



Caractérisation des innovations technologiques du secteur de l'éolien et maturités des filières



Objectifs de l'étude

Présenter les perspectives des évolutions technologiques, de coûts et d'opportunités industrielles dans l'éolien.

- Périmètre : éolien à terre, en mer posé et flottant
- Hors périmètre : intégration au système électrique, dispositifs de cohabitation radar
- Référence : technologies et coûts 2016
- 3 horizons de temps : 2020, 2025 et 2030

Principales hypothèses

Calcul sur des sites moyens représentatifs de chaque filière :

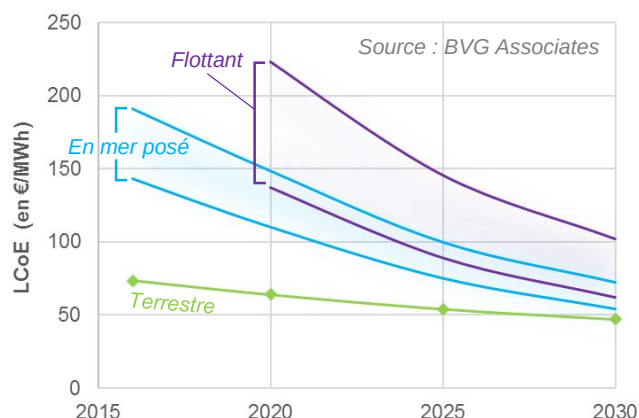
- Eolien terrestre
 - ✓ Eolienne 2 MW, rotor 90 m (en 2016)
 - ✓ Site à vitesse de vent 7 m/s
 - ✓ Parc de 16 MW
 - ✓ CMPC* : 5,5%
- Eolien posé en mer
 - ✓ Eolienne 6 MW, rotor 150 m (en 2016)
 - ✓ Site à vitesse de vent 9 m/s
 - ✓ Parc de 500 MW
 - ✓ CMPC* : de 10% (2016) à 7% (2030)
- Eolien flottant
 - ✓ Eolienne 6 MW, rotor 150 m (en 2020)
 - ✓ Site à vitesse de vent 9 m/s
 - ✓ Parc de 500 MW
 - ✓ CMPC* : de 10,5% (2016) à 7,5% (2030)
- Allongement de la **durée de vie** étendues pour les trois filières

2016 : 20 ans
2020 : 25 ans
2025 : 27 ans
2030 : 30 ans

*CMPC : Coût Moyen Pondéré du Capital

Principales conclusions

- 64 innovations technologiques répertoriées
 - ✓ 35 innovations impactent les 3 filières
 - ✓ 38 innovations concernent l'éolien **terrestre**
 - ✓ 57 innovations concernent l'éolien **en mer posé**
 - ✓ 53 innovations concernent l'éolien **en mer flottant**
- Impact le plus important sur le coût : **rotors et nacelles** (par ex.: augmentation diamètre, amélioration du contrôle commande)
- Impact majeur de l'allongement de la durée de vie pour les éoliennes terrestres
- Facteur de charge : en 2030, dépasse 30% à terre et 50% en mer.

