

# Dossier NP90 : Les éoliennes.



## Problématique :

L'éolien peut-il produire 100%  
de l'électricité consommée  
en France ?

Groupe 6 :

Antoine Forest  
Amandine Laumont  
Johan Medioni  
Charlotte Mitchell  
Sylvain Tiset

# Introduction

---

De nos jours, la question énergétique préoccupe beaucoup les esprits. Les énergies renouvelables font l'objet de recherches de plus en plus poussées, afin de combler la future carence en pétrole. Parmi toutes ces nouvelles énergies dites "énergies propres", l'une d'elle est plus particulièrement à l'origine de nombreuses polémiques : l'énergie éolienne. Est-elle viable ? Peut-elle subvenir aux besoins énergétiques de la France, qui sont de plus en plus importants ? Pourquoi n'est-elle pas appréciée de tous et y a-t-il des risques à la présence d'éoliennes sur le territoire ?

Toutes ces questions nous ont incités à nous intéresser de plus près à la production d'énergie éolienne en France. Il nous a semblé intéressant d'en apprendre plus concernant le fonctionnement, la rentabilité, mais aussi les risques de cette nouvelle énergie qui fait tant débat. Nous allons donc développer dans ce dossier des éléments de réponse concernant la question "**L'éolien peut-il suffire à produire 100% de l'électricité consommée en France ?**".

Après une description du fonctionnement d'une éolienne, nous développerons les différentes possibilités d'implantation d'éoliennes qui pourraient permettre d'atteindre une production équivalente à l'énergie consommée en France. Nous détaillerons pour finir les limites qui se posent concernant cette possible implantation en grande quantité d'éoliennes en France, d'ordre scientifique autant que social.

# Sommaire

---

<b>I- Qu'est-ce qu'une éolienne ?</b>	2
1- Fonctionnement d'une éolienne	2
2- Composition d'une éolienne	3
3- Parcs éoliens offshore	4
 <b>II- Production actuelle d'énergies dont éolienne en France</b>	5
1- Situation énergétique en France	5
2- Bilan de la production actuelle d'énergie éolienne en France	6
 <b>III- Production d'énergie éolienne envisageable pour la France</b>	8
1- Etude des zones d'implantation éventuelles	8
2- Evaluation de la production énergétique éolienne possible	9
 <b>IV- Pouvons-nous réellement produire 100% de l'électricité consommée en France avec des éoliennes ?</b>	11
1- Problématique du stockage de l'énergie électrique	11
2- Impact environnemental	11
3- Sondages	14
 <b>V- Bilan du projet</b>	16
<b>Conclusion</b>	18
<b>Sources</b>	19
<b>Annexe</b>	20

# I/ Qu'est-ce qu'une éolienne ?

## 1) Fonctionnement d'une éolienne

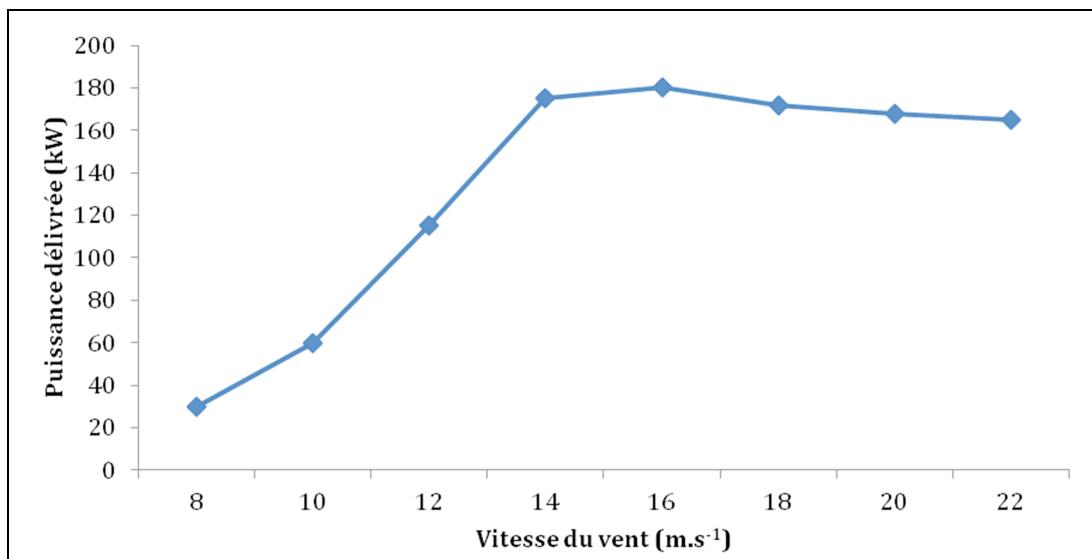
L'énergie éolienne, comme son nom l'indique, est basée sur l'exploitation du vent. Il s'agit de récupérer l'énergie cinétique de l'hélice mise en action grâce au vent et de la convertir en électricité.

En 1919, un ingénieur allemand, Albert Betz, a montré théoriquement qu'il est impossible d'utiliser plus de 59 % de l'énergie cinétique du vent ; on parle de la loi ou de la limite de Betz. Ce principe reste valable de nos jours. En pratique, l'ADEME (Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie) estime que seule 30% de l'énergie du vent est exploitée par les éoliennes.

L'énergie éolienne se calcule sur une période d'un an. La productivité d'une ferme d'éoliennes sera d'autant plus importante que la vitesse des vents sera régulière et bien répartie tout au long de l'année. La vitesse minimale requise pour le fonctionnement d'une éolienne est  $14 \text{ km.h}^{-1}$  ( $4 \text{ m.s}^{-1}$ ). A contrario, une région sous la coupe de vents violents et intermittents sera difficilement exploitable. En outre, lorsque le vent a une vitesse supérieure à  $90 \text{ km.h}^{-1}$  ( $25 \text{ m.s}^{-1}$ ), l'éolienne doit être arrêtée pour ne pas endommager ses pâles.

Illustrons ces idées avec une éolienne de puissance nominale 175 kW (petite éolienne, mais si on prend une éolienne avec une puissance 10 fois supérieure, la courbe reste à peu près identique).

Vitesse du vent ( $\text{m.s}^{-1}$ )	8	10	12	14	16	18	20	22
Puissance délivrée (kW)	30	60	115	175	180	172	168	165



**Figure 1 :** Puissance délivrée par une éolienne de puissance nominale 175 kW en fonction de la vitesse du vent.

## 2) Composition d'une éolienne

Etudions la composition d'une éolienne et le rôle de chaque composant. Une éolienne est constituée :

- d'un mât en acier : il contient les câbles électriques de raccordement au réseau et une échelle.
- d'une nacelle, située au sommet du mât. Celle-ci contient toute l'installation nécessaire à la production d'électricité : les(s) générateur(s), le multiplicateur, le système de frein et d'orientation de l'éolienne, ainsi que tous les équipements d'asservissement de l'ensemble des fonctions de l'éolienne.
- d'un rotor, à l'extrémité de la nacelle, généralement constitué par trois pales.

