche européen ambitieux

L'appel à projet Low Carbon Electricity du programme européen de recherche H2020 est à l'origine du lancement d'OSMOSE. Ce dernier porte sur la « Démonstration de l'intégration du système énergétique avec des technologies de **réseau intelligent** de **transmission** et de **stockage** avec une part croissante d'ENR ». OSMOSE vise à anticiper les besoins de flexibilité pour l'intégration **croissante** d'énergies renouvelables sur les réseaux.

Il s'agit d'une **approche globale** considérant l'ensemble des **besoins en flexibilité** (équilibrer l'offre et la demande sur les marchés de l'énergie, optimiser les services systèmes existants et futurs et permettre la gestion dynamique du réseau) et des **sources de flexibilité** (notamment stockage, gestion de la demande, flexibilité des ENR). Cette approche permet ensuite de faire émerger les points **convergents** des différentes solutions, par exemple de déterminer le meilleur emplacement du réseau où installer une capacité de stockage afin d'optimiser son coût et son efficacité.

**RTE est leader de ce projet européen et responsable du lot visant à la mise en place d'un démonstrateur de batteries** permettant d'expérimenter la fourniture de plusieurs types de services avec la même installation. Ce démonstrateur testera, en conditions réelles, les régulations définies par le projet européen **MIGRATE**. Ce projet étudie l'impact, sur le fonctionnement dynamique du réseau, de **l'insertion massive des énergies renouvelables raccordées au travers de l'électronique de puissance**. Le démonstrateur testera la mise en place de technologies de **stockage** multiservice en plus du service de **synchronisation** comme l'équilibre offre demande, la gestion de la fréquence et des congestions. Le multiservice permettra de mieux rentabiliser les solutions de stockage.

### Éléments clés




- **Dates** : 4 ans, à compter de 2018
- **Budget** : 28 millions d'euros
- **Membres du consortium** : **33 partenaires** issus de **9 pays** et comportant des gestionnaires de transport européens, des producteurs d'électricité, des équipementiers-intégrateurs généralistes, des équipementiers-intégrateurs spécialistes en stockage électrochimique et en électronique de puissance, des informaticiens, des fournisseurs de services énergétiques, des sociétés de conseil et logiciels et des centres de recherche et universités

# Intégration dans le réseau – Formation

## RTE anticipe l'avenir au travers de sa formation

Afin d'anticiper l'ensemble des transformations à venir – économiques, technologiques, démographiques et sociétales – et conformément aux orientations du projet d'entreprise, **les axes de formation de RTE** sont régulièrement mis à jour. Pour la période 2020-2022 les axes visent à **consolider le socle actuel des compétences fondamentales** tout en l'adaptant aux **nouvelles technologies** (objets connectés, traitement des données...), **aux nouvelles façons de travailler** (drones...), **aux nouveaux champs d'intervention** (liaisons sous-marines, liaisons haute tension à courant continu...) **et à l'intégration de la RSE dans les formations métiers** (écoute et dialogue avec les parties prenantes, développement des compétences environnementales, dont la démarche d'écoconception, renforcement de la culture sécurité au travail...).

Le campus de formation de RTE, situé à Jonage, accueillera plusieurs milliers de stagiaires chaque année. Aujourd'hui, c'est déjà plus 7000 salariés qui sont formés chaque année.

En 2021, le site de Jonage accueillera des répliques de station de conversion HVDC ce qui ouvrira des nouvelles perspectives pour la mise en œuvre de partenariats avec des industriels et la mise en place de formations collaboratives sur ces technologies.



# Les enjeux de l'éolien

128

## F. Les enjeux de la flexibilité

# Les enjeux de la flexibilité

Le recours aux flexibilités de production est amené à se généraliser en raison de l'intégration croissante des énergies renouvelables sur le réseau

**Contexte :** Les flexibilités permettent la définition de nouveaux paramètres de dimensionnement du réseau, prenant en compte le nombre très faible d'occurrences des injections à puissance maximale de plusieurs parcs EnR sur une même zone. Le déploiement des flexibilités de production **évite ainsi les congestions** sur le réseau de transport et de distribution et **l'installation de nouveaux équipements** qui ne seraient utiles que quelques heures dans l'année. Cela **diminue le besoin d'adaptation du réseau de transport**, optimise les transits à l'interface entre les réseaux de transport et de distribution en utilisant les capacités résiduelles des transformateurs, et limite les travaux sur les réseaux HTA associés au raccordement des producteurs.

Le gain d'avoir recours ponctuellement à ces flexibilités de production serait de deux ordres :

- 1. un gain matériel et économique**, en installant moins de transformateurs et de linéaire de câble et en exploitant les infrastructures existantes au plus près de leurs limites techniques;
- 2. un gain de temps**, en réduisant les délais de raccordement pour les producteurs se trouvant à proximité d'infrastructures existantes disposant, grâce au recours à ces flexibilités, de capacités d'accueil résiduelles.

Dans l'hypothèse d'un développement des EnR conforme au projet de PPE actuel, les gestionnaires de réseaux ont estimé


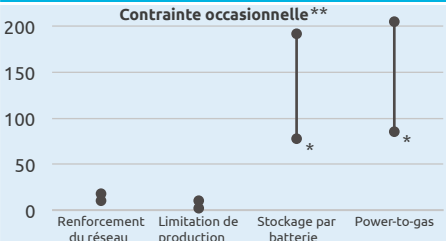
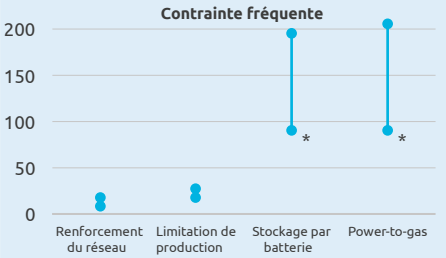



Au niveau du réseau de transport  
**Des gains de 7 milliards d'euros d'ici 2035**  
 en effaçant environ 0,3 % de l'énergie produite annuellement par les installations EnR des filières éolienne et solaire à cet horizon.

Au niveau du réseau de distribution  
**Des économies de 250 millions d'euros pour la collectivité et 7,5 GW de capacités d'accueil supplémentaires d'ici 2035**  
 par l'effacement d'environ 0,06% de l'énergie produite par les nouvelles installations EnR à raccorder d'ici à cette date.

Source : Valoriser les flexibilités de production pour intégrer les EnR aux réseaux électriques, UFE, FEE, SER, RTE, Enedis, 2019

# Les enjeux de la flexibilité

Seuls le renforcement du réseau et les automates de limitation de production semblent actuellement viables économiquement

Solutions considérées	Principe	Coût annualisé (k€/MW/an)	Maturité
 <p><b>n°1 : Renforcement du réseau</b></p>	Le renforcement du réseau constitue la solution structurelle historiquement retenue.	<p><b>Contrainte occasionnelle**</b></p>  <p><b>Contrainte fréquente</b></p> 	Eprouvée
 <p><b>n°2 : Automates de limitation de la production EnR</b></p>	La limitation de la production consiste à réduire la production variable de manière temporaire, lorsque la puissance produite dépasse la puissance transmissible par l'ouvrage.		Eprouvée
 <p><b>n°3 : Stockage par batterie</b></p>	La batterie est positionnée au niveau de la source de production. L'énergie qui ne peut être stockée dans la batterie (pendant les périodes de congestion profonde et/ou lorsque les capacités de stockage de la batterie sont saturées) est écrêtée.		Prototype (RINGO)
 <p><b>n°4 : Power-to-gas</b></p>	L'électrolyseur*** est positionné au niveau de la production renouvelable variable et permet d'augmenter la consommation locale, notamment lorsque la production renouvelable est importante.		Prototype (Jupiter 1000)

\* Dans l'hypothèse basse, les solutions de stockage par batterie et de power-togas sont dimensionnées à 50% de la puissance maximale de dépassement : la mise en œuvre d'écrêtement de production complémentaire est donc nécessaire

\*\* Contrainte : durée de dépassement de la puissance transmissible par le réseau existant - Contrainte occasionnelle correspond à une centaine d'heures par an, contrainte fréquente à 1 000 heures par an.

\*\*\* L'électrolyse de l'eau permet la transformation d'eau en hydrogène injecté, sous certaines conditions, sur le réseau gazier.

Parmi les flexibilités, seules les limitations ponctuelles de production renouvelables semblent, à ce jour, susceptibles de constituer une alternative économique au renforcement du réseau à moyen terme

Source : SDDR 2019, RTE



# Les enjeux de la flexibilité

## Les Automates d'écrêtements ponctuels de la production EnR – un choix économique favorable au développement des EnR

**Le projet NAZA (Nouveaux Automates de Zone Adaptatifs)** est un projet ambitieux porté par RTE afin de pousser plus loin l'optimisation des infrastructures existantes du réseau électrique.

Ces automates permettront d'optimiser la contribution des EnR au Système Electrique en modulant leur production à la baisse. Ceci vient accroître, toutes choses étant égales par ailleurs, les capacités d'accueil des réseaux de répartition, sans pour autant retarder la mise en œuvre des ouvrages structurants.

« Les automates de zone représentent une brique essentielle de la stratégie de numérisation de RTE, au service de la transition énergétique. Ils concrétisent notre volonté de doubler notre réseau d'infrastructures physique d'un réseau numérique afin d'optimiser l'utilisation du réseau de transport. » Responsable du projet chez RTE

**Les Automates de zone** permettront de **soutenir les transitions énergétiques et environnementales** et permettront d'exploiter le réseau de transport au plus proche de ses limites sans dégrader le niveau de risque actuel.

En parallèle des aspects techniques, des réflexions sont menées sur les aspects contractuels d'appel à ce genre de dispositif.

### Eléments clés

- **Dates** : depuis 2017
- **Budget** : 120 M€ de coût de déploiement (15 prochaines années)
- **Lieu** : expérimentation en cours sur les zones de
  - Melle Longchamp (zone de Niort / Poitiers / Limoges / Angoulême)
  - Jalancourt (Côte d'Or)
  - Ventavon (Hautes-Alpes)
- **Point sur le projet** : les expérimentations permettent d'envisager la phase d'industrialisation de la solution afin de pouvoir la déployer sur l'ensemble du territoire, dans les zones présentant des contraintes de transit.

« L'arrivée des automates NAZA va nous permettre d'améliorer la gestion du réseau de répartition dans les zones à fort développement EnR, où les contraintes de transit sont de plus en plus nombreuses. », chargé d'affaires au service Exploitation.



# Les enjeux de la flexibilité

## RINGO – expérimentation sur les services offerts par une solution de stockage

Le projet **RINGO** vise à expérimenter de nouvelles flexibilités pour le système électrique qui seront nécessaires afin d'accélérer la transition énergétique.

Le projet RINGO propose l'expérimentation de batteries stationnaires pour gérer les flux d'électricité sur le réseau de transport. **L'intérêt est de pouvoir stocker les « trop-pleins », locaux d'électricité produits par les énergies renouvelables afin de les déstocker plus tard.** Cette technologie permet de favoriser l'accueil des énergies renouvelables en augmentant les capacités d'accueil du réseau de transport et en évitant la construction de nouvelles lignes électriques.

