

L'évolution de la technologie éolienne

- Onshore turbine
- Offshore turbine

Exemple Vestas

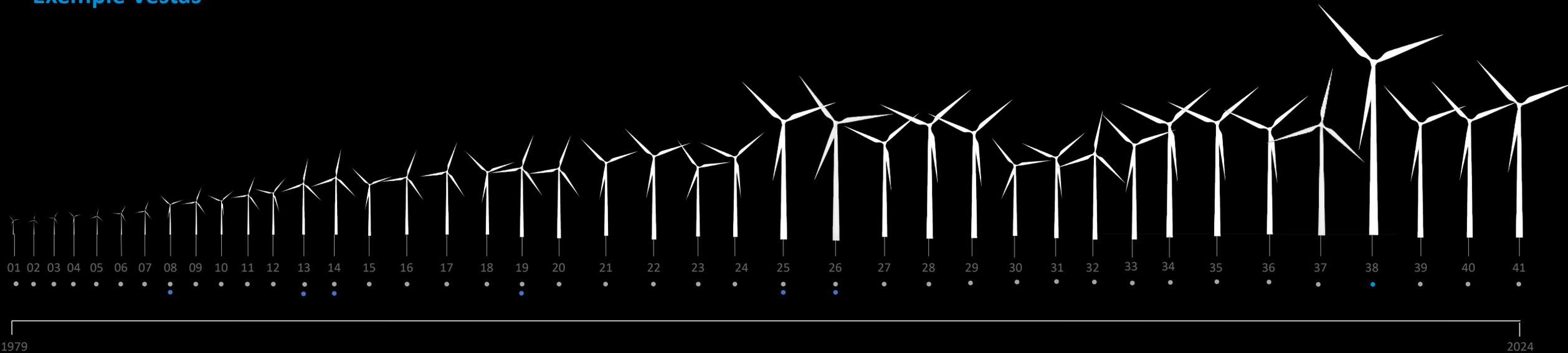


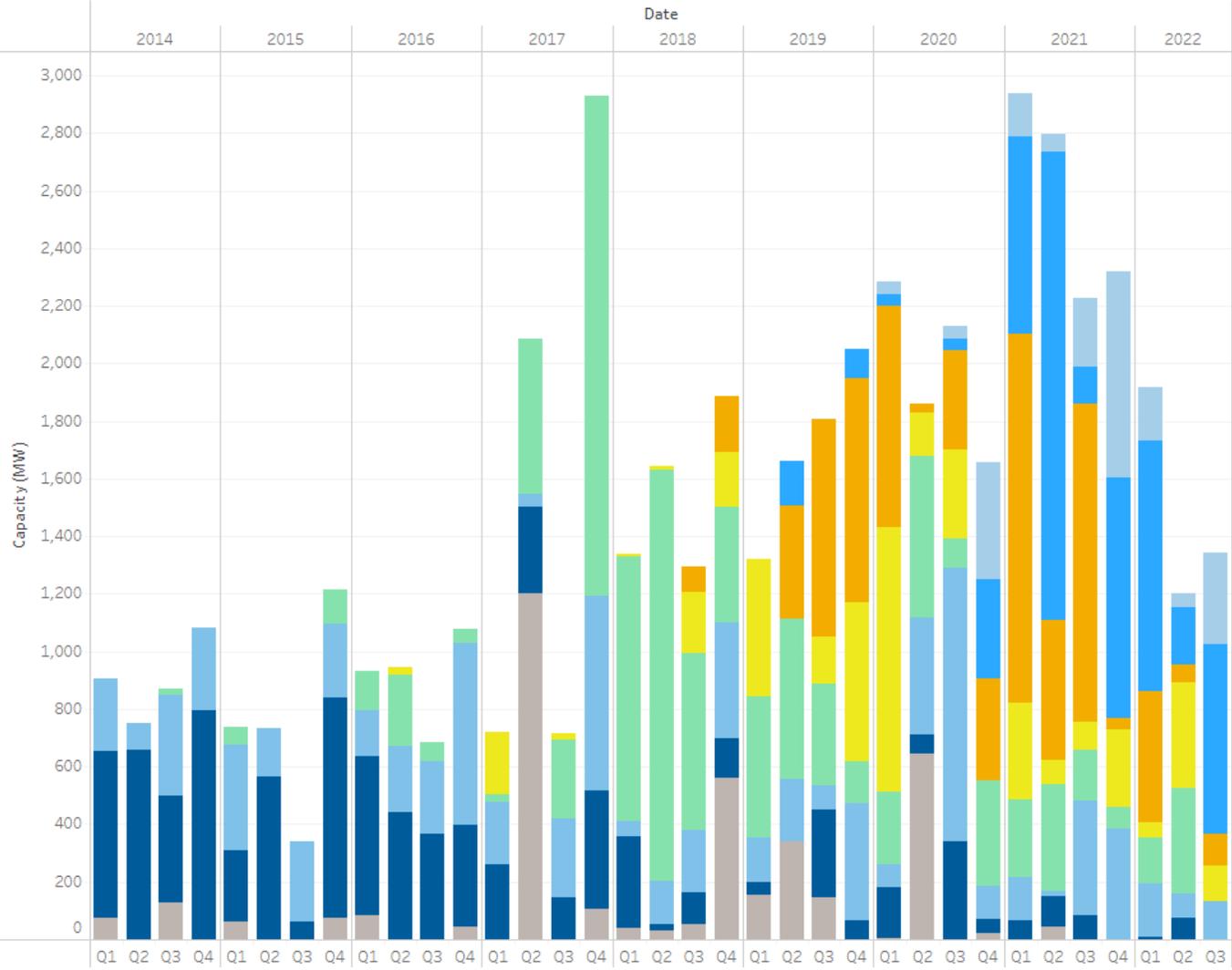
Diagram No.	Turbine model	Year of prototype	Diagram No.	Turbine model	Year of prototype	Diagram No.	Turbine model	Year of prototype	Diagram No.	Turbine model	Year of prototype
● 01	V10-30 KW	1979	● 11	V52-850 KW	2000	● 21	V117-3.3 MW	2013	● 31	V120-2.2 MW	2017
● 02	V15-55 KW	1981	● 12	V66-1.75 MW	1999	● 22	V126-3.3 MW	2013	● 32	V117-4.2 MW	2017
● 03	V17-75 KW	1984	● 13	V80-2.0 MW	2000 / 2002	● 23	V105-3.3 MW	2014	● 33	V136-4.2 MW	2017
● 04	V19-90 KW	1986	● 14	V90-3.0 MW	2002 / 2005	● 24	V110-2.0 MW	2014	● 34	V150-6.0 MW	2019
● 05	V20-100 KW	1987	● 15	V82-1.62 MW	2003	● 25	V164-8.0/9.5/10.0 MW	2014	● 35	V162-6.2 MW	2019
● 06	V25-200 KW	1988	● 16	V90-2.0 MW	2004	● 26	V174-9.5 MW	2014	● 36	V136-4.5 MW	2020
● 07	V27-225 KW	1989	● 17	V100-1.8 MW	2009	● 27	V136-3.45 MW	2015	● 37	V150-4.5 MW	2021
● 08	V39-500 KW	1991 / 1995	● 18	V100-2.6 MW	2009	● 28	V155-3.6 MW	2016	● 383	V236-15.0 MW	2022
● 09	V44-600 KW	1995	● 19	V112-3.0 MW	2010/2013	● 29	V150-4.2 MW	2017	● 9	V162-7.2 MW	2023
● 10	V47-660 KW	1997	● 20	V100-2.0 MW	2013	● 30	V116-2.0 MW	2017	● 40	V163-4.5 MW	2023
									● 41	V172-7.2 MW	2024