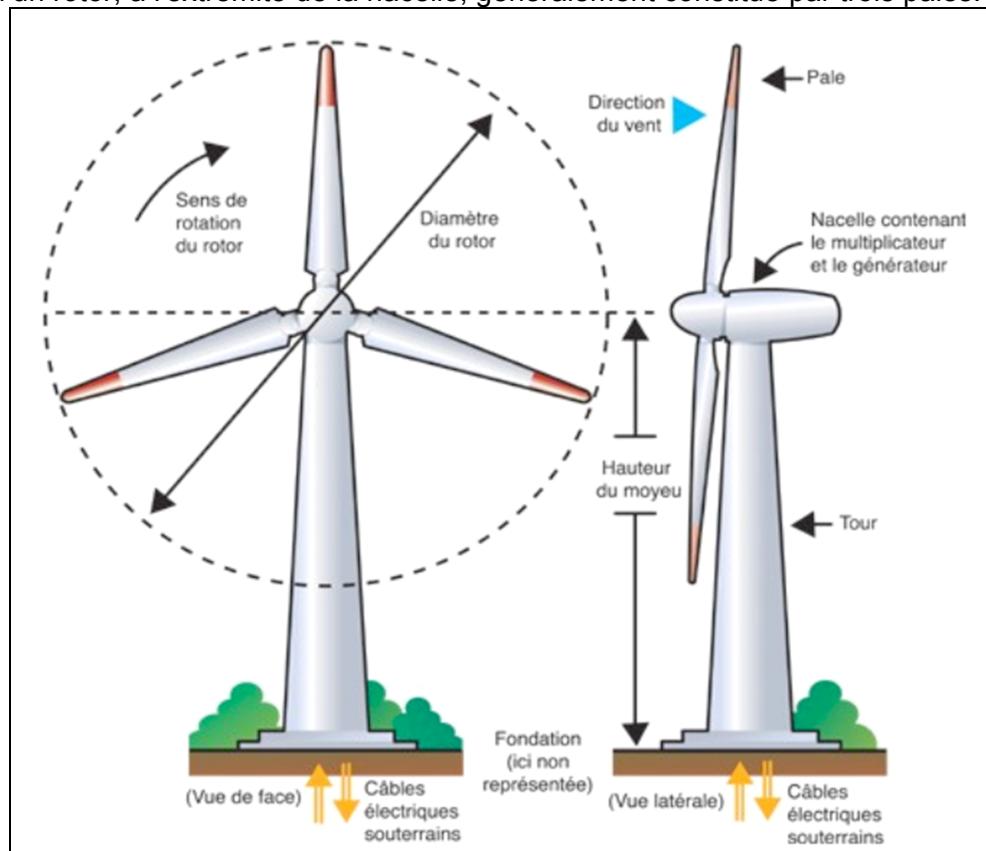


Figure 2 : Schéma représentant le fonctionnement d'une éolienne.

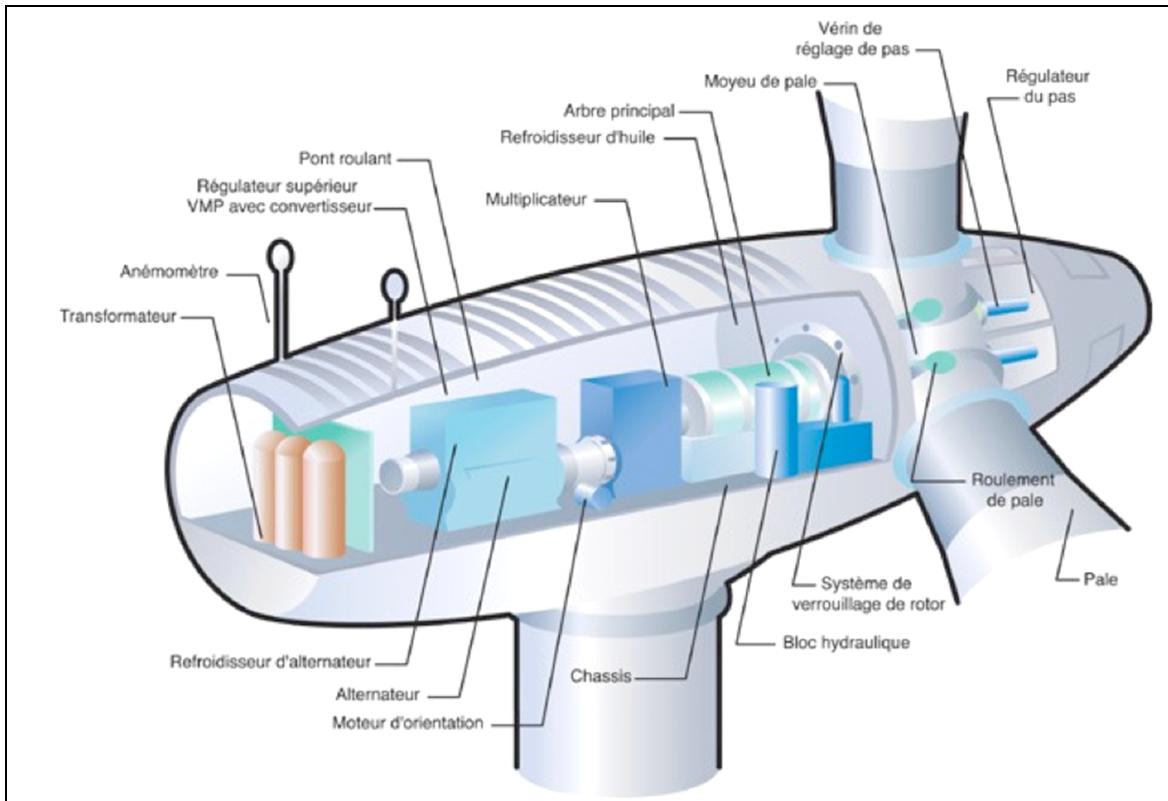
- **Le rotor**

Le rotor transforme l'énergie du vent en couple mécanique. Ses pales sont portées par le moyeu. Le système tripale est le plus répandu. Toutes les éoliennes possèdent un système de régulation de puissance basé sur la méthode du "calage variable", c'est à dire le calage des pales afin de réguler le rendement.

- **La nacelle**

Le rotor se trouve à une extrémité de la nacelle. Celle-ci comporte en son sein l'ensemble générateur. C'est souvent elle qui est responsable de la gêne sonore des éoliennes.

Sur le toit de la nacelle, des girouettes mesurent l'orientation moyenne du vent. La nacelle s'oriente en conséquence dans l'axe du vent par un dispositif mécanique.



**Figure 3 : Schéma du fonctionnement type d'une nacelle d'éolienne.**

- **L'ensemble génératrice.**

L'ensemble génératrice transforme le couple mécanique en courant électrique grâce à un générateur électromécanique. Il adapte également le courant aux normes du réseau.

