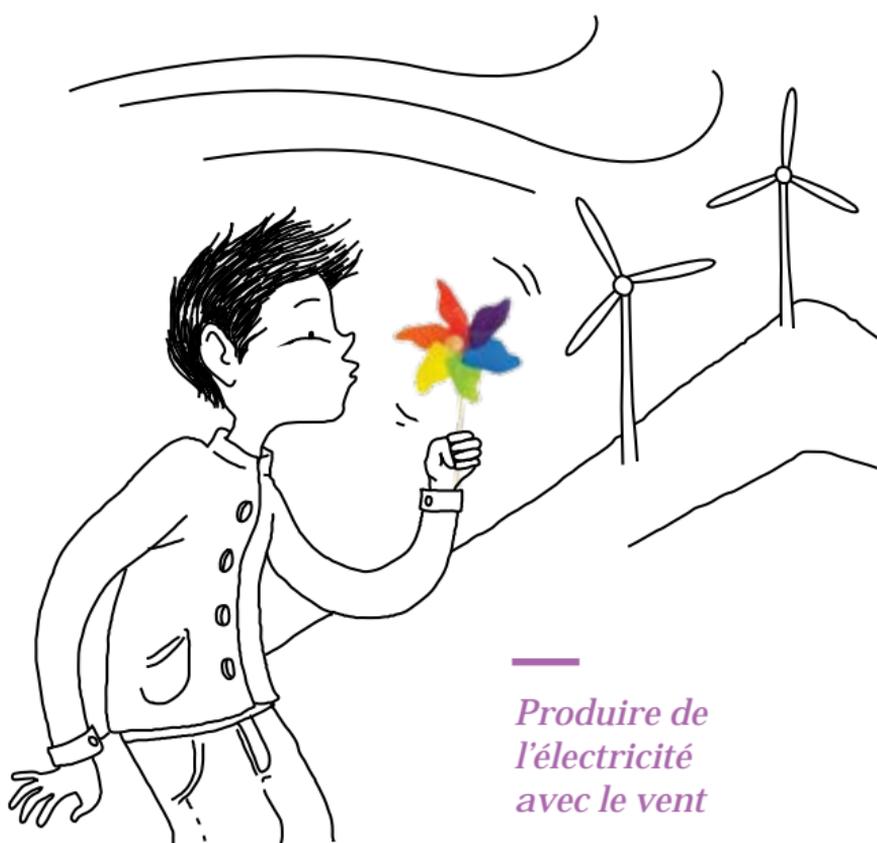


L'énergie éolienne



—
*Produire de
l'électricité
avec le vent*

ADEME



Agence de l'Environnement
et de la Maîtrise de l'Énergie

Édition : novembre 2012

ECONOMISER L'ÉNERGIE
FAISONS VITE
ÇA CHAUFFE

sommaire

- **Depuis longtemps, le vent aide l'homme** 3
- **Un objectif ambitieux pour l'énergie éolienne** 4
- **Un gisement éolien terrestre important** 7
- **Un peu de pratique, de l'éolienne au parc éolien** 11
- **Un potentiel en découverte, l'éolien en mer** 20
- **Les aspects économiques** 24
- **Pour les particuliers, le petit éolien** 27
- **L'ADEME** 32

glossaire

Bouquet énergétique

proportion des différentes sources d'énergie (renouvelables, minérales, fossiles) dans la production d'énergie.

Électricité spécifique

électricité utilisée par des équipements qui ne peuvent fonctionner qu'avec de l'électricité. L'électricité consommée pour le chauffage, la production d'eau chaude ou la cuisson n'est pas de l'électricité spécifique, puisque d'autres énergies peuvent être employées.

Énergie renouvelable

source d'énergie naturelle et inépuisable. La première est le rayonnement solaire et la plupart des autres en découlent plus ou moins directement (vents, cycle de l'eau et marées, fabrication de biomasse, géothermie de surface, etc.). La seconde est l'énergie terrestre (géothermie profonde). La troisième est la Lune qui influe sur le cycle des marées.

Mégawatt (MW)

unité de puissance électrique égale à un million de watts.