Le marché Européen

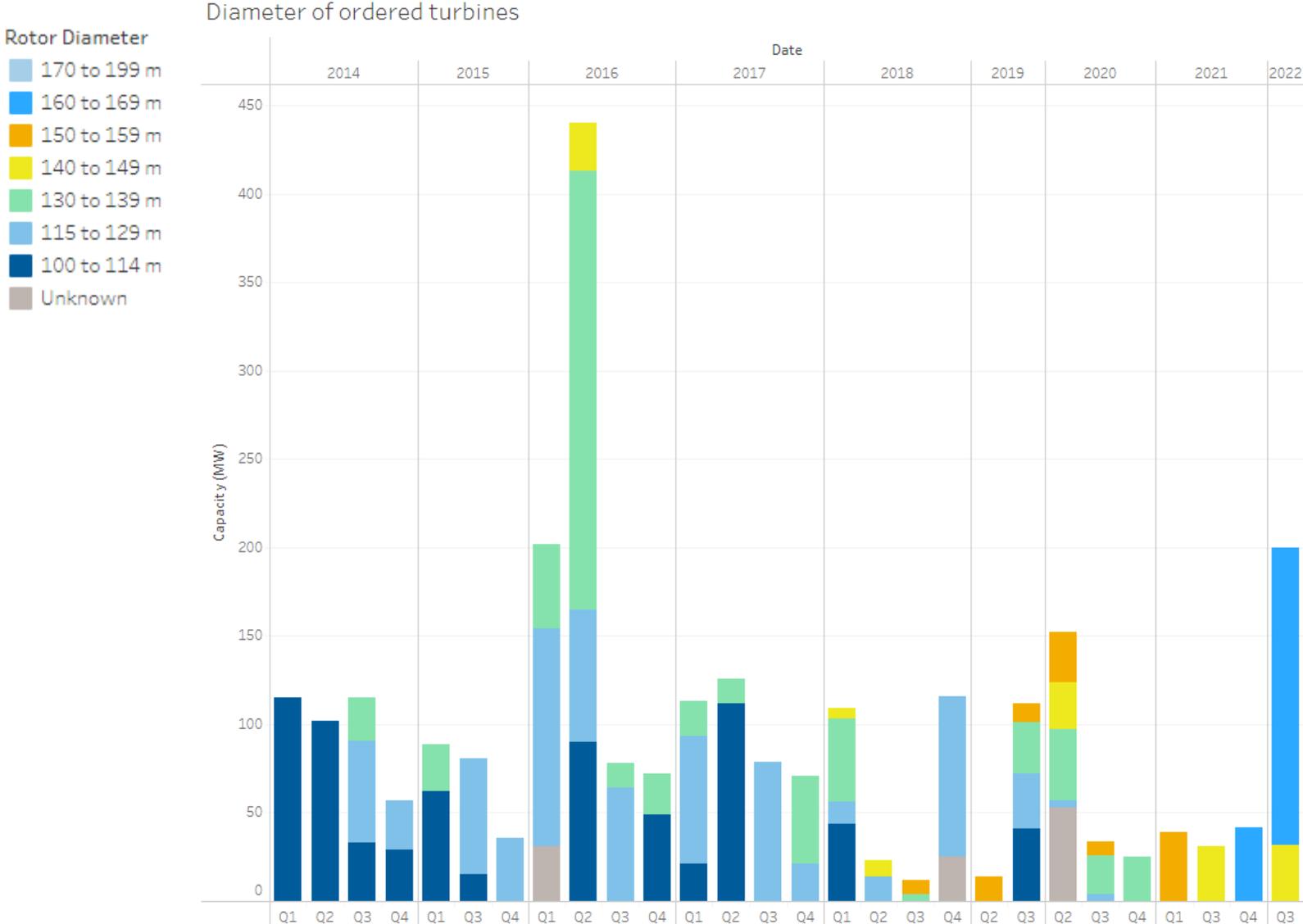
Rotor Diameter

- 170 to 199 m
- 160 to 169 m
- 150 to 159 m
- 140 to 149 m
- 130 to 139 m
- 115 to 129 m
- 100 to 114 m
- Unknown

