



### Quelles sont les trois générations de biocarburants ?

- 1<sup>e</sup> génération : utiliser des **plantes riches en sucre** (comme la betterave) ou en **amidon** (comme la pomme de terre) ou **riches en huile** (comme le colza ou le tournesol)
- 2<sup>e</sup> génération : parties **non alimentaires des plantes** : rémanents forestiers (les parties des arbres non utilisés par l'industrie du bois), résidus agricoles (comme les tiges de maïs), des cultures à croissance rapide (comme le peuplier et l'eucalyptus), ou des déchets organiques (par exemple les boues de stations d'épuration)
- 3<sup>e</sup> génération : **micro-organismes** photosynthétiques (cyanobactéries, micro-algues...)



## Récapitulatif des données par énergie, moyennées par habitat et par région

Quatre environnements d'habitat différents :

- Littoral** : Habitat en région côtière dans une zone de 50 km.
- Montagne** : Habitat en région très vallonnée ou montagneuse.
- Rivière** : Habitat proche d'un fleuve ou d'une rivière de taille navigable.
- Campagne** : Habitat éloigné des montagnes, du bord de mer et d'une grande rivière.

Surface mobilisée : il s'agit de la surface nécessaire pour l'installation avec son périmètre d'isolement.

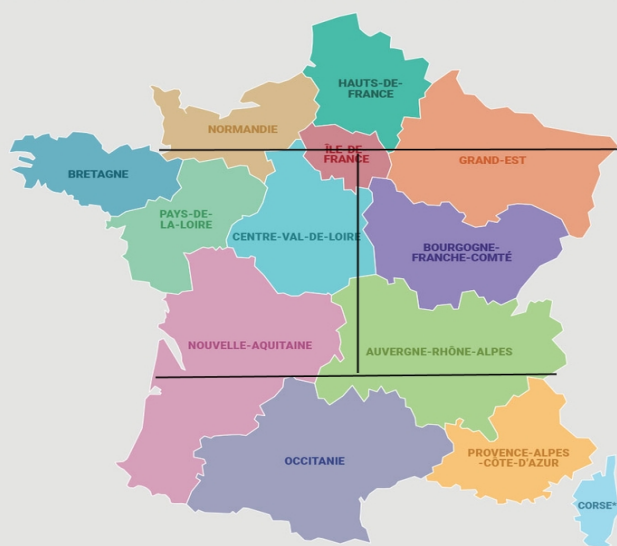
Facteur de charge : voir fiche En savoir plus - Facteur correctif : voir fiche En savoir plus

Source d'énergie	Zone géographique ou habitat	Puissance installation de référence (MWé)	Facteur de charge moyen	Coût moyen du MWh produit (Euro)	Surface mobilisée par MWh produit (m2/MWh/an)	Facteur correctif par habitat ou zone	
Eolien	Nord	2	26%	78	479	Littoral	130%
	Ouest	2	26%	78	479	Montagne	90%
	Est	2	33%	61	375	Rivière	100%
	Sud	2	31%	67	411	Campagne	85%
Solaire	Nord	0,07	11%	181	10	Littoral	100%
	Ouest	0,07	13%	159	9	Montagne	90%
	Est	0,07	13%	159	9	Rivière	100%
	Sud	0,07	16%	124	7	Campagne	100%
Hydraulique	Littoral	1	50%	120	0,007	Nord	0%
	Montagne	5	19%	70	0,120	Ouest	1%
	Rivière	7,5	61%	90	0,005	Est	57%
	Campagne	1	50%	120	0,007	Sud	42%
Nucléaire	Toutes	900	78%	54	0,06	Toutes	100%
Géothermie	Nord	0	0%	0	0	Littoral	100%
	Ouest	0	0%	0	0	Montagne	0%
	Est	2	57%	78	201	Rivière	100%
	Sud	2	57%	78	201	Campagne	100%

Zones géographiques :

la France est découpée en quatre zone (Voir carte)

### LES NOUVELLES RÉGIONS MÉTROPOLITAINES



\* Collectivité territoriale à statut particulier



### **Qu'est-ce qu'une maison à « énergie positive » ?**

Pour améliorer l'efficacité énergétique, il faut concevoir des maisons basse consommation et à énergie positive, qui produisent plus d'énergie qu'elles n'en consomment. Les nouvelles constructions doivent respecter des exigences strictes, intégrer l'énergie solaire et la gestion active de l'ensemble des sources thermiques et électriques dans les bâtiments. Ceci deviendra rapidement le standard au niveau européen. Les recherches portent l'amélioration des matériaux, parois, isolants, vitrages... afin d'atteindre des modes de construction optimaux des habitations.