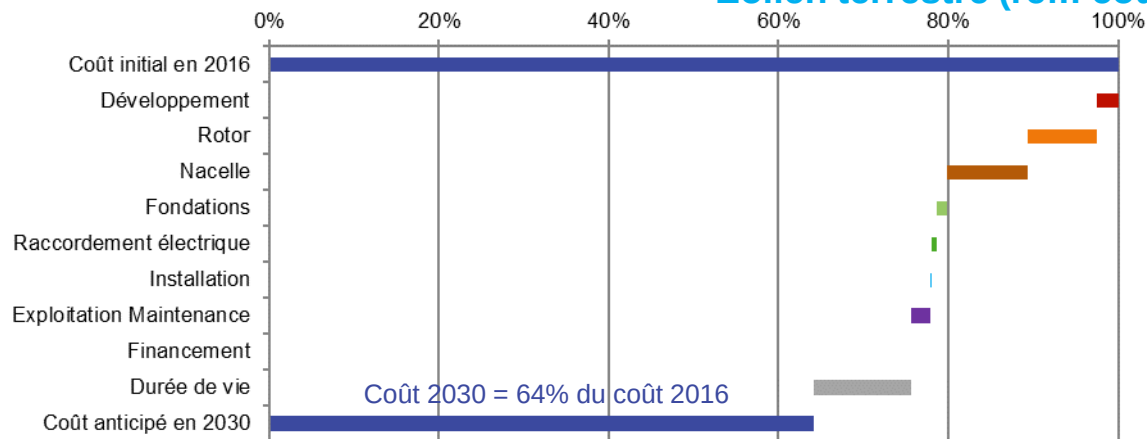


Avec la mise en œuvre de ces innovations, les coûts complets de production (LCoE) en 2030 pourraient atteindre 47€/MWh à terre, de 54 à 73€/MWh en mer posé et de 62 à 102€/MWh en flottant.

Potentiels de réductions des coûts : coût complet LCoE

Décomposition des coûts complets de production (LCoE)

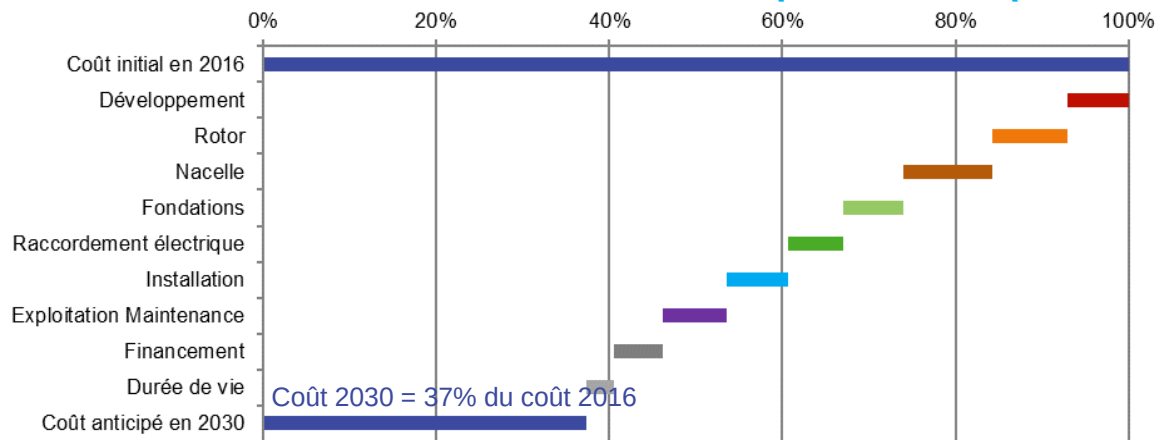
Eolien terrestre (réf.: coûts 2016)



Apprentissage annuel moyen* : 3,1%

Source : BVG Associates

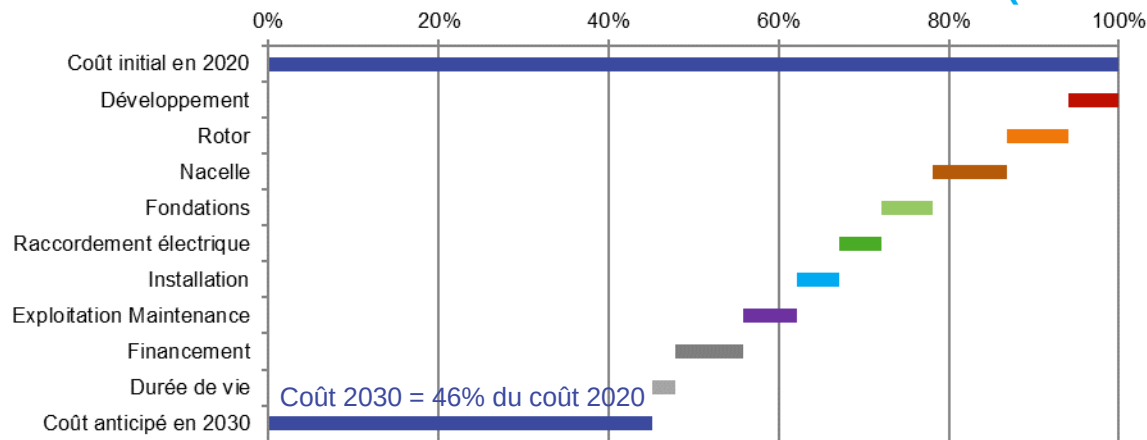
Eolien posé en mer (réf. : coûts 2016)



