



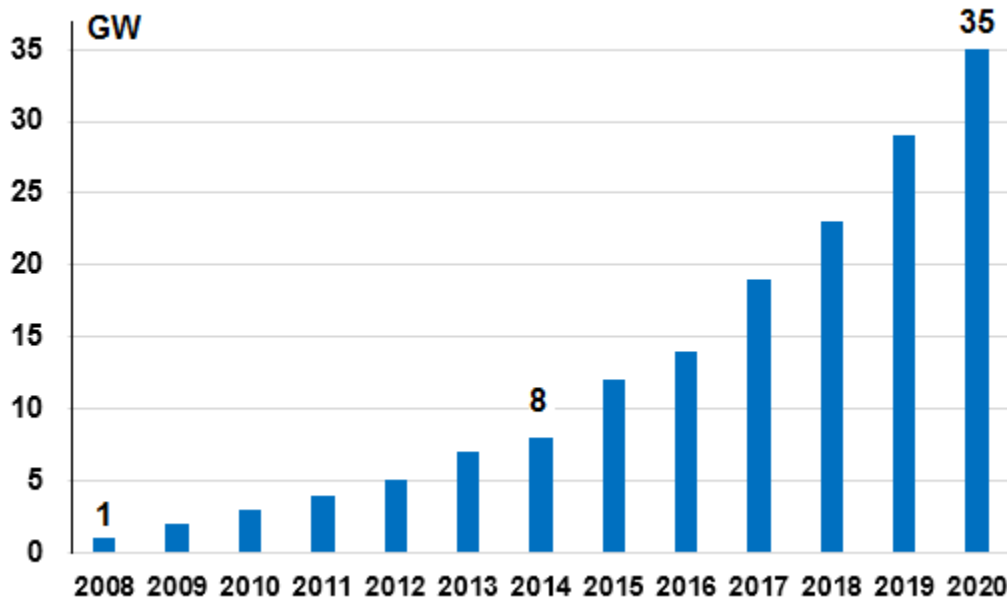
L'essor mondial de l'énergie éolienne en mer

Visioconférence du 17 Mai 2021

Présentation de Michel Cruciani

L'énergie éolienne en mer se développe rapidement.

Cumul des puissances installées dans le monde :



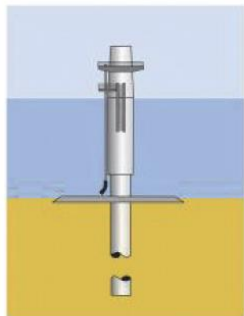
Depuis 2014, l'énergie éolienne offshore connaît un développement très rapide. En puissance installée, le taux de croissance moyen atteint 28 % par an sur la période.

Les 35 GW en service à fin 2020 sont constitués pour la quasi-totalité de turbines **sur fondation**, posées par des profondeurs ne dépassant pas 60 m.

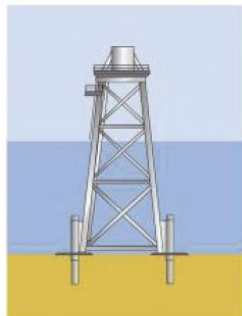
Une technologie, deux filières :

Eoliennes sur fondation (ou "posées") :

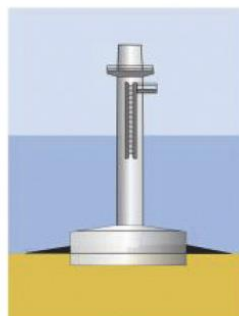
Eoliennes flottantes :



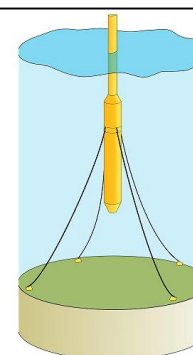
Pieux central unique
(Monopile)



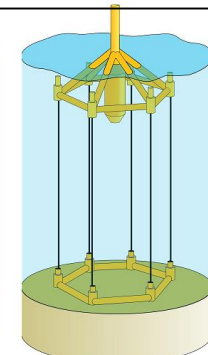
Treillis métallique
(Jacket)



Socle gravitaire
(Gravity Base)



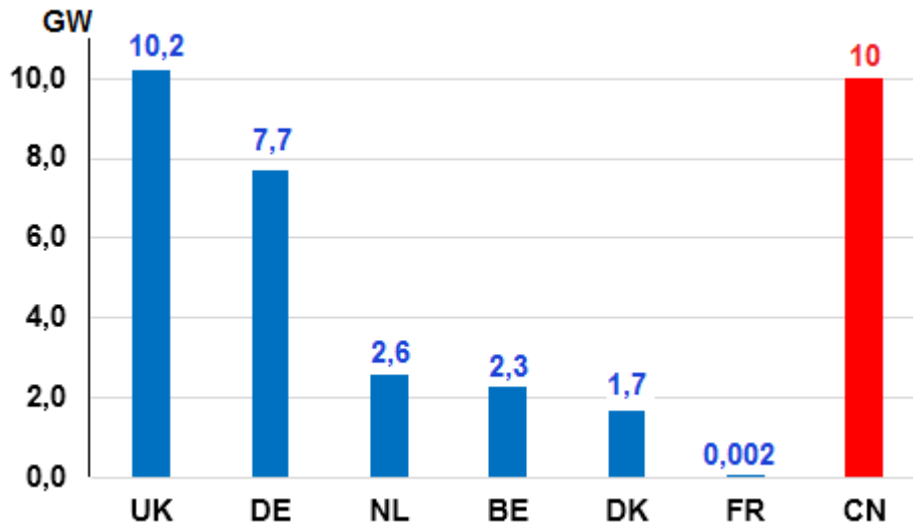
Amarres souples



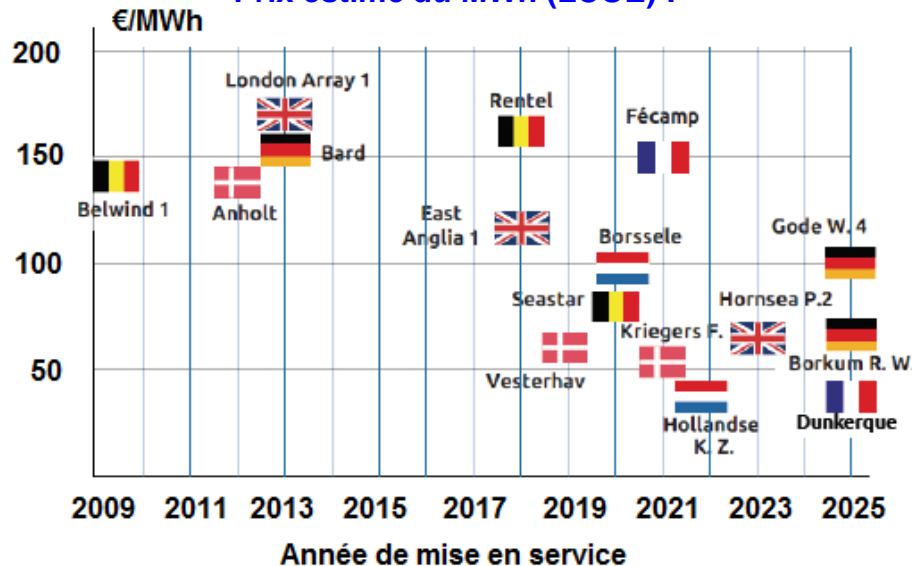
Amarres tendues

L'Europe a pris une avance dans cette technologie.