Diameter of ordered turbines



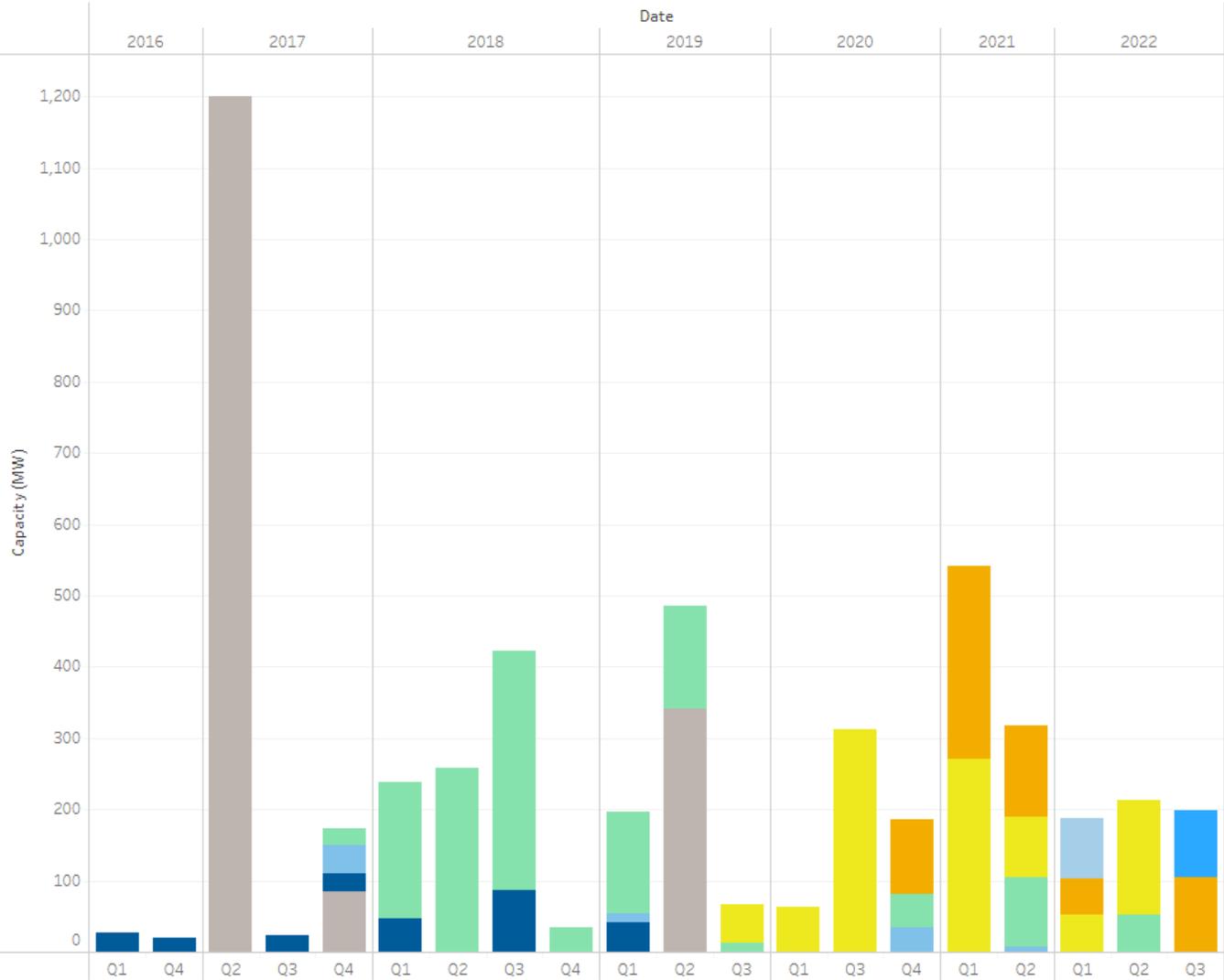
Le marché Européen – Focus Allemagne



Le marché Européen – Focus Espagne

Diameter of ordered turbines