Le projet RINGO s'articule autour de 3 sites pilotes, la réalisation de ces trois sites étant confiée à 3 groupements de constructeurs différents afin d'expérimenter des technologies différentes:

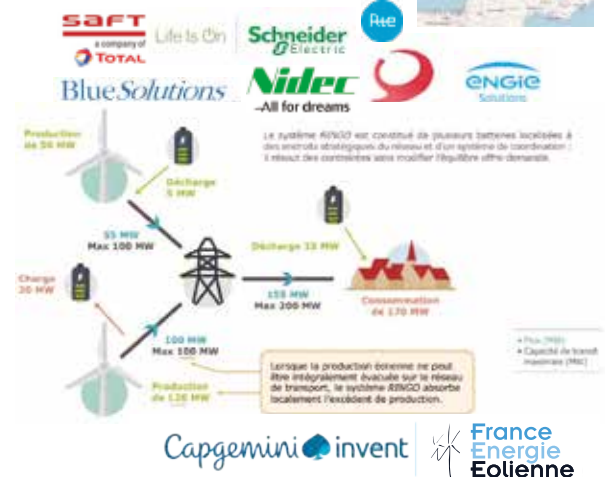
- Ventavon dans les Hautes-Alpes (10 MW et 30,2 MWh) est réalisé par Blue Solutions (groupe Bolloré), SCLE SFE et Engie Solutions
- Vingeanne en Côte d'Or (12 MW et 37 MWh) est réalisé par NIDEC ASI
- Bellac en Haute-Vienne (10 MW et 30,8 MWh) est réalisé par Saft et Schneider Electric

L'objectif du projet est de démontrer la faisabilité de l'utilisation de batteries de grande taille pour gérer automatiquement les congestions dues aux pics de production des énergies renouvelables et d'acquérir une expertise sur ces batteries qui pourront être déployées demain à grande échelle.

*Classiquement, les batteries sont utilisées pour déplacer de l'énergie dans le temps. L'originalité de RINGO repose sur l'utilisation de moyen de stockage pour déplacer de l'énergie dans l'espace via la combinaison de trois technologies: celle du stockage, celle de l'électronique de puissance et celle du numérique.. Olivier Grabette – Directeur général adjoint de RTE.*

### Eléments clés

- **Dates :** Phase Etudes : 2017-2019  
Phase Travaux : 2020-2022  
Phase Expérimentation : 2022-2024
- **Budget :** 80 M€
- **Lieu :** 3 sites en France
- **Partenaires du projet :**





# Les enjeux de l'éolien

133

## G. Couplage avec le stockage

# Couplage avec le stockage

## Les solutions de stockage des énergies renouvelables sont un enjeu clé pour le mix électrique de demain

Le 23 avril 2020, la France s'est dotée d'une nouvelle stratégie énergie climat. **La PPE pour les périodes 2019-2023 et 2024-2028** a ainsi été publiée au Journal officiel. **Le stockage y est mentionné** sans que ne soit établie une feuille de route précise malgré l'enjeu majeur qu'il représente en raison du développement des énergies renouvelables.

Le stockage d'énergie peut se faire de différentes manières. L'énergie peut être stockée sous forme de **gaz** (naturel ou hydrogène), d'**hydraulique** (barrage ou STEP) ou enfin de **chaleur**. Le stockage est essentiel afin de renforcer la compétitivité des énergies renouvelables, l'éolien étant une source variable d'énergie, et le solaire une source intermittente.


En 2023, l'électricité d'origine renouvelable devrait représenter 27% de la production électrique et 33 à 36% d'ici 2028. Cependant la PPE le répète : « A l'horizon de la PPE, en 2028, avec la pénétration des énergies renouvelables et l'évolution du mix électrique fixées par la présente PPE, **il n'y a pas de besoins additionnels de stockage pour assurer l'équilibre offre demande.** »

Et si la PPE identifie bien **l'hydrogène comme «le moyen de stockage massif inter-saisonnier des énergies renouvelables électriques intermittentes le plus prometteur»** le texte repousse à 2035 voire 2040 son développement. Il faudrait attendre «au-delà de 2030-2035», pour que l'hydrogène contribue à l'intégration des énergies renouvelables au système électrique. **Néanmoins des premiers projets émergent et le secteur du couplage de la production d'énergie renouvelable avec stockage s'organise.**

Stockage mécanique  
=> pompage (STEP)

Stockage par air comprimé

Stockage électrochimique  
=> batteries lithium-ion  
notamment

 Stockage chimique  
=> l'hydrogène

Stockage thermique =>  
chauffage/climatisation

# Couplage avec stockage



Optimiser la performance

## Lhyfe veut produire de l'hydrogène à partir de parcs éoliens offshore

**Lhyfe est une start-up vendéenne fondée en 2017.** Son objectif est de produire de **l'hydrogène vert**, c'est-à-dire à partir d'énergies renouvelables, contrairement à **l'hydrogène gris**, le plus courant actuellement, produit à partir d'énergies fossiles.

Pour produire de l'hydrogène, **Lhyfe** utilise la technique de l'électrolyse de l'eau. L'électricité générée par les énergies renouvelables vient casser la molécule d'eau ( $H_2O$ ) en oxygène ( $O_2$ ) et en hydrogène ( $H_2$ ). Lhyfe prévoit de produire 300 Kg d'hydrogène par jour dans un premier temps avant d'atteindre plusieurs tonnes à terme.

Dans cette perspective, Lhyfe va construire en **2021 une unité de production d'hydrogène raccordée à un parc de huit éoliennes situé à Bouin, en Vendée.** L'hydrogène produit peut servir à de nombreuses applications dont la mobilité en alimentant par exemple les réseaux de bus.

L'ambition de la start-up est de produire de l'hydrogène grâce à l'éolien offshore notamment, et de démontrer la **viabilité économique** de ce projet. **Aucun électrolyseur n'a jamais été connecté directement à une source d'énergie renouvelable intermittente.** Cette innovation reposerait sur la robustesse des composants électroniques de l'électrolyseur et d'une solution logicielle développée par la société. Cette solution gère la variabilité de la **production d'électricité pour produire de l'hydrogène vert sans être relié au réseau électrique.**

Lhyfe a tissé plusieurs partenariats avec le Commissariat à l'énergie atomique (CEA), l'Alliance Marine Energy ainsi que l'Institut de recherche pour le développement (IRD).

Source : Lhyfe, étude Capgemini Invent



135

« Notre objectif est de produire une plateforme de production d'hydrogène offshore d'ici à **5 ans** »  
Matthieu Guesné, PDG de Lhyfe

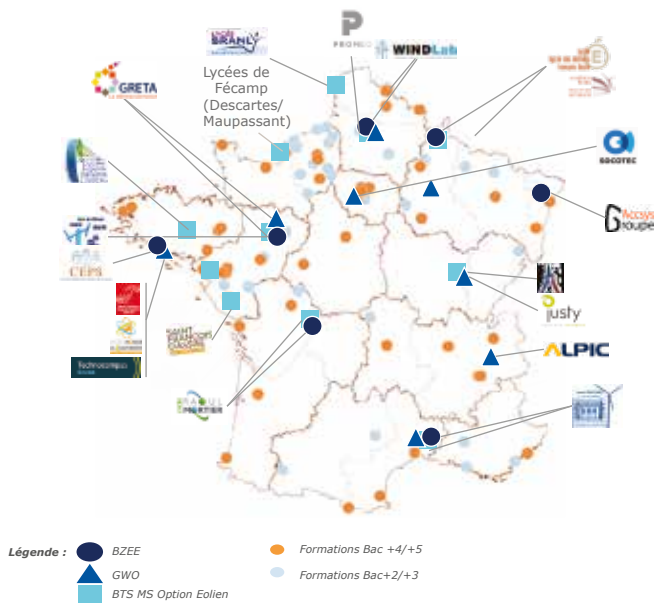
# Les enjeux de l'éolien

136

## H. La formation

# Formation

## Les formations de l'éolien en France



# Formation

## Des formations englobant tous les aspects métier du secteur éolien



### Partenariats industriels

Des industriels et des bureaux d'études sont aujourd'hui impliqués dans le processus de formation et mettent en place des partenariats clés avec les lycées, les universités et les centres de formation. Ces industriels participent au financement de la formation et offrent des opportunités de stage, débouchant souvent sur un CDI.



### Formations axées éolien

Les formations certifiantes internationales (BZEE et GWO) sont fortement valorisées par les entreprises de développement et d'exploitation de parcs éoliens. Ces formations peuvent être notamment suivies après le bac en Licence professionnelle, BTS ou DUT, mais également dans le cadre de la formation continue.



### Formations pour chaque niveau

Les formations propres à l'éolien sont présentes à tous les niveaux, du bac professionnel à l'école d'ingénieurs. Elles confirment le besoin de ressources expertes et formées en conséquence pour développer la filière.

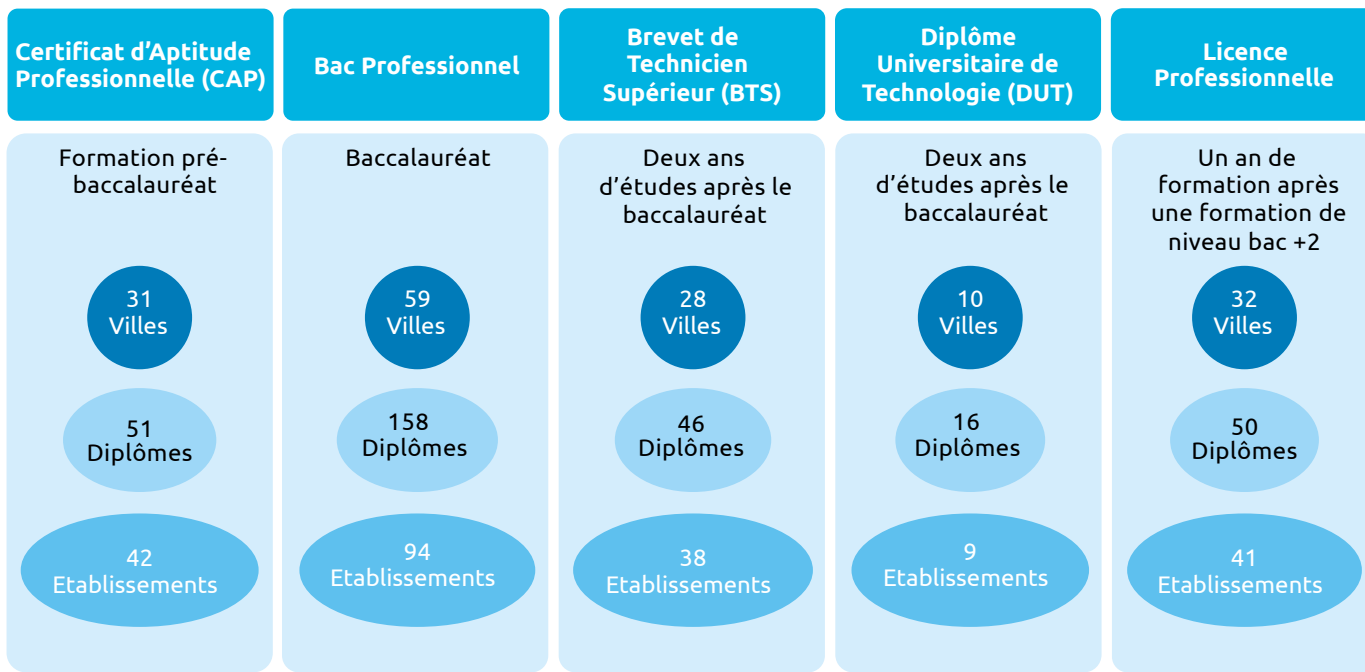


### Réparties sur le territoire

Ces formations sont fortement parrainées par les régions développant une production éolienne. Les centres de formation sont donc principalement localisés près des parcs de production.

