



Installation de fondations éoliennes offshore au large de Belfast en Irlande.



# 379,3 TWh

La production d'électricité éolienne estimée dans l'Union européenne en 2018

## BAROMÈTRE ÉOLIEN

Une étude réalisée par EurObserv'ER. 

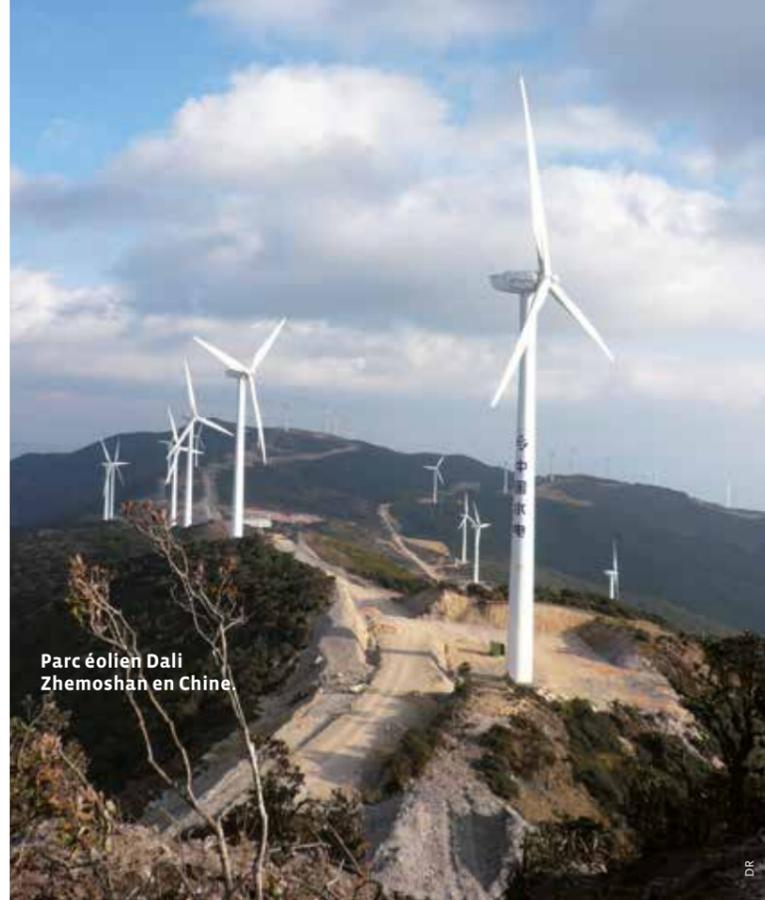
**S**elon les données du GWEC, la puissance installée dans le monde au cours de l'année 2018 était en légère diminution (- 3,6 %) par rapport à 2017, avec 51,3 GW en 2018, comparés aux 53,2 GW en 2017. Cette puissance supplémentaire porterait la puissance éolienne à 591 GW fin 2018, dont 23 GW situés en mer. Cette nouvelle baisse du niveau d'installation mondial, la troisième consécutive, s'explique cette année par une contraction importante des marchés européens et indiens qui n'a pas été entièrement contrebalancée par le retour à la croissance des marchés chinois et états-uniens.

### 591 GW

La puissance éolienne installée dans le monde à la fin de l'année 2018

### 10,1 GW

La puissance éolienne installée dans l'Union européenne durant l'année 2018



Parc éolien Dali Zhemoshan en Chine.

### PRÈS DE 600 GW INSTALLÉS DANS LE MONDE

Selon un premier communiqué publié le 26 février par le Global Wind Energy Council (GWEC), l'industrie mondiale aurait installé 51,3 GW de capacité éolienne supplémentaire, terrestre et maritime, sur les cinq continents, soit une légère décroissance de 3,6 % comparée à 2017 (53,2 GW). Cette puissance additionnelle porterait, selon le GWEC, la puissance éolienne installée dans le monde à la fin de l'année 2018 à 591 GW. Potentiellement, cette puissance correspond à une production mondiale de l'ordre de 1182 TWh (hypothèse conservatrice d'un facteur de charge moyen de 23 %), soit environ 4,7 % de la production mondiale d'électricité (calculée sur une base de 25 000 TWh). Cette diminution, selon le GWEC, s'explique essentiellement par une perte de vitesse des marchés européens (4,6 GW de moins, soit 11,7 GW installés en Europe) et indien (-1,9 GW à 2,2 GW), en partie contrebalancée par le retour à la croissance du marché chinois (+ 2,7 GW à 23 GW) et de celui des États-Unis (+ 0,6 GW à 7,6 GW), et par une montée en puissance progressive des marchés mexicains, africains et d'autres pays du Sud-Est asiatique. Dans

son communiqué, le GWEC projette une élévation du marché mondial qui pourrait atteindre 55 GW ou plus chaque année au moins jusqu'en 2023. L'association s'attend en effet à des volumes d'installation stables en Europe et aux États-Unis, avec des niveaux de croissance significatifs dans les marchés du Sud-Est asiatique et au niveau du marché de l'éolien offshore. Sur ce marché de l'offshore, le GWEC estime le niveau d'installation en 2018 à 4,49 GW, en augmentation de 0,5 %, soit un total mondial de 23 GW offshore installés. L'association précise que la Chine est désormais le premier marché de l'éolien offshore avec 1,8 GW, devant le Royaume-Uni et l'Allemagne. Le GWEC considère que l'Asie est destinée à devenir prochainement la principale zone d'installation offshore avec un volume de marché annuel attendu de 5 GW.

### L'ÉOLIEN REPRÉSENTAIT 5,2 % DE L'ÉLECTRICITÉ CHINOISE EN 2018

Les données du GWEC sont représentatives du marché et de la puissance installée et sont donc en léger décalage avec les chiffres de raccordements publiés par les agences officielles. En Chine, selon l'Administration nationale de l'énergie (NEA), le pays aurait en fait connecté 20,59 GW de

capacités supplémentaires éoliennes à son réseau en 2018, portant la puissance cumulée du parc à 184 GW. Selon cette même source, l'éolien représente désormais 9,7 % de la puissance électrique du pays. La production d'électricité éolienne est estimée par la NEA à 366 TWh, soit 5,2 % de la production du pays (0,4 point de pourcentage de plus qu'en 2017). Ce niveau d'installation est en forte augmentation par rapport à 2017 (15,03 GW) et même supérieur à son niveau de 2016 (19,3 GW). Il reste cependant en deçà du niveau record de 2015 (32,97 GW). En Chine, l'objectif premier du gouvernement est d'optimiser le niveau des nouvelles installations en fonction des capacités d'intégration des infrastructures réseaux. Cette politique s'est traduite par une restriction des puissances installées dans les régions du nord-est et du nord-ouest, où les pertes de production étaient particulièrement importantes. Cette démarche commence à produire ses effets. Selon Li Chuangjun, le directeur adjoint de la section énergie renouvelable de la NEA, le pourcentage de l'électricité éolienne n'ayant pas trouvé de débouché est tombé à 7 % en 2018 (soit une perte 27,7 TWh). Ce chiffre représente une baisse de 5 points de pourcentage par rapport à 2017 où la perte de production éolienne était de 41,9 TWh, soit 12,1 % de l'électricité éolienne produite.