- **Le mat**

Le mat porte la nacelle. Il doit avoir une hauteur supérieure au rayon du rotor. Cette dernière est souvent égale au diamètre du rotor. Néanmoins, dans le cas de zones peu ventées, il est d'usage d'augmenter la hauteur du mat afin d'atteindre des vents plus puissants.

### 3) Les parcs éoliens offshore

Cette implantation de l'éolien est assez récente. Il s'agit de placer les éoliennes en mer. Cette méthode présente deux avantages majeurs :

- le vent en mer est plus fort et constant qu'à terre.
- la mer offre de nouvelles zones spacieuses et éloignées de toutes habitations.

Néanmoins, il est plus difficile techniquement d'implanter des éoliennes en mer que sur terre. En effet, les vents peuvent parfois être très violents, et les éoliennes sont soumises aux fortes pressions exercées par l'eau (vagues et courants marins). C'est pourquoi il faut solidement les ancrer au fond marin, ce qui impose une limite de profondeur. Actuellement, on ne peut les ancrer à plus de 50 m de profondeur, et pour une bonne récupération de l'électricité, on n'excède pas les 30 m de profondeur. La maintenance de ces éoliennes est également plus complexe en raison des problèmes liés à l'accès des zones sous-marines.

## II/ Production actuelle d'énergies dont éolienne en France

La France est le second gisement éolien d'Europe après le Royaume-Uni, c'est-à-dire le second pays à pouvoir utiliser la force du vent comme énergie. Le développement des parcs éoliens est donc favorisé par cet atout naturel.

### 1) Situation énergétique en France

- Production de l'électricité en France toutes énergies confondues

En 2009, la France a produit 518,8 TWh toutes énergies confondues, une partie est exportée à l'étranger vers les pays frontaliers mais la majorité permet de couvrir la consommation française.

La France produit la majorité de son électricité grâce à l'énergie nucléaire, en 2009 elle représentait 75,2 % de la production totale d'électricité, la combustion des énergies fossiles (charbon, gaz naturel) couvrait quant à elle 10,5% de la production.

Parmi les énergies renouvelables c'est l'énergie hydraulique la plus importante (11,9 % de la production) contre seulement 1,5 % issu de l'énergie éolienne. Néanmoins on peut observer que cette production a fortement augmenté entre 2008 et 2009. La tendance actuelle est donc très favorable au développement des éoliennes.

- Consommation française d'électricité.

La consommation interne d'électricité en France (production française moins l'énergie exportée) a été de 486 TWh en 2009, en légère baisse par rapport à l'année 2008 qui s'explique par les répercussions de la crise économique. On peut noter que la consommation tourne toujours près de 480/490 TWh par an.

Production française d'électricité

	TWh	Variation 2009/2008 (%)
Production nette	518,8	– 5,5
Nucléaire	390,0	– 6,8
Hydraulique	61,8	– 9,2
Combustible fossile	54,8	+ 3,1
Éolien	7,8	+ 39,9
Autres énergies renouvelables (biomasse essentiellement)	4,4	+ 7,5

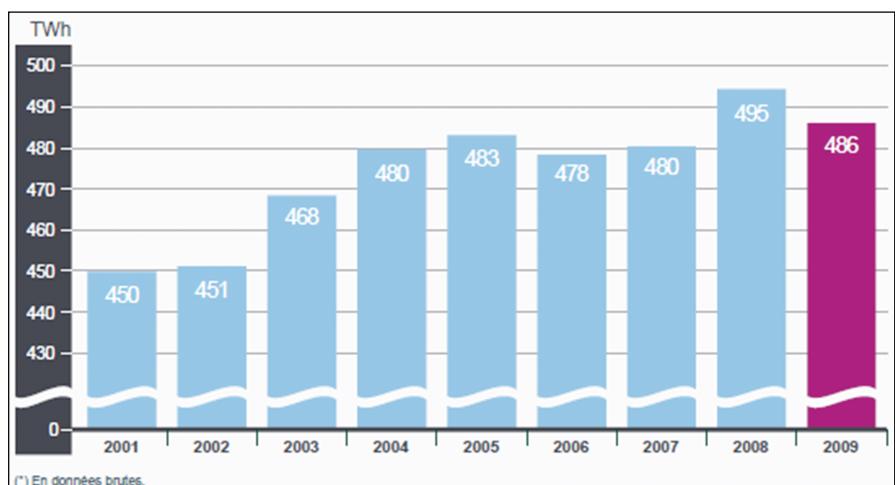


Figure 4 : Consommation intérieure annuelle d'électricité.

## 2) Bilan de la production actuelle d'énergie éolienne en France

- **Puissance et production des éoliennes**

La puissance éolienne installée fin 2010 était de 5 573 MW en France, soit environ 3 550 éoliennes, ce qui couvre 1,9% de la consommation totale d'énergie en France et a ainsi évité, en 2010, l'émission de 2,55 millions de tonnes de CO<sub>2</sub>.

On peut noter une très forte augmentation de l'installation d'éoliennes en France. Chaque année, 500 éoliennes environ sont mises en service en France, soit environ 1000 MW, l'équivalent de la puissance d'une centrale thermique et demie. On a dépassé en 2009 le stade des 1000 éoliennes installées par an.

**Évolution de la puissance installée et cumulée depuis 2000 en France**

Année	Puissance annuelle installée (MW)	Puissance cumulée (MW)	Énergie produite (GWh)	Estimations de la population alimentée (consommation domestique y compris chauffage électrique)
2000	40	61	70	29 000
2001	31	92	131	54 000
2002	52	144	245	100 600
2003	100	244	363	150 000
2004	146	390	577	237 000
2005	367	757	963	395 000
2006	810	1 567	2 169	890 000
2007	888	2 455	4 140	1 725 000
2008	949	3 404	5 653	2 500 000
2009	1 088	4 492	7 800	3 492 000

source : SER-FEE

- **Localisation géographique des parcs éoliens**

Les parcs éoliens sont généralement répartis de manière homogène sur l'ensemble du territoire français. On peut néanmoins noter des régions plus ou moins favorables à l'implantation de parcs éoliens.