# Formation

Des formations spécialisées, allant du CAP jusqu'à la licence professionnelle



# Formation

## Les formations de l'enseignement supérieur (bac + 4 et au-delà) étoffent leurs modules métiers

Sur le territoire français, on compte aujourd'hui :

Plus de 70 formations

25 Villes

Plusieurs centaines d'étudiants diplômés par an

Dans plus de 40 universités/Grandes écoles

Exemples d'Universités ou Grandes Ecoles



Zoom sur deux exemples de masters spécialisés en Energies Renouvelables sur le territoire français

### Mastère Spécialisé **Expert en projets et production énergies renouvelables**

Modules clés

Energie et environnement, ENR et maîtrise de l'énergie, technologies mises en œuvre, conception des systèmes à sources d'énergies renouvelables (YSER)

Partenaires



Débouchés

Développement / gestion de projet renouvelable, bureaux d'études, etc.



### Mastère spécialisé **Expert en Energies Marines Renouvelables**

Modules clés

Ingénierie des systèmes, ressources marines, aspects juridiques, économiques et environnementaux.

Partenaires



Débouchés

Développement / gestion de projet renouvelable, bureaux d'études, etc.



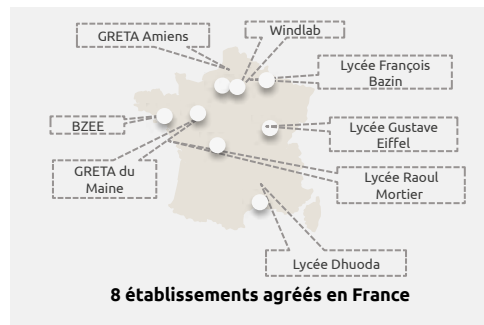
# Formation

## Deux formations internationales certifiantes présentes en France

### Certificat « Technicien de maintenance des systèmes éoliens »

- Formations complémentaires **en techniques de maintenance** des éoliennes et **des mesures de sécurité**
- En formation continue ou en apprentissage de durée entre **6 à 9 mois**
- 4 de ces centres de formation proposent également des modules du GWO
- Plus de 320 élèves formés et certifiés BZEE en 2016 en France, obtenant le certificat de technicien de maintenance des systèmes éoliens ou bien le certificat BZEE d'aptitude au travail en hauteur

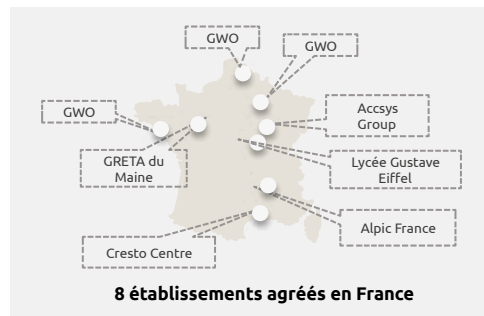
**Modules clés :** opération offshore, technologie éolienne, mécanique et électronique de la turbine, gestion des opérations...



### Certificat « Basic Safety Training »

- Formation focalisée sur la sécurité
- 5 modules à valider (sur 7 jours)
- Globalement aujourd'hui 25 000 personnes en Europe sont certifiées pour 3 à 5 modules du GWO
- Depuis décembre 2015 le certificat BZEE intègre des modules du GWO, notamment sur la sécurité des interventions de maintenance.

**Modules clés :** premiers secours, manutention manuelle, sensibilisation aux incendies, travail en hauteur, survie en mer



# Formation

## Focus sur : les centres de formation ENERCON à Longueil-Sainte-Marie



Le centre international de formation à l'installation à Longueil-Sainte-Marie dans l'Oise (60), mis en place par ENERCON, est ouvert depuis janvier 2018.

Ce centre a nécessité environ **3,5 millions d'euros d'investissement**.

D'une superficie de 6500 m<sup>2</sup>, il dispose de **5 formateurs, de 2 plateformes de montage et de 2 grues**. Il propose deux principaux axes de formation, en conditions réelles de terrain : installation des mâts, et montage et démontage et câblage des machines, nacelles, pales. Les formations sont dispensées pour les éoliennes de 3 à 4 MW. **350 techniciens d'ENERCON du monde entier sont formés chaque année dans ce centre.**

**Ces formations permettent à ceux qui en bénéficient de pouvoir accéder plus facilement à d'autres métiers.** C'est le cas des techniciens de maintenance qui peuvent, par le biais de passerelles métiers, devenir coordinateurs techniques, techniciens experts, techniciens HSE ou encore techniciens qualité.

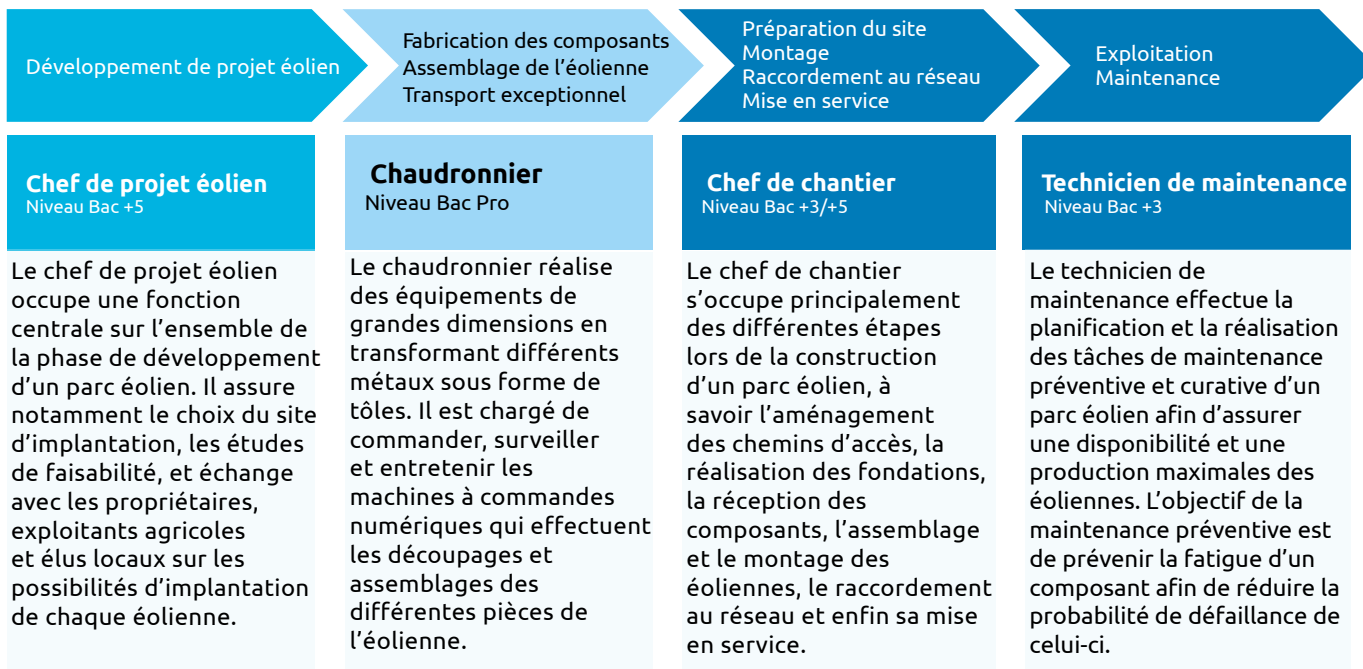
En septembre 2017, ENERCON a ouvert un autre centre de formation de 1400 m<sup>2</sup> dédié aux techniciens de maintenance, au Meux, dans l'Oise également. 600 personnes par an sont ainsi formées sur les habilitations électriques et mécaniques et autres formations auprès de 6 formateurs.

Ces ouvertures de centres de formation pour la filière éolienne en France, initiées par ENERCON, s'inscrivent dans la dynamique annoncée dans le cadre du Plan d'Investissement dans les compétences, avec le lancement de 10 000 formations aux métiers verts.



# Formation

## Exemples de métiers de l'éolien dans sa chaîne de valeur



# Les enjeux de l'éolien

144

## I. Economie circulaire

# Economie circulaire

## L'ensemble du processus de gestion de la fin de vie des installations (démontage, recyclage) est à la charge de l'exploitant

Les opérations de gestion de fin de vie des installations éoliennes sont strictement **encadrées par la loi\*** (**arrêté ministériel de prescriptions générales - AMPG**) et comprennent **l'ensemble du processus de démontage et de recyclage** des déchets des composants :

- Le **démontage** des installations de production d'électricité, des postes de livraison ainsi que les câbles dans un rayon de dix mètres autour des éoliennes et des postes de livraison doit être effectué.
- **Les fondations doivent être « excavées dans leur totalité »** jusqu'à la base de leur semelle, à l'exception des éventuels pieux , et remplacées par des terres de **caractéristiques comparables** aux terres en place à proximité de l'installation.
- **Le décaissement des aires de grutage et des chemins d'accès doit être comblé** par des terres de caractéristiques comparables aux terres à proximité de l'installation
- **Des obligations de recyclage sont fixées** : à partir du 1<sup>er</sup> juillet 2022, au minimum **90 % de la masse totale des éoliennes devront être recyclés ou réutilisés**, fondations incluses (ou 85 % lorsque l'excavation totale des fondations fait l'objet d'une dérogation du Préfet), ainsi **qu'au minimum 35% de la masse des rotors**.

**De la même manière, des obligations de recyclabilité sont également prévues par l'AMPG du 22 juin 2020** : pour les dossiers de demandes d'autorisations déposés à partir de 2023 et progressivement jusqu'à 2025, **les taux de réutilisation et de recyclabilité seront portés jusqu'à 95% de la masse totale de l'éolienne (fondations incluses) et jusqu'à 55% de la masse du rotor**.

Les éoliennes sont des installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE), ce qui nécessite que la question du démontage soit totalement anticipée. **En cas de défaillance de l'exploitant, ce qui ne s'est à ce jour jamais produit en France, les opérations de remise en l'état du site sont couvertes par des garanties financières d'exploitation, préalables à la mise en activité** d'une installation et fixées à 50 000€ par éolienne de 2MW et 10 000€ par MW supplémentaire lorsque la puissance unitaire est supérieure à 2 MW\*\*. Les modalités de constitution des garanties sont définies par le Code de l'Environnement.

*« Les déchets de démolition et de démantèlement sont réutilisés, recyclés, valorisés, ou, à défaut, éliminés dans les filières dûment autorisées à cet effet ».*

\*Article R. 553-6 du code de l'environnement (arrêté du 26 août 2011, modifié le 06.11.2014) – Arrêté du 22 juin 2020, publié au JORF le 30 juin 2020, entré en vigueur le 1<sup>er</sup> juillet 2020.

\*\* Les premiers démontages réalisés en France confirment cet ordre de grandeur.  
Source : Code de l'Environnement

# Economie circulaire

## Repowering, revamping, retrofit : tour d'horizon

Il existe 3 catégories de renouvellement d'un parc éolien :



La maintenance lourde (**retrofit**) : consiste à **remplacer certains composants** de l'éolienne (pales, générateur, etc.) afin de la moderniser. Cette évolution permet d'augmenter la durée de vie du parc grâce à du matériel plus récent, mais dans la **même configuration et avec les mêmes dimensions**.



Le réaménagement (**revamping**) : consiste à **remplacer certains composants** de l'éolienne. Ce remplacement est accompagné de **modifications des caractéristiques principales de l'installation** (dimensions des éoliennes, puissance, etc.)