Apprentissage annuel moyen* : 7%

Source : BVG Associates

Eolien flottant (réf.: coûts 2020)



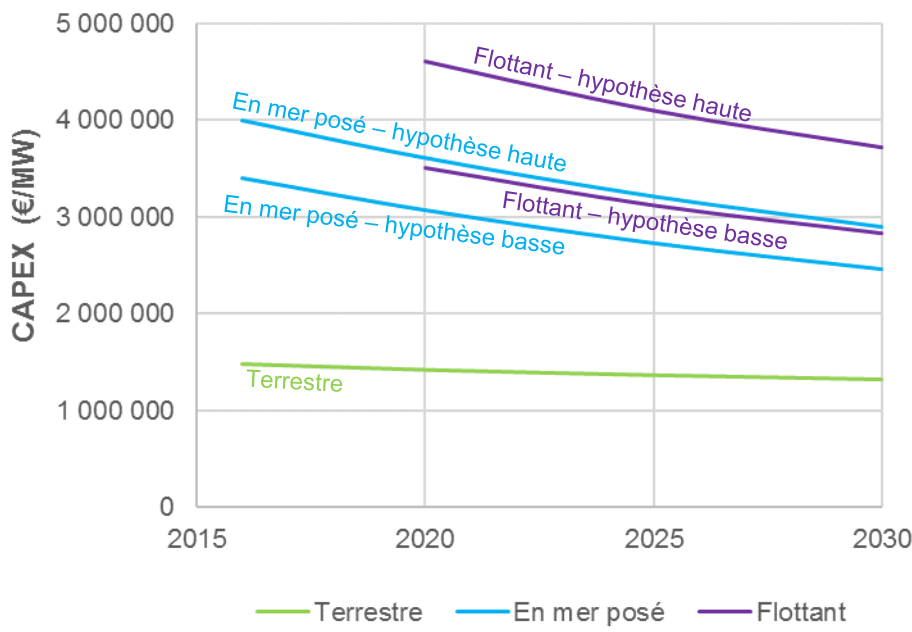
Apprentissage annuel moyen* : 7,5%

Source : BVG Associates

*L'apprentissage annuel t est tel que le LCoE en année n s'exprime en fonction du LCoE en année 0 de référence par : $LCoE_n = LCoE_0 (1-t)^n$

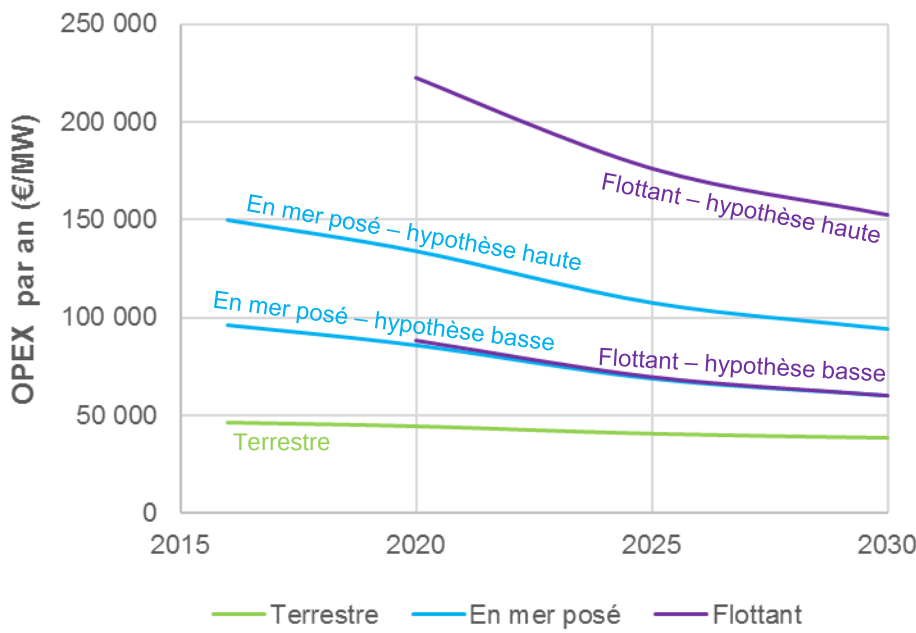
Potentiels de réductions des coûts : CAPEX et OPEX