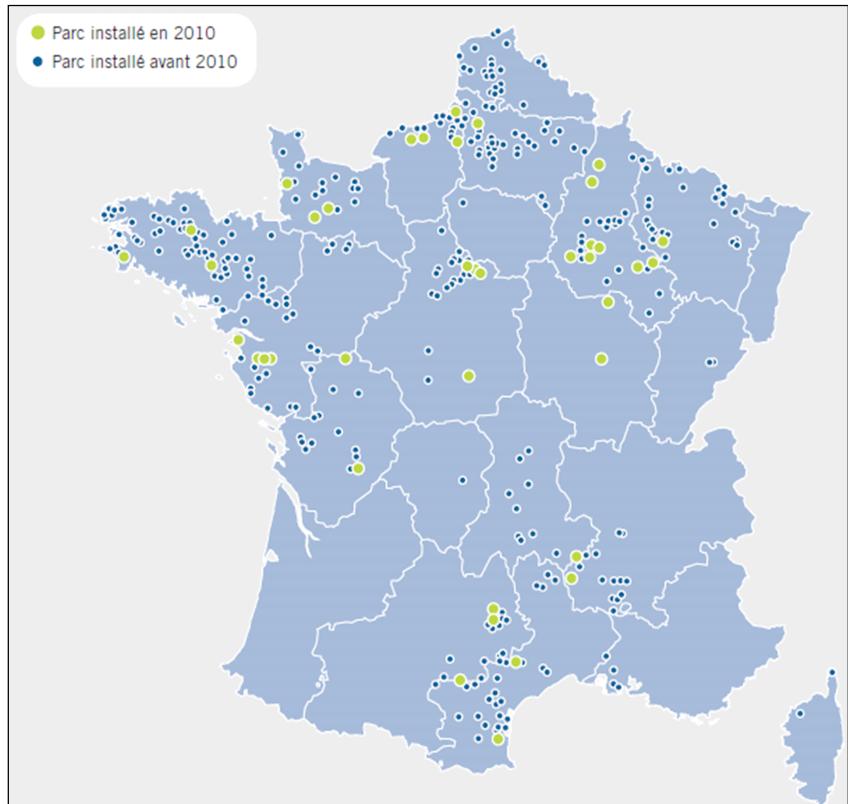
**Les parcs de grande taille**, se concentrent dans les grandes régions céréalier : Champagne-Ardenne et Centre.

**Les parcs de plus petite taille** (inférieurs à 5 machines), se situent dans les régions de l'ouest de la France : Basse-Normandie, Bretagne, Pays de la Loire, Poitou-Charentes.

**Les zones défavorables**, on trouve moins de parcs dans le quart sud-ouest de la France, l'Île-de-France, la Bourgogne ou la Franche-Comté, en raison d'un gisement de vent moins important.

**Figure 5 : Carte représentant les parcs éoliens existants en France.**

On peut également noter que la stimulation du développement de l'éolien se fait en France grâce à l'obligation de EDF de racheter l'électricité produite à des tarifs particulièrement attractifs. Cela qui permet aux investisseurs d'obtenir une rentabilité moins risquée, indépendante du prix de gros de l'électricité et des débouchés réels de leurs productions.



### III/ Production d'énergie éolienne envisageable pour la France

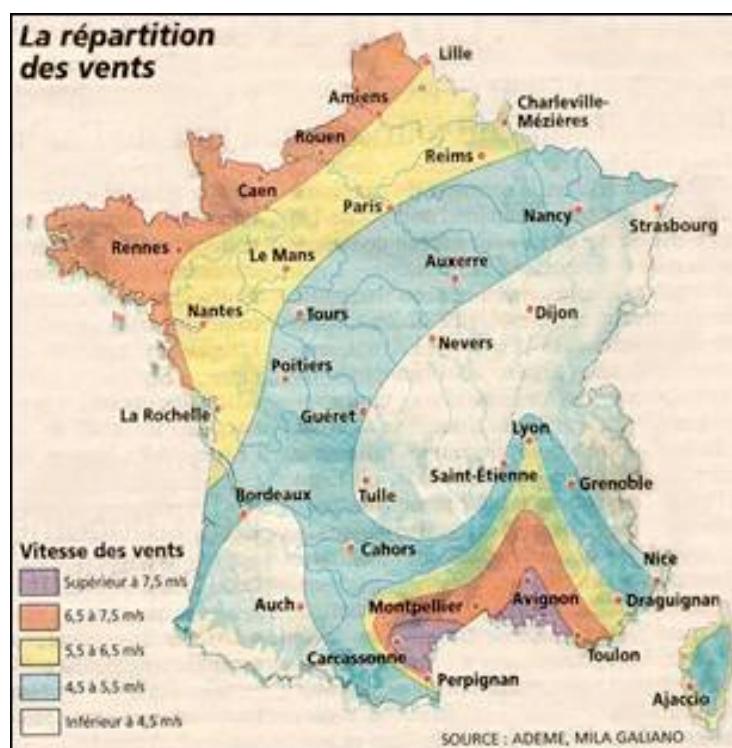
#### 1) Etude des zones d'implantation éventuelles

Nous allons maintenant nous intéresser à l'implantation possible d'éoliennes sur le territoire français dans le but d'augmenter le nombre d'éoliennes existantes et ainsi la production d'énergie éolienne. Nous nous limiterons à l'étude du territoire métropolitain car nous ne disposons pas de données suffisantes concernant les vents dans les autres territoires français.

Intéressons nous tout d'abord à la carte des vents qui nous montre en fonction de zones géographiques quelle est la vitesse moyenne des vents présents à 50m du sol et qui pourraient donc potentiellement faire fonctionner des éoliennes.

On constate que les zones où les vents sont suffisamment importants (vitesse supérieure à 4 m/s soit 14 km/h en moyenne), couvrent une surface assez restreinte et qu'il n'est donc pas souhaitable d'envisager d'implanter des éoliennes partout sur le territoire mais uniquement dans certaines zones (essentiellement le long des côtes). En effet, au-dessous d'une certaine vitesse du vent, une éolienne ne tourne pas, ou insuffisamment pour fournir du courant. On peut également constater que les zones où les éoliennes sont déjà installées en nombres correspondent assez bien aux zones caractérisées par un vent important.

Si on s'intéresse maintenant à la capacité d'accueil des territoires favorables à une production d'énergie éolienne, nous allons pouvoir estimer la quantité d'énergie que l'on peut potentiellement produire en France. Nous allons choisir de ne considérer que les zones où les vents sont supérieurs à 5,5 m/s. En effet, bien que les pales d'une éolienne commencent à se mettre en mouvement à partir d'une vitesse de 4 m/s, il est nécessaire de prévoir une marge en considérant des zones où il n'est pas judicieux d'implanter des éoliennes, la vitesse du vent étant assez changeante et les vitesses figurant sur la carte (cf *figure 6*, page suivante) n'étant qu'une moyenne globale sur l'année. L'ensemble des surfaces suffisamment ventées (vitesse moyenne supérieure à 5,5 m/s) correspond à environ 193 172,95 km<sup>2</sup> (voir en annexe 1 la carte ayant servi au calcul, à l'aide du logiciel GeoTool) ou encore **35,15%** du territoire français.



**Figure 6 :** Carte représentant la répartition des vents avec leurs vitesses moyennes en France métropolitaine.

Il nous faut également tenir compte des espaces déjà occupés du territoire, notamment les sols artificialisés (comme au niveau des espaces bâties et des sols revêtus, dans le cas des routes par exemple), mais aussi des espaces boisés, protégés ou sous les eaux.

Nous nous sommes pour cela basés sur les données statistiques de l'INSEE concernant l'occupation du territoire concernant le territoire français (voir tableau en *figure 7*).