Le renouvellement (**repowering**) : consister à **remplacer de façon totale ou partielle l'installation**, dans une optique d'amélioration des performances. Il entraîne de ce fait des **modifications des caractéristiques principales de l'installation** (dimensions des éoliennes, puissance, extension du parc, emplacements, etc.).

Les objectifs du renouvellement sont multiples :



**Augmenter la production d'électricité** d'un site en valeur absolue mais aussi grâce à des composants plus modernes capables de capter avec plus d'efficacité la force du vent



**Prolonger la durée de vie d'un parc** par le remplacement de certains composants qui se détériorent plus rapidement que d'autres pièces ou **établir un nouveau parc** plus performant grâce aux dernières technologies commercialisées



**Réduire les coûts d'exploitation liés à la maintenance** grâce à un matériel moderne et plus fiable.

Selon l'ADEME, la **puissance installée éolienne qui pourrait être gagnée à l'horizon 2030** par le remplacement des éoliennes existantes par des éoliennes plus puissantes **est estimée à plus de 5 GW**.

Source : Enerfip, Capgemini Invent

# Economie circulaire

## Focus sur le repowering, un levier de croissance essentiel pour la filière

La durée de vie moyenne d'une éolienne est d'une **vingtaine d'années**. Au terme de cette période, les exploitants ont l'opportunité de **renforcer le potentiel** de leurs parcs grâce aux avancées technologiques, sur des sites qui ont déjà fait leurs preuves et dont le **potentiel éolien est reconnu**. Ils peuvent alors remplacer les anciennes éoliennes par des technologies plus performantes, sans nécessairement en augmenter le nombre et donc **sans augmenter l'impact** sur les paysages, les activités et l'environnement proche.

Ces opérations présentent de nombreux avantages :

- alors que **l'exploitation de nouveaux sites** demande la réalisation de **nombreuses études** pour évaluer le potentiel, le **prolongement de la durée de vie d'un site déjà équipé** permet de s'appuyer sur un ensemble de données connues sur les **ressources disponibles**, tout en profitant des **infrastructures existantes** : accès, poste de livraison, raccordement...
- le remplacement des anciennes turbines par des machines aux rendements plus élevés permet **d'exploiter une plus grande quantité d'énergie** ;
- ces opérations permettent de **préserver les emplois locaux** et de **fournir aux municipalités des revenus constants**, sous la forme d'impôts locaux sur les parcs éoliens en exploitation ;
- **l'amélioration du matériel** permet de diminuer les risques et les nuisances qui peuvent être induits par l'installation.



147

Source : Enerfip, Capgemini Invent

LES ENJEUX

# Economie circulaire



Renforcer l'adhésion des citoyens et la durabilité

**BORALEX**

## Le parc de Cham Longe, en Ardèche, un exemple de repowering

Développé par Boralex et mis en service en **2005**, ce parc éolien est constitué de **14 éoliennes** pour une puissance totale installée actuelle de **22,6 MW**. Il est situé dans le **département de l'Ardèche**. Situées à 1 497 m d'altitude, les éoliennes de Cham Longe sont **les plus hautes de France**.

Après 15 ans d'exploitation, plutôt que de mettre en œuvre une suite d'**opérations de maintenance lourde**, Boralex s'est donc penchée sur la possibilité de **renouveler complètement le parc** afin de prolonger sa durée de vie. C'est ce que l'on appelle un **repowering**. À la suite de ce renouvellement, la puissance totale du site passera de 22,6 à **39,95 MW grâce à des éoliennes plus performantes**.

**Il s'agit du premier parc en renouvellement ouvert au financement participatif citoyen**. L'opération a été réalisée *via* la plateforme Enerfip. En 1 mois et demi, de mi-juillet à fin août 2019, les 435 000€ recherchés ont été atteints.

Le nouveau parc éolien de Cham Longe produira **106 millions de kWh d'électricité par an**, soit l'équivalent de la **consommation électrique annuelle de 45 400 personnes** vivant en France. Le projet entraînera également une **augmentation significative des retombées financières pour la collectivité jusqu'en 2040**.



Parc éolien de Cham Longe

148



# Economie circulaire

## Bien que limité en France, le repowering dispose de nombreux atouts notamment sur le plan environnemental

Le repowering est conçu pour donner **une seconde vie aux éoliennes** désinstallées.

A ce jour, 82 à 95 % des matériaux qui composent une éolienne sont recyclables ou réutilisables :

- Aciers et métaux, présents en très grandes quantité, peuvent être **recyclés par des ferrailleurs**
- Le béton utilisé dans les fondations peut être concassé et **réutilisé pour d'autres projets locaux extérieurs à l'éolien**
- Les câbles et composants électroniques disposent de leur propre **filière de collecte et de recyclage via la DEEE** (Déchets d'Equipements Électriques et Electroniques)
- Les pales sont notamment constituées de matériaux composites, dont les déchets pourront être transformés en **combustible solide de récupération (CSR)**. Ce composant reste celui pour lequel des voies supplémentaires de recyclage doivent être trouvées pour améliorer la recyclabilité de l'installation.
- Les composants d'une éolienne peuvent également **être réutilisés sur d'autres machines du même modèle**. Les pièces des éoliennes démantelées peuvent ainsi être remises en état et **utilisées sur d'autres parcs éoliens**.

**95%** des matériaux qui composent une éolienne sont recyclables



149

Source : Enerfip, Capgemini Invent

# Economie circulaire

## D'ici 2028, 7 GW de capacités éoliennes arriveront au terme de leur contrat d'obligation d'achat et seront susceptibles d'être renouvelées

Le périmètre de l'étude menée par l'ADEME concerne **742 parcs situés en France d'une capacité de 9,2 GW (55% de la capacité totale du parc français) et d'une production de 20 TWh/an**. L'analyse distingue différentes familles de contraintes liées aux domaines suivants : les radars<sup>1</sup>, l'aéronautique<sup>2</sup>, le réseau Natura 2000<sup>3</sup>, les milieux naturels d'intérêt (parcs et réserves) et les paysages (sites protégés, sites Unesco, loi littoral).

L'étude distingue plusieurs types de renouvellements : impossibles, quasi-identiques, limités en hauteur ou non plafonnés en fonction des contraintes réglementaires qui encadrent le développement éolien.

Parmi les conclusions de l'étude figurent les données suivantes :

- **65 % des parcs éoliens** installés avant 2015 sont soumis à des fortes contraintes **dans au moins une famille** et **30 % dans au moins deux familles de contraintes**
- Sur les 9,2 GW étudiés, **0,7 à 1 GW** pourrait être **définitivement démantelé** en raison de contraintes interdisant leur renouvellement et **2 à 4 GW** contraints à un **renouvellement quasi à l'identique** dont **15 % s'avèreraient prohibitifs** du fait de leurs coûts (>70€/MWh). Ainsi, les renouvellements impossibles ou non viables économiquement représenteraient une **capacité totale comprise entre 1 et 1,6 GW**.
- Dans le cas où les renouvellements seraient opérés entre 17 et 20 ans à compter de la mise en service du parc existant, et en prenant en compte les cas pour lesquels le démantèlement serait la seule issue, l'analyse conclut que des gains de capacité proches de 0,8 GW (+9%) et des gains nets de production de 8,5 TWh/an (+42,5%) seraient possibles. Ces gains seraient diminués si les renouvellements à l'identique considérés trop chers ne sont pas réalisés.

**Le renouvellement des parcs étudiés, soumis à de nombreuses contraintes, conduirait à une augmentation de la capacité éolienne française de 0,8 GW et de la production de 8,5 TWh/an**

1: les radars Météo-France, de l'aviation civile, les radars portuaires et les radars de l'Armée de l'Air

2: les aérodromes, les zones appartenant à l'Armée de l'Air et les radars des centrales nucléaires

3: réseau européen de sites naturels remarquables

Source : ADEME, Etude « Renouvellement de l'éolien : quelles stratégies possibles et envisageables en fin d'exploitation pour les parcs éoliens terrestre », Juillet 2020

# Economie circulaire

## Plusieurs constructeurs d'éoliennes visent un objectif « zéro déchet », et la neutralité carbone sur l'ensemble de leur chaîne de valeur

### Les constructeurs s'engagent également à devenir neutre en carbone.

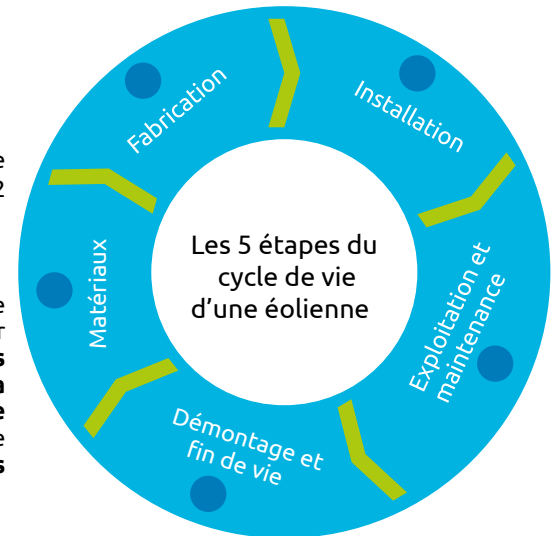
Cela passe par l'établissement d'une stratégie basée sur :

1. L'augmentation de l'efficacité énergétique dans les usines
2. L'approvisionnement en électricité d'origine renouvelable des bureaux et des usines
3. Renouveler la flotte des véhicules professionnels du thermique à l'électrique et utiliser des transports peu émetteurs en CO2 (maritime, ferroviaire)
4. Augmenter la recyclabilité des éoliennes

Plusieurs constructeurs prennent ainsi des engagements forts afin de réduire l'impact environnemental des projets éoliens. Afin de quantifier le coût environnemental des parcs, ces entreprises mènent des **analyses de cycle de vie (ACV)** afin d'**identifier sur chacun des maillons de la chaîne de valeur (voir ci-contre), les émissions de CO2 associées et de les réduire au maximum**. Cela passe par des procédés innovants, de nouvelles méthodes de travail et une **feuille de route qui établit des objectifs de réduction précis à atteindre d'ici 2030 puis 2050**.

Ainsi, à titre d'exemple, des constructeurs s'engagent à concevoir des **éoliennes zéro déchets d'ici 2040** et à améliorer leur processus de production afin d'utiliser des pièces qui puissent être recyclées ou conçues en consommant moins d'énergie.

Source : FEE



151

Les constructeurs s'engagent : concevoir une éolienne **zéro** déchet d'ici 2040

# Economie circulaire

## La filière éolienne se mobilise autour des enjeux de l'économie circulaire

Le **8 décembre 2020**, à la veille du salon régional des ENR EnerGaïa, se tient à la Cité de l'économie et des Métiers de Demain de Montpellier l'**édition 2020 d'Eole Industrie**. Cette année la thématique choisie est « **Économie circulaire de l'éolien terrestre : extension de la durée de vie, démontage, recyclage, repowering des parcs éoliens** ».

La fin de vie des parcs est un enjeu croissant pour l'industrie éolienne étant donné que les premiers parcs amorcent leur démantèlement. De nombreux autres projets vont suivre, c'est pourquoi il est essentiel **d'organiser la filière et d'anticiper cette afflux afin de gérer la fin de vie des équipements de façon responsable**.