Cumul des capacités installées en mer fin 2020 :



Prix estimé du MWh (LCOE) :



Fin 2020, l'Europe exploitait 70 % de la puissance installée dans le monde en éoliennes offshore. Il s'agit quasi-exclusivement de turbines posées. Seule la Chine, qui dispose d'une aire maritime de faible profondeur et bien ventée, a suivi l'Europe et représente 28 % de la capacité mondiale.

En Europe, l'essentiel des parcs en mer sont concentrés dans un véritable cluster géographique, mutualisant compétences et moyens techniques et favorisant un effet d'apprentissage.

Depuis 2016 et la multiplication des appels d'offres, le prix du MWh a chuté. Pour les derniers lauréats, ce prix se situe en dessous de celui de l'éolien à terre et des sources conventionnelles (fossiles ou nucléaire). Pourtant, on ne propose plus un Tarif d'Achat Garanti (FiT) mais un Complément de Rémunération (souvent un CfD).

Des programmes considérables surgissent en Asie et en Amérique.

Objectifs ou projets récemment annoncés :

	2020	Objectif	
	GW	GW	Année
Corée du Sud	0,1	12	2030
Japon	0,07	0,8 à 1,5	2030
Taiwan	0	5,5	2025
Vietnam	0	6	2030
USA	0,04	30	2030
Chine	10	20	2025

Aux USA, **18 sites favorables** à l'éolien posé ont été identifiés sur la Côte Atlantique. L'organisme fédéral compétent (BOEM) a attribué des concessions (par appels d'offres) et les lauréats peuvent maintenant solliciter les études d'impact, au niveau fédéral et dans l'Etat concerné. Des aménagements portuaires ont commencé. **Le président Biden** souhaite étendre la démarche à de nouveaux sites pour atteindre 30 GW dès 2030.

Sur la Côte Pacifique, le plateau continental est très profond ; Californie, Hawaï et Oregon misent sur **l'éolien flottant**.

Corée du Sud, Taiwan et Vietnam ont adopté des **objectifs ambitieux** en éolien offshore. Le Japon a équipé plusieurs sites depuis 2011, mais sans réussir un développement soutenu.

En Corée du Sud et au Japon, une partie des projets mettront en œuvre des **éoliennes flottantes**.

Projets sur la Côte Atlantique des Etats-Unis :

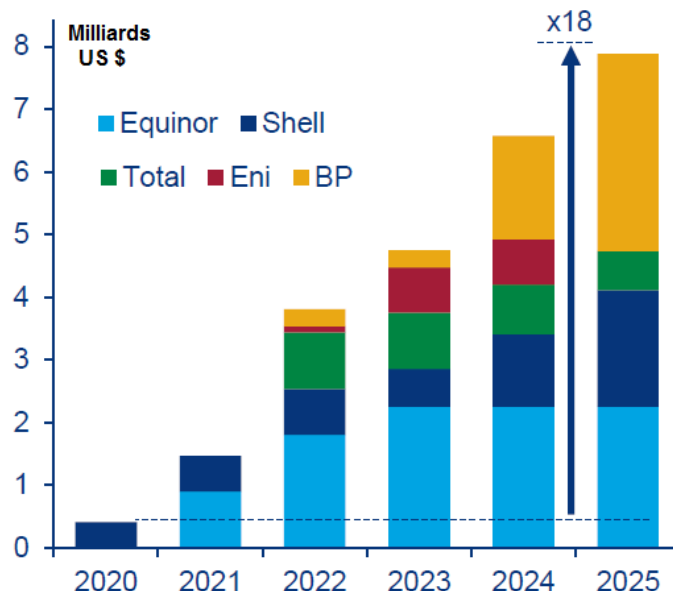


Les grands acteurs de l'énergie s'intéressent à l'éolien en mer.

Les grandes compagnies européennes du gaz et de l'électricité (*utilities*), qui ont tardé à investir dans les énergies renouvelables jusqu'en 2010, entrent l'une après l'autre dans l'éolien en mer. Elles bénéficient de leur connaissance des marchés électriques.

Les grandes compagnies pétrolières et gazières mondiales (*big oil*), dont plusieurs visent la neutralité carbone d'ici 2050, s'engagent à leur tour dans cette activité. Elles s'appuient sur une trésorerie abondante et valorisent leur savoir-faire dans l'offshore et la gestion des grands projets.

CAPEX engagé dans l'éolien en mer par 5 majors :



Exemples de développement dans l'éolien offshore :

	Europe	Asie	USA	Posé	Flottant
EnBW	*	*	*	*	*
EDF	*	*	*	*	*
ENGIE	*			*	*
Iberdrola	*		*	*	
RWE	*		*	*	*
Vattenfall	*			*	
BP	*		*	*	
Chevron			*		*
ENI	*			*	
Equinor	*	*	*	*	*
Orsted	*	*	*	*	
Shell	*	*	*	*	*
Total	*	*		*	*

La détermination des unes et des autres se mesure à l'aide de divers critères :

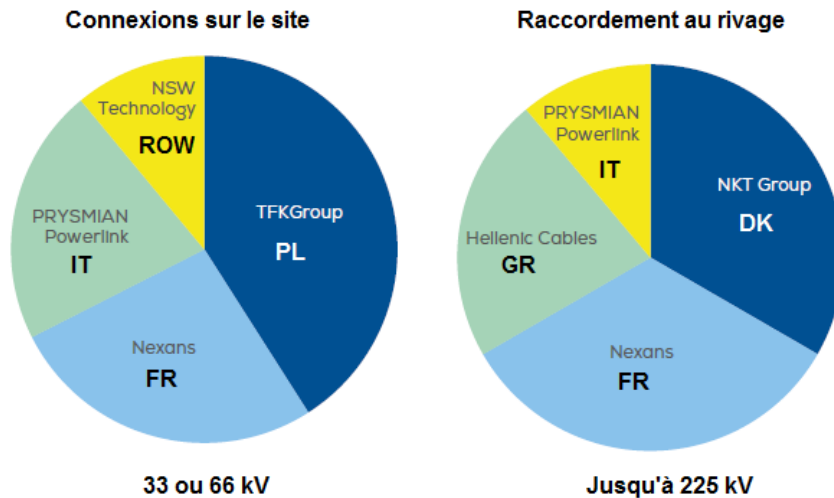
- **Extension mondiale** de leurs zones d'action, loin de leur base historique.
- Diversification technologique, vers la **filrière flottante**.
- Augmentation rapide des **capitaux** engagés.