Le pays a également annoncé la mise en œuvre des premiers projets pilotes éoliens et solaires ne recevant aucune subvention. Selon la Commission nationale de développement et de la réforme, les prix de l'électricité de ces installations seront identiques ou inférieurs à ceux des centrales au charbon. Ces centrales pilotes sans subventions bénéficieront de contrat d'achat de long terme à des tarifs fixes, et l'électricité produite pourra être dispensée de faire l'objet de transactions sur le marché de l'électricité. La NEA précise que le développement de ces centrales pilotes ne signifie pas pour autant que les subventions nationales de tous les nouveaux projets d'énergie éolienne et solaire seront annulées. Au cours de la phase actuelle, les projets pilotes concerneront les régions disposant de ressources supérieures et d'une consommation d'énergie garantie, tandis que d'autres régions continueront à utiliser le système d'enchères pour réduire les prix et les coûts en subvention.

### Tabl. n° 1

Puissance éolienne installée dans l'Union européenne fin 2018 (en MW)

	2017	2018	Puissance installée	Mise hors service
Allemagne	55 719	58 908	3 374	185
Espagne	23 100	23 494	394	
Royaume-Uni	19 835	21 243	1 407	
France*	13 550	15 108	1 558	
Italie	9 766	10 300	549	15
Suède	6 611	7 407	809	13
Pologne	5 848	5 864	16	
Danemark	5 486	6 131	657	13
Portugal	5 313	5 380	67	
Pays-Bas	4 202	4 292	162	72
Irlande	3 318	3 564	246	
Roumanie	3 030	3 030	0	
Autriche	2 887	3 045	187	29
Belgique	2 806	3 191	385	
Grèce	2 624	2 844	235	15
Finlande	2 044	2 041	0	3
Bulgarie	698	698	0	
Croatie	576	576	0	
Lituanie	518	521	3	
Hongrie	329	329	0	
Estonie	312	312	0	
Rép. tchèque	308	310	1	
Chypre	158	158	0	
Luxembourg	120	120	0	
Lettonie	77	77	0	
Slovénie	5	5	0	
Slovaquie	4	4	0	
Malte	0	0	0	
<b>Total UE 28</b>	<b>169 244</b>	<b>178 950</b>	<b>10 051</b>	<b>345</b>

\*France métropolitaine. Sources : Eurobserv'ER 2019.

### LES ÉTATS-UNIS AUX PORTES DES 100 GW

Aux États-Unis, la filière éolienne est de nouveau entrée dans une phase de croissance. Selon les données de l'American Wind Energy Association (AWEA), le pays a installé une puissance éolienne de 7 588 MW en 2018 (7 016 MW en 2017), soit une croissance de 8,2 % par rapport à 2017. Ceci porte la puissance cumulée du pays à 96 488 MW. L'avenir de la

filière semble assuré dans les prochaines années, selon cette même source, puisque le pays comptait à la fin du quatrième trimestre 2018 pas moins de 16 521 MW de projets en construction et 18 574 MW en développement avancé, soit un total de 35 095 MW qui seront prochainement installés. Une autre tendance qui se confirme est la montée en puissance des contrats d'achat d'électricité (PPA : Power Purchase Agreement). Ce type de contrat est passé entre un fournisseur d'électricité

et un producteur indépendant d'électricité, permettant à ce dernier de garantir la rentabilité de sa centrale en assurant l'écoulement de sa production à un prix fixé à l'avance. Selon l'AWEA, les développeurs de projets ont annoncé avoir finalisé en 2018 pour près de 8 507 MW de contrat d'achat d'électricité. Autre point important, le marché du renouvellement dit "repowering" est également en pleine expansion avec 1 344 MW concernés (1 237 MW de renouvellement partiel

et 107 MW de remplacement d'éolienne). Le marché du renouvellement consiste à remplacer tout ou partie d'une éolienne (par exemple, le remplacement du rotor) afin d'en accroître la puissance et de disposer d'un meilleur rendement. Cette opération permet d'augmenter la production électrique d'un site, de réduire ses coûts mais également de continuer à exploiter l'énergie éolienne dans les zones disposant des meilleures ressources de vent.

### BAISSE SENSIBLE DES INSTALLATIONS DANS L'UE

Les indicateurs publiés par EurObserv'ER sont également en léger décalage avec les publications du GWEC ou de WindEurope, du fait d'un choix méthodologique de privilégier les données de puissance raccordée obtenues auprès de ministères, offices statistiques, agences nationales de l'énergie ou de gestionnaire de réseau, et seulement en l'absence d'autres canaux d'information, et de les compléter à partir de données produites par les associations ou syndicats nationaux de l'éolien (voir la liste des sources à la fin de ce Baromètre). Selon EurObserv'ER, la puissance éolienne nouvellement installée dans l'Union européenne, après avoir connu un niveau record en 2017, a nettement baissé en 2018. Elle était mesurée à 9 706 MW en 2018 (soit une puissance nouvellement installée de 10 051 MW moins 345 MW d'anciennes machines mises hors service), comparée à une augmentation de puissance de 14 783 MW en 2017. Le parc européen s'établit désormais à 178 950 MW (**tableau 1**), pour une production électrique de 379,3 TWh (**tableau 3**). Le décompte pour l'année 2018 n'est pas encore totalement définitif, et devrait légèrement s'améliorer. On attend notamment les chiffres du Royaume-Uni pour le quatrième trimestre : le Department for Business, Energy & Industrial Strategy (DBEIS) n'avait pas encore communiqué ses estimations fin février. Selon EurObserv'ER, le seuil de 10 GW de puissance supplémentaire devrait ainsi être dépassé, avec un niveau supplémentaire d'installation qui resterait cependant inférieur à celui de 2013 (109 693 MW). Cette tendance générale s'explique en grande partie par une orientation à la baisse des trois principaux marchés de l'Union européenne, à savoir l'Allemagne (3 189 MW, en baisse de 48 % par rapport à