Parc éolien

site équipé de plusieurs aérogénérateurs reliés au réseau électrique. On parle aussi de ferme éolienne. Les parcs éoliens peuvent être installés sur la terre ferme ou au large des côtes (parcs offshore ou en mer).

Pic de consommation

période, en général brève et survenant brutalement, pendant laquelle la consommation électrique dépasse la production «normale».

Rotor

partie mobile d'un moteur électrique, d'une turbine.

Tonne équivalent pétrole (tep)

unité conventionnelle permettant de réaliser des bilans énergétiques multi-énergies avec comme référence l'équivalence en pétrole.

1 tep = 11 626 kWh (c'est le pouvoir calorifique d'une tonne de pétrole).

Zone de développement éolien (ZDE)

zone dans laquelle les éoliennes bénéficient de l'obligation d'achat faite à EDF (ou à certains distributeurs non nationalisés mentionnés à l'article 23 de la loi du 8 avril 1946) de l'électricité produite. Elle est créée à l'initiative d'une commune ou d'un établissement public de coopération intercommunal (EPCI) à fiscalité propre (communauté de commune, d'agglomération, etc.) et validée par le Préfet.

introduction

Depuis longtemps, **LE VENT AIDE L'HOMME**

Depuis des siècles, l'homme utilise l'énergie du vent pour faire avancer des bateaux, moudre du grain ou pomper de l'eau. Cette source d'énergie nous sert maintenant à **produire de l'électricité**.

Depuis quelques années, la production électrique éolienne est en plein développement industriel. Elle présente en effet de nombreux atouts : c'est tout d'abord une **énergie renouvelable non polluante** qui contribue à une meilleure qualité de l'air et à la lutte contre l'effet de serre. C'est aussi une énergie qui utilise les ressources nationales et concourt donc à l'**indépendance énergétique** et à la sécurité des approvisionnements. Enfin, le démantèlement des installations et la gestion des déchets générés pourront se faire sans difficultés majeures et les sites d'implantation pourront être réutilisés pour d'autres usages.

Des difficultés existent malgré tout : la gestion technique de la production sur le réseau électrique, certains impacts environnementaux (avifaune, paysage, bruit) et l'aménagement du territoire. Dans ce guide, nous abordons les différents aspects de la production électrique éolienne.



Un objectif ambitieux POUR L'ÉNERGIE ÉOLIENNE

Dans le contexte français caractérisé par la prédominance de l'énergie nucléaire et des combustibles fossiles pour produire l'électricité, la diversification du bouquet énergétique passe par une utilisation accrue des énergies renouvelables.

La première loi Grenelle fixe un objectif de 23% de notre consommation énergétique finale devant provenir de ressources renouvelables en 2020. Dans le plan national «Énergies renouvelables», l'éolien contribuera à cet objectif avec 25 000 MW installés en 2020 (19 000 MW terrestres et 6 000 en mer), soit 10% de la production nationale d'électricité.

Substituer les énergies fossiles par le vent: une réalité

La France, comme tous les pays signataires du Protocole de Kyoto, veut diminuer ses émissions de CO₂.

La fourniture d'électricité s'appuie actuellement en majorité sur la **production nucléaire**, complétée par des **centrales hydro-électriques et thermiques à flamme**. Ces dernières émettent du CO₂. Les remplacer par des installations fonctionnant grâce aux énergies renouvelables éviterait le recours aux énergies fossiles. Aujourd'hui en France, selon RTE (Réseau de transport d'électricité), 100 MW d'éolien permettent de se substituer à 25 MW de production thermique à flamme dans les mêmes conditions de disponibilité et de sécurité.

En Europe, cette filière assure déjà la consommation électrique de **30 millions de foyers** (c'est à dire 6,3% de la demande d'électricité) et permettrait d'éviter la production de **140 millions de tonnes de gaz carbonique** par an, soit l'équivalent de la circulation de 33% des voitures de l'Union Européenne*.

* selon EWEA, European Wind Energy Association.

Produire grâce à des ressources locales: plus de sécurité et moins de gaspillage

L'énergie éolienne est **disponible localement**.