Les partenariats se multiplient et un véritable marché des projets apparaît.

Les acteurs européens ont su garder une place importante.

Fin 2020, les constructeurs européens avaient fourni **92 % des turbines** en service en mer en Europe (68 % par Siemens-Gamesa et 24 % par Vestas). General Electric (USA) a cependant obtenu des commandes significatives en France et Grande Bretagne, dont une partie sera fabriquée en France (Cherbourg et Saint-Nazaire). Le constructeur chinois Ming Yang a reçu une précommande pour le parc italien de Tarente.

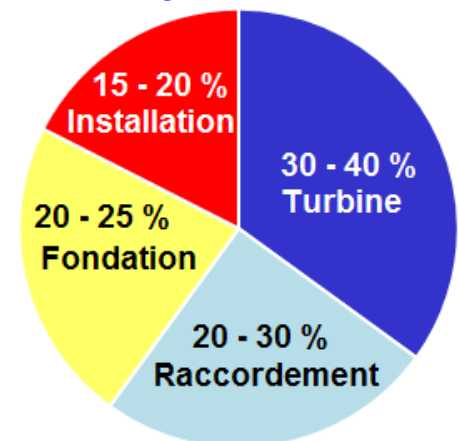
Origine des fournisseurs de câbles pour l'année 2020 :



A ce jour, les entreprises européennes ont capté également l'essentiel du **marché des autres fournitures**, telles que les fondations ou les sous-stations en mer, pour les éoliennes offshore implantées en Europe. En 2020, ils ont livré 89 % des câbles sous-marins du site et 100 % des câbles de raccordement au rivage.

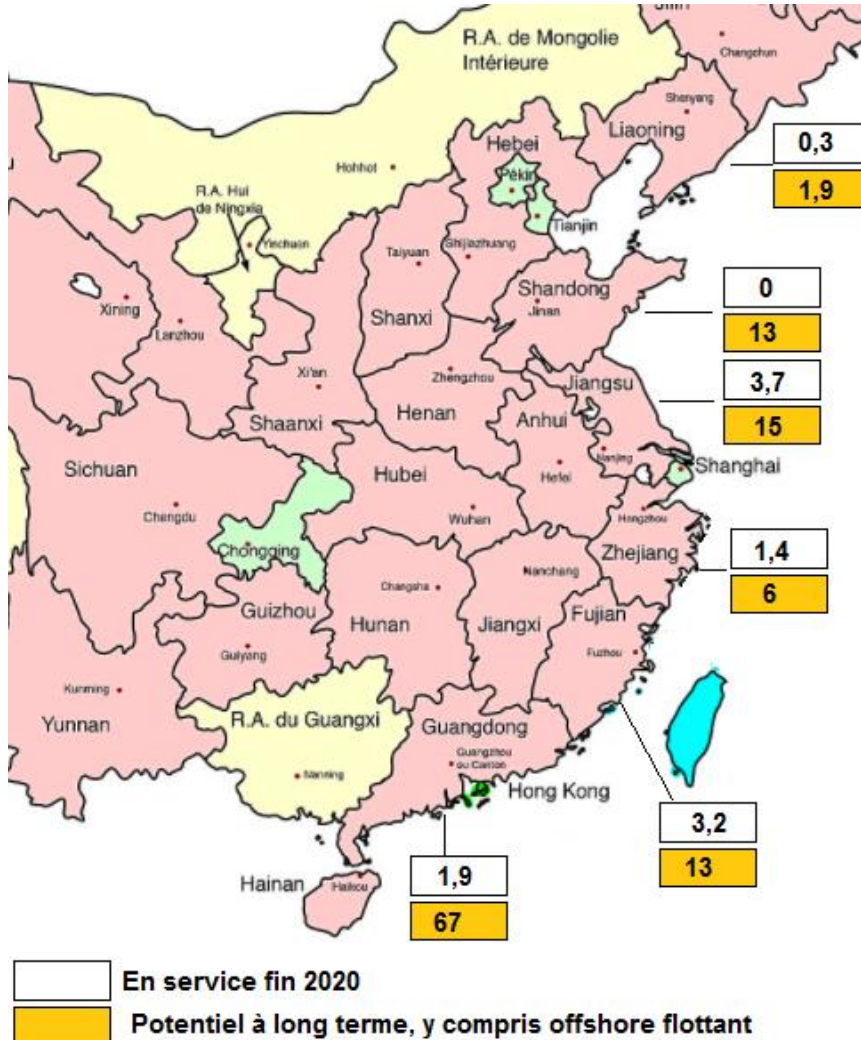
Les acteurs européens contribuent au développement des nouvelles fermes éoliennes en mer dans les pays qui se tournent vers cette technologie. La composition du CAPEX incite à nouer des partenariats locaux, une démarche renforcée par les **obligations de contenu local** imposées par certains pays (telles que le *Buy American Act* ou le *Jones Act* aux Etats-Unis).

Composition moyenne du CAPEX :



A l'heure actuelle, la Chine reste le principal challengeur de l'Europe.

Réalisations & Potentiel technique :



La Mer de Chine offre un potentiel technique élevé dans une vaste zone peu profonde, propice à **l'éolien sur fondation**. Le risque de typhon a cependant limité, jusqu'à ce jour, la puissance des turbines installées.

En Chine, l'éolien offshore a connu une croissance rapide à partir de 2015, grâce à plusieurs facteurs :