2017), le Royaume-Uni (1 407 MW, - 61,6 %, décompte provisoire au troisième trimestre) et la France (1 558 MW, - 23,6 %). Cette orientation à la baisse n'est cependant pas généralisée à l'ensemble des pays membres. En effet, un nombre significatif de pays d'Europe de l'Ouest et du Nord ont nettement relancé leur niveau d'installation avec, pour certains, des taux de croissance à trois chiffres. C'est notamment le cas de la Suède (796 MW de puissance supplémentaire, + 349,7 %), du Danemark (+ 645 MW, + 168 %), ou de l'Espagne (+ 336 MW, + 258,2 %). L'Italie fait également bonne figure avec un taux de croissance à deux chiffres (+ 534 MW, + 39,8 %). Ces évolutions positives contrastent cependant avec la morosité du marché de nombreux pays dont l'activité est au point mort ou presque depuis plusieurs années. Dans l'Union européenne, la moitié des pays membres n'ont pas ou pratiquement pas fait évoluer leur parc éolien. Cette situation peut s'expliquer par le fait que certains d'entre eux ont déjà atteint (ou sont très proches de) leurs objectifs européens en énergie renouvelable pour 2020.

### MOINS DE PUISSANCE OFFSHORE RACCORDEE

Le développement de l'éolien offshore a également subi une décroissance en 2018. Selon le décompte d'EurObserv'ER qui s'appuie sur les premières données officielles disponibles (DBEIS, AGEE-Stat,

ENS, CBS...), la puissance éolienne offshore nette de l'Union européenne a augmenté de 2 667,7 MW en 2018, soit une part de 27,5 % de l'ensemble des nouvelles puissances raccordées dans l'Union européenne (onshore et offshore). En 2017, la puissance supplémentaire en mer avait été de 3 200,6 MW en 2017, soit une part de 21,6 % (**tableau 2**). Le chiffre de 2018 reste toutefois une estimation qui sera consolidée au cours des prochaines semaines, notamment avec les données du quatrième trimestre du département des Affaires, de l'Énergie et des Stratégies industrielles (DBEIS). Ce niveau d'installation amènerait la puissance cumulée du parc offshore européen au minimum à 18 461,3 MW, répartie selon le **tableau 2** (inclus les sites pilotes français et espagnols), et à un niveau en croissance de 16,9 % par rapport à 2017. Le Royaume-Uni et l'Allemagne ont une nouvelle fois été les pays les plus actifs sur le plan des installations maritimes. Selon WindEurope, au Royaume-Uni, six parcs ont été intégralement connectés au réseau et un septième partiellement. Les parcs intégralement connectés comptent les extensions du parc Walney 3 phase est (329 MW) et phase ouest (66 MW), Galloper (277,2 MW), Rampion (220,8 MW), Race Bank (50,4 MW), EOWDC (93,2 MW), auxquels il faut ajouter la connexion partielle du parc Beatrice 2 (273 MW). Le pays a également connecté un pilote d'éolienne flottante "Kincardine" au large des côtes écossaises.

### Tabl. n° 2

Puissance éolienne offshore installée dans l'Union européenne fin 2018 (en MW)

	2017	2018
Royaume-Uni	6 987,9	7 940,0
Allemagne	5 427,0	6 405,0
Danemark	1 263,8	1 700,8
Belgique	877,2	1 178,0
Pays-Bas	957,0	957,0
Suède	203,0	195,8
Finlande	72,7	72,7
Espagne	5,0	10,0
France	0,0	2,0
<b>Total UE 28</b>	<b>15 793,6</b>	<b>18 461,3</b>

Source : EurObserv'ER 2019.

L'Allemagne a été le deuxième pays le plus actif, avec, selon les données provisoires de l'AGEE-Stat, le groupe de travail des statistiques énergies renouvelables du ministère fédéral de l'Économie et de l'Énergie, 978 MW connectés en 2018. Cela porte la puissance du parc offshore allemand à 6 405 MW. Cette puissance supplémentaire correspond à la mise en service complète ou partielle des parcs de Borkum Riffgrund 2 (450 MW) et de Merkur (396 MW), en mer du Nord et de Wikinger (350 MW)

et d'Arkona (384 MW), en mer Baltique. Les puissances précisées correspondent à la puissance totale des parcs et non pas à la puissance supplémentaire raccordée. Le Danemark a été le troisième pays sur le plan des installations avec, selon l'Agence danoise de l'énergie, 437 MW connectés en 2018. Le pays aurait désormais un parc offshore de 1 700,8 MW, grâce notamment à la mise en service du parc Horns Rev 3 (407 MW). La Belgique s'est illustrée avec la connexion du parc de Rentel (309 MW). Il

convient également d'ajouter la connexion d'une seconde ferme éolienne pilote en Espagne au large des côtes des Canaries (Projet Elican, 5 MW) et la connexion en France d'une ferme éolienne flottante (projet Floatgen, 2 MW) et d'un prototype de 200 kW, soit 1/10 du projet Eolink. La Suède n'a pas connecté de nouvelles éoliennes offshore, mais a augmenté la capacité de son parc de Bockstigen de 3,3 MW, grâce à l'installation sur cinq machines de rotors et de pales plus

### Tabl. n° 3

Production d'électricité d'origine éolienne dans les pays de l'Union européenne en 2017 et 2018 (en TWh)

	2017	Dont offshore	2018	Dont offshore
Allemagne	105,693	17,675	111,590	19,341
Royaume-Uni	50,004	20,916	55,802	25,503
Espagne	49,127		50,787	
France	24,711		27,900	
Italie	17,742		17,492	
Suède	17,609	0,670	16,716	0,636
Pologne	14,909		15,000	
Danemark	14,772	5,180	13,892	4,630
Portugal	12,248		12,657	
Pays-Bas	10,569	3,700	10,549	3,630
Irlande	7,445		7,500	
Roumanie	7,407		7,410	
Autriche	6,574		6,700	
Belgique	6,511	2,645	6,418	3,311
Finlande	4,795	0,109	5,857	0,244
Grèce	5,537		5,800	
Bulgarie	1,504		1,600	
Lituanie	1,364		1,400	
Croatie	1,204		1,334	
Hongrie	0,758		0,800	
Estonie	0,723		0,800	
Rép. tchèque	0,591		0,615	
Luxembourg	0,235		0,268	
Chypre	0,211		0,220	
Lettonie	0,150		0,150	
Slovaquie	0,006		0,006	
Slovénie	0,006		0,006	
Malte	0,000		0,000	
<b>Total UE 28</b>	<b>362,404</b>	<b>50,894</b>	<b>379,270</b>	<b>57,295</b>

Source : EurObserv'ER 2019.