Son utilisation diminue notre **dépendance énergétique**. De plus, elle a l'avantage d'assurer la **sécurité des approvisionnements en énergie** et la stabilité des **prix**. C'est aujourd'hui la source d'électricité renouvelable la plus proche de la compétitivité économique avec les prix du marché européen de l'électricité.

La production éolienne d'électricité **au plus près des lieux de consommation**, par des unités de production d'une taille adaptée à des consommations locales, pourrait contribuer aussi à limiter les pertes d'énergie lors du transport dans les lignes électriques.



En 2011, la production d'électricité éolienne a permis de couvrir 2,5% de la consommation annuelle.

Intégrer la production éolienne dans le paysage énergétique: des progrès en cours

Bien utiliser l'électricité éolienne consiste à la penser non plus uniquement **au niveau local de l'éolienne**, mais au niveau global du système électrique. Différents leviers sont à actionner: la maîtrise de la consommation électrique, la prédiction précise du vent, le foisonnement (voir p. 8), le stockage de l'électricité (depuis le micro-stockage jusqu'au stockage de masse), les marges de flexibilité autant en **production** que du côté de la **consommation** et le développement de **réseaux interconnectés** au niveau international.

Maîtriser la consommation électrique : un impératif pour tous

En complément d'une plus large utilisation des énergies renouvelables en général et de l'éolien en particulier, il faut d'abord privilégier un gisement énergétique majeur : **la maîtrise des consommations et les économies d'énergie.**

Il faut pour cela :

- utiliser **des équipements performants et économes** (électroménager, éclairage, etc.), en privilégiant les plus performants ;

- **diminuer la part des utilisations non spécifiques** de l'électricité (comme le chauffage), en isolant mieux les bâtiments et en privilégiant d'autres sources d'énergie pour ces usages non spécifiques (bois, solaire...);

- **modifier nos habitudes** pour consommer moins et réduire les gaspillages : la consommation d'électricité pour des usages spécifiques a augmenté de 75 % depuis 1990.

Ce sont autant de progrès techniques qui sont mis en œuvre progressivement pour augmenter la quantité d'énergie éolienne produite et injectée dans le réseau électrique.

Diversifier la production d'énergie : une solution pleine d'avenir

Ne pas dépendre d'une seule énergie pour la production électrique est un **facteur de sécurité** qui permet de **réguler au mieux la production** en fonction des caractéristiques des énergies utilisées et de la consommation.



L'éolien a sa place dans un «bouquet énergétique» qui comporterait également le solaire photovoltaïque, l'hydraulique, la biomasse, etc., en plus des énergies minérales et fossiles.

L'éolien est **techniquement au point** pour remplir les objectifs que se sont fixés les pouvoirs publics en matière d'utilisation des énergies renouvelables.

Un gisement ÉOLIEN TERRESTRE IMPORTANT

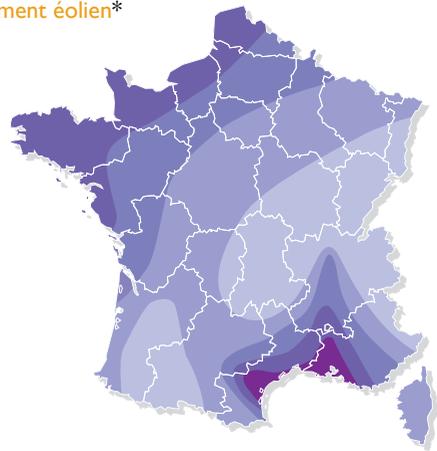
La ressource et ses particularités

• Un gisement conséquent

La France bénéficie d'un gisement éolien important, **le deuxième en Europe**, après les Îles britanniques.

Les zones terrestres régulièrement et fortement ventées se situent sur la façade ouest du pays, de la Vendée au Pas-de-Calais, en vallée du Rhône et sur la côte languedocienne (pour le gisement éolien marin, voir p. 19 à 22).