Le couplage habitat + voiture électrique (système appelé mobilité solaire) est également un axe de recherche majeur. Les véhicules pourraient être rechargés grâce à l'énergie solaire tout au long de la journée, sur des bornes implantées sur les lieux de travail, les parkings des grandes surfaces...



### **Quelles sont les différentes catégories d'éoliennes ?**

- A terre, à axe vertical ou horizontal
- Offshore (au large des côtes)
- farshore (flottantes, en haute mer, à plus de 30 km des côtes – énergie du futur)

### **Comment optimiser production / consommation et stockage ?**

Les réseaux électriques intelligents (ou smart-grids), permettent de gérer l'ensemble de la chaîne énergétique, de la production à la consommation.

Le vent est variable et l'énergie éolienne fait en conséquence face à un problème d'intermittence de la production d'électricité. Or il n'existe pas aujourd'hui de solution économiquement satisfaisante de stockage à grande échelle de l'électricité produite.

La généralisation des « smart grids » ou « réseaux intelligents » constitue une voie de développement non négligeable pour une intégration de l'éolien dans les futurs réseaux électriques. Ces systèmes permettront de répondre aux enjeux de demain : mieux gérer les flux et lisser l'offre et la demande d'électricité, intégrer les nouvelles sources d'énergies renouvelables et limiter le recours aux centrales thermiques à combustible fossile (aujourd'hui utilisées pour faire face aux pointes de demande).

Site web : <http://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique>



Le facteur de charge ou facteur d'utilisation d'une centrale électrique est le rapport entre l'énergie électrique effectivement produite sur une année et l'énergie qu'elle aurait produite si elle avait constamment fonctionné à sa puissance la plus élevée.

Il est exprimé en pourcent. Plus la valeur du facteur de charge est élevée, plus l'installation s'approche de sa capacité de production maximale. Le facteur de charge varie fortement selon le type d'énergie primaire, selon la conception de l'installation et selon l'usage que l'on en fait.

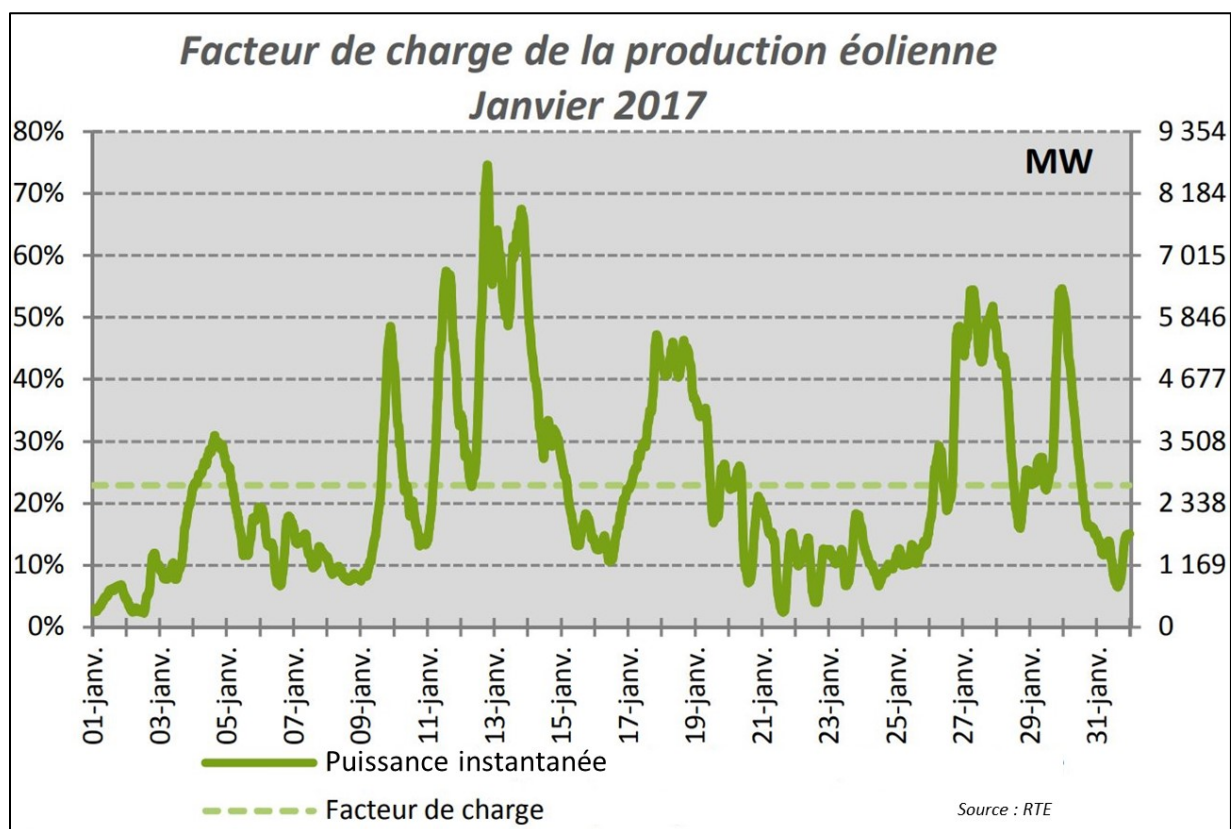
Prenons par exemple une éolienne de 2 MW de puissance installée. Sachant qu'une année correspond à 8 760 h<sup>1</sup>, cette éolienne pourrait, en théorie, produire au maximum :

