



Production annuelle 2020

Reprise du tableau de Wikipedia, complété pour 2020 à partir du fichier détaillé de RTE eco2mix, en ne prenant en compte que les données en début d'heure pour un rapprochement avec les prix du marché de l'électricité.

TWh	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	% prod 2020
Thermique nucléaire	407,9	421,1	404,9	403,7	415,9	416,8	384,0	379,1	393,2	379,5	335	67,3
Thermique fossile	59,5	51,5	48,1	43,6	25,9	34,4	45,3	53,9	38,9	42,6	37,1	7,5
<i>dont charbon</i>	19,1	13,4	17,4	19,9	8,4	8,6	7,3	9,8	5,8	1,6	1,7	0,3
<i>fioul</i>	8,0	7,6	6,7	3,8	3,3	3,8	2,6	3,0	1,8	2,3	1,8	0,4
<i>gaz</i>	29,9	30,5	24,0	19,9	14,3	21,9	35,4	41,1	31,2	38,6	33,6	6,8
Hydraulique	67,6	50,3	63,8	75,5	68,1	59,1	64,0	53,5	68,2	60,0	64,7	13
<i>dont renouvelable</i>	nd	nd	nd	nd	nd	53,9	59,2	48,6	63,1	55,5	59	11,9
Éolien	9,7	12,1	14,9	15,9	17,1	21,1	20,9	24,0	28,1	34,1	39	7,8
Photovoltaïque	0,6	2,4	4,1	4,7	5,9	7,4	8,4	9,2	10,8	11,6	12,7	2,6
Bioénergies	4,9	5,6	5,8	7,1	7,5	8,0	8,7	9,5	9,6	9,9	9,1	1,8
Total	550,2	543	541,6	550,5	540,4	546,8	531,3	529,2	548,8	537,7	497,6	
<i>dont décarboné</i>	490,7	491,5	493,5	506,9	514,5	512,4	486	475,3	509,9	495,1	460,5	
	89,2%	90,5%	91,1%	92,1%	95,2%	93,7%	91,5%	89,8%	92,9%	92,1%	92,5%	

Puissance installée, répartition

Il y a fin 2020 environ 17,5 GW de puissance éolienne installée, soit plus de 8 000 éoliennes sur 1 200 sites environ. Voir des données par région, constructeur sous

<https://www.ecologie.gouv.fr/eolien-terrestre> ou <https://www.capgemini.com/fr-fr/wp-content/uploads/sites/2/2020/09/Observatoire-eolien-en-france-edition-2020.pdf>

Les tableaux suivants sont calculés à partir du fichier détaillé de RTE eco2mix, en ne prenant en compte que les données en début d'heure pour un rapprochement avec les prix du marché de l'électricité.

Moyenne, maximum, minimum horaire 2020

MW	Prod.	Fioul	Ch.	Gaz	Nuke	Eolien	Solaire	Hydro	Bio	Im- port	Taux
									énerg.	Ex- port	Co2
Moyenne	56 588	203	158	3 822	38 120	4 447	1 442	7 362	1 034	5 158	35
Mediane	54 740	105	19	3 429	37 298	3 580	64	7 075	1 061	5 312	35
Minimum	32 984	35		350	19 989	137		2 320	780	16 732	7
Maximum	87 818	1 805	1 796	9 237	54 715	13 409	7 803	17 643	1 230	9 129	92

Import/export Il s'agit du solde net, les exportations sont notées négativement, la ligne minimum est le montant maximum des exportations (16 72 MW) et la ligne maximum est le maximum des importations (9129 MW)

Total année 2020 capacité de production, production TWh, Chiffre d'affaires (valeur de la production estimée heure par heure), taux de charge

Total année	2020	Conso	Prod.	Fioul	Ch.	Gaz	Nuke	Eolien	PV	Hydro	Bio	Exp.	Imp.
		.									énerg		
Capacité	GW		135,7	3,4	2,0	12,2	63,0	17,0	10,0	26,0	2,1		
	% du total			2,51 %	1,47 %	8,99 %	46,43 %	12,53 %	7,37 %	19,16 %	1,55 %		
Production	TWh	445,4 6	497,0 7	1,79	1,39	33,5 7	334,8 5	39,06	12,6 6	64,67	9,08	- 48,0 7	2,77
	% du total prod.			0,36 %	0,28 %	6,75 %	67,36 %	7,86%	2,55 %	13,01 %	1,83 %	9,67 %	0,56 %
CA annuel	Millions €	15 108	16 446	64	66	1 285	11 043	1 173	378	2 151	286	-1 342	142
	% du CA prod.			0,39 %	0,40 %	7,81 %	67,14 %	7,13%	2,30 %	13,08 %	1,74 %	8,16 %	0,86 %
Taux de charge			41,7%	6,0%	7,9%	31,3 %	60,5%	26,2%	14,4 %	28,3%	49,2 %		

Intermittence

Il s'agit là de la mesure de l'intermittence de la production éolienne totale de la France, pas de celle d'un site éolien particulier qui est plus marquée.