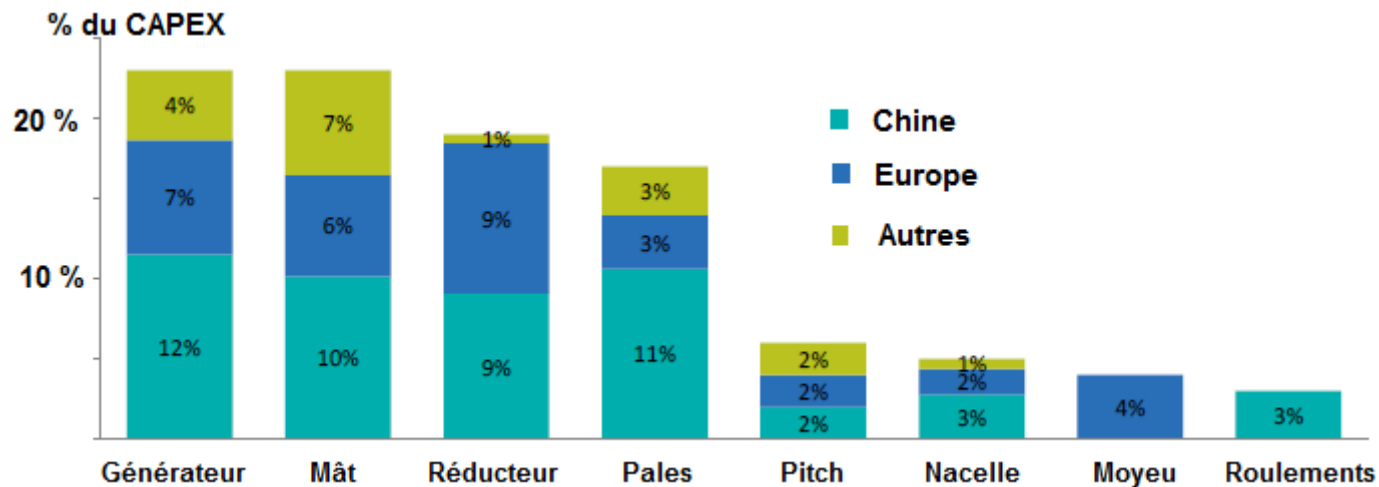
- L'instauration, en Juin 2014, d'un **Tarif d'Achat Garanti** avantageux (entre 75 et 100 €/MWh).
- Un **dynamisme industriel** très fort, facilitant la construction des navires, les aménagements portuaires, l'adaptation des machines.
- Une acquisition de connaissances par des **prises de participations** de la part de grands groupes (CTG, CGN, CRCL) dans des projets en **Europe** (Allemagne, Royaume Uni, France et Portugal).
- Des accords de **licence** pour des technologies innovantes (Siemens) ou de **partenariat** (EDF, Equinor) pour des projets locaux ou à l'exportation.

Commentaire : Plusieurs voies de développement s'ouvrent pour les opérateurs chinois.

Si le marché de l'éolien en mer devient mondial, la Chine peut-elle conquérir une part de marché prépondérante, comme elle l'a fait pour l'énergie photovoltaïque ? Plusieurs voies semblent ouvertes :

1. Développer des **turbines de forte puissance et des flotteurs** pour offrir des ensembles adaptés aux nouveaux besoins. Cette stratégie s'appuie sur le 14^{ème} plan quinquennal (2021-2025) qui renforcera les contraintes de compétitivité et lancera l'éolien flottant en Chine.
2. Prendre pied sur les marchés par **apport de capital** puis, à partir des instances dirigeantes locales, commander des équipements chinois. En Europe, cette stratégie pourrait utiliser le Royaume Uni comme tête de pont, selon le schéma envisagé dans le secteur nucléaire (centrales d'Hinkley Point, Sizewell et Bradwell).
3. Poursuivre la **fourniture de composants** en bénéficiant d'un marché en forte croissance, parfois en délocalisant une partie de la production vers les pays acquéreurs. Cette stratégie s'adosse aux positions solides déjà détenues.

Fourniture de composants pour éoliennes en 2018 (terrestres et maritimes – ensemble du monde) :



L'éolien en mer apparaît indispensable à l'UE.

Objectifs de quelques pays (en GW) :

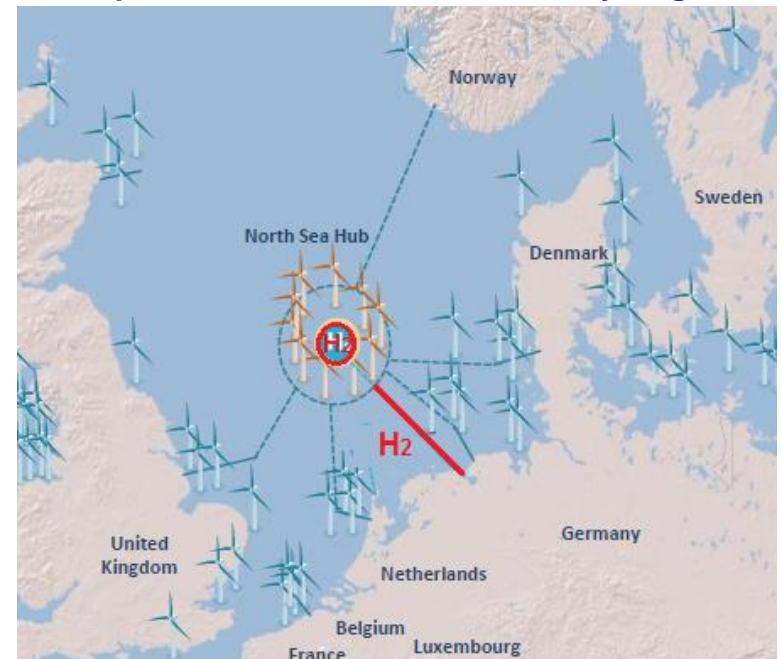
	2020	2030	2040	Source
Allemagne	8	20	40	Loi 2020
Belgique	2	4		NECP 2019
Pays-Bas	3	6		NECP 2019
Pologne	0	11	28	Loi 2021
France	0	(2028) 5 à 6		PPE 2020
Royaume-Uni	10	40		Déclaration 2020

L'UE s'engage à réduire de **55 %** ses émissions de gaz à effet de serre d'ici 2030 et vise la neutralité carbone à l'horizon 2050. Tous les scénarios étudiés concluent à la nécessité d'un **fort développement de l'éolien offshore**. Plusieurs Etats membres de l'UE ainsi que le Royaume-Uni prévoient un niveau élevé de capacité installée dès 2030.

La Commission Européenne a publié en Novembre 2020 une "**Stratégie en faveur des énergies renouvelables en mer**" qui comporte notamment pour l'éolien :

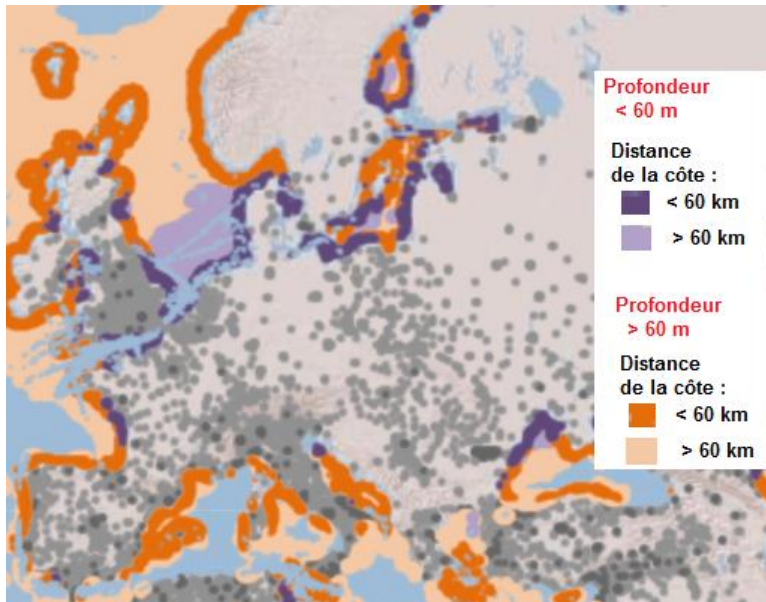
- Un objectif de 60 GW en 2030 et **300 GW** en 2050 (UE 27).
- Une invitation aux Etats à renforcer **l'éducation et la formation professionnelle** sur ces technologies.
- Un rappel des **textes en vigueur**, sur la planification de l'espace maritime, la protection des milieux naturels, la recherche, les investissements attendus, etc.
- Une réflexion sur la **réglementation** des futurs réseaux électriques sous-marins interconnectés et "hydroduc" qui achemineront l'hydrogène produit en mer : programmation des ouvrages, choix technologiques, partage des coûts, autorités de régulation, régimes de soutien financier...