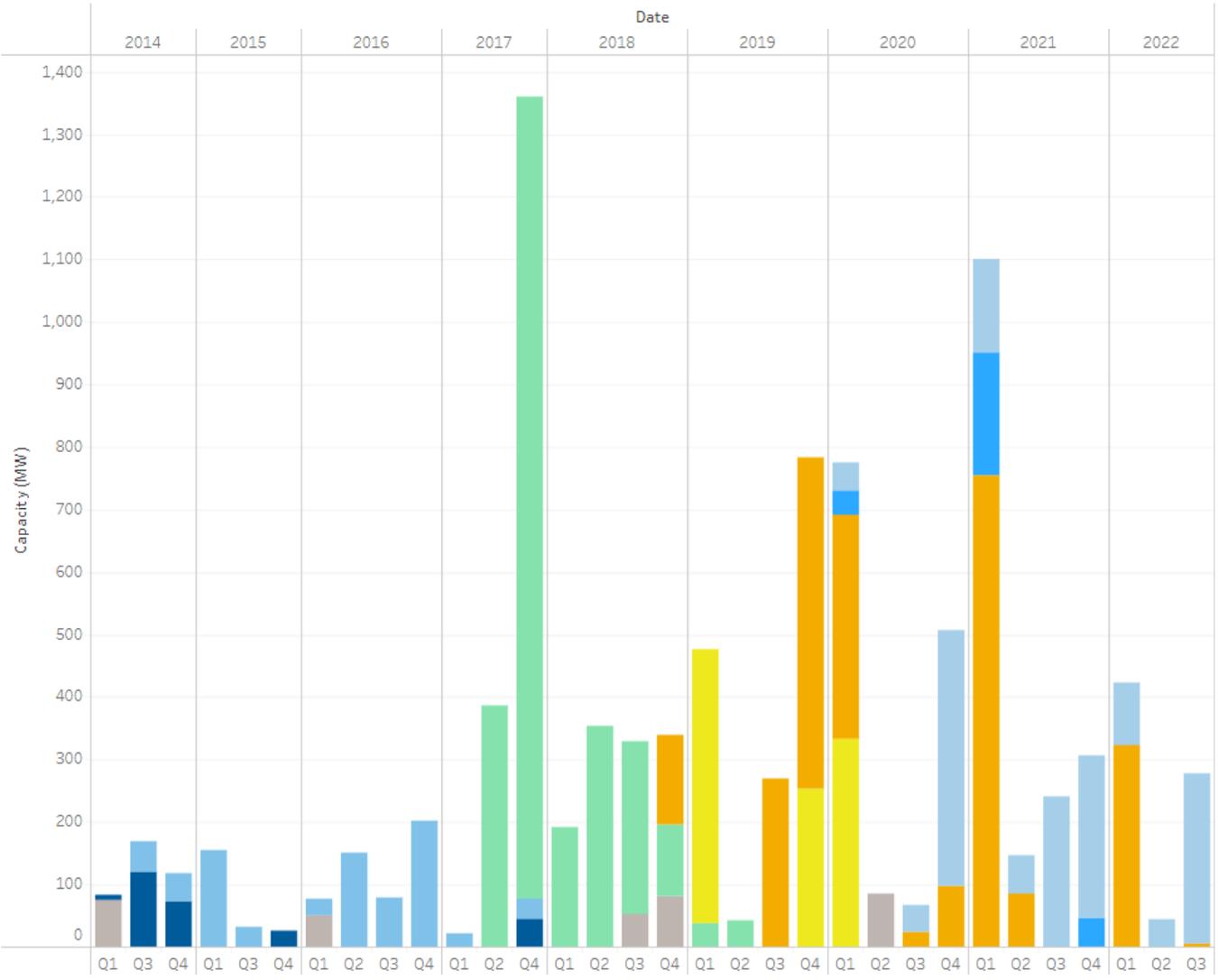
- Rotor Diameter**
- 170 to 199 m
 - 160 to 169 m
 - 150 to 159 m
 - 140 to 149 m
 - 130 to 139 m
 - 115 to 129 m
 - 100 to 114 m
 - Unknown