Ainsi plusieurs aspects de la fin de vie des projets seront abordés : **le cadre réglementaire, le renouvellement des turbines par des technologies plus performantes et modernes et le respect de l'environnement**. Les conférences s'adresseront aux entreprises du secteur éolien et des secteurs connexes, aux élus locaux ainsi qu'à l'administration. Les sessions seront modérées par FEE. Des études de cas permettront d'illustrer les premiers exemples de **démontage et de repowering** qui ont déjà eu lieu en France.

A l'échelle européenne, la filière s'organise aussi autour de ce sujet de fin de vie des parcs éoliens. Ainsi, du 18 au 20 novembre prochains se tiendra à Bruxelles, l'EoLIS 2020, dédié aux enjeux et à la stratégie des parcs en fin d'exploitation (End-of-Life Issues and Strategies).



# Les enjeux de l'éolien

153

J. Focus sur les nouveaux  
modèles d'affaires

# Focus sur les nouveaux modèles d'affaires

## Les corporate PPA sont en plein essor

On assiste à un intérêt grandissant pour les **Corporate Power Purchase Agreements (ou CPPA)**, de la part de tous les acteurs de l'énergie. Les CPPA sont des contrats privés d'achat d'électricité conclus entre des producteurs d'électricité renouvelable et des entreprises, à prix fixes et connus à l'avance et pour une durée pouvant aller de quelques années à 25 ans.

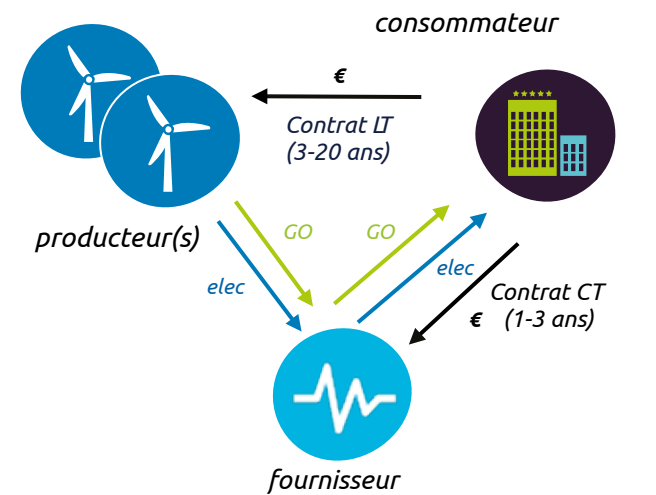
**En 2019, le premier CPPA a été signé** pour 3 ans. L'entreprise alimentaire Métro Cash and Carry s'est engagée à acheter la production d'un parc éolien opéré par Eurowatt.

Il existe plusieurs typologie de CPPA, dont celui appelé « **sleeved CPPA** », qui est la typologie la plus prometteuse en France.

France Energie Eolienne, en lien étroit avec le cabinet d'avocats Norton Rose Fulbright, a publié **un contrat standard de CPPA**, sur son site Internet, le 31 octobre 2019, dans le cadre de ses travaux de la commission Economie. Ces travaux résultent d'un groupe de travail installé début septembre 2018.

Des obstacles persistent pour la réalisation de PPA sur des installations éoliennes en France. **Le principal frein** est le fait que les producteurs ne peuvent pas prétendre aux garanties d'origine de leur production, mises aux enchères par l'Etat.

**PPA sleeved** : le consommateur achète l'électricité au producteur, et se fait livrer par son fournisseur (qui fournit par ailleurs le complément)



Source : Capgemini Invent

# Focus sur les nouveaux modèles d'affaires

## Les corporate power purchase agreement (CPPA) signés en France fondés sur l'énergie éolienne

L'ensemble de ces CPPA se base exclusivement sur **l'énergie éolienne** et sur des actifs **sortis du mécanisme de l'obligation d'achat**. Ainsi, alors que le producteur **garantit un tarif de vente de l'électricité produite** par les parcs éoliens au consommateur sur un certain nombre d'années en dépit des variations du cours du prix du marché.



### Caractéristiques moyennes des contrats CPPA signés :

Volume d'électricité vendu



~30 GWh

Durée du contrat



~3 ans

Part de la consommation couverte par le contrat



~10%

Source : Etude Capgemini Invent

# Focus sur les nouveaux modèles d'affaires

## Les centrales virtuelles au croisement entre digital et monde de l'énergie

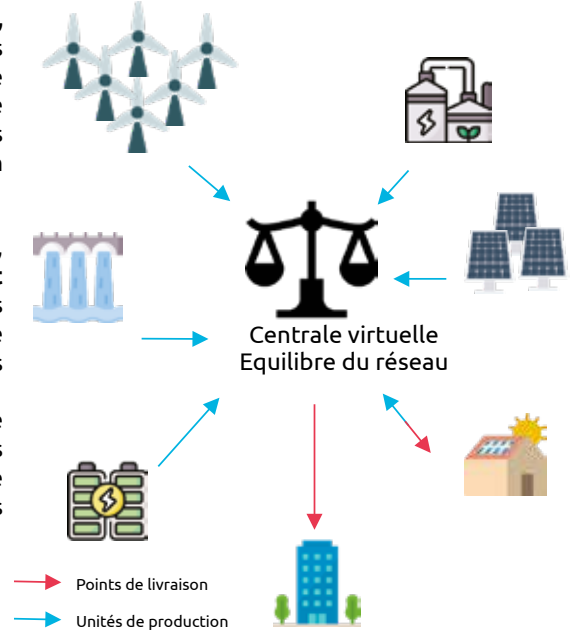
Le rôle d'une centrale virtuelle consiste à **gérer des milliers d'installations** depuis un centre de contrôle unique afin de **suivre, prévoir et piloter en temps réel** la production de plusieurs milliers d'unités décentralisées comme une seule centrale électrique. Elle peut intégrer des unités de production d'électricité renouvelable mais aussi des moyens de stockage et des consommateurs susceptibles d'effacer ou de réguler leur consommation en fonction des besoins du réseau.

Gérées par des acteurs du marché, notamment les agrégateurs, elles **garantissent la sécurité d'approvisionnement et participent à assurer l'équilibre du réseau** et seront amenées à agréger des milliers de petits équipements dans un futur proche comme les batteries individuelles, les pompes à chaleur ou les véhicules électriques.

**Les centrales virtuelles** communiquent avec les éoliennes grâce aux systèmes de contrôle et d'acquisition des données en temps réel appelés **Scada**. Plusieurs exemples en Europe de ce type de centrales commencent à émerger en fonction de la pénétration des EnR dans les réseaux électriques.

« Une centrale virtuelle consiste à collecter les données des installations d'un portefeuille afin d'améliorer la prévision et de réduire le coût des écarts entre prévision et production effective. Elle peut englober également la génération de revenus additionnels en valorisant la flexibilité des installations en tant que services systèmes » Kerstin Pienisch, directrice France de l'agrégateur Centrales Next

Schéma de fonctionnement d'une centrale virtuelle



Source : Journal de l'éolien, Etude Capgemini Invent







# Annexes



# Annexes

161

## A. Cartes de l'implantation du tissu éolien en régions

# Cartes de l'implantation du tissu éolien dans les régions

## Auvergne-Rhône-Alpes

2 014 ETP | 668 MW



- 1. Etudes et Développement
- 2. Fabrication de composants
- 3. Ingénierie et Construction
- 4. Exploitation et Maintenance
- ⚙ Parc éolien
- 🔧 Centre de maintenance

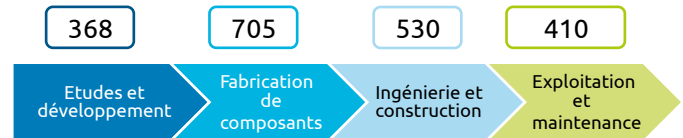
NB : Logos non exhaustifs, entreprises multi-sites

### Chiffres clés des emplois éoliens (2019) :

- Nombre d'emplois éoliens : 2 014
- Capitale régionale éolien (ETP) : Grand Lyon
- Top employeur éolien :



### Répartition des emplois sur la chaîne de valeur\* :



162

### Chiffres clés des parcs éoliens (mi-2020) :

- Puissance éolienne raccordée : 668 MW
- Nombre de parcs éoliens : 73

### Top constructeurs (MW) : Top exploitants (emplois) :



\* Répartition des emplois sur la chaîne de valeur estimée à partir des données fournies par les acteurs de la filière



# Cartes de l'implantation du tissu éolien dans les régions

## Bourgogne-Franche-Comté



- 1. Etudes et Développement
- 2. Fabrication de composants
- 3. Ingénierie et Construction
- 4. Exploitation et Maintenance
- 🌪 Parc éolien
- 🔧 Centre de maintenance

NB : Logos non exhaustifs, entreprises multi-sites

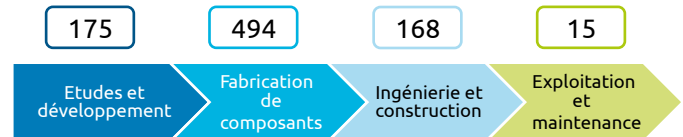
### 852 ETP | 817 MW

#### Chiffres clés des emplois éoliens (2019) :

- Nombre d'emplois éoliens : 852
- Capitale régionale éolien (ETP) : Dijon
- Top employeur éolien :



#### Répartition des emplois sur la chaîne de valeur\* :



163

#### Chiffres clés des parcs éoliens (mi-2020) :

Puissance éolienne raccordée : 817 MW  
 Nombre de parcs éoliens : 48

#### Top constructeurs (MW) : Top exploitants (emplois) :



\* Répartition des emplois sur la chaîne de valeur estimée à partir des données fournies par les acteurs de la filière



# Cartes de l'implantation du tissu éolien dans les régions

## Bretagne

994 ETP | 1 039 MW



- 1. Etudes et Développement
- 2. Fabrication de composants
- 3. Ingénierie et Construction
- 4. Exploitation et Maintenance

- ⚙️ Parc éolien
- ⚙️ Parc éolien marin posé
- ⚙️ Ferme pilote éolienne flottante
- ⚙️ Centre de maintenance

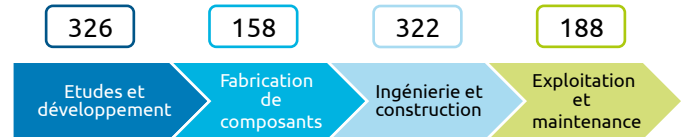
NB : Logos non exhaustifs, entreprises multi-sites

### Chiffres clés des emplois éoliens (2019) :

- Nombre d'emplois éoliens : 994
- Capitale régionale éolien (ETP) : La Gacilly
- Top employeur éolien :



### Répartition des emplois sur la chaîne de valeur\* :



164

### Chiffres clés des parcs éoliens (mi-2020) :

Puissance éolienne raccordée : 1 039 MW  
 Nombre de parcs éoliens : 133

### Top constructeurs (MW) :



### Top exploitants (emplois) :



\* Répartition des emplois sur la chaîne de valeur estimée à partir des données fournies par les acteurs de la filière



# Cartes de l'implantation du tissu éolien dans les régions

## Centre - Val de Loire

535 ETP | 1 303 MW



- 1. Etudes et Développement
  - 2. Fabrication de composants
  - 3. Ingénierie et Construction
  - 4. Exploitation et Maintenance
- ⚙ Parc éolien
  - 🔧 Centre de maintenance