CAPEX



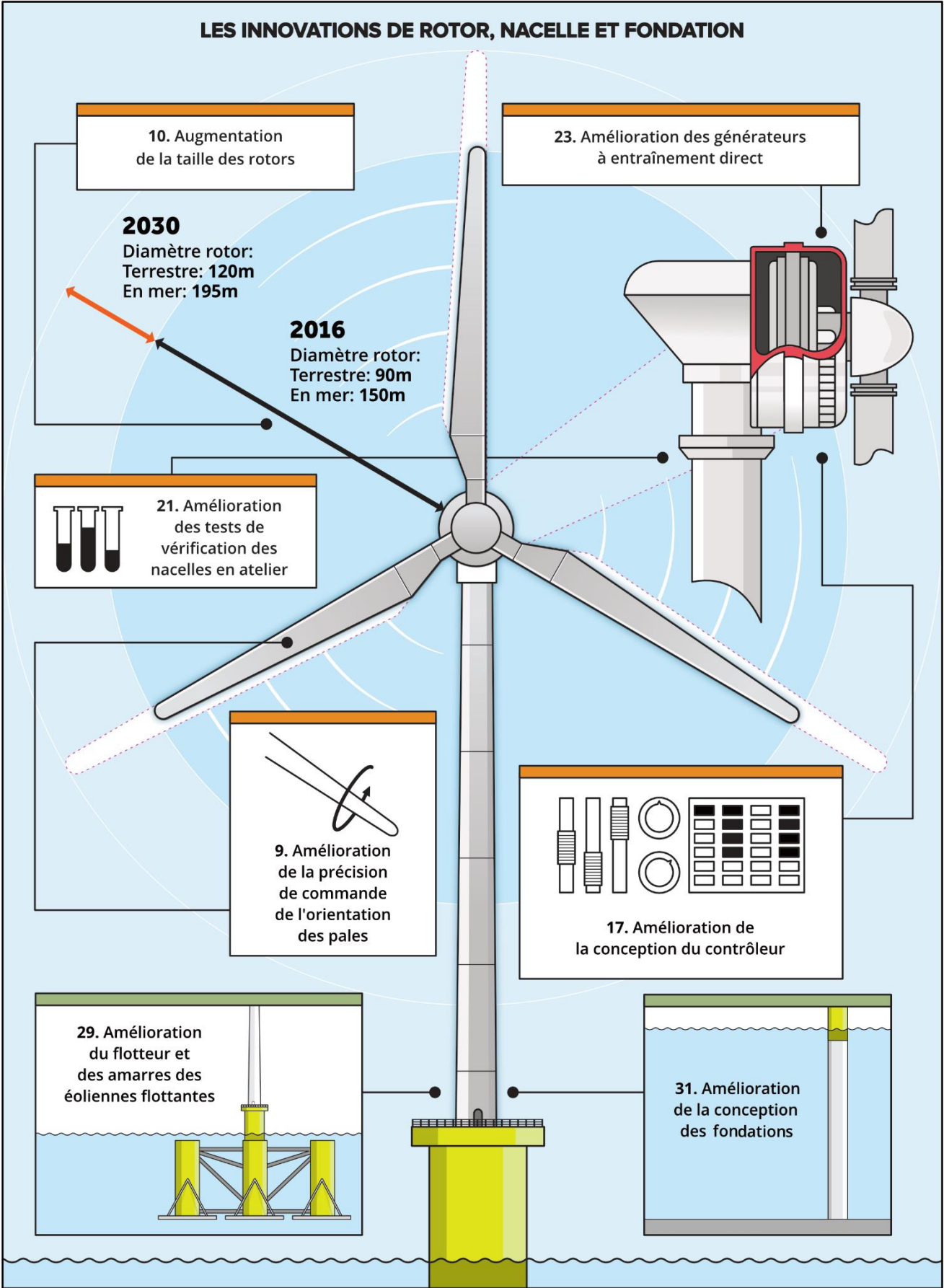
Les coûts d'investissement (CAPEX) comprennent les coûts de développement, de turbine, d'installation, de connexion au réseau électrique, ainsi que les provisions pour les risques et les aléas pendant la construction du projet.