Le gisement éolien* (en m/s)



	Bocage dense, bois, banlieue	Rase campagne, obstacles épars	Prairies plates, quelques buissons	Lacs, mer	Crêtes, collines**
ZONE 1	<3,5	<3,5	<5,0	<5,5	<7,0
ZONE 2	3,5 - 4,5	4,5 - 5,5	5,0 - 6,0	5,5 - 7,0	7,0 - 8,5
ZONE 3	4,5 - 5,0	5,5 - 6,5	6,0 - 7,0	7,0 - 8,0	8,5 - 10,0
ZONE 4	5,0 - 6,0	6,5 - 7,5	7,0 - 8,5	8,0 - 9,0	10,0 - 11,5
ZONE 5	>6,0	>7,5	>8,5	>9,0	>11,5

* Vitesse du vent à 50 mètres au dessus du sol en fonction de la topographie.

** Les zones montagneuses nécessitent une étude de gisement spécifique.

Les régimes des vents, différents dans ces trois secteurs, sont complémentaires les uns des autres.

Ça foisonne?!

Le **foisonnement** est une technique qui consiste à implanter des éoliennes dans différents régimes de vent. Au niveau national, on diminue

ainsi les risques de manque de production sur une zone géographique, en la compensant par la production sur une autre zone géographique.

• Une ressource variable, mais prévisible et gérable

Le vent est **variable** localement. Il peut être nul, trop faible ou trop fort et dans ce cas les éoliennes ne peuvent pas produire de l'électricité. Cependant, ces effets locaux peuvent être en partie atténués :

vu les régimes climatiques différents des régions de France les plus ventées, la production éolienne n'y est pas nulle au même moment ;

les vents sont plus fréquents en hiver lorsque la demande d'électricité est la plus forte.

Le gestionnaire du réseau électrique compense la variabilité résiduelle de l'éolien en utilisant les autres sources de production et les capacités de stockage offertes, notamment par l'eau des barrages, des lacs de retenue et des stations de transfert d'énergie par pompage (STEP).

De l'éolienne à la prise de courant

L'électricité produite par les éoliennes connectées au réseau est prise en compte et gérée dans le **système électrique global** (réseaux de distribution et de transport + moyens organisés de production et de consommation) et s'ajoute aux autres moyens de production. Quand l'utilisateur final se branche au réseau, il consomme donc **une partie d'électricité éolienne** et une partie des autres productions. En 2011, la part de l'éolien dans l'électricité consommée a été de 2,5% : l'électricité éolienne **participe à l'équilibre offre-demande d'électricité**.

La **production éolienne** s'associe bien à l'**énergie hydraulique** : si la production est plus importante que prévue, l'électricité éolienne peut être utilisée (sinon elle serait perdue) pour pomper l'eau d'une retenue basse dans une retenue plus haute et faire ainsi des stocks d'énergie hydraulique. Si la production est moins importante que prévue, les barrages, STEP ou interconnexions peuvent fournir le complément d'électricité. Ainsi, le développement de l'énergie éolienne ne se mesure pas seulement en nombre d'éoliennes, mais aussi dans l'**évolution du système électrique**.

Il peut utiliser les données météo afin de prévoir la production éolienne pour accroître la proportion d'éolien intégrée au réseau et diminuer le recours aux centrales thermiques à flamme.

Il peut aussi utiliser les interconnexions avec les autres réseaux européens pour exporter les surplus éoliens ou importer de l'électricité en cas de besoin.

Finalement, les nouvelles technologies de contrôle des centrales éoliennes permettent de **réguler la puissance injectée** pour assurer l'équilibre du réseau. Dans le cas où le réseau ne peut absorber toute l'électricité produite, les éoliennes peuvent être arrêtées, ce qui explique qu'on puisse voir, dans un parc éolien, un ou plusieurs aérogénérateurs à l'arrêt : il ne s'agit pas toujours d'une panne ou d'un arrêt pour entretien, mais aussi éventuellement d'une nécessité pour la gestion du réseau.