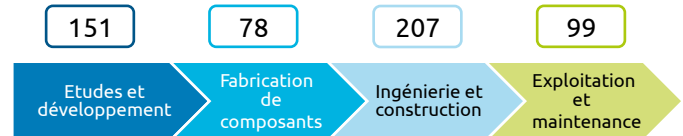
NB : Logos non exhaustifs, entreprises multi-sites

### Chiffres clés des emplois éoliens (2019) :

- Nombre d'emplois éoliens : 535
- Capitale régionale éolien (ETP) : Orléans
- Top employeur éolien :

**Vestas**

### Répartition des emplois sur la chaîne de valeur\* :



165

### Chiffres clés des parcs éoliens (mi-2020) :

- Puissance éolienne raccordée : 1 303 MW
- Nombre de parcs éoliens : 104

### Top constructeurs (MW) : Top exploitants (emplois) :



\* Répartition des emplois sur la chaîne de valeur estimée à partir des données fournies par les acteurs de la filière



# Cartes de l'implantation du tissu éolien dans les régions

## Grand Est

1 632 ETP | 3 720 MW



- 1. Etudes et Développement
- 2. Fabrication de composants
- 3. Ingénierie et Construction
- 4. Exploitation et Maintenance
- 🌬 Parc éolien
- 👤 Centre de maintenance

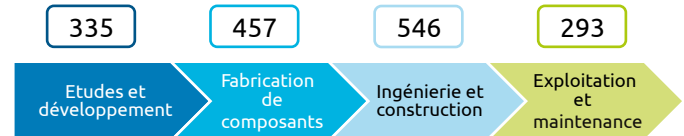
NB : Logos non exhaustifs, entreprises multi-sites

### Chiffres clés des emplois éoliens (2019) :

- Nombre d'emplois éoliens : 1 632
- Capitale régionale éolien (ETP) : Nancy
- Top employeur éolien :



### Répartition des emplois sur la chaîne de valeur\* :



166

### Chiffres clés des parcs éoliens (mi-2020) :

- Puissance éolienne raccordée : 3 720 MW
- Nombre de parcs éoliens : 259

### Top constructeurs (MW) : Top exploitants (emplois) :



\* Répartition des emplois sur la chaîne de valeur estimée à partir des données fournies par les acteurs de la filière

# Cartes de l'implantation du tissu éolien dans les régions

## Hauts-de-France

2 149 ETP | 4 676 MW



- 1. Etudes et Développement
- 2. Fabrication de composants
- 3. Ingénierie et Construction
- 4. Exploitation et Maintenance

- 🌪 Parc éolien
- 🌪 Parc éolien marin posé
- 🔧 Centre de maintenance

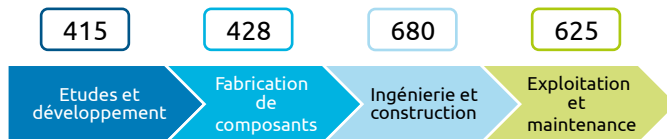
NB : Logos non exhaustifs, entreprises multi-sites

### Chiffres clés des emplois éoliens (2019) :

- Nombre d'emplois éoliens : 2 149
- Capitale régionale éolien (ETP) : Compiègne – Le Meux
- Top employeur éolien :



### Répartition des emplois sur la chaîne de valeur\* :



167

### Chiffres clés des parcs éoliens (mi-2020) :

- Puissance éolienne raccordée : 4 676 MW
- Nombre de parcs éoliens : 360

### Top constructeurs (MW) : Top exploitants (emplois) :



\* Répartition des emplois sur la chaîne de valeur estimée à partir des données fournies par les acteurs de la filière

# Cartes de l'implantation du tissu éolien dans les régions

## Île-de-France

5 387 ETP | 71 MW



- 1. Etudes et Développement
  - 2. Fabrication de composants
  - 3. Ingénierie et Construction
  - 4. Exploitation et Maintenance
- 🌪 Parc éolien
  - 🚧 Centre de maintenance

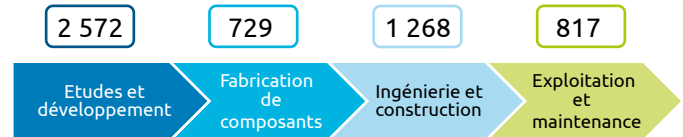
NB : Logos non exhaustifs, entreprises multi-sites

### Chiffres clés des emplois éoliens (2019) :

- Nombre d'emplois éoliens : 5 387
- Capitale régionale éolien (ETP) : Paris
- Top employeur éolien :



### Répartition des emplois sur la chaîne de valeur\* :



168

### Chiffres clés des parcs éoliens (mi-2020) :

- Puissance éolienne raccordée : 71 MW
- Nombre de parcs éoliens : 5

### Top constructeurs (MW) : Top exploitants (emplois) :



\* Répartition des emplois sur la chaîne de valeur estimée à partir des données fournies par les acteurs de la filière



# Cartes de l'implantation du tissu éolien dans les régions

## Normandie

908 ETP | 864 MW



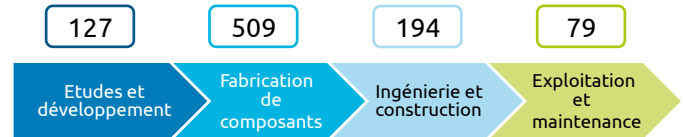
NB : Logos non exhaustifs, entreprises multi-sites

### Chiffres clés des emplois éoliens (2019) :

- Nombre d'emplois éoliens : 908
- Capitale régionale éolien (ETP) : Cherbourg
- Top employeur éolien :



### Répartition des emplois sur la chaîne de valeur\* :



169

### Chiffres clés des parcs éoliens (mi-2020) :

- Puissance éolienne raccordée : 864 MW
- Nombre de parcs éoliens : 86

### Top constructeurs (MW) : Top exploitants (emplois) :



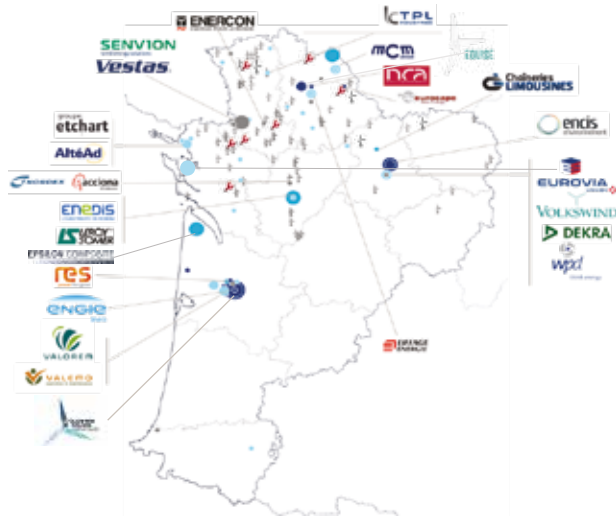
\* Répartition des emplois sur la chaîne de valeur estimée à partir des données fournies par les acteurs de la filière



# Cartes de l'implantation du tissu éolien dans les régions

## Nouvelle-Aquitaine

1 106 ETP | 1 146 MW



- 1. Etudes et Développement
  - 2. Fabrication de composants
  - 3. Ingénierie et Construction
  - 4. Exploitation et Maintenance
- Parc éolien
  - Centre de maintenance

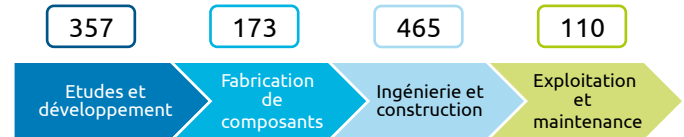
NB : Logos non exhaustifs, entreprises multi-sites

### Chiffres clés des emplois éoliens (2019) :

- Nombre d'emplois éoliens : 1 106
- Capitale régionale éolien (ETP) : Bègles
- Top employeur éolien :



### Répartition des emplois sur la chaîne de valeur\* :



170

### Chiffres clés des parcs éoliens (mi-2020) :

- Puissance éolienne raccordée : 1 146 MW
- Nombre de parcs éoliens : 99

### Top constructeurs (MW) : Top exploitants (emplois) :

**Vestas**

**ENERCON**  
ENERGIE PSA F LE MONDE

**SENVION**

**VOLKSWIND**

**wpd**  
wind energy

**res**  
renewable energy solutions

\* Répartition des emplois sur la chaîne de valeur estimée à partir des données fournies par les acteurs de la filière

Capgemini invent | France Energie Eolienne



# Cartes de l'implantation du tissu éolien dans les régions

## Pays de la Loire



- 1. Etudes et Développement
- 2. Fabrication de composants
- 3. Ingénierie et Construction
- 4. Exploitation et Maintenance

- ⚙ Parc éolien
- ⚙ Parc éolien marin posé
- ⚙ Démonstrateur éolien flottant
- ⚙ Centre de maintenance

NB : Logos non exhaustifs, entreprises multi-sites

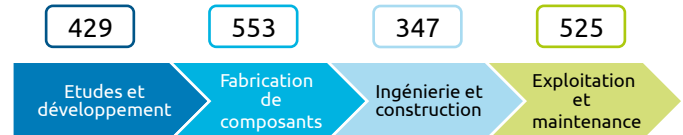
1 854 ETP | 1 026 MW

### Chiffres clés des emplois éoliens (2019) :

- Nombre d'emplois éoliens : 1 854
- Capitale régionale éolien (ETP) : Nantes
- Top employeur éolien :



### Répartition des emplois sur la chaîne de valeur\* :



172

### Chiffres clés des parcs éoliens (mi-2020) :

- Puissance éolienne raccordée : 1 026 MW
- Nombre de parcs éoliens : 116

### Top constructeurs (MW) : Top exploitants (emplois) :



\* Répartition des emplois sur la chaîne de valeur estimée à partir des données fournies par les acteurs de la filière





# Cartes de l'implantation du tissu éolien dans les régions

## Sud-Provence-Alpes-Côte d'Azur

697 ETP | 61 MW



- 1. Etudes et Développement
- 2. Fabrication de composants
- 3. Ingénierie et Construction
- 4. Exploitation et Maintenance



Parc éolien



Ferme pilote éolien flottant

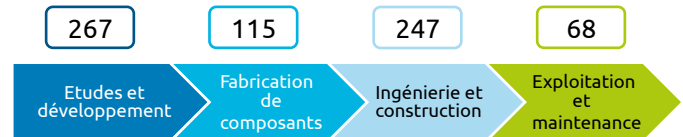
NB : Logos non exhaustifs, entreprises multi-sites

### Chiffres clés des emplois éoliens (2019) :

- Nombre d'emplois éoliens : 697
- Capitale régionale éolien (ETP) : Aix Marseille
- Top employeur éolien :



### Répartition des emplois sur la chaîne de valeur\* :



173

### Chiffres clés des parcs éoliens (mi-2020) :

- Puissance éolienne raccordée : 61 MW
- Nombre de parcs éoliens : 9

### Top constructeurs (MW) : Top exploitants (emplois) :



\* Répartition des emplois sur la chaîne de valeur estimée à partir des données fournies par les acteurs de la filière



# Annexes

175

## B. Cartes d'identité des acteurs éoliens par catégorie

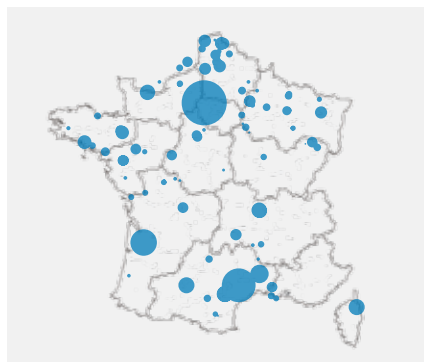
# Carte d'identité des acteurs éoliens par catégorie