Le marché Européen – Focus Suède

- Rotor Diameter**
- 170 to 199 m
 - 160 to 169 m
 - 150 to 159 m
 - 140 to 149 m
 - 130 to 139 m
 - 115 to 129 m
 - 100 to 114 m
 - Unknown

Diameter of ordered turbines

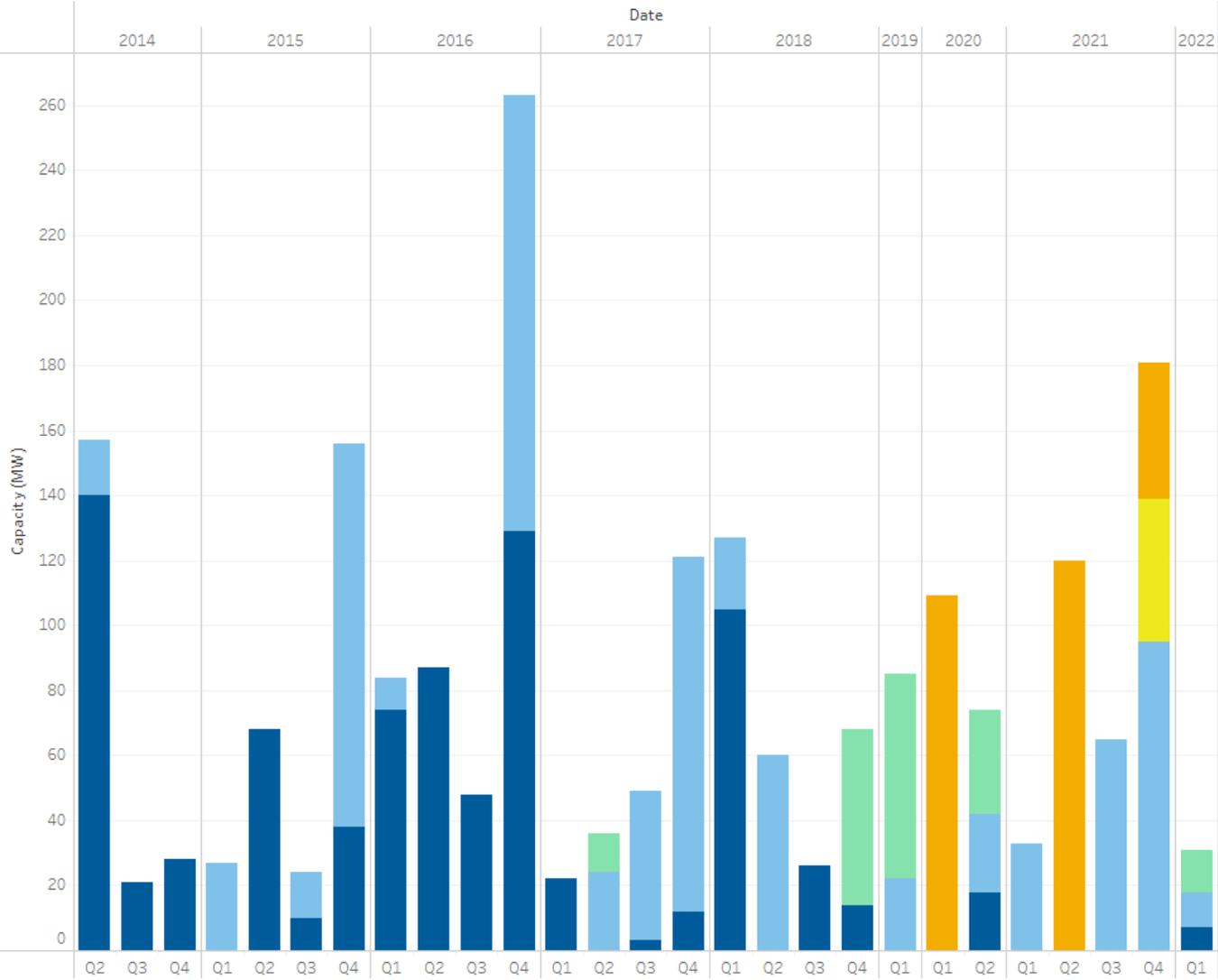


Le marché Européen – Focus France

Rotor Diameter

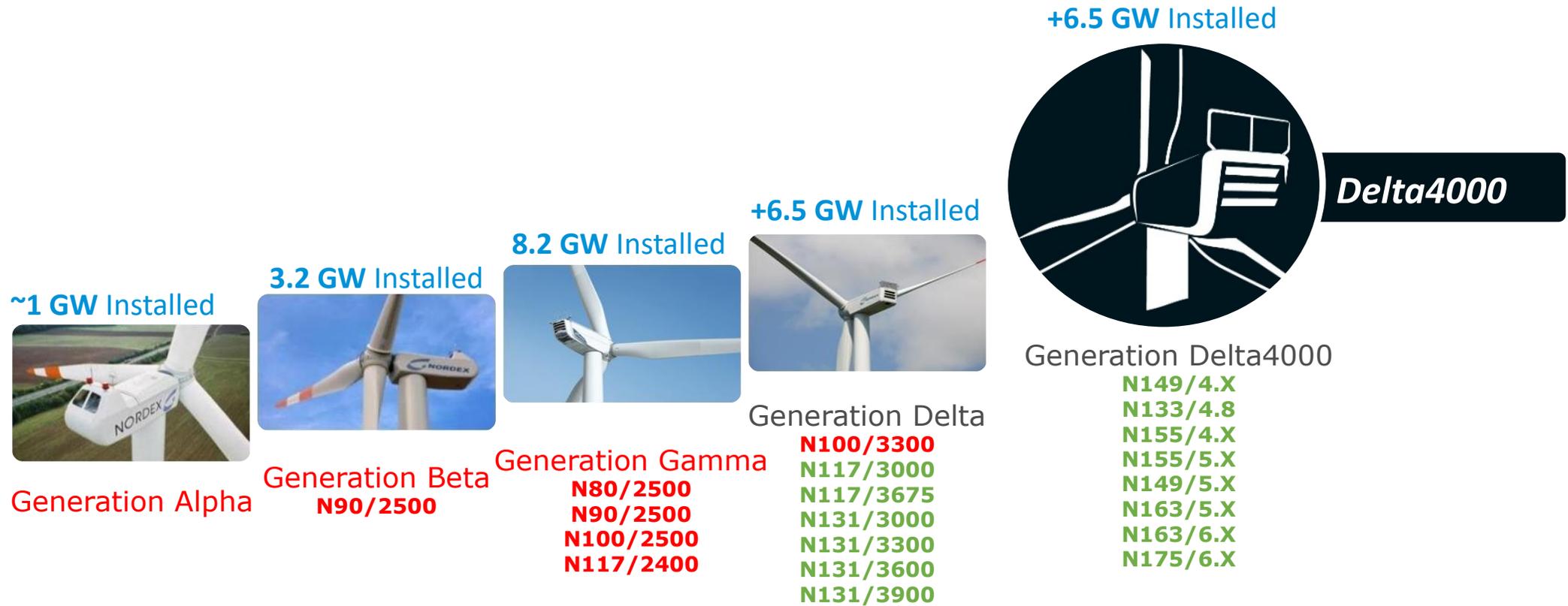
- 170 to 199 m
- 160 to 169 m
- 150 to 159 m
- 140 to 149 m
- 130 to 139 m
- 115 to 129 m
- 100 to 114 m
- Unknown

Diameter of ordered turbines



Un portefeuille de produits qui se rationalise

Exemple Nordex – Hors plateforme Acciona Windpower



* as of 12/2022

Top 10 des turbines les plus installées en 2021 en France

	Modèle	Constructeur	Puissance unitaire (MW)	Taille du rotor / hauteur de mat (France)	Puissance installée (MW)
1	N117 Delta	 	3,6	117m / 91 à 120m	149
2	V117		3 à 4,2	117m / 80 à 116,5m	137
3	V100		2 à 2,2	100m / 75 à 100m	137
4	V110		2 à 2,2	110m / 80 à 120m	127
5	V136		3 à 4,2	136m / 82 à 112m	121
6	V150		3 à 4,2	150m / 105 à 125m	109
7	N131 Delta	 	3,9	131m / 106, 114m	68
8	N117 Gamma	 	2,4	117m / 91 à 120m	67
9	E138 E2		4,2	138m / 111m	46
10	V126		3 à 3,6	126m / 87 à 137m	41