OPEX



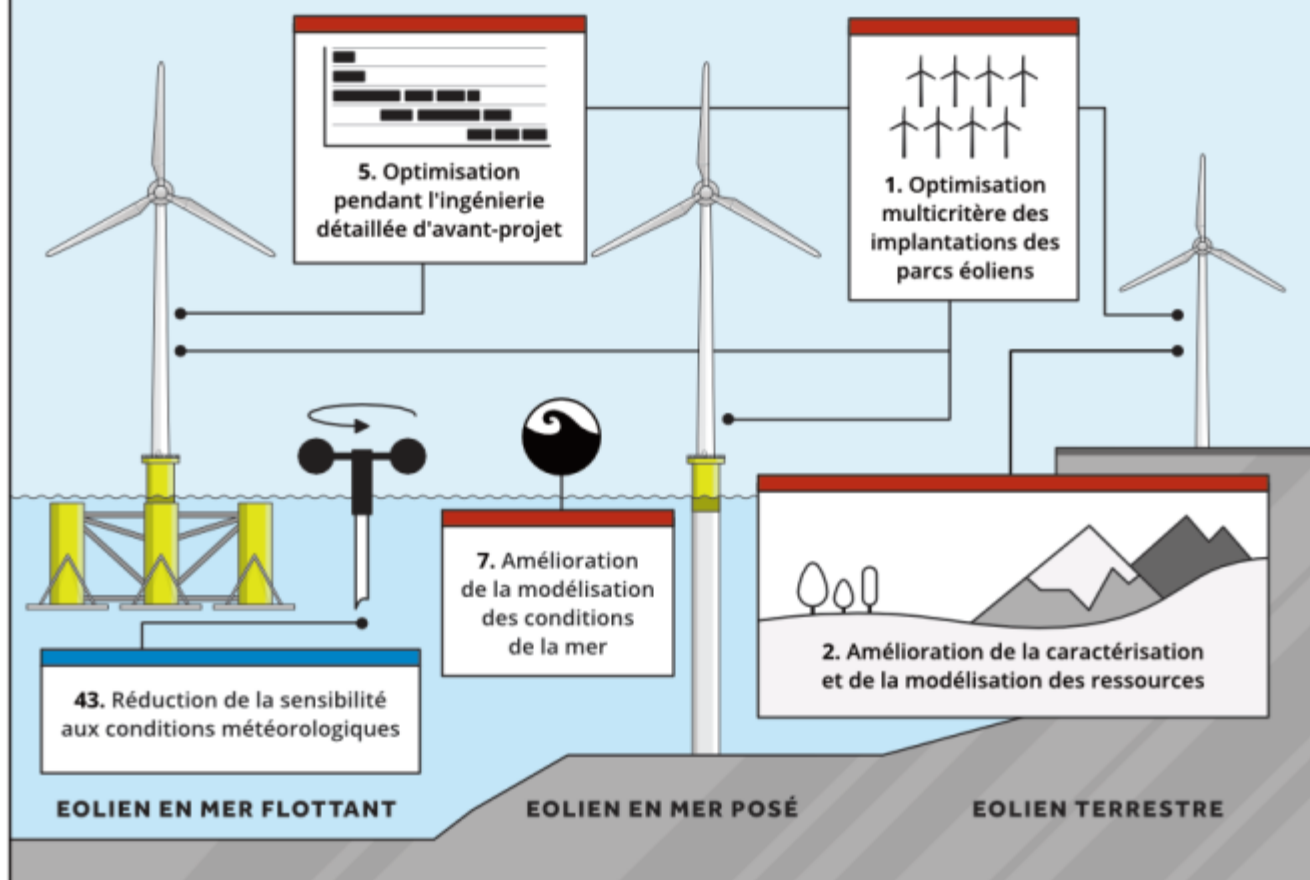
Les coûts d'opération et de maintenance (OPEX) comprennent les coûts d'exploitation et de la maintenance préventive et corrective de la turbine et du raccordement électrique. Les OPEX de l'éolien flottant, filière récente, présentent une incertitude importante. Le taux d'apprentissage est globalement plus important sur les OPEX que sur les CAPEX.