Parc éolien offshore Lillgrund au sud de la Suède.



puissantes (soit une puissance additionnelle par machine comprise entre 500 kW et 650 kW). Le pays a également définitivement mis hors service sept turbines sur le parc de Utgrunden I pour une puissance de 10,5 MW. Sur le plan des futures réalisations, WindEurope a dénombré douze nouveaux projets ayant atteint une décision finale d'investissement pour environ 10,3 milliards d'euros, en augmentation par rapport à 2017 (7,5 milliards euros). Ces projets représentent un volume d'installation de l'ordre de 4,2 GW qui seront connectés dans les prochaines années. 95 % d'entre eux seront concentrés dans quatre pays : le Royaume-Uni, la Belgique, le Danemark et les Pays-Bas. Parmi les projets financés figurent Triton Knoll et Moray East au Royaume-Uni (totalisant 1,8 GW à eux deux), ainsi que Kriegers Flak (606 MW) au Danemark et SeaMade (487 MW) en Belgique.

### UNE PRODUCTION ÉOLIENNE DE 379,3 TWH DANS L'UE

Bien que quelques pays, essentiellement situés en Europe du Nord, n'aient pas bénéficié de conditions météorologiques aussi avantageuses qu'en 2017, à l'échelle de l'Union européenne la production éolienne reste en hausse.

Selon EurObserv'ER, le productible éolien devrait s'établir à 379,3 TWh, en augmentation de 16,9 TWh par rapport à 2017 (+ 4,7%). Cette croissance a plus particulièrement été tirée par l'éolien offshore, qui, selon les premières estimations disponibles, devrait s'établir à 57,3 TWh (+ 12,6 % par rapport à 2017). La part de l'éolien offshore dans le total de la production d'électricité éolienne gagne en importance et passe de 14 % en 2017 à 15,1 % en 2018. Les trois pays qui ont le plus contribué à l'augmentation de la production sont

l'Allemagne avec 5,9 TWh supplémentaires (soit un total de 111,6 TWh en 2018), le Royaume-Uni (+ 5,8 TWh, soit un total de 55,8 TWh) et la France (+ 3,1 TWh, soit un total de 27,8 TWh). La production éolienne du Royaume-Uni est spécifique car elle repose à 45,7 % sur ces installations maritimes. La part de l'éolien commence à devenir substantielle au sein du mix électrique européen car elle représente à elle seule 11,4 % du total de la production de l'Union européenne à 28.

### L'ALLEMAGNE DIVISE PAR 2 SON VOLUME D'INSTALLATION EN 2018

Selon les premières estimations de l'AGEE-Stat, l'Allemagne a installé 3 374 MW en 2018 et, dans le même temps, a démantelé une puissance terrestre de 185 MW. Les ajouts nets (3 189 MW) ont donc diminué de près de moitié (- 48 %) par rapport à

## L'éolien offshore remporte la bataille des coûts

Les coûts de production de l'éolien offshore sont spécifiques à chaque projet et dépendent d'une multiplicité de facteurs : la profondeur et la nature des fonds marins, le gisement éolien, les conditions réglementaires et la fiscalité propre à chaque pays. Ils sont également liés à la maturité de la filière industrielle des pays, aux investissements déjà réalisés en matière d'infrastructures (portuaires, flotte de bateaux, usines de production des fondations et des turbines), mais aussi à la courbe d'apprentissage et du niveau de rationalisation des projets. Les développeurs, en regroupant sur une même zone leurs parcs offshore ou en faisant des offres sur des parcs contigus, mutualisent les coûts de maintenance, d'installation et profitent d'investissements communs. Dans le même temps, le coût des équipements par MW a également diminué grâce à une augmentation de la puissance unitaire des machines, qui, à puissance donnée, nécessitent moins de fondations. Des pales de plus en plus longues permettent également d'optimiser le temps d'utilisation des machines, les facteurs de charges annuels de certains parcs étant déjà supérieurs à 50 % et plus durant la période hivernale. D'importants progrès ont également été réalisés pour limiter au maximum les coûts de maintenance, avec des nouvelles générations de machines devenues extrêmement fiables.

Dans les pays disposant déjà de plusieurs GW, les coûts d'entrée sur le marché de l'offshore ont déjà été payés, justifiant lors des premiers appels d'offres des enchères à un prix relativement élevé. Mais au fur et à mesure des investissements, les nouveaux parcs s'installent à un coût marginal de plus en plus faible. Les prix, hors raccordement, sont aujourd'hui généralement compris entre 50 et 80 €/MWh, le raccordement ajoutant entre 10 et 20 €/MWh selon les sites. Ce dernier peut être soit à la charge du développeur, c'est le cas au Royaume-Uni, soit à la charge du gestionnaire de réseau, comme en Allemagne, au Danemark et aux Pays-Bas. Le parc danois de Kriegers Flak (600 MW) a ainsi été attribué en 2017 à un prix de 49,90 €/MWh. Autre exemple, le projet éolien offshore néerlandais de Borssele III et IV (680 MW) en mer du Nord a été remporté à une enchère de 54,5 €/MWh. Lors des derniers appels d'offres allemand et néerlandais, plusieurs parcs ont même remporté des enchères à un prix nul (0 €/MWh), ce qui signifie que les investisseurs se rémunèrent uniquement en vendant leur électricité au prix du marché. C'est par exemple le cas aux Pays-Bas pour le projet Hollandse Kust Zuid (700 MW) dont la mise en service est prévue en 2022. En Allemagne, on peut citer OWP West (240 MW), Borkum Riffgrund West 1 (420 MW), Borkum Riffgrund West 2 (240 MW), EnBW He Dreiht (900 MW) prévu en 2024 et 2025, qui ont également remporté des enchères à 0 €/MWh. Certains sites, plus difficiles d'accès et dans des zones encore peu exploitées, nécessitent encore des prix minimum garantis plus élevés (voir le paragraphe sur l'Allemagne).