Type de surface	Taille (km <sup>2</sup> )
Sols bâties	8346,57
Sols revêtus ou stabilisés (routes etc.)	23064,72
Autres sols artificialisés	17053,54
Sols cultivés	187824,5
Sols boisés	169997,2
Landes, friches, maquis, garrigues	28587,99
Surfaces toujours en herbes	95105,73
Sols nus naturels	9684,931
Zones sous les eaux	8963,012
Zones interdites	564,3239
<b>Total</b>	<b>549192,52</b>

**Figure 7 : Répartition des types de surface en France.**

On considère pouvoir installer des éoliennes sur :

- les surfaces toujours en herbes ;
- les landes, friches, maquis ... ;
- les sols nus naturels ;
- 10% des surfaces cultivées (une faible partie des champs).

Il paraît bien évidemment impossible d'utiliser les territoires boisés, stabilisés (routes, parkings etc.) ou encore les sols bâties pour y installer les éoliennes. Bien qu'il soit important de conserver les champs servant à la production agricole, puisqu'il existe des champs où sont installées des éoliennes, nous avons retenus une fraction des terrains de 10%.

La somme des surfaces considérées représente 152161,105 km<sup>2</sup> du territoire total (France métropolitaine), soit :

$$\frac{152161,150}{549192,52} \times 100 = 27,71\%$$

En faisant l'hypothèse d'une répartition homogène des types de surfaces recensées par l'INSEE, on peut faire le calcul suivant :  $0,3558 * 0,2771 * 100 = 9,746\%$  qui représenterait la part de surface totale du territoire (France métropolitaine) utilisable pour planter des éoliennes et les faire fonctionner (condition : région bien ventée). Cela représente **52 916,01 km<sup>2</sup>** que nous allons considérer comme terrain disponible et ayant des conditions favorables à une potentielle installation d'éolienne.

## 2) Evaluation de la production énergétique éolienne possible

Une fois cette étude géographique réalisée, il faut tenir compte d'un autre phénomène : une éolienne ne fonctionne pas en continu. En effet, sur une année, on considère qu'elle tourne environ 25% du temps, ce qui correspond à environ 2200 heures par an (1 an = 24 \* 365 = 8760 heures ;  $0,25 * 8760 = 2190$ ). En effet, au-dessous d'une certaine vitesse du vent (environ 4 m/s), une éolienne ne tourne pas, ou insuffisamment pour fournir du courant et si le vent

souffle trop fort, des capteurs de vitesse de vent situés sur la nacelle déclenchent alors automatiquement le freinage des pales et la commande de mise en sécurité de l'éolienne qui s'arrête de tourner. Il faut donc prendre en compte cette donnée lors du calcul de l'énergie électrique produite par une éolienne.

On peut cependant noter qu'il est possible d'obtenir une durée de fonctionnement de l'éolienne par an plus importante dans le cadre de l'éolien offshore (environ 3300 heures).

Pour pouvoir effectuer le calcul final de l'énergie que l'on peut potentiellement espérer produire en France en fonction de l'espace que l'on peut dédier à cette activité (pour rappel, cela correspond à environ 10% du territoire métropolitain), il faut parvenir à estimer la surface requise pour installer une éolienne.

On se base sur une taille moyenne d'éolienne avec des pales de 60m de diamètre. Comme il faut laisser un espace de 7 fois le diamètre dans le sens du vent et de 4 fois le diamètre dans le sens perpendiculaire au vent, la surface occupée par une éolienne est de 100 800 m<sup>2</sup> soit environ 0,1 km<sup>2</sup>. On peut donc installer dix éoliennes sur un terrain de 1 km<sup>2</sup>.

La puissance nominale d'une telle éolienne étant en moyenne de 1 MW, elle fournira en moyenne 2,2 GW.h (soit 1Mw x 2200h) en moyenne sur l'année.

On peut alors estimer la quantité d'énergie électrique productible à l'aide des éoliennes en France. Il faut cependant bien se rappeler des hypothèses émises tout au long de ce calcul et qui font de la valeur que nous allons obtenir une simple estimation qui a vocation à donner un ordre de grandeur et non une valeur exacte (ce qui est de toute façon impossible car les vents varient tous les jours et l'utilisation d'électricité annuelle en France).

Ainsi le calcul est le suivant :

La surface exploitable pour installer des éoliennes étant de 52 916 km<sup>2</sup>, et sachant que l'on peut installer 10 éoliennes de puissance nominale 1 MW (soit 2,2 GW.h produits sur une année) sur un km<sup>2</sup>, l'énergie que l'on peut espérer produire en un an en France grâce aux éoliennes est de :

$$1\,164\,152,22 \text{ GW.h} = \mathbf{1\,164 \text{ TW.h}}$$

Cette valeur étant largement supérieure à la consommation française d'électricité en 2009 (490 TW.h), on obtient même un résultat qui est plus de double de celui correspondant à la consommation réelle, il semble possible de produire à l'aide des éoliennes toute l'énergie électrique consommée en France sur une année.

# IV/ Pouvons-nous réellement produire 100% de l'électricité consommée en France avec des éoliennes ?

---

## 1) Problématique du stockage de l'énergie électrique

Le caractère intermittent de l'énergie éolienne représente un grand problème. En effet, l'éolienne fonctionnant uniquement lorsque le vent souffle à plus de 4 m/s, l'énergie n'est pas produite à la demande mais uniquement selon les conditions météorologiques. Se pose alors le problème du stockage de l'énergie. Une électricité uniquement éolienne devrait pouvoir être en partie stockée au moment où il y a suffisamment de vent, puis restituée lorsque le consommateur en a besoin. L'énergie éolienne ne pouvant être stockée sous sa forme primaire, il faut alors trouver un moyen de transformation et de stockage viable.

Plusieurs solutions s'offrent à nous :

- **Le stockage par batteries**

Le stockage dans des batteries n'est envisageable que pour des productions faibles et des sites isolés. En effet, si 100% de la production d'électricité était éolienne, le stockage dans des batteries demanderait des matériaux dans des proportions gigantesques, nécessiterait un investissement colossal et engendrerait une pollution importante.

- **Le stockage hydraulique**

Pour des stockages importants, on pourrait faire appel au pompage de l'eau entre deux réservoirs et une turbine. Le principe est le suivant : l'énergie éolienne actionne une turbine permettant de remplir un réservoir de stockage d'eau. L'eau sera alors turbinée pour restituer l'énergie en cas de besoin. Cette solution serait également très coûteuse et se ne ferait pas sans pertes (frottements, efficacité de la pompe).

- **Le stockage sous forme d'hydrogène**

Cette solution consiste à produire de l'hydrogène par électrolyse puis à la stocker. On peut ensuite l'utiliser dans des piles à combustibles afin de restituer l'énergie. Cependant, le rendement de l'électrolyse est de 80% au maximum et celui du stockage de l'hydrogène est également de 80% au mieux. Les pertes ne sont donc pas négligeables.

- **Le stockage thermique**

Cette méthode commence à se développer. L'énergie éolienne produite est utilisée pour chauffer le fluide d'un réservoir. Pendant les périodes sans vent, celui-ci restitue l'énergie précédemment stockée.