INNOVATIONS PRINCIPALES DANS L'ÉOLIEN TERRESTRE ET EN MER

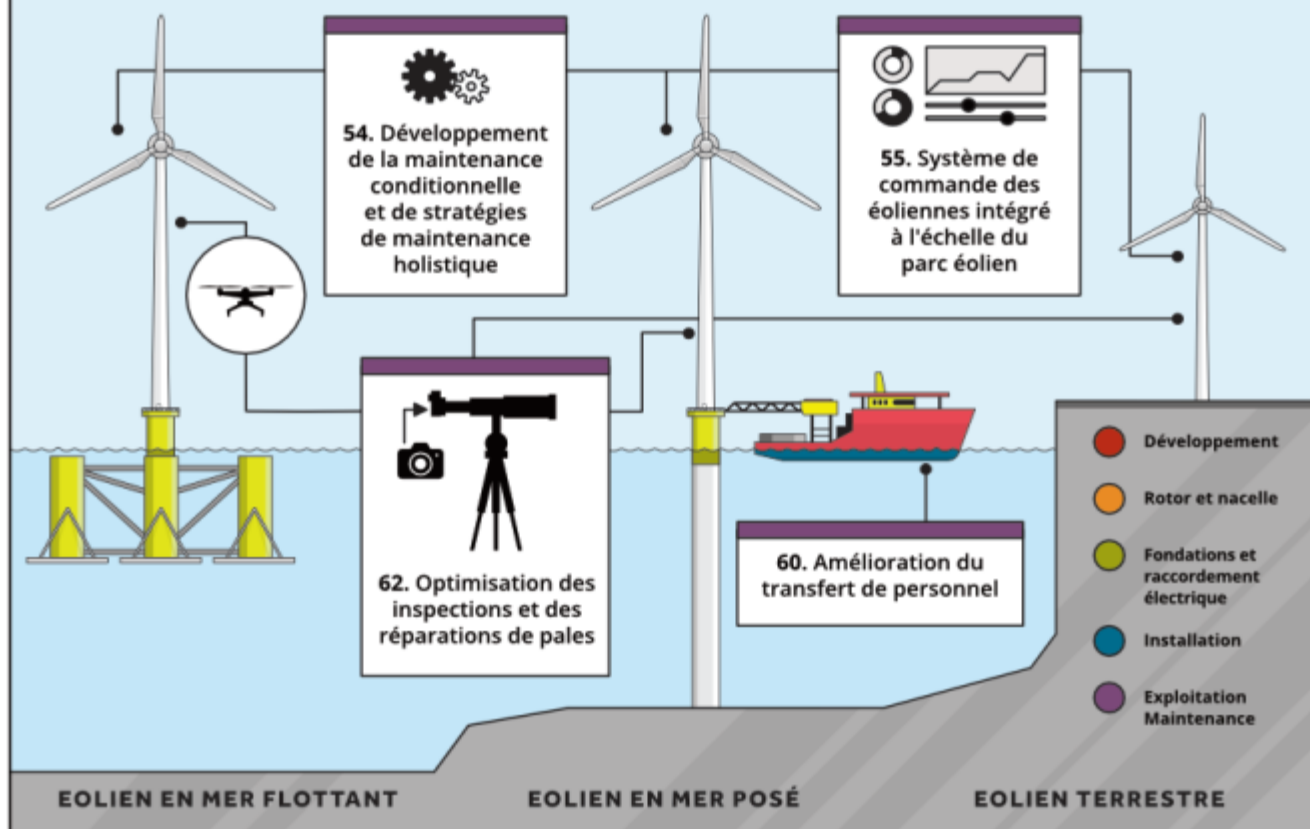


● Développement ● Rotor et nacelle ● Fondations et raccordement électrique ● Installation ● Exploitation Maintenance

LES INNOVATIONS DE DÉVELOPPEMENT ET D'INSTALLATION



LES INNOVATIONS DE D'EXPLOITATION ET DE MAINTENANCE



Expertise des acteurs français

Les typologies des innovations et des acteurs sont variées, des industries connexes peuvent être concernées (aéronautique, naval, automobile). L'innovation apparaît comme la principale clef dans des marchés très compétitifs, dotés de capacités de production établies.

Exemples d'innovations principales sur lesquelles les acteurs français sont particulièrement impliqués :

- Innovation 54 : Développement de la maintenance conditionnelle et de stratégies de maintenance holistique
- Innovation 29 : Amélioration du flotteur et des amarres des éoliennes flottantes
- Innovation 31 : Amélioration de la conception des fondations
- Innovation 13 : Mesure du vent incident

Pour un écosystème éolien français innovant

Les innovations importantes pour la filière ont globalement une maturité avancée : il s'agit plus de travailler à leur mise en œuvre que de porter leur développement très en amont.

- Instituer une coordination nationale de la R&D - Innovation sur le long terme
- Développer les synergies entre éolien terrestre, éolien en mer posé et flottant.

Exemples d'innovations multifilières :