## Développeur et/ou exploitant

### Emplois éoliens

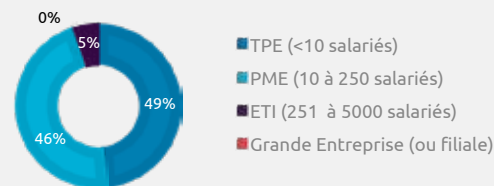
- Effectif éolien total : 4197
- Nombres d'entreprises : 133

Nombre d'entreprises par tranche d'effectifs éoliens



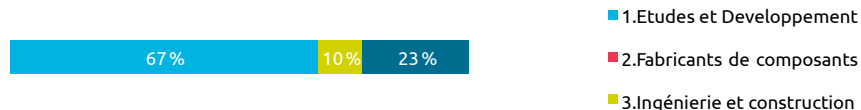
### Profil type

- Type d'entreprise majoritaire : TPE
- Date de création moyenne : 2004



### Activités dans l'éolien

Répartition des effectifs éoliens :



### Top 10 des emplois éoliens

1.  EDF renouvelables	2.  ENGIE Green	3.  VALOREM <small>VALORES &amp; ENERGIES</small>	4.  RES <small>renouvelables</small>	5.  BORALEX
6.  wpd <small>wind power development</small>	7.  valeco	8.  TOTAL Quadran	9.  VSB <small>ventes services</small>	10.  energie TEAM

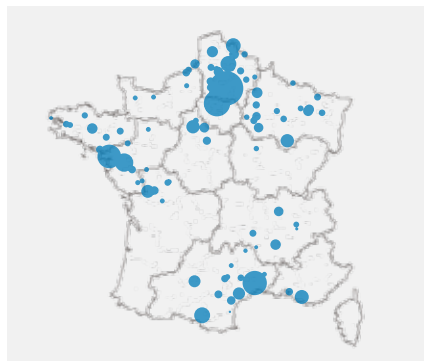
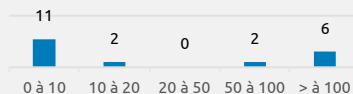
# Carte d'identité des acteurs éoliens par catégorie

## Constructeur de Machines et activités de maintenance

### Emplois éoliens

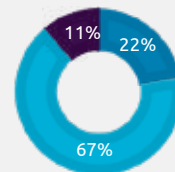
- Effectif éolien total : 2530
- Nombres d'entreprises : 21

Nombre d'entreprises par tranche d'effectifs éoliens



### Profil type

- Type d'entreprise majoritaire : PME
- Date de création moyenne : 2007



- TPE (<10 salariés)
- PME (10 à 250 salariés)
- ETI (251 à 5000 salariés)

### Activités dans l'éolien

Répartition des effectifs éoliens :



- 1. Etudes et Développement
- 2. Fabricants de composants
- 3. Ingénierie et construction
- 4. Exploitation et Maintenance

### Top 10 des emplois éoliens

1.  ENERCON RENEWABLE POWER	2.  Vestas	3.  NORDEX GACCIONA	4.  GE Renewable Energy	5.  SENVION
6.  SIEMENS Gamesa RENEWABLE ENERGY	7.  VERGNET GROUPS	8.  Envision	9.  VENSYS	10.  POMA LEITWIND

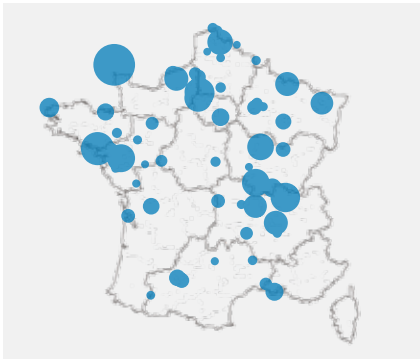
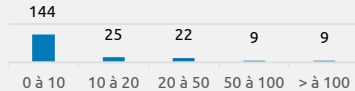
# Carte d'identité des acteurs éoliens par catégorie

## Fabricant de Composants

### Emplois éoliens

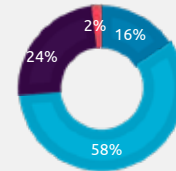
- Effectif éolien total : 4351
- Nombres d'entreprises : 209

Nombre d'entreprises par tranche d'effectifs éoliens



### Profil type

- Type d'entreprise majoritaire : PME
- Date de création moyenne : 1985



- TPE (<10 salariés)
- PME (10 à 250 salariés)
- ETI (251 à 5000 salariés)
- Grande Entreprise (ou filiale)

### Activités dans l'éolien

Répartition des effectifs éoliens :



- 1. Etudes et Développement
- 2. Fabrication de composants
- 3. Ingénierie et construction
- 4. Exploitation et maintenance

### Top 10 des emplois éoliens

1.  GE Renewable Energy	2.  Schneider Electric	3.  CHANTIERS DE L'ATLANTIQUE	4.  ROLLIX	5.  HUTCHINSON
6.  DILLINGER FRANCE	7.  SDMO	8.  Nexans	9.  MERSEN	10.  Prysmian Group

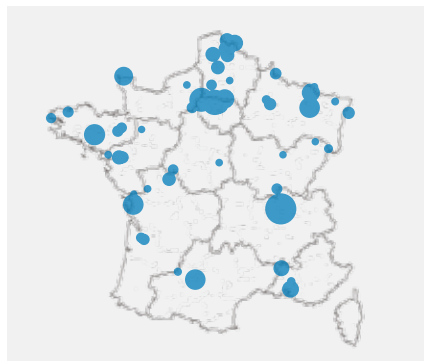
# Carte d'identité des acteurs éoliens par catégorie

## Génie civil ou électrique / Logistique

### Emplois éoliens

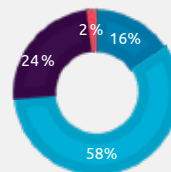
- Effectif éolien total : 4402
- Nombres d'entreprises : 202

Nombre d'entreprises par tranche d'effectifs éoliens



### Profil type

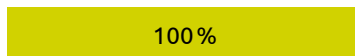
- Type d'entreprise majoritaire : PME
- Date de création moyenne : 1999



- TPE (<10 salariés)
- PME (10 à 250 salariés)
- ETI (251 à 5000 salariés)
- Grande Entreprise (ou filiale)

### Activités dans l'éolien

Répartition des effectifs éoliens :



- 1. Etudes et Développement
- 2. Fabrication de composants
- 3. Ingénierie et construction
- 4. Exploitation et maintenance

### Top 10 des emplois éoliens

1.	2.	3.	4.	5.
6.	7.	8.	9.	10.

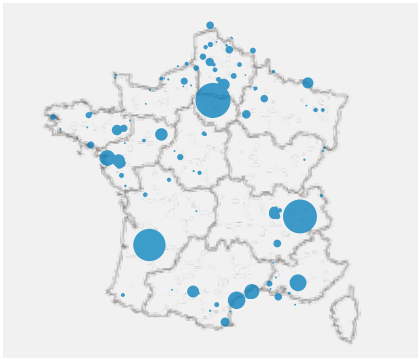
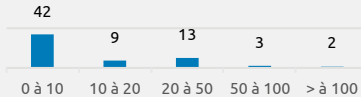
# Carte d'identité des acteurs éoliens par catégorie

## Maintenance (hors constructeurs)

### Emplois éoliens

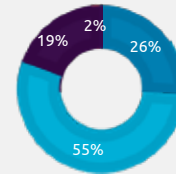
- Effectif éolien total : 1321
- Nombres d'entreprises : 69

Nombre d'entreprise par tranche d'effectifs éoliens



### Profil type

- Type d'entreprise majoritaire : PME
- Date de création moyenne : 1992



- TPE (<10 salariés)
- PME (10 à 250 salariés)
- ETI (251 à 5000 salariés)
- Grande Entreprise (ou filiale)

### Activités dans l'éolien

Répartition des effectifs éoliens :



- 1. Etudes et Développement
- 2. Fabrication de composants
- 3. Ingénierie et construction
- 4. Exploitation et maintenance

### Top 10 des emplois éoliens

1.  EDF renouvelables	2.  VALEMG	3.  Groupe Qualiconsult	4.  VEOLIA	5.  Atlantique Marine Services
6.  Eneria CAT	7.  Baurès	8.  Net-Wind	9.  Manutan	10.  COVED

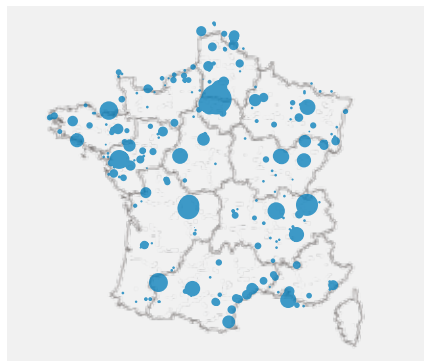
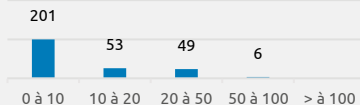


# Carte d'identité des acteurs éoliens par catégorie

## Bureaux d'études, Expertise & autres prestataires

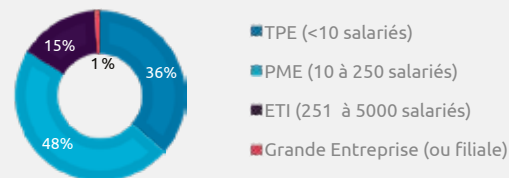
### Emplois éoliens

- Effectif éolien total : 3 407
  - Nombre d'entreprises : 309
- Nombre d'entreprises par tranche d'effectifs éoliens



### Profil type

- Type d'entreprise majoritaire : PME
- Date de création moyenne : 1995



### Activités dans l'éolien

Répartition des effectifs éoliens :



### Top 10 des emplois éoliens

1.	2.	3.	4.	5.
6.	7.	8.	9.	10.