Toutes ces solutions ont un rendement nettement inférieur à 100%. Les pertes d'énergies sont importantes et les coûts sont loin d'être négligeables. On s'aperçoit qu'il est alors difficile voire impossible de produire 100% de l'électricité consommée en France par l'éolien à cause du problème de l'intermittence des vents et du stockage de l'énergie.

## 2) Impact environnemental

- **Impact de l'éolien sur la santé humaine :**

Intéressons-nous tout d'abord à la thématique de la pollution sonore. D'après une étude menée par l'Académie Nationale de médecine (encadré par Marjolaine Villey Migraine, docteur en sciences de l'information et de la communication à l'Université Paris II), des troubles de la santé ont été révélés sur des personnes vivant à proximité des éoliennes. Ces symptômes sont : déprime, stress, irritabilité, angoisses, nausées, arythmies cardiaques, céphalées, vertiges, nystagmus (oscillations involontaires oculaire), trémulations (agitation involontaire), dyspnées (sensation pénible de la respiration), troubles circulatoires, troubles visuels, diarrhées, acouphènes (perception de sons bourdonnants) ainsi que des troubles du sommeil et du repos.

Concernant les troubles du sommeil, une thèse de médecine datant de 2004 rapporte que certains stimuli sonores, bien que non perçus consciemment, peuvent provoquer des réactions telles que micro réveil de 9 à 15 secondes ou changement de phase de sommeil. De plus, nous ne sommes pas tous égaux devant le bruit : notre capacité auditive varie en fonction de l'âge, du sexe, et du profil psychologique. Le sommeil est perturbé si le bruit ambiant dépasse 35 dB selon l'Organisation mondiale de la santé.

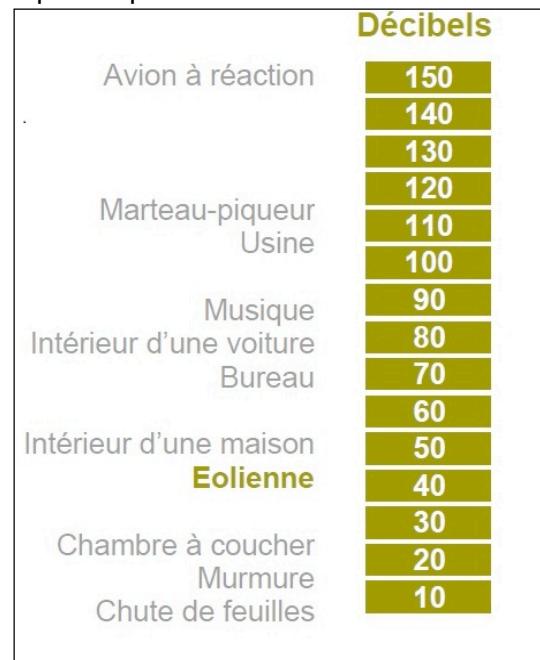
Ce bruit induit par les éoliennes provient de deux sources différentes. Une éolienne émet des bruits d'origine mécanique et aérodynamique :

- Mécaniques dans la nacelle, les hélices ou pales qui entraînent un axe lent. Il est lié à la transmission et à l'alternateur, induit par la rotation des engrenages de la machinerie et peut être réduit grâce aux avancées techniques.

- Aérodynamiques. Le vent frappe les pales sur le bord d'attaque (claqué d'air) et s'échappe en bord de fuite (sifflement). De plus, chaque pale passant devant le mât provoque un choc responsable d'un bruit sourd (il faut savoir que ces pales de 40 mètres, sont plus longues que les ailes des plus gros avions). C'est actuellement la source la plus importante du bruit éolien.

Cependant, ce bruit n'est pas uniforme. Il peut varier grandement selon les conditions climatiques et, surtout, la topographie des lieux. A titre d'exemple, à Saint-Crépin en Charente-Maritime, des enregistrements ont été effectués sur neuf sites différents. Sur six d'entre eux, les valeurs du bruit autorisé étaient respectées, mais elles ne l'étaient pas sur les trois autres.

Il faut tout de même donner une limite aux méfaits des éoliennes. Au pied d'une éolienne, le bruit est équivalent au bruit de l'intérieur d'une voiture, ce qui n'empêche pas de tenir une conversation. En fait, c'est le bruit du vent qui peut être perçu plus dérangeant que le bruit de l'éolienne même. A partir de 300/400 m, le bruit d'une éolienne est équivalent au bruit d'un intérieur de maison (45 dB) et correspond à un chuchotement (35 dB) à partir de 500 m, soit moins qu'un intérieur de bureau (60 dB).



**Figure 8 : Echelle représentant le bruit de différents phénomènes sonores.**

D'après certains défenseurs de l'éolien, aucune maladie n'a été détectée par les autorités sanitaires malgré les 50 000 éoliennes présentent dans le monde en 2007, dont certaines fonctionnent depuis vingt ans. Il est très difficile de savoir avec certitude si les éoliennes sont dangereuses pour la santé de l'homme puisque les résultats de différentes études ne sont pas concordants entre eux et dépendent malheureusement de l'organisme à l'origine de l'étude (organisme lié aux entreprises ou organisme de santé publique etc.). Ce que nous pouvons dire malgré tout, c'est que les ingénieurs qui conçoivent les nouvelles éoliennes s'efforcent de réduire le bruit provoqué par ces dernières.

Il faut également tenir compte d'un autre type de son, les infrasons (son à basse fréquence), produit par les éoliennes. Bien qu'inaudible, ils sont très puissants et se propagent dans l'air plus vite que le vent (360 m/s), et à de plus longues distances de leur source d'émission que les sons audibles. Selon un chercheur du CEA (Commissariat à l'énergie atomique), les infrasons émis par un parc éolien de 7 éoliennes de 100 m de haut se propageaient jusqu'à 5 ou 10 km à une fréquence de 10 Hz, qui peut varier selon la force du vent.

Les infrasons ont des effets graduels, de négatif à dangereux pour l'homme en tenant compte de trois paramètres : l'amplitude liée à la distance, la fréquence, et la durée d'exposition. Toutefois, les effets négatifs des infrasons éoliens n'ont jusqu'à ce jour, pas encore été véritablement prouvés scientifiquement. Il est en effet difficile de séparer les sons des infrasons pour faire des analyses scientifiques. Des études épidémiologiques sur 15 ans sont en cours pour permettre d'avoir la preuve scientifique des nuisances des infrasons éoliens sur notre organisme.

Etant donnée l'étendue des résultats obtenus lors de l'étude de l'impact de ces nuisances sonores, il semble difficile de se prononcer sur la question mais il peut être légitime de s'en remettre au principe de précaution et de maintenir une distance de 5 km entre les éoliennes et les habitations.

- **Pollution visuelle**

Les éoliennes les plus puissantes, font plus d'une centaine de mètre de hauteur. Leur situation géographique, dans des sites dégagés ou en altitude les rend visibles à plusieurs kilomètres (voir photo *fig. 9*).



Il faut cependant savoir que la construction d'un parc éolien n'est pas irréversible (on peut démonter les éoliennes facilement) et qu'une étude d'insertion paysagère par un architecte paysager fait partie des prérogatives nécessaires pour construire un parc éolien.