$$8\,760\text{ h} \times 2\text{ MW} = 17\,520\text{ MWh.}$$

Si l'éolienne considérée produit dans la réalité 4 000 MWh en un an, son facteur de charge est égal à :

$$4\,000 / 17\,520 = 0,23 = 23\%.$$

Cela revient à dire que l'éolienne a fonctionné 23 % du temps à pleine puissance, ou bien en permanence à 23 % de sa puissance. C'est ce qu'on peut lire sur le diagramme ci-dessous pour la moyenne des éoliennes en France au mois de janvier 2017.



<sup>1</sup> Il y a par an 365 j de 24 h, donc  $365 \times 24 = 8\,760$  h dans une année.



En fonction de la situation de l'installation de production d'électricité, sa production est plus ou moins importante. Par exemple :

- un barrage sur une petite rivière qui s'assèche en été fonctionnera moins souvent que le même sur un fleuve ;
- un panneau solaire dans le nord de la France sera moins éclairé que le même panneau dans le sud ;
- une centrale géothermique ne fonctionnera pas dans les régions où le sous-sol n'est pas assez chaud ;
- une éolienne recevra plus de vent sur la côte atlantique et que la même en montagne.

Ces variations sont prises en compte à l'aide du facteur d'efficacité locale de la zone géographique - région et type d'habitat - dans laquelle l'installation est située. Le facteur d'efficacité est exprimé en pourcent de la moyenne nationale. Plus la valeur du facteur d'efficacité est élevée, plus l'installation est soumise à des conditions favorables à son fonctionnement. Un facteur d'efficacité de 100 % indique que l'installation produit comme la moyenne des installations en France.

Prenons par exemple un panneau solaire photovoltaïque de 10 m<sup>2</sup>. Il est vendu pour une puissance installée, ou puissance crête, de 1 kW. Éclairé en face par le soleil par temps clair, il produit donc 1 kWh en 1 heure.

Mais installé en montagne, le panneau ne reçoit le soleil ni du matin ni du soir car celui-ci est caché par les montagnes. Le panneau ne sera éclairé que 9 h sur les 10 h d'éclairage du même panneau en plaine. Le facteur d'efficacité en montagne du panneau photovoltaïque est alors de  $9\text{ h}/10\text{ h} = 0,90 = 90\%$ .





## **Quelles sont les trois types de pompe à chaleur géothermiques ?**

On distingue plusieurs types de pompe à chaleur géothermiques: (air/air, air/eau, eau/eau ou sol/sol => le premier terme définit l'origine de l'énergie / le deuxième terme définit le type de diffusion possible).

### **Pompe à chaleur air/air**

La chaleur est prélevée dans l'air et est transférée directement à l'air du local à chauffer ou à refroidir.

### **Pompe à chaleur air/eau**

La chaleur est prélevée dans l'air et est transférée à un circuit d'eau qui alimentera par exemple un plancher chauffant et/ou rafraîchissant, des radiateurs ventilo-convecteurs ou aérothermes.