Exemple de réseau interconnecté & Hydrogène :



Commentaire 1 : La "stratégie" de la Commission comporte des points faibles.

Potentiel technique :



Contrairement aux politiques communautaires en faveur de la batterie ou de l'hydrogène, la stratégie concernant l'éolien en mer ne dégage pas de **moyens financiers nouveaux** et ne prévoit pas un **cadre réglementaire allégé** pour les aides publiques.

Les pays du Nord, qui ont accès à la **filière posée**, désormais mature, n'en ont probablement pas besoin. Pour les pays du Sud, qui comptent sur la **filière flottante**, en cours de mise au point, cette absence de soutien constituera un handicap.

Faute d'un dispositif d'aide spécifique, l'UE risque de perdre **l'avance technique** qu'elle a acquise dans la filière flottante.

Potentiel (en GW) :

	Scénario de référence			Scénario Faibles Restrictions		
	Profondeur 0 à 60 m (posé)	Profondeur 60 à 100 m (flottant)	Total	Profondeur 0 à 60 m (posé)	Profondeur 60 à 100 m (flottant)	Total
Nord	190	0	190	497	368	865
Sud	22	0	22	69	138	207
dont FR	16	0	16	45	87	132
Est	9	0	9	31	50	81

Dans les pays du Sud et de l'Est, le potentiel ne devient significatif qu'en misant sur la **filière flottante** et en empiétant sur des zones aujourd'hui dédiées à **d'autres usages** de la mer (pêche, trafic maritime, activités nautiques...).

Nord : BE, DK, DE, EE, FI, IE, LT, LV, NL, PL, SE - Sud : CY, ES, FR, HR, IT, EL, MT, PT - Est : BG, RO

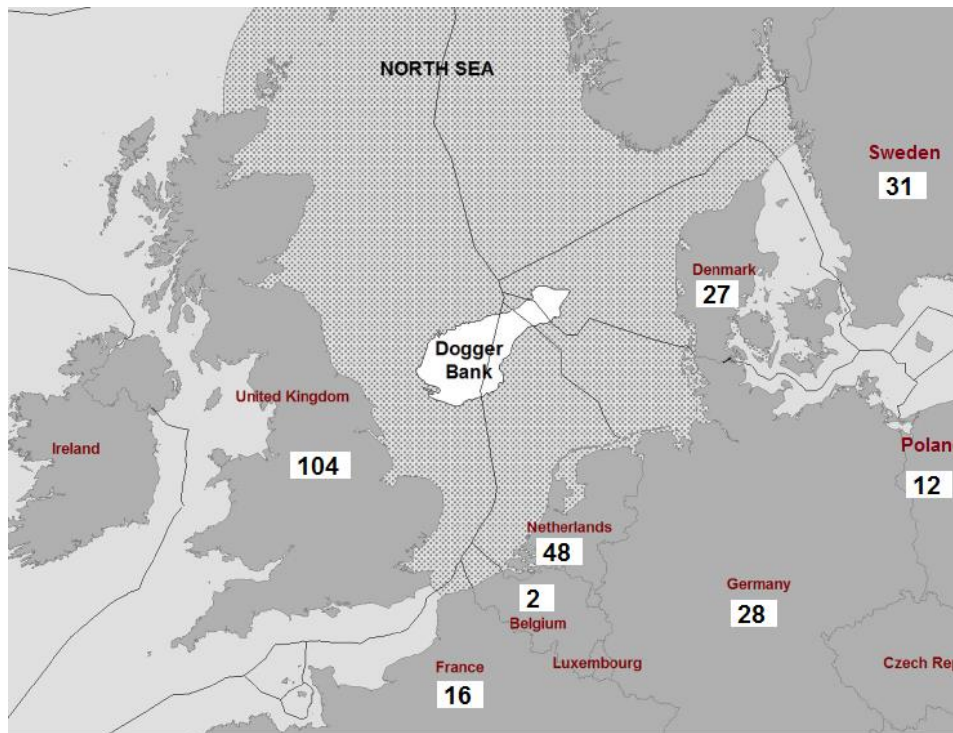
Sources : AIE (2019) et ENSPRESO (2019)

Commentaire 2 : Des inconnues subsistent sur le partenariat avec le Royaume Uni.

Le Royaume Uni possède une Zone Economique Exclusive lui conférant un potentiel exceptionnel en éolien posé. En conséquence du Brexit, le pays va quitter les instances de concertation entre Etats, telles que la NSCOGI, et ne sera plus lié par les règles internes à l'UE. Il pourra choisir entre :

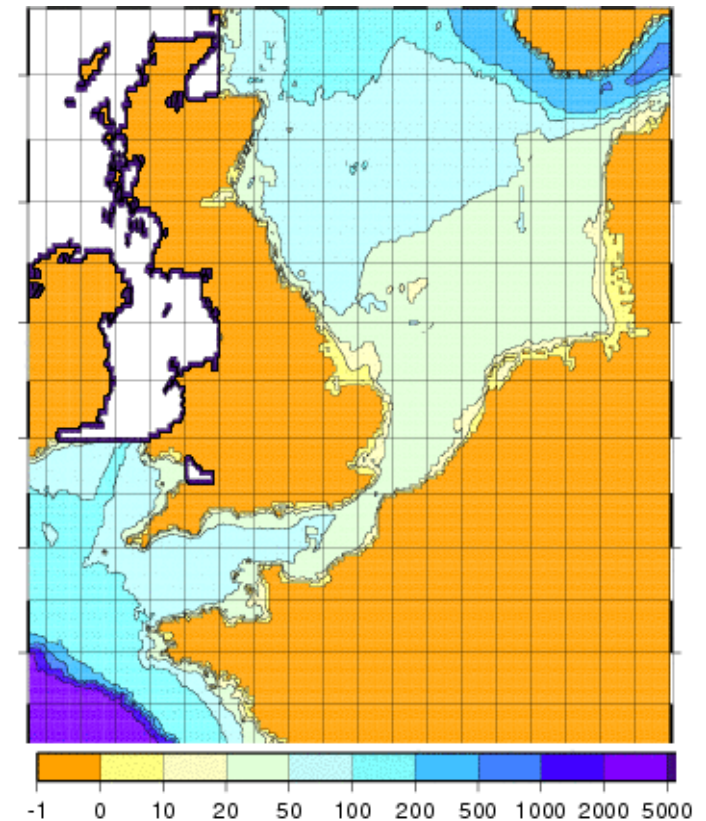
- Une **démarche solitaire** assortie d'accords bilatéraux, par exemple avec la Norvège ou avec la France.
- Une **coordination** avec l'ensemble du continent, via l'organe de coopération des gestionnaires de réseau ENTSO-E dont il peut rester membre.