Turbines les plus installées (fin juin 2022) en France

	Modèle	Constructeur	Puissance unitaire (MW)	Taille du rotor / hauteur	Puissance cumulée (MW)
1	E-82	 ENERCON <small>ENERGIE POUR LE MONDE</small>	2,3	82m / 78 à 138m	1 709
2	V-90	 Vestas	2 à 3	90m / 80 à 105m	1 612
3	V-100	 Vestas	2 à 2,2	100m / 75 à 100m	1 607
4	MM-92	 SENVION <small>wind energy solutions</small>	2	92m/59m à 100m	1520
5	E-70	 ENERCON <small>ENERGIE POUR LE MONDE</small>	2,3	71m / 58 à 113m	1 499
6	N-90	 NORDEX  Acciona	2,5	90m / 65 à 80m	854
7	V112	 Vestas	3 à 3,45	112m / 69 à 119m	774
8	N-100	 NORDEX  Acciona	2,5	100m / 75 à 100m	685

Eoliennes reconditionnées

- Base installée vieillissante donnant lieu aux premiers démantèlement et/ou Repowering (**en 2019 démontage du premier parc éolien de France de Port-La Nouvelle installée en 1991**)
- Nouveaux sites contraints en gabarit autorisé
- Catalogue des turbiniers qui se rationalise et fait disparaître les éoliennes de petits gabarits/faible puissance
- Evolution des règlements des AO éoliens introduisant la possibilité de candidater avec des machines « remises en état »



Concept :

- Les machines sont démantelées et renvoyées en usine pour remise en état
- Les composants reconditionnés peuvent être installés sur des projets nouveaux, ou bien en remplacement de pièces endommagées sur des sites en exploitation

Il n'y a pas encore d'exemple de parc entièrement construit à partir d'éoliennes reconditionnées en France.

En 2021, une nacelle de V90 reconditionnée a été installée sur une tour Gamesa (France).



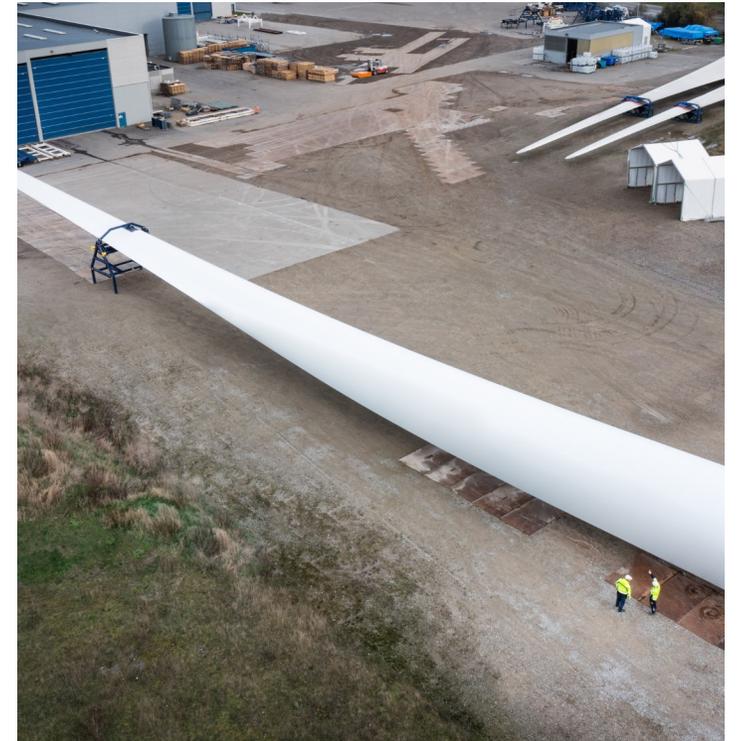
Recyclage : quelle fin de vie pour les éoliennes ?

La réglementation se fait à travers le Code de l'environnement et l'arrêté du 22 Juin 2020 qui fixe les objectifs de recyclage et les garanties financières des développeurs à bloquer en vue du démantèlement des parcs.

Aujourd'hui 85 à 90% d'une éolienne est recyclable grâce à des filières en place sur le territoire français:

- Acier des tours et des composants part en fonderie pour faire de l'acier recyclé
- Béton des fondations est réutilisé en BTP après broyage
- Câbles électriques sont recyclés
- D3E (déchets électriques et électroniques) sont recyclés

La marge de progression se fait principalement sur les matériaux composites (pales, coque de la nacelle)



Recyclage : quelle fin de vie pour les éoliennes ?