# Les crédits photographiques

Les crédits ci-dessous correspondent aux photos fournies par les constructeurs pour l'Observatoire\*

Page	5	Envision	Page	113	RTE Enedis
Page	21	Siemens Gamesa	Page	118	RTE Enedis
Page	36	GE renewables energy	Page	137	Poma Leitwind
Page	41	GE renewables energy	Page	142	Enercon
Page	46	GE renewables energy	Page	147	Nordex
Page	46	Siemens Gamesa	Page	148	Boralex
Page	48	La depeche	Page	149	Nordex
Page	51	Vestas	Page	157	Poma Leitwind
Page	55	Enercon	Page	160	Vensys
Page	89	Enercon	Page	174	Envision
Page	108	Vestas	Page	182	Siemens Gamesa

\*Les autres photos sont les photos correspondants aux sources citées sous la photo ou sont des photos libres de droits

# Les membres de France Energie Eolienne

2W RH2.0  
2W RH  
3D ENERGIES  
3E  
8.2 FRANCE  
ABB FRANCE  
ABEI ENERGY FRANCE  
ABIES  
ABO WIND  
ACAJO  
ACOFIT GESTION  
ADI-NA (AGENCE DE DEVELOPPEMENT ET D'INNOVATION NOUVELLE-AQUITAINE)  
AERTSSEN KRANEN BV  
AGENCE TACT  
AGREGIO ( EDF)  
AIR ENERGIE INGENIERIE SAS  
AIRELE - AUDDICE ENVIRONNEMENT  
ALLIANZ CAPITAL PARTNERS GMBH  
Alpic  
ALPIQ ENERGIE FRANCE  
AM'EOL GMBH  
ARCELOMITTAL PROJECTS EUROPE B.V  
ARKEMA FRANCE  
ARKOLIA ENERGIES SAS  
ASHURST LLP  
ATALANTE ENERGIES  
ATLANTIQUE MARITIME SERVICES  
AXPO FRANCE SAS  
BAYWA R.E FRANCE  
BDO IDF  
BHC ENERGY  
BILLAS Avenir ENERGIE  
BIODIV-WIND SAS  
BIOTOPE  
BIRD & BIRD AARPI  
BKW ENERGIE AG  
BMH AVOCATS  
BNP PARIBAS SA  
BORALEX SAS  
BUREAU VERITAS CONSTRUCTION  
C.V.A. S.P.A.  
CABINET RAVETTO ASSOCIES  
CAISSE DES DEPOTS ET CONSIGNATIONS  
CALVEE DEVELOPPEMENT  
CARL STAHL  
CENTRALES NEXT SAS  
CEPS  
CETIM  
CEZ FRANCE SAS  
CHAPPELLE D'OLEE  
CHARIER GC  
CHARLOTTE SELLIER  
CMI TECHSI PASTOR  
Coherence energies  
COLAS SA  
COLLECTE LOCALISATION SATELLITES  
Coverwind solutions france  
CREDIT AGRICOLE CIB  
CREDIT AGRICOLE LEASING ET FACTORING  
CREDIT INDUSTRIEL ET COMMERCIAL

CREDIT INDUSTRIEL ET COMMERCIAL  
CSTB  
CUBICO SUSTAINABLE INVESTMENTS  
CVC SL  
DAVID ENERGIES  
DEKRA INDUSTRIAL SAS  
DELHOM ACOUSTIQUE  
DERBI  
DEUTSCHE WINDTECHNIK S.A.R.L  
DLA PIPER FRANCE LLP  
DLGA  
DNV GL  
DS AVOCATS  
E.ON CLIMATE & RENEWABLES FRANCE  
SASU  
EG SA  
ECO DELTA  
ECOLE CENTRALE NANTES  
EDPR FRANCE HOLDING  
EIFFAGE ENERGIE MAINE BRETAGNE  
ELATOS  
ELAWAN ENERGY FRANCE SAS  
ELEC-ENR SASU  
ELEMENTS SAS  
ELICIO FRANCE  
EMERGIA WIND TECHNOLOGIES B.V  
ENBW ENERGIES RENOUVELABLES S.V  
ENCS WIND  
ENECO  
ENERCON GMBH  
ENERCOOP SCIC - SA  
ENERGIE EOLIENNE FRANCE  
Energie Eolienne Solidaire  
ENERGIE PARTIAGEE  
ENERGIEKONTOR AG  
energies normandie  
ENERGIETeam  
ENERGREEN PRODUCTION  
ENERTRAG  
ENERVO  
ENERTH SARL  
ENGIE GREEN FRANCE  
ENVINERGY TRANSACTION  
ENVISION ENERGY  
EOL-C  
EOLIE CONSTRUCTING  
EOLIC  
EOLF racheté par SHELL  
EOLINK  
EOLISE SAS  
EOLTECH  
EOS WIND FRANCE  
EPIRLINE  
EQOS ENERGIE LUXEMBOURG SARL  
EQUNOR (ANCIENNEMENT STATOIL)  
ERG FRANCE  
ESCOFI ENERGIES NOUVELLES  
ETS FRANCOIS MEUNIER - GROUP  
MIND EUROCAPE NEW ENERGY FRANCE  
EUROVIA MANAGEMENT  
EUROWATT DEVELOPPEMENT

EUROWATT SERVICES  
EVEROZE  
EVERSHEDS  
Evolent(adhesion croisé)  
EWZ  
EXPLAIN  
Ejus Management Partners  
FALCK ENERGIES RENOUVELABLES  
FAST  
FIDA  
FILHET-ALLARD ET COMPAGNIE  
FINERGREEN FRANCE  
FONDEOLE  
FORCES EOLIENNES DU GEVAUDAN  
FRTE (TERRA ENERGIES)  
GE ENERGY SERVICES FRANCE  
GE ENERGY SERVICES FRANCE  
GEG ENR  
GIDE LOYRETTE NOUËL AARPI  
GIE QUALITE ENTREPRISES GLOBAL  
WIND POWER FRANCE GLOBES  
GOTHAER  
GOWLING WLG FRANCE  
GP-JOULE FRANCE SARL  
GRAS SAVOYE  
GREENSOLVER  
GRID SOLUTIONS SAS  
GROUPE ETCHART  
GROUPE VALECO  
H2AIR  
HELIOPLANS  
HEURTEBISE  
HYDRONEXT  
HYDROPTION  
IDCOL  
IEL DEVELOPEMENT  
IFP ENERGIES NOUVELLES  
IMAGINERIE  
IN CONTROL FRANCE  
INEO RESEAUX CENTRE  
INERSYS - SYSCOM  
INNERGEX FRANCE SAS INTERVENT  
SAS  
JARNIAS TRAVAUX SPECIAUX JIGRID  
JP ENERGIE ENVIRONNEMENT  
KÄLLÖP  
KDE ENERGY FRANCE  
KELLER FONDATION SPECIALES Kgal  
Kooli security France  
LA BANQUE POSTALE  
LEOSPHERE  
LES VENTS MEUSES DU SUD  
LHOTELLIER - LEAD  
LINKLATERS  
LM WIND POWER  
LOUIS DREYFUS ARMATEUR  
LPA - CGR AVOCATS  
LUMO

LYCEE DHUODA  
LYCEE SAINT FRANCOIS D'ASSISE  
MARSH  
MASEN ENGINEERING  
MAZARS ALTER & GO CONCERTATION  
MD WIND  
MERSEN FRANCE AMIENS  
Meteolien  
METEORAGE  
METROL  
MGA  
Millin energy  
MIROVA  
MOJO MARITIME FRANCE  
MOJT MACDONALD  
MW ENERGIES  
NASS & WIND SMART SERVICES  
NATIXIS ENERGO  
NATURAL POWER  
NATURGY RENOUVELABLES - (ANCIENNEMENT GAS NATURAL FENOSA)  
NAVAL ENERGIES  
NCA ENVIRONNEMENT  
NEOEN  
NEOPOLIA  
NET WIND  
NORRDEUTSCHE LANDESBANK GIROZENTRALE  
NORDEX FRANCE  
NORIA  
NORMANDIE ENERGIES  
NORTON ROSE FULBRIGHT LLP  
NOTUS ENERGIE FRANCE SERVICES  
NOUVERGIES  
OHEXOM RENEWABLE ENERGIES  
OMNES CAPITAL  
OPENR SAS  
OREMOTO  
ORIMAZARAL FRANCE  
ORSTED WIND POWER A/S  
OSTWIND INTERNATIONAL  
OXZ  
P&T TECHNOLOGIE SAS  
PARKWIND  
PLANETA FRANCE SAS  
Pôle Derb)  
POLE S2E2  
POMA LEITWIND  
POYRY MANAGEMENT CONSULTING FRANCE  
PRINCIPLE POWER FRANCE  
Pysim  
PWC SOCIÉTÉ D'AVOCATS  
OOS ENERGY  
QUADRAN ENERGIE MARINE  
QUENAACH  
RAZEL-BEC  
REPS GROUP  
REGION OCCITANIE  
RENVICO  
RES GIP  
réseau Jaded

Rgreen invest  
ROMO WIND  
RP GLOBAL FRANCE  
S2E2  
SAB ENERGIES RENOUVELABLES SAS  
SABIK OFFSHORE  
SAFTER INGENIERIE  
SAINT-LAURENT ENERGIE SALAMANDER  
GROUP - SKF FRANCE SAMFI-INGENIERIE  
SAMSOLAR/SANFI  
SARL DU MONT FAVERGER  
SBM FRANCE  
SCHNEIDER ELECTRIC FRANCE  
SCP LACOURTE RAQUIN TATAR  
SE LEVAGE  
SEL GROUPE  
SEM SIP ENR  
SEML COTE D'OR ENERGIES  
SENS OF LIFE  
SERVION  
SERGIES  
SHELL  
SIEMENS GAMESA RENEWABLE ENERGY  
EOLICA SL  
SIKA  
Singular  
SITE A WATTS DEVELOPPEMENT  
SK & PARTNER  
SKYWORK  
SNC VS ENERGIE  
SOCIÉTÉ D'EOLIENNE CARIBBEENNE  
SOCIÉTÉ GENERALE  
SOCOTEC FRANCE  
SOFTVA ENERGIE  
Sohdra  
SOLEIL DU MIDI  
SOLVEDO ENERGIE  
SPARKSIS - INVESTER TECHNOLOGIES  
STATKRAFT MARKETS GMBH  
STEG NEW ENERGIES GMBH  
SUZEL  
SUPAIRVISION  
SYNERIA SAS  
TCCO WIND LORRAINE SAS  
TECH INTER  
Technostrobe  
TERERIA  
TOYRY MANAGEMENT CONSULTING FRANCE  
TENERDIS  
TERRE ET LAC CONSEIL  
Tevall Partner  
TOTAL - QUADRAN  
TOTAL - QUADRAN  
TRIODOS FINANCE BV  
TTR ENERGY  
UL INTERNATIONAL GMBH  
UNIPER RATIONAL ENERGY SOLUTIONS=  
GAZEL ENERGY  
VAL D'OLEE  
VALLOUREN TUBES  
VALOREM ENERGIE

VATTENFALL EOLIEN SAS  
VDN  
VELOCITA ENERGIES  
VENDEE ENERGIE  
VENSYS ENERGY AG  
VENT D'EST  
VENTILYS  
VENTIS  
VENTS D'OC ENERGIES RENOUVELABLES  
VEOLIA DECONSTRUCTION FRANCE VERDI  
VERSPIEREN  
VESTAS FRANCE  
VOLKSWIND FRANCE SAS  
VOJTA AVOCATS  
VOJIALA  
VOL-V ELECTRICITE RENOUVELABLE  
VRHOF ANCHORS B.V  
VSB ENERGIES NOUVELLES  
VULGAIN  
WATSON, FARLEY & WILLIAMS LLP  
WEB ENERGIE DU VENT  
WINDPEES  
Windfran  
WINDPARKSERVICE  
WINDSTROM FRANCE  
WINDVISION FRANCE SAS  
WKN FRANCE  
WPD OFFSHORE  
WPD ONSHORE FRANCE  
WPD  
ZEPHYR

**Partenaires :**  
Pôle Mer Méditerranée  
CCI Business  
France Energies Marines  
Office franco-allemand pour la transition énergétique (OFATE)  
Cluster maritime français

# L'équipe de l'Observatoire 2020



- **Matthieu Monnier**  
Adjoint à la Déléguée générale
- **Hassan Abouzid**  
Chef de projet, industrie éolienne
- **Cécile Maisonneuve-Cado**  
Présidente de la commission industrie



- **Alexandra Bonanni**  
Chef de l'Energy Strategy Lab
- **Pierre-Henri de La Codre**  
Consultant Energy & Utilities
- **Quentin Montclair**  
Consultant Energy & Utilities



- **Vincent Guénard**  
Animateur Pôle Eolien et  
Energies Marines,  
chargé de l'éolien en Mer

- **Pré-presses et Impression**  
ENCRE NOUS  
[www.encre-nous.com](http://www.encre-nous.com)



# Observatoire de l'éolien 2020