Il faut lire ce tableau ainsi, le total des éoliennes françaises à fonctionner à moins de 10% de son potentiel nominal 21,9 % du temps, n'assurant alors que 5,1% du total de la **production annuelle éolienne**.

En résumé les éoliennes françaises fonctionnent à moins de 20 % de leur potentiel 48 % du temps, et à plus de 50 % de leur potentiel 14 % du temps seulement.

Intermittence	Eolien					
Capacité GW	17					
Tx de charge	Nb heures	Production	% nb heures	% production	% production	Tx charge
		éolienne GWh		éolienne	totale période	moyen
<10 %	1922	2 002	21,9%	5,1%	2,09%	6,13%
10 à 20 %	2273	5 660	25,9%	14,5%	4,66%	14,65%
20 % à 50%	3394	18 769	38,6%	48,1%	9,33%	32,53%
>50%	1195	12 630	13,6%	32,3%	16,08%	62,17%

Corrélation CO2

Le coefficient de corrélation de chaque mode de production avec le taux de CO2 mesure l'influence de ce mode de production sur le taux de CO2 émis. Il prend des valeurs allant de 1 à -1.

Un coefficient négatif montre que ce mode de production diminue la quantité de CO2 émise.

Si l'éolien diminue effectivement le CO2 émis, ce n'est que dans de faibles proportions (coefficient de -0,22 ce qui est une valeur faible).

Corrélation	CO2								
Production	Fioul	Charbon	Gaz	Nuke	Eolien	Solaire	Hydro	Bio	Ex-port
								énerg.	
0,28	0,45	0,65	0,83	0,26	-0,22	-0,15	0,06	-0,4	0,39

Prix moyens, périodes de prix négatifs

La principale cotation du marché de l'électricité fixe un prix heure par heure pour l'électricité livrée le lendemain (day ahead). En rapprochant ces cotations avec les quantités produites heure par heure on obtient le tableau suivant qui donne le prix moyen du marché pour chacun des modes de production.

On voit que le prix de l'électricité d'origine éolienne est inférieur d'environ 10 % au prix moyen du marché. C'est le signe que l'éolien déstabilise le marché par son intermittence.

Le Chiffre d'Affaire de chaque mode de production est calculé heure par heure. Il tient donc compte des variations de production propre à chaque mode et des variations de prix. La valeur de la production éolienne au prix de marché a donc été de 1 173 000 000 € en 2020, voir au point subvention l'ajout de recettes par les subventions pour les opérateurs éoliens.

L'électricité peut avoir un prix négatif lorsque la production d'électricité dépasse la demande. En 2020 il y a eu 102 heures de prix négatifs de l'électricité. Eolien et solaire ont surproduit pendant ces périodes de prix négatifs pour 2 raisons :

- La surproduction dans les périodes ventées ou ensoleillées,
- Le régime de subvention les met totalement (avant 2017) ou partiellement (depuis 2017) à l'abri des prix négatifs.

Prix	Conso.	Prod.	Fioul	Ch.	Gaz	Nuke	Eolien	PV	Hydro	Bio	Exp.	Imp.
										énerg.		
CA Millions €	15 108	16 446	64	66	1 285	11 043	1 173	378	2 151	286	-1 342	142
Prix moyen Pondéré €	33,92	33,09	35,90	47,66	38,28	32,98	30,04	29,85	33,26	31,48	27,91	51,16
Prix négatif	Heures:	102	soit	1,16%	de	l'année						
Prod. TWh		4,51	0,01	0,00	0,11	2,84	0,62	0,28	0,54	0,11		
% dans la prod. annuelle		0,9%	0,6%	0,1%	0,3%	0,8%	1,6%	2,2%	0,8%	1,2%		

Origine des données ENTSO-E Transparency Platform <https://transparency.entsoe.eu/>



Subventions, traitement budgétaire

Repris du rapport du Sénat sur le projet de budget 2021 :

« Les charges de service public de l'énergie correspondent aux dépenses de l'État qui compensent les obligations de service public assignées aux entreprises du secteur de l'électricité et du gaz par le code de l'énergie.

Alors qu'elles étaient financées jusqu'en 2015 par l'ancienne contribution au service public de l'électricité (CSPE) via un circuit « extrabudgétaire » fort peu démocratique et probablement incompatible avec le droit de l'Union européenne, elles sont retracées dans le budget de l'État depuis 2016.