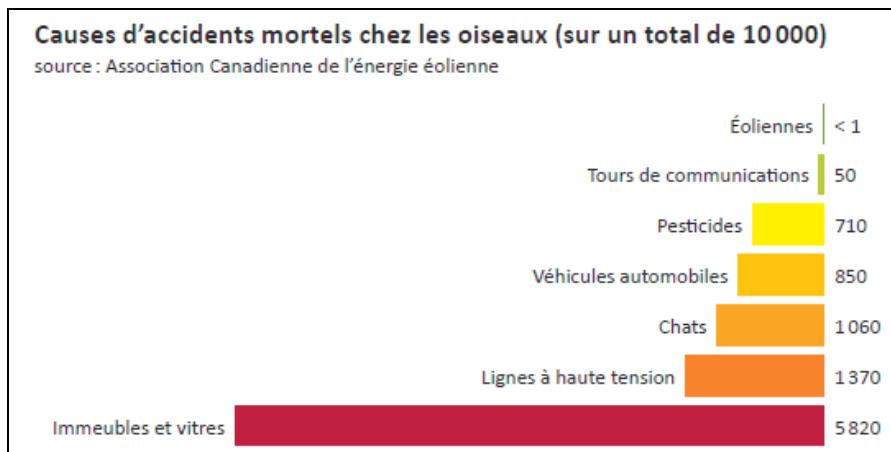
**Figure 9 : Photo d'un champ d'éolienne.**

Concernant l'esthétique d'une éolienne, il s'agit d'une question de goût personnel. Pour tenter d'intégrer au mieux les éoliennes dans leur environnement, les concepteurs tentent de rendre ces dernières plus design et plus intégrées dans l'environnement (formes simples, couleur neutre etc.).

- **Impact de l'éolien sur la faune**

Tout comme nous, la santé des animaux peut être affectée par la présence d'éoliennes sur leur lieu de vie. Des états anxieux, un manque de productivité laitière, des cas de stérilité, un comportement hostile et agressif, des irritations ont été remarquées sur le bétail, les chevaux ou les chiens qui sont très sensibles aux nuisances sonores.

On observe un problème notamment avec les oiseaux : ceux-ci ne parviennent pas toujours à reconnaître les hélices. D'où la nécessité de ne pas placer de parcs éoliens dans un couloir d'oiseaux migrateurs. Il faut cependant signaler que le danger induit par les éoliennes sur les oiseaux est beaucoup moins important que celui provoqué par les lignes à haute tension ou les baies vitrées (voir *figure 8* ci-dessous).



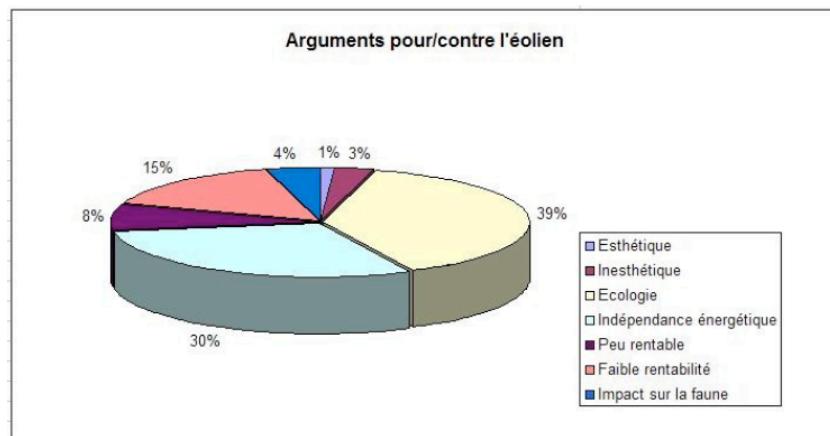
**Figure 10 : Diagramme représentant les causes d'accidents mortels chez les oiseaux.**

De plus, lors de la construction d'un parc éolien, les travaux liés au chantier peuvent perturber la faune sauvage, en particulier le gibier en modifiant son habitat. Toutefois, hormis ce temps d'adaptation de 6 à 9 mois, les éoliennes n'ont pas d'impact connu sur la faune locale, qui adapte son comportement à la présence de ces nouvelles voisines.

### 3) Sondages

Dans le but des éclaircissements concernant l'avis de la population sur la question de l'éolien, nous avons entrepris un sondage et nous l'avons comparé avec un autre sondage fait par des étudiants au semestre dernier dans le cadre d'un projet GE36.

A la question « êtes-vous pour ou contre le principe éolien en général ? » une grande majorité des sondés (81 %) répondent pour. Lorsque l'on demande de justifier ce choix, les avis sont plus partagés (voir figure 8). En effet, on ne retrouve alors que 70% d'arguments positifs, cela signifiant qu'il reste pour une partie des sondés en faveur de l'éolien des progrès à faire.



**Figure 11 : Principaux arguments évoqués dans le choix d'un positionnement pour ou contre l'éolien.**

75% des sondés se disent prêt à avoir une éolienne miniature sur le toit de leur logement pour couvrir leur consommation électrique personnelle. Mais à la question « Quelle est la distance raisonnable entre une éolienne et une habitation pour vivre sans danger ? » les réponses sont plus variées : 26 % ne veulent pas d'éolienne à moins de 5 km de chez eux, 33 % accepteraient une éolienne à moins de 5 km de chez eux et 41 % à moins d'un kilomètre.

Ce sondage souligne également le manque d'information des habitants (71 % déclarent ne pas être suffisamment informés). Cela peut en partie expliquer le rejet des éoliennes, qui peut être du aux préjugés qu'ont les gens concernant les nuisances causées par les éoliennes.

Ce que nous pouvons retenir de ce sondage est que le manque d'information peut causer un rejet de l'augmentation de la part de l'éolien en France. Malheureusement, il semble difficile à l'heure actuelle de donner des informations précises sur les risques liés aux éoliennes, puisque les scientifiques eux-mêmes ne sont pas d'accord sur ce point.

## V/ Bilan du projet

---

Un bref retour sur la méthode que nous avons employée pour tenter de résoudre la problématique qui nous était posée. Il faut bien être conscient que nos calculs ont plus une valeur indicative qui permet de donner une échelle de la production envisageable d'énergie éolienne en France et non une valeur précise de celle-ci. Il y a en effet beaucoup trop d'éléments inconnus ou non quantifiables qui ne nous ont pas permis de réaliser un calcul précis. Il nous était par exemple impossible de connaître la localisation des différentes zones de type classifié par l'INSEE (surface toujours en herbe, zone nue naturelle etc.). Nous nous doutons bien que la répartition de ces différentes zones n'est pas égale sur tout le territoire mais nous n'avons pu faire autrement que de le considérer pour notre calcul. De plus, concernant le choix des zones suffisamment ventées, l'utilisation de carte représentant les différentes zones de manière assez globale n'est bien sûr pas complètement représentative de la situation réelle.