### **Pompe à chaleur géothermique sol/sol**

La pompe à chaleur sol/sol puise la chaleur dans la terre et la diffuse dans la maison via un plancher chauffant. Très efficace, la pompe à chaleur sol / sol est conseillée dans le cadre de construction ou d'importantes rénovations, le plancher chauffant étant un émetteur lourd à installer.

La performance énergétique d'une pompe à chaleur se traduit par le rapport entre la quantité de chaleur produite par celle-ci et l'énergie électrique consommée par le compresseur. Ce rapport est le coefficient de performance de la pompe à chaleur géothermique.

Site web : <http://www.les-energies-renouvelables.eu/conseils/geothermie/fonctionnement-pompe-a-chaleur-geothermique/>



## L'énergie hydraulique à toutes les échelles ?

Outre l'énergie hydraulique produite à partir des barrages, il existe les mini/micro/pico centrales hydrauliques permettent de produire de l'électricité à petite échelle, à partir de la force de l'eau.

Le mini/micro/pico hydraulique fait partie de ce que l'on appelle **la PHE ou Petite Hydroélectricité**, correspondant à des installations dont la puissance est inférieure à 10 MW (10 000 kW) et se répartissant entre plusieurs types de dénominations, en fonction de la puissance. Fin 2012, la PHE représentait 87 % des installations hydrauliques en France (dont DOM TOM) mais seulement 9 % de la puissance installée et environ 10 % de la production d'électricité d'origine hydraulique.

### Usage

Le mini/micro/pico hydraulique est utilisé pour alimenter des sites isolés (une ou deux habitations, un atelier d'artisan, une grange...) ou produire de l'électricité, vendue à plus petite échelle.

### Production

Les mini/micro/pico centrales sont presque essentiellement des ouvrages au fil de l'eau : la turbine est positionnée dans le lit de la rivière ou en bas de la chute d'eau et la production d'électricité varie avec le débit de la rivière. Elles sont donc très tributaires du régime hydrologique de la rivière sur laquelle elles se trouvent.

Site web : <https://www.edf.fr/groupe-edf/espaces-dedies/l-energie-de-a-a-z/tout-sur-l-energie/produire-de-l-electricite/le-mini-micro-et-pico-hydraulique>





### **L'hydrogène, source ou vecteur d'énergie ?**

C'est l'élément le plus abondant, quasiment inépuisable, sur Terre.

Ce n'est pas une source d'énergie, mais un vecteur, une méthode permettant de stocker et transporter de l'énergie. L'hydrogène est ensuite réutilisé comme carburant, de pile à combustible notamment.

### **Comment produit-on et utilise-t-on l'hydrogène ?**

L'hydrogène n'existe pas à l'état naturel, il faut donc le produire, notamment par électrolyse des molécules d'eau. Comme c'est aussi la plus petite molécule, il faut concevoir des réservoirs adaptés (étanches et supportant de fortes pressions) pour le stocker.

La chaîne hydrogène : électrolyse, compression, stockage et utilisation n'émet pas de gaz à effet de serre, à condition d'utiliser des méthodes à base d'énergies renouvelables !

### **Quel est le principe de l'électrolyse ?**

L'électrolyse est une méthode qui permet de réaliser des réactions chimiques grâce à une activation électrique. C'est un processus de conversion de l'énergie électrique en énergie chimique.

Une cellule d'électrolyse est constituée de 2 électrodes (anode et cathode) plongées dans un électrolyte (solution conductrice d'ions) et reliées à un générateur de courant.

En faisant circuler un courant, l'eau est décomposée en dihydrogène et dioxygène :  
 $2 \text{H}_2\text{O} (\text{liquide}) \rightarrow 2 \text{H}_2 (\text{gaz}) + \text{O}_2 (\text{gaz})$

### **En quoi consiste la compression d'hydrogène ?**

A l'état gazeux l'hydrogène est volumineux, il faut donc le comprimer entre 350 et 700 bars pour le ramener à un volume raisonnable.

### **Quels risques sont associés à l'hydrogène ?**

L'hydrogène à l'état gazeux est inflammable et explosif. Comme c'est le plus petit atome, il peut se disperser rapidement dans l'atmosphère. Il faut donc garantir la sécurité dans ses phases de stockage et d'utilisation.