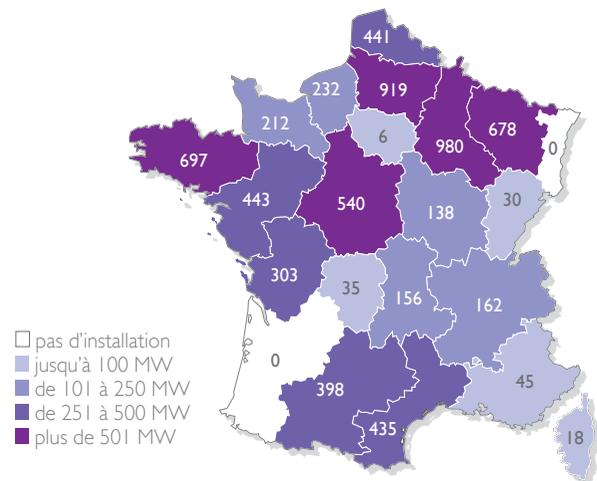
La place de l'éolien terrestre en France

• Les parcs éoliens

Il y avait en France **environ 4500 éoliennes*** pour une **puissance totale installée de 7125 MW** (dont 83 MW dans les DOM) en septembre 2012. Les parcs sont de taille variable, pour la grande majorité inférieure à 10 machines.

* www.suivi-eolien.com

Les parcs éoliens en France (puissance raccordée - sept 2012)



NB : 83 MW sont installés dans les DOM

Source : suivi-eolien.com

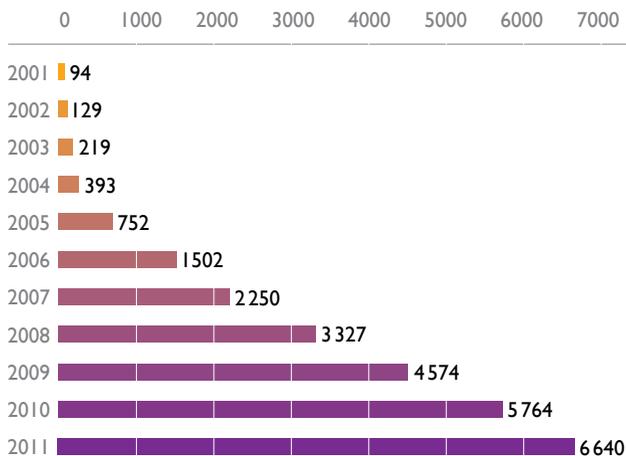
Le parc éolien le plus important, celui de Fruges dans le Pas-de-Calais, compte **70 éoliennes** pour une puissance totale installée de **140 MW**. La production de ce parc correspond à la consommation (hors chauffage électrique) d'une population d'environ **126 000 habitants**.

● La production électrique éolienne

Les objectifs fixés par l'État au travers de la PPI (Programmation pluriannuelle des investissements) prévoient au moins 25 000 MW installés en 2020.

La **part de l'éolien** dans la production électrique nationale est encore faible (11,9 TWh en 2011, 2,5% de la consommation française en 2011) mais sa **progression** est rapide et importante (+23% entre 2010 et 2011) depuis 2005 avec un ralentissement en 2011 et 2012. Pour l'instant, cette part provient uniquement de l'éolien terrestre, puisqu'aucun parc éolien en mer n'est encore en service.

Évolution de la puissance installée en France
(en MW)



Source: SOeS - CGDD

L'éolien, qu'il soit terrestre ou maritime, est considéré en France comme l'énergie renouvelable ayant le **meilleur potentiel de développement** à court terme.

En dehors de l'énergie d'origine hydraulique, il est largement majoritaire pour la production d'électricité d'origine renouvelable. Il devrait produire presque autant d'électricité que l'hydraulique en 2020.

Un peu de pratique, DE L'ÉOLIENNE AU PARC ÉOLIEN

Faire de l'électricité avec du vent

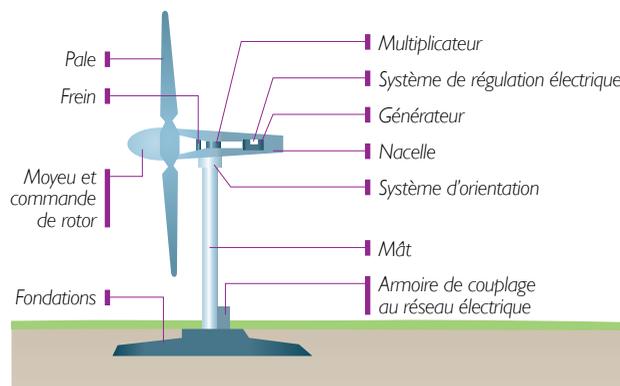
● Un fonctionnement simple

Héritiers des moulins à vent, les **aérogénérateurs** - plus souvent appelés éoliennes - utilisent la force du vent pour la transformer en électricité.