2017, où la puissance supplémentaire enregistrée était de 6 127 MW. Fin 2018, la puissance cumulée du parc allemand atteignait ainsi 58 908 MW répartie entre 52 503 MW (augmentation nette de 3 189 MW) et 6 405 MW offshore (augmentation nette de 978 MW). L'objectif de 6,5 GW offshore installés en 2020, inscrit dans la loi sur les énergies renouvelables, est donc quasiment atteint. Selon l'Agence fédérale des réseaux, la puissance offshore connectée devrait être à ce même horizon de l'ordre de 7 700 MW. Le ralentissement de la croissance de l'éolien en Allemagne s'explique en partie par le fait qu'une part importante des volumes attribués avait été remportée par des "projets citoyens". Ces derniers bénéficiant de délais supplémentaires pour leur réalisation, cela a créé un décalage dans le flux annuel des mises en service. Plus préoccupants pour la filière, les résultats des deux derniers appels d'offres terrestres ont montré que les volumes cibles ne parvenaient plus à être atteints. Ainsi

concernant celui du 1<sup>er</sup> octobre, seulement 57 projets pour 363,2 MW ont été retenus pour un volume cible de 670,2 MW, et dans celui du 1<sup>er</sup> février 2019, 67 projets pour un total de 476 MW ont été retenus pour un volume cible de 700 MW. Selon WindEurope, la non-atteinte des valeurs cibles s'explique par des difficultés croissantes pour obtenir les permis de construire. Le processus d'obtention des permis en Allemagne requis pour les nouveaux parcs éoliens à terre « peut maintenant prendre plus de deux ans contre dix mois il y a seulement deux ans ». WindEurope pointe également qu'une fois obtenus les permis de construire sont de plus en plus contestés, avec déjà « au moins 750 MW » de projets bloqués dans des procédures judiciaires. Cette difficulté se traduit parallèlement depuis fin 2017 par un prix moyen des appels d'offres terrestres qui tend à augmenter. Il a atteint son prix moyen le plus faible à 4,02 €/kWh, lors de l'appel d'offres du 1<sup>er</sup> novembre 2017 (pour un volume d'offres retenu de 1 000,4 MW).

Depuis, il est progressivement remonté à un prix moyen supérieur à 6 €/kWh, soit 6,17 €/kWh, lors de l'appel d'offres du 1<sup>er</sup> octobre 2018 (offre la plus basse à 5 €/kWh et la plus haute à 6,3 €/kWh, soit la valeur la plus haute permise par l'enchère) et à 6,11 €/kWh pour celui du 1<sup>er</sup> février 2019 (offre la plus basse à 5,24 €/kWh et la plus haute à 6,2 €/kWh, soit la valeur maximale permise par l'enchère). Cette remontée des prix a également été observée lors du second appel d'offres éolien offshore du 1<sup>er</sup> avril 2018. Même si ce dernier a une nouvelle fois révélé des projets remportés avec des enchères à un prix nul, comme le projet de Borkum Riffgrund West 1 (420 MW) situé en mer du Nord. Le prix moyen des enchères a décuplé par rapport à celui du 1<sup>er</sup> avril 2017, soit 4,66 €/kWh contre 0,44 €/kWh. Ce prix moyen plus élevé s'explique par une enchère remportée par Iberdrola à 6,44 €/kWh pour le projet Baltic Eagle (476 MW) situé, comme son nom l'indique, en mer Baltique, et surtout par l'enchère



la plus élevée de cet appel d'offres (9,83 c€/kWh) remporté par Orsted pour le projet Gode Wind 4 (131,75 MW) situé en mer du Nord. Lors de cette dernière attribution, les offres déposées ont été moins nombreuses (1 610 MW), car seuls les projets autorisés ou très avancés ayant échoué lors des procédures de 2017 ont été autorisés à participer.

### UN MARCHÉ ÉOLIEN FRANÇAIS TOURNÉ VERS LA TERRE

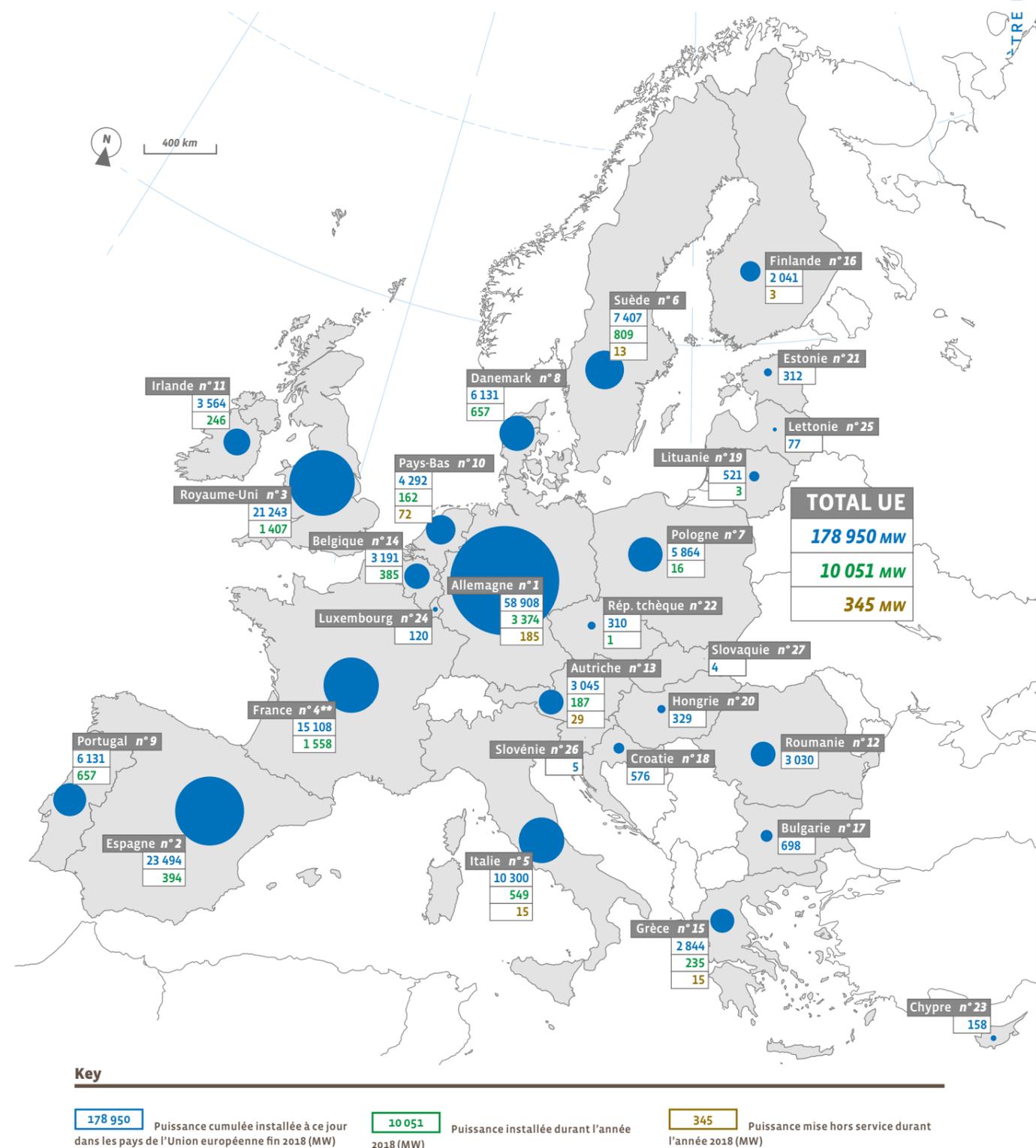
Alors que la France prépare son quatrième appel d'offres éolien maritime qui sera situé dans la zone d'Oléron, dans le golfe de Gascogne (Charente-Maritime), le pays ne devrait voir les premières mises en service de ces deux premiers appels