### **Quelles sont les 4 générations de réacteurs nucléaires ?**

- 1<sup>e</sup> génération (de 1950 à 1970) : n'existe plus en France  
La France, qui ne disposait pas des technologies d'enrichissement de l'uranium, a développé une filière technologique utilisant l'uranium naturel comme combustible.
- 2<sup>e</sup> génération (de 1970 à nos jours) : les réacteurs nucléaires actuels / filière à eau sous pression (REP)  
Ils répondent à la nécessité d'atteindre une meilleure compétitivité de l'énergie nucléaire et d'améliorer l'indépendance énergétique, dans un contexte de fortes tensions sur le cours des énergies fossiles (choc pétrolier).
- 3<sup>e</sup> génération : EPR (*European Pressurized Reactor*) en cours de construction à Flamanville  
Cette génération intègre davantage les impératifs liés à la sûreté et à la sécurité : résistance renforcée aux agressions externes, type chute d'avion par exemple.
- 4<sup>e</sup> génération (2040-2050). Ils sont en rupture technologique totale avec tout ce qui a été réalisé jusqu'à présent. Les recherches sur ces systèmes du futur sont menées dans le cadre du Forum International Génération IV qui a établi les critères auxquels ils devront répondre : durabilité, sûreté, compétitivité économique et résistance à la prolifération nucléaire.



### **Quelles sont les trois filières d'exploitation de l'énergie solaire ?**

- solaire thermique (convertit l'énergie solaire en chaleur / utilisations : chauffage et eau chaude)
- solaire thermodynamique (ou solaire à concentration ; l'énergie solaire chauffe un fluide caloporteur ; qui sera stocké ou produira de l'hydrogène ; celui-ci sera ensuite converti en électricité / utilisation : électricité)
- solaire photovoltaïque (convertit l'énergie solaire en électricité / utilisation : électricité)

### **Comment optimiser production / consommation et stockage (principe des smart-grid) ?**

Les smart-grids, ou réseaux électriques intelligents, permettent de gérer l'ensemble de la chaîne énergétique, de la production à la consommation.

L'intégration des nouvelles technologies de l'information et de la communication aux réseaux électriques les rendra communicants et permettra d'assurer l'équilibre entre l'offre et la demande à tout instant. Le système sera piloté de manière plus flexible pour gérer les contraintes liées à l'intermittence des énergies renouvelables et le développement de nouveaux usages tels que le véhicule électrique.

➔ Cf Interview de Nicolas Martin / les Savanturiers n°9

Le couplage habitat + voiture électrique (système appelé mobilité solaire) est également un axe de recherche majeur. Les véhicules pourraient être rechargés grâce à l'énergie solaire tout au long de la journée, sur des bornes implantées sur les lieux de travail, les parkings des grandes surfaces...

## Exemples de calculs qui peuvent être demandés aux élèves de 3<sup>ème</sup> :

Prenons **une commune d'île de France** (**zone nord** de la France) de **6 500 habitants** et d'une superficie de **14,25 km<sup>2</sup>**.

➤ Calculons tout d'abord la consommation annuelle d'énergie électrique de l'ensemble des habitants de la commune :

$$E_{1 \text{ hab}} = 7\,000 \text{ kWh / an donc } E_{\text{commune}} = 7\,000 \times 6\,500 = 45\,500 \text{ MWh / an.}$$

➤ Dans le cadre de la COP 21, 50 % de cette énergie électrique produite ne doit être ni nucléaire ni émettrice de GES donc doit être renouvelable. On choisit dans cet exemple l'éolien pour couvrir les 50 % de production d'énergie électrique pour les habitants de la commune.

➤ Déterminons ces 50 % d'énergie électrique qu'il faut produire pour les habitants de la commune chaque année grâce à des éoliennes :

$$E_{50\% \text{ commune}} = 50 \times 45\,500 / 100 = \mathbf{22\,750 \text{ MWh / an.}}$$

➤ Cherchons maintenant le nombre d'éoliennes nécessaires pour produire ces 22 750 MWh / an :

$$P_{\text{installée 1 éolienne}} = 2 \text{ MW} \quad \text{facteur de charge} = 16 \% \text{ (île de France)}$$

$$P_{\text{« réelle » 1 éolienne}} = 2 \times 16 \% = 0,32 \text{ MW}$$

Energie produite par 1 éolienne pendant 1 an :

$$E_{1 \text{ éolienne}} = P_{\text{« réelle » 1 éolienne} \times t = 0,32 \times 8\,760 = 2\,803 \text{ MWh}$$

avec  $t = 1 \text{ an} = 8\,760 \text{ h}$

Nombre d'éoliennes nécessaires pour couvrir la moitié des besoins en énergie électrique des habitants de la commune :

$$E_{50\% \text{ commune}} / E_{1 \text{ éolienne}} = 22\,750 / 2\,803 = 8,12 \text{ donc } \mathbf{9 \text{ éoliennes}}$$
 pourraient suffire en théorie aux habitants de la commune.