La machine se compose de **pales** (3 en général) portées par un **rotor** et installées au sommet d'un **mât** vertical. Cet ensemble est fixé sur une **nacelle** qui abrite un **générateur**. Un moteur électrique permet d'orienter la nacelle afin que le rotor soit toujours face au vent.

Le vent fait tourner les pales entre 10 et 25 tours par minute. Le générateur transforme l'**énergie mécanique** ainsi créée en **énergie électrique** injectée dans le réseau en conformité aux normes électriques applicables.

Schéma d'une éolienne de type aérogénérateur



Les éoliennes fonctionnent pour des vitesses de vent généralement comprises entre 14 et 90 km/h. Au-delà, elles sont progressivement arrêtées pour sécuriser les équipements et minimiser leur usure.

La probabilité d'occurrence de vents plus forts étant faible, il n'est pas économiquement rentable de dimensionner les machines pour résister et produire à des vitesses de vents supérieures à 25 m/s.

• Les différents types d'éoliennes

Les **grands aérogénérateurs** récents installés dans les parcs éoliens développent une puissance d'environ **2 MW**, ce qui correspond à la consommation d'environ **2 000 foyers** (hors chauffage). Le mât est en général deux fois plus haut que la longueur des pales : de l'ordre de 100 m pour des pales de 50 m.

Les **petites éoliennes** (voir pages 22 à 25) destinées aux particuliers fonctionnent sur le même principe. Leur puissance varie entre 0,1 et 36 kW. Le mât mesure entre 10 et 35 m. Elles peuvent alimenter des **bâtiments isolés** non reliés au réseau électrique ou bien être **raccordées au réseau** pour une vente de la production.

Les éoliennes les plus fréquentes sont à **axe horizontal**, mais il en existe aussi à **axe vertical**. Elles pourraient en théorie fonctionner avec des vitesses de vent plus importantes ou s'adapter, pour le petit éolien, à des zones de vent irrégulier.

Installer un parc éolien : des démarches qui impliquent les citoyens

L'installation d'un parc éolien nécessite une procédure en plusieurs étapes impliquant tous les acteurs : porteurs de projet, élus, pouvoirs publics et citoyens. L'ensemble de la procédure prend au minimum 5 ans.

Un projet éolien peut être lancé :

- par un groupe d'agriculteurs, de particuliers ou une collectivité locale (**projet citoyen**) ;
- par une société privée dotée des capitaux nécessaires (**projet industriel**) ;
- par une collectivité associée à des capitaux privés (**société d'économie mixte**) ;
- par une société privée avec participation financière de la population (**projet participatif**).

• Le choix de la localisation : les études de préféabilité

La première étape consiste à s'assurer que le site d'implantation envisagé convient à un projet de parc éolien.

Il doit en particulier :

être **suffisamment venté**. Dans l'idéal, les vents doivent être réguliers et suffisamment forts, sans trop de turbulences, tout au long de l'année. Des études des vents sur le site sont indispensables ;



Les éoliennes doivent se situer à au moins 500 m des habitations et des zones destinées à l'habitation.

Quelques chiffres

La distance entre éoliennes doit être au moins de 400 m environ dans une direction perpendiculaire aux vents dominants. Leur emprise au sol (fondations, aire de retournement, postes de

transformation, routes) est d'environ 3% de la superficie du parc. Un parc éolien de 10 machines est installé sur environ 10 ha.

être **suffisamment éloigné des habitations** pour réduire les nuisances de voisinage ;

être **facile à relier au réseau électrique** haute ou moyenne tension ;

être **facile d'accès** ;

ne pas être soumis à certaines **contraintes ou servitudes** (aéronautiques, radars, etc.) ;

prendre en compte le **patrimoine naturel** et en particulier l'avifaune, éviter les zones protégées (réserves, sites Natura 2000, etc.) ;

ne pas prendre place dans des **secteurs architecturaux ou paysagers sensibles** (sites emblématiques, paysages remarquables, sites inscrits ou classés, etc.) ;

être d'une **taille suffisante** pour accueillir le projet.