Concernant la fin de vie des pales, il y a deux problématiques :

- ❑ **les pales existantes**, pour lesquelles plusieurs solutions de revalorisation sont possibles.
 - le programme de recherche [Decomblades](#) au Danemark se concentre sur le broyage mécanique, la pyrolyse et le co-processing en cimenterie. Ce programme s'achève en 2024 et a pour but de développer des infrastructures de broyage et pyrolyse pour alimenter des marchés demandeurs en « matière première secondaire ». Sur la partie cimenterie, l'objectif est d'atteindre un taux de valorisation matière (fibre) maximal allié à un taux de valorisation énergétique (résine) maximal, tout en adaptant le cahier des charges des cimenteries au produit pale d'éolienne.
 - sur le terrain, il s'agit de chercher les meilleures propositions techniques des recycleurs en France et de regarder les « cas d'école » des pays voisins (Allemagne notamment) ou plus lointains (USA notamment)

❑ **les pales futures**, sur lesquelles les turbiniers concentrent leurs efforts de R&D avec l'utilisation d'une nouvelle résine. SGE a déjà annoncé être en mesure de produire des pales 100% recyclables.

Le principe novateur est la séparation de la fibre et de la résine dans des conditions chimiques dites douces, puis :

- **récupération de la fibre dans un état de conservation avancé dans le but d'être recyclée/réutilisée**
- **retour à un état moléculaire de la résine et annulation des effets de fatigue**
- **réincorporation de la résine dans des pales – ou autre technologie de pointe à base de résine epoxy**



L'ACTU
L'ACTU HEBDOMADAIRE DE L'ÉOLIEN

RECYCLAGE

Siemens Gamesa dévoile sa pale recyclable

Le 7 septembre Siemens Gamesa a annoncé le démarrage de la commercialisation de son tout nouveau modèle de pale d'éolienne 100 % recyclable, la RecyclableBlade, fabriquée à Aalborg, au Danemark. Les éléments formant les matériaux composites de ces nouvelles pales sont pris dans un nouveau type de résine. Sa composition chimique permet de séparer en fin de vie les différents composants de façon efficace tout en préservant leurs propriétés physiques, afin qu'ils puissent être réutilisés ultérieurement, assure le fabricant. Les six premières RecyclableBlade mesurent 81 mètres de long et seront utilisées pour le parc éolien offshore de Kaskaki en Allemagne, développé par RWE et devant entrer en service en 2022. Siemens Gamesa a également annoncé qu'un des futurs parcs en mer d'EDF Renouvelables en serait équipé, ainsi qu'un parc offshore de WPD, développeur éolien d'origine allemande. Siemens Gamesa a récemment publié sa vision à l'horizon 2040 et prévoit de produire des turbines entièrement recyclables d'ici là.



Chiroptères

Systèmes de bridage des éoliennes

Bridage en fonction de :

- Température (@HH)
- Vitesse de vent (@HH)
- Heure de la journée/nuit
- Période de l'année
- Absence de précipitations (détecteur de pluie optionnel)



Critères déterminés à partir de l'étude d'impact



Baisse de la mortalité de 40 à 90% en France (et en Allemagne)

[Guide d'application de la réglementation, mars 2014]



Avifaune

Systèmes de détection / évitement

Technologies :

- Détection visuelle 2D (caméras)
- Détection visuelle 3D (caméras, RADAR)
- Analyse de l'espèce (et caractéristiques de vol)
- Communication avec SCADA de l'éolienne : intégration indépendante (cyber sécurité)
- Données vidéos via fibre optique

Effets :

- Diminution de la vitesse de rotation → donc de la production
- Arrêt turbine → augmentation fatigue turbine

Exploitant choisi le système, et turbinier facilite son intégration – tout en conservant l'intégrité de la turbine (sécurité) – en ajoutant une communication avec le SCADA

Acoustique

Bruit d'une éolienne provient de :

- Bruit mécanique des composants en rotation (nacelle)
- Bruit aérodynamique : rotation des pales et passage des pales devant la tour.

Dépend de multiples facteurs :

- Topographie, végétation, climat
- Saisons (bruit ambiant en hiver moindre)
- Distance aux habitations environnantes (min 500m)
- Sens et vitesse du vent
- Taille du rotor

Emergence admissible, avec bruit ambiant existant de 35dB(A) incluant l'éolienne, pour la période :

- jour (7-22h) : 5dB
- Nuit (22h-7) : 3dB

Niveau de bruit mesuré au niveau de la nacelle de l'éolienne (IEC 61400-11)

Atténué exponentiellement avec la distance

Solutions :

Serrations sur bords de fuites des pales (optionnel)

Bridage acoustique (en fonction de l'heure, la saison, la vitesse et direction du vent) vers des modes moins bruyants

Arrêt turbine

Perte de production allant jusqu'à 10-15%