En effet, à l'intérieur d'une zone, le vent circule mieux sur les étendues où il y a peu d'obstacles (comme les zones côtières, les hauts plateaux, les montagnes, certaines plaines dégagées, les couloirs des grands fleuves et les îles par exemple) qui sont des lieux très ventés, et sont donc propices à l'établissement d'éoliennes. Bien que cette carte nous renseigne sur les régions les plus favorables, elle est néanmoins insuffisante pour bien évaluer le potentiel éolien de chaque site. Il faut réaliser de nouvelles estimations sur chaque lieu, à l'aide d'un mat équipé d'anémomètres qui mesurent en continu la vitesse du vent, afin d'établir la rentabilité du gisement éolien avant d'envisager une installation.

Nous n'avons pas non plus tenu compte de la différence de vitesse des vents figurant sur la carte et avons considéré une production d'énergie moyenne.

Par ailleurs, nous nous sommes basés sur un type d'éolienne (puissance nominale 1 MW), alors qu'il existe en fait de nombreuses éoliennes adaptées aux différents contextes. Nous avons négligé la possibilité d'installer des mini éoliennes sur le toit des immeubles et maisons, bien que cela se fasse, car il nous a semblé que la quantité d'énergie produite reste moindre et que nous ne savons pas si les gens seraient véritablement prêts à en installer chez eux (il y a une différence entre répondre à un sondage et mettre en action ses propos). De plus, il semblait vraiment difficile de parvenir à obtenir des données sur les surfaces potentiellement exploitables.

Il reste de manière globale assez difficile d'évaluer la quantité d'énergie que l'on peut produire via l'éolien car il s'agit d'un mode de production basé sur le vent, qui ne souffle jamais de la même manière dans deux endroits différents et à deux moments différents.

De plus, il est également impossible de prendre en compte dans nos calculs la potentialité de chaque installation d'éolienne lié au débat public suscité lorsqu'il s'agit d'une collectivité qui souhaite installer des éoliennes. En effet, nous avons pu voir qu'il existe des débats importants concernant l'innocuité des éoliennes pour la santé et l'environnement, ce qui implique que le nombre d'éoliennes réellement installées sera a priori toujours inférieur à celui envisageable. Nous avons également mis de côté les potentialités de l'éolien off-shore qui n'est à l'heure actuel pas encore exploité en France.

Concernant l'impact éolien sur la santé humaine (dont nous ne sommes toujours pas certains), on distingue deux types de pollution : la pollution sonore et la pollution visuelle. La première est belle et bien présente, mais un peu exagérée. Aussi, il n'est encore nullement prouvé que les infrasons émis par les éoliennes soient d'une grande menace pour notre santé. La deuxième est totalement subjective, chacun est libre de se faire sa propre opinion sur l'esthétique d'une éolienne. Ensuite, les éoliennes sont nuisibles à la faune, mais ces conséquences sont infimes par rapport aux problèmes liés aux marrés noires et autres problèmes environnementaux. De plus, il est toujours possible de déconstruire les éoliennes d'un parc et les réimplanter ailleurs si

problème il y avait. Enfin, il semble judicieux de signaler que les Français sont en majorité pour le projet éolien en général et qu'ils demandent d'en être plus informés.

## Conclusion

---

Bien que nous ayons par le calcul trouvé qu'il serait potentiellement possible de produire 100% de l'électricité consommée en France, ce calcul théorique se heurte à la réalité. Tout d'abord, comme nous venons de le voir, il n'est pas sûr que tout le monde soit prêt à voir apparaître des éoliennes dans le moindre carré d'espace disponible étant donné les incertitudes présentes concernant l'impact des éoliennes sur la santé et l'environnement. De plus, un élément crucial est le fait que le vent n'est pas régulier et qu'il n'y a production d'énergie qu'un quart du temps en moyenne, celui-ci n'étant bien sûr pas réparti de façon homogène et ne permettant pas de pouvoir répondre constamment à la demande en électricité des français. Et si l'on envisage de stocker cette énergie pour être capable de répondre à la demande des consommateurs en temps et en heure, alors nous sommes limités par les capacités physiques actuelles qui nous permettent de stocker de l'énergie et qui est surtout responsable d'une perte de rendement assez importante. Nous considérons donc, comme nous nous y attendions lorsque nous avons commencé nos recherches, à ce qu'il soit impossible de produire toute l'électricité via l'éolien. S'il y avait une solution nous permettant de ne plus dépendre des centrales nucléaires, avec toutes les questions de risques qui se posent, je pense que nous aurions déjà opté pour les énergies renouvelables.

Cependant, l'intérêt évident de l'éolien est de venir en complément des moyens de production actuels d'électricité en France, et ainsi venir augmenter la part des énergies renouvelables puisque l'on a maintenant un système de production rentable sur le long terme et sûr de manière générale. En effet, dans le cadre du Grenelle de l'Environnement, la France s'engage à porter la part des énergies renouvelables à au moins 23% de sa consommation finale d'ici à 2020 et à ainsi répondre et dépasser les objectifs de la Commission européenne en la matière. Nous pensons que l'éolien doit donc être développé dans cet objectif tout d'abord et ensuite à plus grande échelle. Bien qu'il ne soit pas à lui seul une solution, il est possible qu'avec les progrès techniques, on parvienne à produire la majeure partie de notre électricité en couplant éolien terrestre et off-shore, énergie solaire, hydraulique etc.

Il est également possible de s'intéresser à cette question de la production d'électricité d'un autre point de vue. Pourquoi ne pas travailler, en parallèle des recherches visant à améliorer les techniques de production d'énergie renouvelable et de stockage de l'électricité, sur notre consommation actuelle d'électricité. On sait que notre mode de vie a beaucoup évolué en 50 ans, notre consommation, y compris énergétique, également. Ainsi, pourquoi ne pas insister sur les campagnes de lutte contre le gaspillage (éteindre les lumières lorsqu'on sort d'un pièce, éteindre les néons des enseignes commerciales la nuit etc.) ainsi qu'une amélioration de nos appareils électroménagers qui sont responsable d'une quantité importante de l'énergie consommée à l'heure actuelle ?

## Sources

---

- Syndicat des énergies renouvelables France (rapport de mai 2010)
- Académie nationale de médecine
- Document de l'Observatoire Statistique de l'Environnement du ministère de l'énergie ,du développement durable, des transports et du logement
- Sites Planète éolienne (rapport de février 2007), Ademe, CLER (Comité de Liaison des Energies Renouvelables)
- Rapport de mars 2009, « L'énergie éolienne, une énergie fiable et sûre », Syndicat des énergies renouvelables, France Energie Eolienne
- indicateurs.territoires.gouv.fr
- geoportail.fr, le portail des territoires et des citoyens
- innovent.fr
- legifrance.gouv.fr
- thwindpower.net
- manicore.com, articles de Jean-Marc Jancovici
- Rapport GE36, A10, « Les éoliennes », Badaire, Bringard, Dumaine, Roy

## Annexe

Annexe 1 : Carte ayant servie à la mesure des zones de vents en France.