La création des **zones de développement éolien** (ZDE) permet aux collectivités locales de délimiter a priori des zones favorables à l'implantation des parcs éoliens.

• Les zones de développement éolien (ZDE)

Depuis juillet 2007 (Programme d'Orientation de la Politique énergétique française ou loi POPE), une éolienne, petite ou grande, doit se situer dans une zone de développement éolien ou ZDE **pour bénéficier de l'obligation d'achat d'électricité** par EDF ou un distributeur non nationalisé.

Une ou plusieurs communes ou EPCI (établissement public de coopération intercommunal) proposent au préfet du département la création d'une ZDE.

Les **critères entrant en jeu pour sa définition** sont :

les délimitations territoriales inscrites au schéma régional éolien ;

le potentiel éolien ;

les possibilités de raccordement au réseau électrique ;

la protection des paysages, des monuments, des sites, de la sécurité publique, de la biodiversité et du patrimoine archéologique.

Ils permettent de définir le **périmètre de la zone** et la **puissance minimale et maximale** qui peut y être installée.



La création d'une ZDE tient compte de toutes les conditions environnantes.

Le dossier est instruit par les DREAL (Directions régionales de l'environnement, de l'aménagement et du logement), avec avis du SDAP (Service départemental de l'Architecture et du Patrimoine) et des communes et EPCI (établissement public de coopération intercommunal) limitrophes pour l'aspect paysage et patrimoine.

Après passage en commission départementale de la nature, des paysages et des sites et en commission départementale compétente en matière d'environnement, de risques sanitaires et technologiques (CODERST), le **préfet du département décide de la création ou non de la ZDE.**

La situation d'un projet en ZDE **ne présume pas** de son acceptation finale. Enfin, en ZDE ou pas, tous les projets suivent le même parcours.

• La suite de la procédure

Comme le prévoit la procédure, si les conditions sont favorables, les porteurs de projet doivent prendre contact avec les collectivités territoriales concernées.

Quelques chiffres encadrant les procédures

Les éoliennes dont le mât mesure moins de 12 m n'ont pas besoin de permis de construire.

Les éoliennes soumises à une évaluation environnementale sont :

- celles de taille moyenne (mât de 12 à 50 m), qui nécessitent une **notice d'impact** dans le

dossier de permis de construire ;

- celles de plus de 50 m ou les projets d'un montant supérieur à 1,82 millions d'euros, qui nécessitent une **étude d'impact**. Une **enquête publique** est exigée pour les machines de plus de 50 m (loi POPE du 13/7/2005).

Pour être mené à bien, un projet éolien doit obtenir deux autorisations : le **permis de construire** et l'**autorisation de produire de l'électricité**.

La **demande de permis de construire** est déposée en mairie. Dans le dossier doit figurer une **notice** ou une **étude d'impact** (voir encadrés). On y trouve aussi la localisation des éléments du parc et l'évaluation environnementale.

L'évaluation environnementale : étude ou notice d'impact

L'évaluation environnementale fait le point sur l'état initial du site d'implantation envisagé, analyse les impacts du projet au regard du milieu naturel, des paysages, de l'environnement humain et économique et propose des mesures de compensation ou de réduction des impacts.

Pour en savoir plus, consultez le guide de l'étude d'impact sur l'environnement des parcs éoliens, téléchargeable à l'adresse suivante :

www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/guide_eolien_15072010_complet.pdf

Pour les projets dans lesquels les éoliennes dépassent 50 m, le dossier de demande de permis de construire est soumis à **enquête publique**. Cette **phase essentielle** permet à la **population** de consulter toutes les pièces du dossier, de demander des explications et de donner son avis sur le projet avant la fin de l'instruction de demande de permis de construire. L'enquête publique concerne au minimum toutes les communes voisines du site d'implantation prévu.

Le projet peut aussi faire l'objet de réunions de présentation et de concertation avec le public.

Au vu du contenu du dossier et du résultat de l'enquête publique, **le préfet de département délivre ou non le permis de construire.**

Si le permis de construire est accepté, le projet entre dans la phase de réalisation des travaux puis d'exploitation.