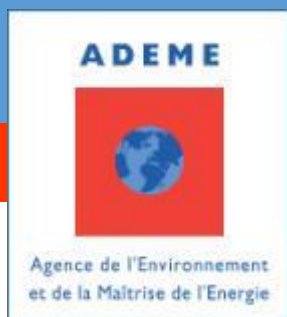
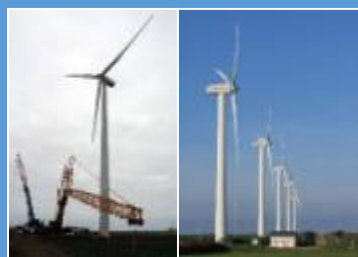
- Innovation 10 : Améliorations apportées aux matériaux et à la fabrication des pales
- Innovation 9 : Optimisation de la commande de l'orientation des pales
- Innovation 62 : Optimisation des inspections et des réparations de pales
- Innovation 21 : Amélioration de la conception du contrôleur

- Développer les coopérations et réunir les conditions d'expérimentation des innovations.

L'ADEME EN BREF

L'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME) participe à la mise en œuvre des politiques publiques dans les domaines de l'environnement, de l'énergie et du développement durable. Afin de leur permettre de progresser dans leur démarche environnementale, l'agence met à disposition des entreprises, des collectivités locales, des pouvoirs publics et du grand public, ses capacités d'expertise et de conseil. Elle aide en outre au financement de projets, de la recherche à la mise en œuvre et ce, dans les domaines suivants : la gestion des déchets, la préservation des sols, l'efficacité énergétique et les énergies renouvelables, la qualité de l'air et la lutte contre le bruit.

L'ADEME est un établissement public sous la tutelle du ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie et du ministère de l'Éducation nationale, de l'Enseignement supérieur et de la Recherche



Etude réalisée par le consortium:



GS Consulting



ADEME
27 rue Louis Vicat
75015 Paris

www.ademe.fr