Jusqu'en 2020, les charges de service public de l'énergie étaient portées à la fois par le programme 345 « Service public de l'énergie » et par le compte d'affectation spéciale (CAS) « Transition énergétique ». Celui-ci ayant été supprimé par la loi de finances pour 2020 à compter du 1^{er} janvier 2021, c'est désormais le programme 345 qui est chargé de retracer l'ensemble de ces dépenses (voir *infra*).

Cette architecture budgétaire simplifiée a le mérite de permettre au Parlement de contrôler un peu mieux les sommes en jeu, dont les montants deviennent chaque année plus considérables. »

Les subventions aux énergies renouvelables sont donc ponctionnées sur l'ensemble des ressources budgétaires, **il n'y a plus de recettes budgétaires dédiées aux énergies renouvelables**. La CSPE sur les factures d'électricité est néanmoins maintenue, une taxe parmi les autres.

L'historique des subventions aux énergies renouvelables est repris dans ce tableau de la CRE :

<https://www.cre.fr/content/download/22573/285187>

Les données 2020 et 2021 sont des estimations. Pour 2020 l'estimation a été révisée fortement à la hausse en juillet 2020, la prévision 2021 est certainement très fragile.

2019	2020 prev	2020 reprev	2021 prev
1 592 700 000 €	1 298 400 000 €	1 931 400 000 €	1 763 400 000 €

Les opérateurs éoliens ont donc des recettes de marché de l'ordre de 1 173 000 000 € et des subventions de 1 931 400 000 €. **Les recettes des opérateurs éoliens en 2020 sont donc constituées de 62 % de subventions.**

France Energie Eolienne met en avant les 18 000 emplois de la filière. **Chaque emploi éolien en France en 2020 a donc été subventionné 107 000 €, près de 6 SMIC brut.**



Tarif de rachat de l'électricité éolienne terrestre

Ce paragraphe est largement repris des documents de la Commission de Régulation de l'Energie.

Tous les sites éoliens ayant signé un contrat d'achat avant le 1/1/2016 relèvent du **régime de l'obligation d'achat** par Edf de leur production pendant 15 ans à 82 €/MWh indexé (soit en 2020 une moyenne de 91€ par MWh)

Tous les projets éoliens ayant conclu un contrat d'achat depuis le 1/12/2016 relèvent **du régime du complément de rémunération**. Les producteurs éoliens doivent vendre l'électricité produite sur le marché et reçoivent en fin d'année une subvention dite complément de rémunération calculée comme la différence entre un tarif « de référence » et le prix de marché.

En 2016 le tarif de référence a été maintenu à l'ancienne valeur de 82 € Mwh plus indexation pendant 15 ans pour tous les projets.

En 2017, les modalités changent pour se conformer aux directives de la Commission Européenne. Voir l'arrêté du 6 mai 2017 fixant les conditions du complément de rémunération de l'électricité produite par les installations de production d'électricité utilisant l'énergie mécanique du vent, de 6 aérogénérateurs au maximum

<https://www.legifrance.gouv.fr/eli/arrete/2017/5/6/DEVR1708388A/jo/texte>

Le complément de rémunération est la règle, il est versé pour 20 ans (et non plus 10 + 5).

Les opérateurs perçoivent un complément de rémunération pour l'énergie produite en plus des revenus tirés de la vente de leur énergie sur le marché. Ce complément de rémunération est calculé selon la formule suivante :

$$CR = \sum_{i=1}^{20} (T + P_{\text{Investissement-participatif}} - M_{0i})$$

Formule dans laquelle :

- CR est le montant du complément de rémunération en € ;
- l'indice i représente un mois civil ;
- E_i est la somme sur les heures à cours comptant (« prix spot ») positif ou nul pour livraison le lendemain sur la plateforme de marché organisé français de l'électricité, des volumes d'électricité affectée par le gestionnaire de réseau, le cas échéant par une formule de calcul de pertes ou une convention de décompte, au périmètre d'équilibre désigné par le Producteur pour la production de son Installation sur le mois i, hors corrections, dans le calcul de l'écart de périmètre en application des règles mentionnées à l'article L. 321-14, liées le cas échéant à la participation de l'installation aux services nécessaires au fonctionnement du réseau ou au mécanisme d'ajustement. Ces volumes sont nets des consommations des auxiliaires nécessaires au fonctionnement de l'Installation en période de production ;
- T est le prix de référence de l'électricité en €/MWh pour cet opérateur (selon arrêté ou appel d'offre, voir plus loin). Il est indexé selon des modalités définies dans le cahier des charges ;
- M_{0i} est le prix de marché de référence en €/MWh sur le mois i, défini comme la moyenne sur le mois civil des prix à cours comptant positifs et nuls pour livraison le lendemain constaté sur la plateforme de marché organisé français de l'électricité, pondérée au pas horaire par la production de l'ensemble des installations de production d'électricité utilisant l'énergie mécanique du vent situées sur le territoire métropolitain continental.