Potentiel en GW à l'intérieur des Zones Economiques Exclusives
(scénario de référence – Profondeur < 60 m) :



NSCOGI: North Seas Countries Offshore Grid Initiative
ENTSO-E : European Network of Transmission System Operators – Electricity

Bathymétrie (en m) :



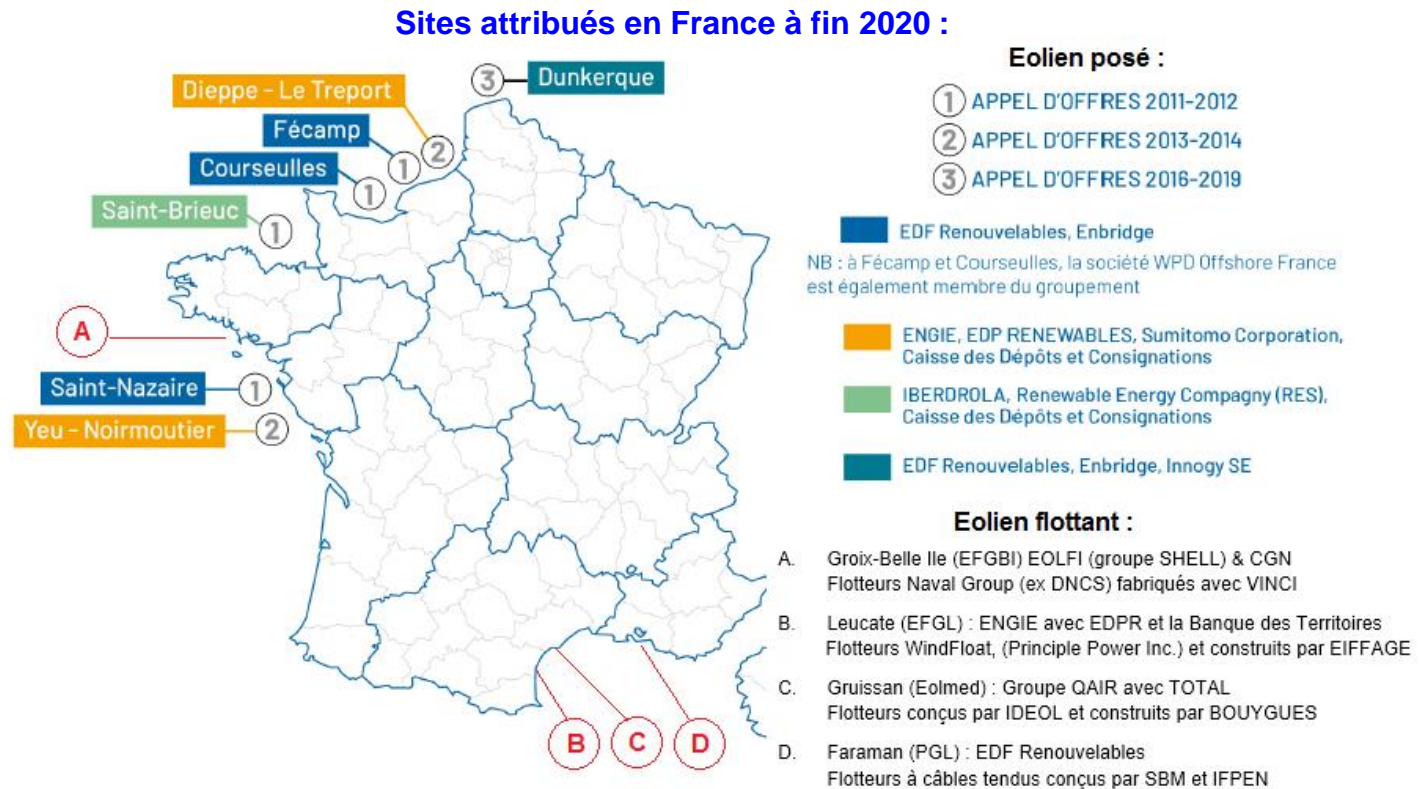
Sources : Cartes publiques, données ENSPRESO (2019)

En France, la technologie de l'éolien offshore pénètre lentement.

Le premier appel d'offres pour des **éoliennes sur fondation** date de **2011**. La sélection a fait l'objet de **recours en justice** de la part de candidats évincés. Les études techniques, économiques et environnementales incombaient aux lauréats, qui devaient ensuite demander les autorisations légales. La quasi-totalité des autorisations ont été attaquées en justice par des associations de riverains.

Entre temps, les développeurs ont demandé des changements, impliquant de nouvelles études pour moins d'éoliennes mais plus puissantes, et l'Etat a révisé le **Tarif d'Achat Garanti sur 20 ans**, en échange d'un transfert à RTE des frais de raccordement. Début 2021, les travaux commencent enfin.

En 2015, l'ADEME a lancé des appels à projet pour des **fermes éoliennes flottantes**.

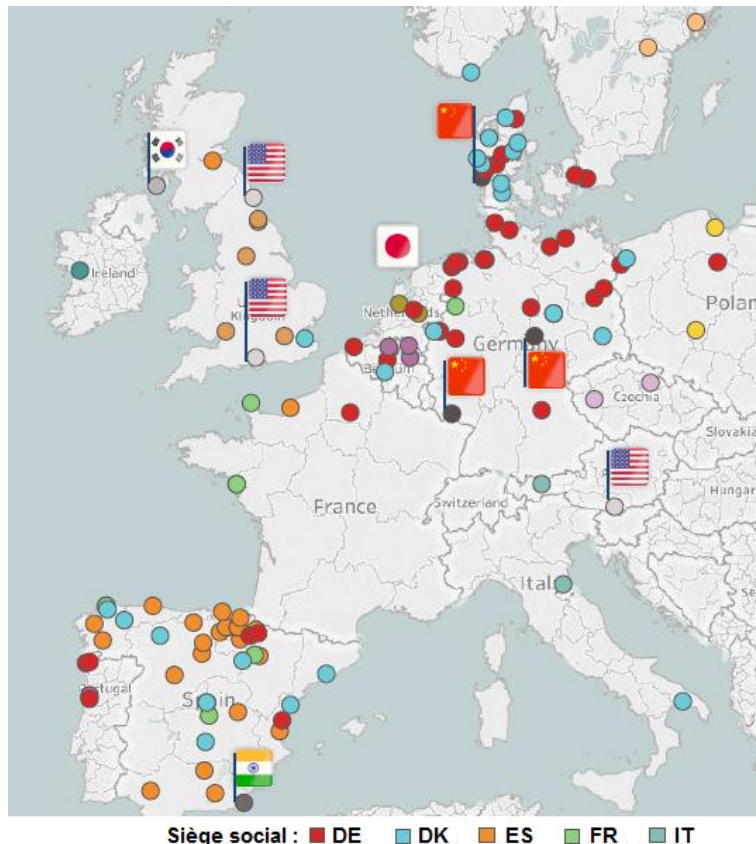


La France a testé diverses formes d'appels d'offres.