➤ Calculons maintenant le coût moyen annuel de ces 9 éoliennes :

$$1 \text{ MWh}_{\text{ production d'1 éolienne}} \Leftrightarrow 68 \text{ € (zone nord)}$$

$$22\,750 \text{ MWh} \quad \Leftrightarrow \quad p ? \quad p = 22\,750 \times 68 / 1 = 1\,547\,000 \text{ €.}$$

Le coût moyen annuel serait donc de **1 547 000 €.**

➤ Calculons enfin la superficie nécessaire pour implanter ces 9 éoliennes :

$$\text{Superficie pour 1 éolienne : } S_{1 \text{ éolienne}} = 1,1 \text{ km}^2$$

$$\text{Superficie nécessaire pour 9 éoliennes : } S_{\text{nécessaire}} = 9 \times 1,1 = \mathbf{9,9 \text{ km}^2}$$

**La surface nécessaire aux éoliennes est de 9,9 km<sup>2</sup>/14,25 km<sup>2</sup> soit 70 % de la surface de la commune.**



## Caractéristique de l'éolien en France métropolitaine 2016

Réf. : « Global Wind Statistics 2016 », Global Wind Energy Council (GWEC), 10 février 2017  
Réf. : « Global Wind Statistics 2016 », Global Wind Energy Council (GWEC), 10 février 2017

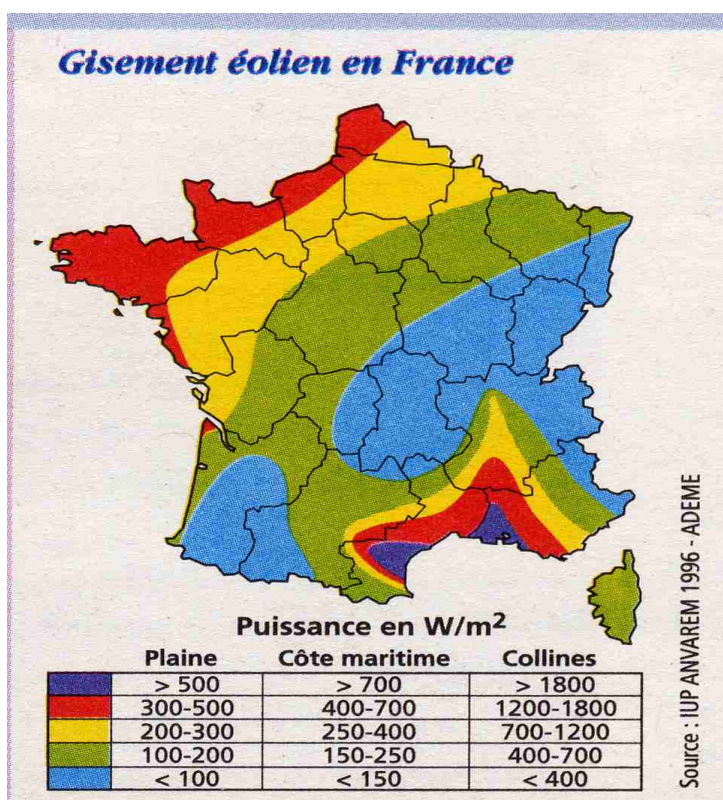
Région	Facteur de charge*	Taux de la consommation électrique	Puissance installée MW	
Auvergne-Rhône-Alpes	23,60%	1,30%	443	Est
Bourgogne-Franche-Comté	21,90%	3,60%	467	Est
Bretagne	18,90%	6,60%	913	Ouest
Centre-Val de Loire	20,40%	8,70%	951	Ouest
Corse	0,00%	1,50%	18	Sud
Grand Est	21,20%	10,70%	2 836	Est
Hauts-de-France	22,30%	9,50%	2 740	Nord
Île-de-France	16,30%	0,10%	43	Nord
Normandie	22,30%	4,10%	643	Nord
Nouvelle-Aquitaine	17,20%	2,10%	669	Sud
Occitanie	27,30%	7,00%	1 165	Sud
Pays de la Loire	20,90%	4,50%	733	Ouest
Provence-Alpes-Côte d'Azur	24,60%	0,30%	50	Sud
<b>Total France</b>	<b>21,70%</b>	<b>4,31%</b>	<b>11 670</b>	