d'offres (le premier ayant été lancé le 11 juillet 2011), au mieux qu'à partir de 2021. Jusqu'à cette date, le marché français de l'éolien devrait rester terrestre. Selon le panorama de l'électricité renouvelable 2018, réalisé entre autres par RTE, Enedis et le Syndicat des énergies renouvelables, la France a dépassé fin 2018 sa cible de 15 GW installés, avec une puissance cumulée de 15 108 MW. 2018 serait la seconde meilleure année pour la filière avec 1 558 MW raccordés, en baisse cependant par rapport à son niveau de 2017. Le dernier trimestre a été témoin de la plus forte progression du parc jamais enregistrée sur trois mois avec le raccordement de 780 MW. Trois régions ont particulièrement été actives en 2018, regroupant les deux tiers de la puissance installée en

2018, à savoir les Hauts-de-France, l'Occitanie et la région Grand-Est. Les projets en développement représentent un volume de 11 593 MW, un niveau quasi stable par rapport à celui de fin 2017 (11 516 MW). La production d'électricité éolienne en métropole est en forte hausse et devrait atteindre au moins 27,8 TWh (27,9 TWh avec les départements d'outre-mer), soit une croissance de près de 13 % par rapport à 2017. Cette hausse de la production est très largement due aux nouvelles éoliennes raccordées, le facteur de charge global du pays étant du même ordre que celui de 2017.

Après quelques retards, le gouvernement a rendu public, le 25 janvier 2019, son projet de programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE), qui fait désormais l'objet

Puissance éolienne installée dans l'Union européenne fin 2018\* (MW)



de consultations de différentes instances, comme le Conseil supérieur de l'énergie, le Conseil national de la transition énergétique, les Comités d'experts de la transition énergétique, la Commission européenne ou les pays dont le système électrique est interconnecté avec le système français. Cette PPE précise le chemin que le gouvernement compte emprunter au cours des dix prochaines années afin d'atteindre les objectifs fixés par la loi, avec notamment un objectif de 32 % de la consommation d'énergie renouvelable d'ici 2020 décliné par vecteur énergétique (40 % de la production d'électricité ; 38 % de la consommation finale de chaleur ; 15 % de la consommation finale de carburant et 10 % de la consommation finale de gaz doivent être d'origine renouvelable). Le projet de PPE dans sa mouture actuelle prévoit en 2023 un parc éolien terrestre de 24,6 GW et envisage pour 2028 deux scénarios, un à 34,1 GW et un autre à 35,6 GW. Ces objectifs correspondraient en 2028 à un parc de 14 200 à 15 500 éoliennes (contre environ 8 000 fin 2018). Pour l'éolien en mer, la programmation prévoit une puissance de 2,4 GW d'ici 2020 et une fourchette comprise entre 4,7 et 5,2 GW d'ici 2028. Sur le volet de l'éolien en mer, la programmation française est jugée par les professionnels du secteur très en deçà du potentiel du pays qui escomptaient un objectif au moins... trois fois plus important.

#### LE PHÉNOMÈNE DE CONCENTRATION AU NIVEAU DES FABRICANTS N'EST PAS TERMINÉ

La vague de fusions-acquisitions parmi les fabricants d'éoliennes qui a marqué les dernières années (General Electric et Alstom en 2014, Nordex et Acciona en 2016, Siemens et Gamesa en 2017, Enercon et Lagerey en 2018...) va se poursuivre. Dans un rapport intitulé "Global Wind Energy Innovation", Intelsor, un cabinet d'études en intelligence économique dédié aux énergies renouvelables, explique que le nombre de fabricants est passé de 200 il y a quelques années à 37 en 2018. Ce rapport montre que très peu de modèles d'éoliennes ont permis d'obtenir un retour sur capital (ROIC) satisfaisant : sur 1 200 modèles d'éoliennes développés, seuls 11,6 % ont eu un ROIC positif. Intelsor va plus loin puisqu'il révèle que sur les 37 entreprises fabricantes mondiales

restantes, seules 18 ont commercialisé au moins un produit ayant un ROIC positif. Aussi, le rapport anticipe une nouvelle période de consolidation d'ici à 2023. Selon lui, cette consolidation sera le fait d'une pression sur les prix toujours plus importante et la compétition exacerbée par les procédures d'appels d'offres – d'autant que les capitaux initiaux pour développer de nouveaux produits sont en augmentation, afin d'accompagner l'amélioration continue des éoliennes commercialisées.

Ainsi début 2019, Vestas a lancé un nouveau système de turbine appelé Eventus qui permettra à l'entreprise de fabriquer des turbines terrestres pour des machines de 5,6 MW. Deux modèles sont prévus, avec des diamètres de rotor de 150 et de 162 mètres. Le premier modèle est une V150-5.6 MW pour les vents moyens et forts, et le deuxième une V162-5.6 MW pour les gisements d'une puissance plus faible. Cette évolution demande une adaptation technologique de l'ensemble du motopropulseur des éoliennes. Ce changement d'échelle permettra une augmentation de 26 % de la production annuelle d'énergie comparée aux résultats d'un précédent modèle de 4,2 MW. Le pari technologique de Vestas devra rapidement trouver sa place sur le marché pour être rentable.

Dans ce contexte, pour réduire les coûts, certaines entreprises cherchent des solutions telles que la standardisation. Ainsi, les entreprises SGRE, Vestas et MHI Vestas ont développé des projets de recherche en commun dans l'éolien offshore, pour standardiser des composants et des processus industriels. Cela peut inclure la fabrication des fondations, un même sourcing, établir des périmètres communs pour les mâts ou standardiser des pièces internes. En revanche, il y a certains équipements sur lesquels ce trio ne souhaitait pas de standardisation. Cela concerne les pales, le hub, la nacelle ou les logiciels de contrôle.