Bulletin d'information N° 610 V2 12/1/2020

A noter qu'une majoration allant de 1 à 3 €/MWh du prix de référence proposé est accordée si l'opérateur s'engage dans son offre à recourir au financement participatif ou à l'investissement participatif en respectant les prescriptions du paragraphe 3.3.6 du cahier des charges. Si l'engagement n'est pas respecté, le prix d'achat est alors minoré respectivement de -1 €/MWh ou de - 3 €/MWh

Pour les projets de 6 éoliennes au plus et de moins de 3 MW de puissance unitaire au maximum

La procédure est à guichet ouvert, tous les nouveaux projets peuvent être subventionnés.

- Le tarif de référence est fixé à 72 à 74 €/MWh selon le diamètre des pales, plus 2,8 € de frais de mise sur le marché.
- L'électricité produite en période de prix spot négatifs n'est pas prise en compte pour le calcul du complément de rémunération. Toutefois, pour chacune des heures au-delà d'un seuil fixé à 20 heures de prix négatifs par an, une installation ne produisant pas pendant ces heures reçoit une prime correspondant au tarif de référence applicable de manière normative à hauteur de 35 % de sa puissance installée.
- Au delà d'un plafond de production qui dépend du diamètre des pales et non de la puissance nominale, le tarif de référence est fixé à 40 € / MWh. D'après la Cre ce plafond n'aura qu'une incidence minimale (moins de 1%) sur les profits des sites les plus ventés.

Pour les projets de plus de 6 éoliennes, ou des éoliennes de plus de 3 MW de puissance unitaire

Le tarif de référence est fixé par un appel d'offre tarifaire. 2 fois par an, la Cre lance un appel d'offre pour 500 MW de puissance installée nouvelle. Les promoteurs proposent leur tarif de référence et les moins-disants sont acceptés. Le processus a 2 avantages :

- la concurrence devrait faire baisser le tarif de référence et donc les subventions versées par l'état
- l'augmentation de la puissance installée subventionnée est limitée au plafond de l'appel d'offre. L'opération est à guichet fermé, le calendrier d'appel d'offre a été modifié par le gouvernement à plusieurs reprises.

Il y a eu 5 appels d'offre en 2019 et 2020, se concluant entre 69 € et 59,7 € pour le dernier (10/2020).

Cet arrêté a été approuvé par la Commission Européenne

Cet arrêté a fait l'objet d'un avis négatif de la Cre (Commission de régulation de l'énergie) <http://www.cre.fr/documents/deliberations/avis/projet-d-arrete10/consulter-la-deliberation>

qui soutient :

- que le plafond de 6 éoliennes est trop haut, il y aura peu de postulants aux appels d'offres tarifaires prévus pour les grands projets, donc peu de concurrence et des prix élevés.
- que 65 % des sites sont trop subventionnés. La Cre annonce la publication d'une nouvelle étude sur la rentabilité des sites éoliens démontrant le caractère excessif du tarif d'achat de l'électricité éolienne.



Comparaison tarif avant 2017 et depuis 2017

Le tarif 2017 sur 20 ans garanti aux opérateurs éoliens un chiffre d'affaires total supérieur au tarif antérieur pour les sites de 6 éoliennes au plus, du même ordre de grandeur pour les sites les plus importants dans l'appel d'offre le plus compétitif (octobre 2020).

En ce qui concerne les subventions, il s'agit d'estimation selon 2 hypothèses : un prix du marché de 45 € souvent retenu dans les estimations officielles, un prix de marché de 30 €, le prix effectivement constaté en 2020. Le tarif 2017 entraîne un total des subventions plus important pour les sites éoliens au tarif fixe de 74 €/MWh, moins important pour les grands sites soumis à appel d'offre, du moins selon le résultat de l'appel d'offre d'octobre 2020.

Chiffre d'affaires garanti à l'opérateur éolien sur la durée totale du dispositif tarifaire pour 1 MW installé

Tarif	Durée	Prix Mwh	Nb heures de fonctionnement	
			2000	2500
2015	15	82€	2 460 000 €	3 075 000 €
2017	20	74€	2 960 000 €	3 700 000 €
2017	20	59,7€	2 388 000 €	2 985 000 €

Subventions versées à l'opérateur éolien sur la durée totale du dispositif tarifaire pour 1 MW installé

Tarif	Durée	Prix Mwh	Nb heures de fonctionnement		Prix du marché
			2000	2500	
2015	15	82,00€	1 110 000 €	1 387 500 €	45€
	15	82,00€	1 560 000 €	1 950 000 €	30€
2017	20	74,00€	1 160 000 €	1 450 000 €	45€
	20	74,00€	1 760 000 €	2 200 000 €	30€
2017	20	59,70€	588 000 €	735 000 €	45€
	20	59,70€	1 188 000 €	1 485 000 €	30€