\* en grande majorité éolien terrestre standard

**Surface au sol** = 6 fois diamètre des pales.

Diamètre 2 MW : 80-125 m --> moyenne 100 m. Surface au sol  $3,14 \times 600 \times 600 = 1\,130\,000 \text{ m}^2$

Emprise au sol =  $2\,000 \text{ m}^2$





Coûts de production des éoliennes en France en 2017 (€/MWh)

8760 h/an

Type d'éolienne	Puissance unitaire	Surface nécessaire (distance entre 2)	Durée annuelle à pleine puissance	Durée annuelle moyenne	Facteur de charge relatif	Fourchette de coûts	Coûts avec taux d'actualisation de 5%	Coûts moyens	Facteur de charge	Surface par MWh/an
Unité :	MW	m <sup>2</sup>	heures	heures		euro/MWh	euro/MWh	euro/MWh		m <sup>2</sup> /MWh
éolien terrestre standard	2,3	1100000	1800-2400	2100	1	54 à 108	61 à 91	76	24%	524
éolien terrestre nouvelle génération ("éoliennes toilées")	2	1100000	2400-2700	2550	1,225	50 à 94	57 à 79	68	29%	431
éolien en mer posé	6,9	1100000	3500	3500	1,75	123 à 227	123 à 169	146	40%	314
éolien en mer flottant (projets)	6 à 8	1100000	4000	4000	2	165 à 364	165 à 281	223	46%	275
<b>Valeur moyenne utilisée</b>	<b>2</b>	<b>1100000</b>	<b>2500</b>	<b>2550</b>				<b>68</b>	<b>29%</b>	<b>431</b>



## Récapitulatif des données par énergie, moyennées par région

Zones géographiques : la France est découpée en quatre zone (Voir carte)

Surface mobilisée : il s'agit de la surface nécessaire pour l'installation avec son périmètre d'isolement.

Facteur de charge : voir fiche En savoir plus

Pour la biomasse et la géothermie le facteur de charge est remplacé par la proportion surfacique des sources (forêts ou sources chaudes)

Source d'énergie	Puissance installation de référence (MWé)	Coût moyen du MWh produit (Euro)	Surface mobilisée par une installation (m2)	Facteur de charge (%)												
				Auvergne-Rhône-Alpes	Bourgogne-Franche-Comté	Bretagne	Centre-Val de Loire	Corse	Grand Est	Hauts-de-France	Île-de-France	Normandie	Nouvelle-Aquitaine	Occitanie	Pays de la Loire	Provence-Alpes-Côte d'Azur
<b>Eolien</b>	<b>2</b>	<b>68</b>	<b>1 100 000</b>	24%	22%	19%	20%	0%	21%	22%	16%	22%	17%	27%	27%	21%
<b>Solaire</b>	<b>0,068</b>	<b>184</b>	<b>680</b>	14%	13%	12%	13%	16%	12%	12%	10%	12%	15%	15%	13%	17%
<b>Hydraulique</b>	<b>1</b>	<b>120</b>		46%	5%	1%	0%	0%	2%	0%	0%	0%	9%	25%	0%	11%
<b>Nucléaire</b>	<b>900</b>	<b>54</b>	<b>58 000</b>	78%	78%	78%	78%	78%	78%	78%	78%	78%	78%	78%	78%	78%
<b>Géothermie</b>	<b>2</b>	<b>78</b>	<b>2 500</b>	4%	17%	0%	48%	0%	37%	28%	57%	11%	31%	11%	0%	6%
<b>Biomasse</b>	<b>3,6</b>	<b>150</b>	<b>10 000</b>	34%	35%	12%	25%	50%	36%	15%	20%	12%	30%	33%	11%	43%

### LES NOUVELLES RÉGIONS MÉTROPOLITAINES



\* Collectivité territoriale à statut particulier