#### LA DIGITALISATION, UN LEVIER QUI GAGNE EN IMPORTANCE

Plus en aval de la chaîne de valeur, de grands sujets industriels apparaissent également, telle la digitalisation. Ce terme, qui a agité l'industrie en 2018, peut être défini comme la transposition du partage

Illustration 3D représentant la visualisation et le flux de données dans un parc éolien terrestre.



et du traitement de données dans un univers virtuel. Cela permet d'augmenter la quantité de données échangées et surtout de le faire de manière immédiate. Les efforts de digitalisation de l'industrie éolienne permettent de fluidifier la production des machines et de piloter son intégration dans les réseaux électriques. Les professionnels de la filière voient la digitalisation comme un moyen de réduire le coût de production de la technologie, notamment en s'assurant que chaque MWh produit puisse être vendu au meilleur prix possible. Cela est facilité par le fait que la digitalisation est un sujet qui se développe en parallèle de la question du stockage de l'électricité. En effet, la digitalisation couplée à une batterie permet de définir à quel moment un électron éolien a le plus intérêt à être injecté dans le réseau, ce qui permet à la fois d'attendre le moment où cet électron est le plus nécessaire au marché global de l'électricité mais également celui où son prix est le plus intéressant pour son producteur. À cet égard, la batterie appelée Batwind, venue compléter le parc de Hywind Scotland en Écosse, est emblématique. Le parc éolien est un projet offshore flottant de

30 MW développé par Equinor et terminé en septembre 2017. En juin 2018, l'entreprise y a rajouté une batterie 1 MW/1,3 MWh fabriquée par l'entreprise Younicos. Cette batterie est dite intelligente car elle a pour but de s'autonomiser, c'est-à-dire de choisir elle-même quand retenir l'électricité ou au contraire quand l'envoyer dans le réseau. Pour cela, elle doit être régulièrement abreuvée en données. Cela permettrait d'augmenter encore le facteur de charge du projet, qui atteignait déjà une fourchette de 48 à 60 %. Autre exemple, le parc espagnol de Barasoain, exploité par Acciona, où les cinq éoliennes de 3 MW chacune sont complétées par deux batteries lithium-ion de 1 MW/0,39 MWh et de 0,7 MW/0,7 MWh. En complément, une blockchain permet de certifier que l'électricité produite vient bien de ce parc éolien.

#### LES POWER PURCHASE AGREEMENT EN CROISSANCE

Le fait que l'année 2018 soit décevante en termes d'installation a pu accélérer la réflexion sur le besoin de compléter les débouchés de l'électricité éolienne par

les contrats de vente de gré à gré, appelés Power Purchase Agreement (PPA).

Dans l'Union européenne, 4,7 GW d'éolien sont destinés à des PPA dont 1,5 GW installés durant l'année 2018 (1,3 GW en 2017). Par ailleurs, ce modèle est soutenu par la Commission européenne, qui demande aux États de mettre en place un cadre réglementaire pouvant favoriser ces PPA dans leurs prochains plans d'action nationaux. En Pologne, le cadre réglementaire a évolué en 2018, permettant aux producteurs d'échanger et de vendre leur électricité librement sur le réseau. Suite à cette évolution, l'entreprise Mercedes Benz va acheter, pour son usine polonaise située à Jawor, de l'électricité à la ferme éolienne de Taczalin (45 MW) exploitée par VSB Energie depuis 2013.

En Allemagne, le nombre de PPA devrait augmenter pour la commercialisation de l'électricité des parcs qui, après vingt ans, sont arrivés à la fin de leur contrat de vente, bien qu'étant encore techniquement exploitables. Ainsi, dans le pays, d'ici à 2020, 4,4 GW d'éolien onshore seront sortis de leurs contrats de vingt ans. Les deux premiers PPA concernant de l'électricité venant d'anciens parcs arrivés au bout

de leur contrat ont été signés. Dans le premier, l'entreprise Greenpeace Energy achètera de l'électricité venant d'une ferme de la ville d'Ellhöft dans le Land Schleswig-Holstein, de 9 MW au total. Il s'agira d'un PPA sur cinq ans commençant en 2021. Le deuxième PPA a été signé par Statkraft qui achètera de l'électricité produite par six parcs citoyens d'un total de 41 MW et dont les contrats arriveront à échéance entre 2021 et 2023. Cette électricité sera agrégée et revendue à un industriel dont Statkraft n'a pas souhaité donner le nom. Pour les anciens parcs, les PPA offrent l'avantage d'offrir des prix qui ne fluctuent pas forcément en fonction des prix du marché.

L'enjeu de la prochaine génération de PPA sera d'allonger la durée des contrats, qui seront signés lorsque les projets sortent de terre plutôt que lorsque les parcs arrivent en fin de contrat. Dans cette optique, Statkraft va acheter, pendant cinq ans, l'électricité produite par Valeco, issue de trois parcs français, d'une capacité cumulée de 40,5 MW, qui seront opérationnels en mai et septembre 2019. Les PPA ayant le plus d'envergure ont été signés au Danemark, en juillet 2018,

**Tabl. n° 4**

Principaux développeurs impliqués dans le secteur éolien en 2018

Entreprise	Pays	Puissance éolienne mise en service (offshore inclus) fin 2018 (en MW) <sup>(1)</sup>	Chiffre d'affaires annuel 2018 (en m€)	Employés 2018
Iberdrola Renovables	Espagne	16 215	4 045 <sup>(2)</sup>	n. a.
EDP Renewables <sup>(3)</sup>	Portugal	11 228	1 239	1 364
EDF Énergies Nouvelles	France	10 309	1 675	3 853
Enel Green Power	Espagne	9 900	n. a.	n. a.
E.ON Climate Renewables	Allemagne	8 611	n. a.	n. a.
Acciona Energy	Italie	7 634	1 737 (2017)	2 000
Vattenfall	Suède	5 989	1 185	894
Orsted	Danemark	3 831 <sup>(4)</sup>	4 107	6 080
RWE Innogy	Allemagne	3 811	n. a.	n. a.
WPD AG	Allemagne	3 588	n. a.	n. a.

Les grandes compagnies énergétiques, du fait de leur taille et de leur capacité de financement, sont bien représentées dans ce classement mais, en dehors de ce type d'acteur, il existe un grand nombre de développeurs privés spécialisés dans les énergies renouvelables avec des portefeuilles conséquents proches ou dépassant le gigawatt. Certains fabricants d'éoliennes comme Gamesa, Nordex ou Enercon ont également fait le choix de développer des projets avec leurs propres machines. 1) Chiffres mondiaux. 2) CA pour toutes les branches renouvelables du groupe. 3) Chiffres arrêtés au 3<sup>e</sup> trimestre 2018. 4) Correspond à ce que le groupe appelle "Capacité de génération". Source : EurObserv'ER 2019.