Dans les appels d'offres de 2011 et 2013, chaque offre était notée de 0 à 100, avec 40 points en fonction du tarif demandé, 20 points selon des critères environnementaux et 40 points pour le volet industriel. La France souhaitait attirer sur son territoire des fabricants de composants.

Dans l'appel d'offres de 2018 (Dunkerque), le volet industriel a disparu. Le tarif demandé constitue 70 points de la note (sur 100) et 30 points concernent la robustesse environnementale, technique et financière du projet. La production ne bénéficie plus d'un Tarif d'Achat Garanti, mais d'un Complément de Rémunération.

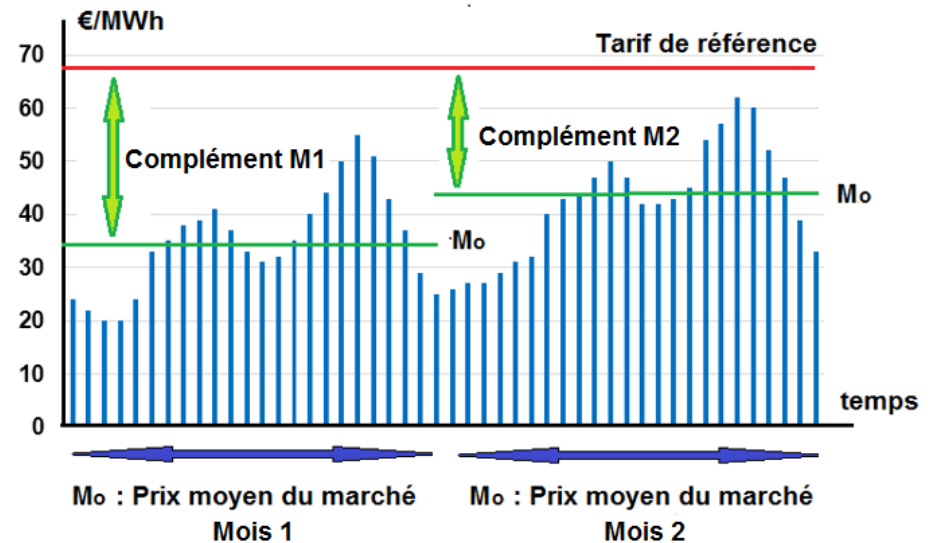
Sites de production de composants en 2018 :



Sources : CRE (2011 et 2019) et JRC (2019)

Le Complément de Rémunération représente la différence entre le prix moyen du marché (Mo) durant le mois écoulé et le Tarif de Référence, issu de l'appel d'offres. Le producteur est incité à vendre au moment où les prix sont les plus élevés et il devient responsable d'équilibre.

Le Complément de Rémunération :



En France, l'acceptabilité constitue encore un frein.

La nouvelle procédure fixe les étapes suivantes :

- Délimitation générale par la **Stratégie Nationale** pour la Mer et le Littoral, affinée par façade maritime (+ une Conférence Régionale en Bretagne)
- Périmètre précis arrêté après discussion menée par la **Conférence Nationale du Débat Public**
- Etudes sur la zone réalisées par l'Etat
- Appel à candidatures, suivie d'un **dialogue concurrentiel** avant la rédaction du cahier des charges
- Appel d'offres final et choix du lauréat
- Attribution de l'autorisation environnementale et de la concession d'utilisation du domaine public maritime (à caractéristiques variables, ou "**permis enveloppe**")
- La Cour Administrative de Nantes statue en **premier et dernier ressort** sur tous les recours en justice.

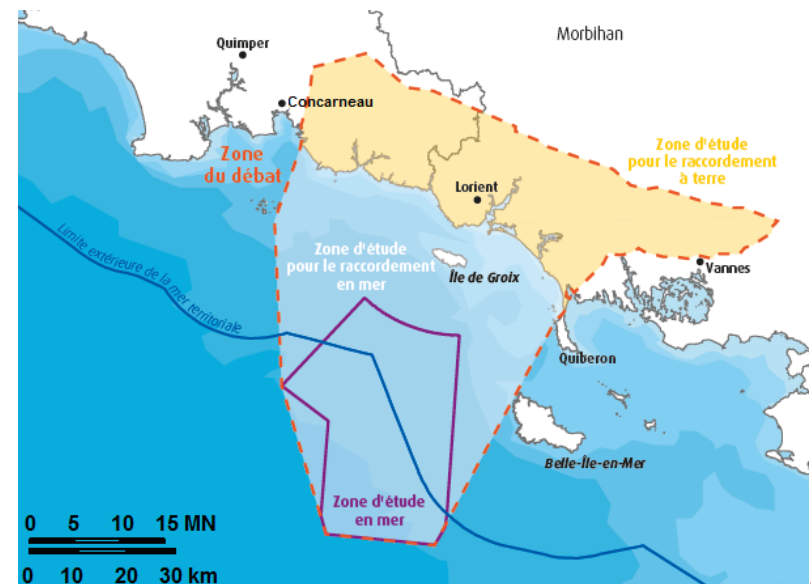
Cette procédure a été appliquée en 2020 pour le futur parc éolien posé de 1 GW en Normandie et pour le parc flottant de 250 MW au Sud de la Bretagne. Elle s'appliquera en 2021 pour le parc posé d'Oléron.

Exemple de débat difficile – Parc flottant de Bretagne Sud :

Les débats révèlent des **crispations** concernant :

1. Le tracé de la zone d'implantation
2. Les incertitudes sur les caractéristiques finales
3. Des informations lacunaires sur le milieu naturel
4. Des imprécisions sur les conséquences négatives

Une des causes majeures d'hostilité semble provenir de la **proximité des implantations** par rapport à la côte.



Conclusion



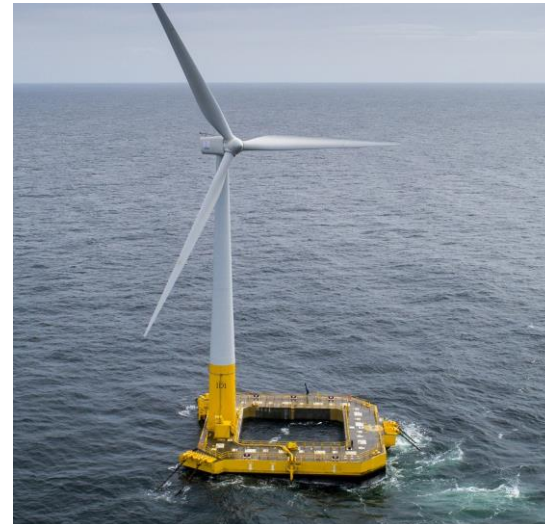
Crédit Photo : EDF Renewables

La France apparaît bien placée pour capter une partie du marché mondial promis par l'éolien flottant. Cette filière faciliterait probablement l'acceptation de l'énergie éolienne en mer dans notre pays, en autorisant des installations **éloignées des côtes**. Le surcoût du MWh qui en résulterait semble acceptable au regard des bénéfices attendus.

Les océans offrent un potentiel éolien considérable.

La filière de l'**éolien offshore posé** est déjà mature ; elle permet aux pays dotés de conditions physiques appropriées (régime des vents et profondeur de la mer) de développer dès maintenant cette source. De nombreuses entreprises européennes sont bien placées sur ce marché qui s'ouvre à l'échelle mondiale.

La filière de l'**éolien flottant** pourra bientôt s'implanter en mer profonde. L'Europe se situe en pointe sur cette technologie, en abritant 29 des 36 installations en service, en construction ou annoncées dans le monde. On peut donc regretter que la Commission Européenne ne donne pas un coup de pouce à cette filière, notamment en allégeant les procédures communautaires qui concernent les aides.



Crédit Photo : IDEOL



**Merci pour votre attention, pour vos commentaires
et vos questions**

michel.cruciani@gmail.com

Sources (1/3)

Slide 2 :

Diagramme : Global Wind Energy Council (GWEC), Global Wind Report 2021, 25 Mars 2021. Données collectées page 52, diagramme de l'auteur.

Eoliennes sur fondations : IRENA, Innovation Outlook – Offshore Wind, 2016, page 34.

Eoliennes flottantes : EU Lifelong Learning Programme Aquaret, 2019. <http://www.aquaret.com>

Slide 3 :

Haut : Global Wind Energy Council (GWEC), Global Wind Report 2021, 25 Mars 2021. Données collectées page 53, diagramme adapté par l'auteur.

Bas : Cap Gemini Invent & France Energie Eolienne, Observatoire de l'éolien 2020, publié en Septembre 2020, page 110.

Slide 4 :

Asie sauf Chine : Communiqués de presse.

Chine : Combinaison de deux documents issus du site Energy Iceberg : <https://energyiceberg.com/> : *China's Offshore Wind Market Provincial Breakdown* (29 April 2020) et *Renewable Energy in China's 14th Five-Year Plan* (24 March 2021).

USA : Carte : Reuters – New Energy Update, *US offshore wind project pipeline tracker*, June 2020, page 1 et Communiqué de la Maison Blanche du 29 Mars 2021.

Slide 5 :

Communiqués de presse et Wood Mckenzie, *Big Oil's impact on the transformation of offshore wind*, March 2021, page 6.

Slide 6 :

Lauréats des Appels d'Offres 2010-2019 : Commission Européenne, Joint Research Center, *Facts and figures on Offshore Renewable Energy Sources in Europe*, 5 October 2020, slide 41.

Origine des fournisseurs de câbles : Wind Europe, *Offshore Wind in Europe – Key trends and statistics 2020*, February 2021, pages 23 à 29.

Composition moyenne du CAPEX : Agence Internationale de l'Energie (AIE), *Offshore Wind Outlook 2019*, October 2019, page 24.

Sources (2/3)

Slide 7 :

Fond de carte : Wikipedia, carte des provinces de Chine.

Données chiffrées : site Energy Iceberg : <https://energyiceberg.com/> : *China's Offshore Wind Market Provincial Breakdown* (29 April 2020)

Slide 8 :

European Commission, Joint Research Center (JRC), *Wind Energy - Technology market report*, 2019, page 42.

Slide 9 :

Allemagne : Loi du 3 Juin 2020.

Belgique : Plan National Energie & Climat 2019.

Pays-Bas : Plan National Energie & Climat 2019.

Pologne : Loi du 20 Janvier 2021.

Royaume-Uni : Communiqué du Premier Ministre du 6 Octobre 2020.

Commission Européenne, Communication, "*Une stratégie de l'UE pour exploiter le potentiel des énergies renouvelables en mer*", COM (2020) 741 du 19 Octobre 2020.

Illustration : Agence Internationale de l'Energie (AIE), *Offshore Wind Outlook – Launch Presentation*, 25 October 2019, slide 12, retouché par l'auteur.

Slide 10 :

Carte : Agence Internationale de l'Energie (AIE), *Offshore Wind Outlook 2019*, Novembre 2019. Copie d'écran tirée du site : <https://www.iea.org/reports/offshore-wind-outlook-2019/geospatial-analysis>

Tableau : Extraits de : Commission Européenne, Joint Research Centre, Tableur Excel "*ENSPRESO - Wind onshore and offshore*", Feuille "OFFSHORE SUMMARY + graph", mise à jour du 11 Mars 2020.

Sources (3/3)

Slide 10 :

Carte : Agence Internationale de l'Energie (AIE), *Offshore Wind Outlook 2019*, Novembre 2019. Copie d'écran tirée du site : <https://www.iea.org/reports/offshore-wind-outlook-2019/geospatial-analysis>

Tableau : Extraits de : Commission Européenne, Joint Research Centre, Tableur Excel "ENSPRESO - Wind onshore and offshore", Feuille "OFFSHORE SUMMARY + graph", mise à jour du 11 Mars 2020.

Slide 11 :

Limites des Zones Economiques Exclusives : Caroline Hattam, Jonathan Atkins, Nicola Beaumont et alii, *Marine ecosystem services: Linking indicators to their classification*, in Ecological Indicators 49 (2015) 61–75, page 62.

Bathymétrie de la Mer du Nord : http://www.meteorologie.eu.org/mothy/bathymetrie/html/ba_nord.html

Slide 12 :

Site Internet du Ministère de la Transition Ecologique :

<https://www.ecologie.gouv.fr/eolien-en-mer-0> Mise à jour du 21 Janvier 2021

Slide 13 :

Commission de Régulation de l'Energie (CRE) : Présentation du cahier des charges du premier appel d'offres pour l'installation de parcs éoliens en mer (2011) et Cahier des charges pour le site de Dunkerque du 15 Novembre 2018.

Carte : European Commission, Joint Research Center (JRC), *Wind Energy - Technology market report*, 2019, page 44.

Diagramme de l'auteur

Slide 14 :

Commission Nationale du Débat Public, *Comptes rendus des débats publics* relatifs au parc éolien maritime en Normandie (Octobre 2020) et aux éoliennes flottantes au Sud de la Bretagne (Février 2021).

Illustration : Ministère de la Transition Ecologique, *Projet d'éoliennes flottantes au sud de la Bretagne, Débat public - Dossier du maître d'ouvrage* - Juillet 2020, page 9.