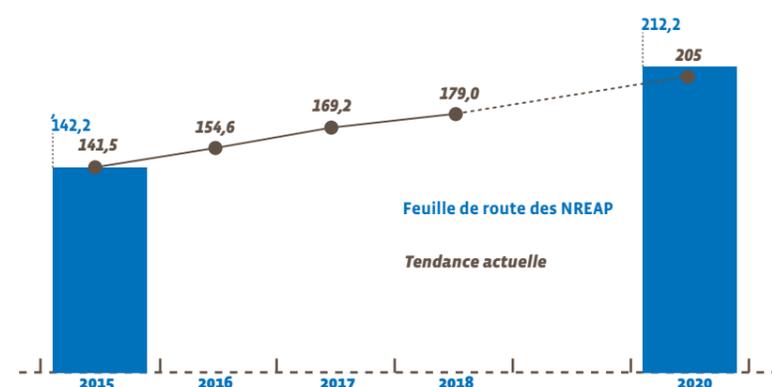
l'entreprise pharmaceutique Novo Nordisk et l'entreprise de biotechnologie Novozymes ont mis en place un accord pour s'assurer qu'une partie de leur électricité proviendrait de Kriegers Flak, la plus importante ferme éolienne offshore. Ces deux entreprises vont donc acheter 20 % de l'électricité produite par un parc de 600 MW. Ce genre de contrat, souhaité par les industriels, devrait croître dans les années à venir, et redessiner les modèles d'échange de l'électricité éolienne et renouvelable.

d'énergie renouvelable dans la consommation d'énergie finale d'ici 2030, objectif adopté officiellement lors de la publication en décembre de la nouvelle directive énergie renouvelable. Quant à la baisse du marché de l'éolien enregistré en 2018, elle était attendue. Elle est le reflet du changement de réglementation que les États membres ont pris avec la révision du guide

européen des aides d'État décidé en 2014, le solde des projets bénéficiant d'anciens régimes de soutien ayant été épuisé. Cet encadrement communautaire avait été mis en place afin de favoriser une plus grande intégration des énergies renouvelables au marché électrique, tout en limitant les distorsions de concurrence sur le marché de l'électricité causées

**Graph. n° 1**

Tendence actuelle par rapport à la feuille de route des plans d'action nationaux énergies renouvelables (en GW)



Source : EurObserv'ER 2019.

**UNE VITESSE D'INTÉGRATION SOUMISE AUX CHOIX POLITIQUES**

Si les énergies renouvelables, comme l'éolien terrestre, l'éolien offshore et le photovoltaïque, ont gagné la bataille de la compétitivité prix, et sont assurées d'un avenir radieux, se pose encore la question de la vitesse de leur intégration dans le mix électrique de l'UE. Elle dépendra, durant la prochaine décennie, de la solidité de l'engagement commun, et donc de la solidarité entre les États membres, qui vise une part de 32 %

par les aides d'État de type tarif d'achat. Ce système a conduit les pays membres à introduire de manière systématique des procédures d'incitation basées sur les prix de marché (complément de rémunération) adossées à des systèmes d'enchères, tout cela créant un nouvel environnement pour le développement des projets et l'octroi de permis. La puissance installée chaque année est désormais presque entièrement tributaire des volumes d'appels d'offres annuels consentis par les États membres, avec ainsi un contrôle strict du rythme d'évolution de la filière. La seule part échappant à ce mécanisme est celle des projets de type PPA (1,5 GW en 2018 et 4,7 GW au total), dont la part devrait être appelée à se développer à l'avenir. Selon EurObserv'ER, le rythme d'installation devrait néanmoins se redresser dès 2019 avec une augmentation encore plus soutenue en 2020, en lien notamment avec la mise en service programmée de nombreux parcs offshore de grande taille. La baisse plus importante qu'anticipée du volume d'installations en 2018 conduit cependant à revoir notre projection à 205 GW d'ici 2020 (graphique 1). Au-delà de la gestion opérationnelle de chaque pays membre pour optimiser l'intégration des énergies renouvelables dans son mix électrique, la Commission européenne a donné le 28 novembre der-

nier sa vision stratégique à long terme pour une planète viable visant la neutralité carbone d'ici à 2050. À l'appui de cette vision, une analyse en profondeur "In-depth analysis in Support of the Commission Communication COM (2018) 73" met en avant huit scénarios qui prévoient des réductions d'émissions plus ou moins fortes dans les différents secteurs économiques pour aboutir à des niveaux d'ambition différents. Ces niveaux vont de la diminution des émissions de gaz à effet de serre de 80 % en 2050 par rapport à 1990 (stratégie facteur 4) jusqu'à la neutralité carbone en 2050. Le point commun à tous les scénarios est la place principale qu'occupe l'énergie éolienne, qui représenterait en 2050 entre 51 et 56 % de la production totale d'électricité, passant par une étape à 26 % en 2030. Ces scénarios sont en phase avec le scénario haut de WindEurope qui prévoit une contribution de l'éolien offshore qui passerait de 12 % de la production éolienne en 2017 à 36 % en 2030, ce qui signifierait une puissance éolienne offshore représentant 20 % de la puissance totale installée de la filière à cette échéance. Cette progression se ferait de concert avec l'énergie solaire. Offshore et solaire atteindraient à eux deux 37 % de la production d'électricité en 2030 et plus de 70 % en 2050. Sur le plan des puissances

installées, la puissance éolienne pourrait ainsi atteindre un niveau compris entre 700 GW (scénario EE "Energy Efficiency") à 1 200 GW (scénario P2X "Power to X"), passant par un niveau intermédiaire de 350 GW en 2030. En 2050, l'éolien terrestre représenterait alors environ les deux tiers de la puissance éolienne installée (de 460 GW dans le scénario EE à 760 GW dans le scénario 1,5 TECH "1,5 °C Technical"). □

Sources : AGEE-Stat (Allemagne), AEE (Espagne), APERE (Belgique), CBS (Pays-Bas), CERA (Chypre), DBEIS (Royaume-Uni), DGEG (Portugal), ENS (Danemark), Finnish Energy (Finlande), FWPA (Finlande), HWEA (Grèce), HOPS (Croatie), Litgrid (Lituanie), ministère de l'Industrie et du Commerce (République tchèque), RTE (France), SER (France), SCB (Suède), STATEC (Luxembourg), Terna (Italie), URE (Pologne), WindEurope.

Le prochain baromètre traitera du photovoltaïque.



Ce projet est financé par la Commission européenne sous le contrat n° ENER/C2/2016-487/SI2.742173



La version française de ce baromètre et sa diffusion ont bénéficié du soutien de l'Ademe.

Ce baromètre a été réalisé par Observ'ER dans le cadre du projet "EurObserv'ER" regroupant Observ'ER (FR), ECN part of TNO (NL), Renac (DE), Frankfurt School of Finance & Management (DE), Fraunhofer ISI (DE) et Statistics Netherlands (NL). Le contenu de cette publication n'engage que la responsabilité de son auteur et ne représente ni l'opinion de la Commission européenne, ni celle de l'Ademe. Ni la Commission européenne ni l'Ademe ne sont responsables de l'usage qui pourrait être fait des informations qui y figurent.