L'**autorisation d'exploiter** est délivrée par le ministre en charge de l'Énergie.

Si le parc se situe en ZDE, le courant produit est acheté au **tarif d'achat spécifique** (2012: 0,087 €/kWh conformément à la publication au J. O. du 13/12/2008 de l'arrêté fixant les conditions d'achat de l'électricité éolienne). Sinon, il y a **négo-ciation d'un contrat et d'un tarif d'achat** avec le distributeur d'électricité.

Depuis le 13 juillet 2011, les éoliennes dont la hauteur de mât **dépasse 50 mètres** et qui, regroupées par 5, forment une « unité de production », sont soumises à autorisation au titre des installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE). Ces règles imposent des prescriptions techniques, des autorisations et des délais supplémentaires pour la création et l'exploitation des éoliennes.

● Un démantèlement programmé

La durée de vie d'un parc éolien est estimée à **20 ans**. La réglementation précise, dans l'article L553-3 du Code de l'environnement, que l'exploitant d'une éolienne est responsable de son démantèlement et de la remise en état du site à la fin de l'exploitation. Il doit également constituer dès le début du projet des garanties financières afin de couvrir les coûts de démantèlement des installations et de remise en état du site.

Constituée d'acier et de matières plastiques, une éolienne est démontable en fin de vie et **presque totalement recyclable**. Elle ne laisse pas de polluant sur son site d'implantation.

Le point sur les impacts écologiques et sociaux

L'utilité des ZDE

L'instauration des ZDE permet de définir a priori des secteurs où l'implantation d'une éolienne ou d'un parc est envisageable en fonction des conditions environnantes. La garantie de l'achat de l'électricité produite à un tarif intéressant est fortement **incitative** pour installer les parcs en ZDE et non hors de celles-ci.

Les radars

La rotation des pales d'une éolienne peut créer des interférences avec le fonctionnement de certains types de radars. Opérateurs radars et fabricants d'éoliennes ont lancé des études pour mieux comprendre ce phénomène et développer la conception de pales « furtives » ou « discrètes » ou encore l'adaptation des logiciels de traitement des signaux reçus par les radars.

Des études préalables et des suivis sur la faune et la flore

L'étude d'impact nécessaire à un projet de parc éolien comporte un **volet milieu naturel**, qui traite en particulier de l'avifaune. L'implantation doit se faire hors des couloirs de migration ou des zones sensibles pour les oiseaux nicheurs.



Des suivis des populations d'oiseaux permettent d'améliorer les mesures de réduction des risques et des mesures compensatoires sont généralement prévues.

Les paysages, une question sensible

L'**intégration paysagère** des éoliennes pose question, du fait de leur taille.

Leur implantation doit faire l'objet d'analyses paysagères soignées et ne peut être envisagée dans des secteurs paysagers remarquables ou préservés. Les **constructions annexes** (accès, transformateurs, enfouissement des réseaux, etc.) font partie de cette analyse.

La sécurité, des risques sous surveillance

Comme toute technologie, les éoliennes peuvent faire l'objet d'incidents, d'accidents, dont les principales causes sont les **vents forts** puis la **foudre**, ou de pannes. Une vingtaine d'accidents ont été dénombrés en France depuis 2000, avec des conséquences matérielles faibles. Aucune blessure de passant ou de riverain n'a jamais été signalée.

La plupart des accidents par le passé se sont produits sur des petites machines avec des **vitesse de rotation élevées**.

L'introduction de **dispositifs de sécurité** de la machine (freinage, mise en drapeau, parafoudre...) permet de maîtriser de mieux en mieux le risque d'accident éolien.



Une maintenance régulière doit être mise en œuvre pendant toute la durée de l'exploitation (estimée à 20 ans).

Dans le cadre de la réglementation ICPE (voir p. 16), une **étude de dangers doit désormais être produite avant l'implantation des éoliennes** pour évaluer les risques susceptibles de générer des impacts sanitaires (chute d'objets...) ou environnementaux (fuite d'huile...). Cette étude doit préciser l'envergure des dangers et des risques et présenter les mesures pour les gérer. De plus, sur la base de ses résultats, les préfets décident de la **distance à observer entre parcs éoliens et routes**.

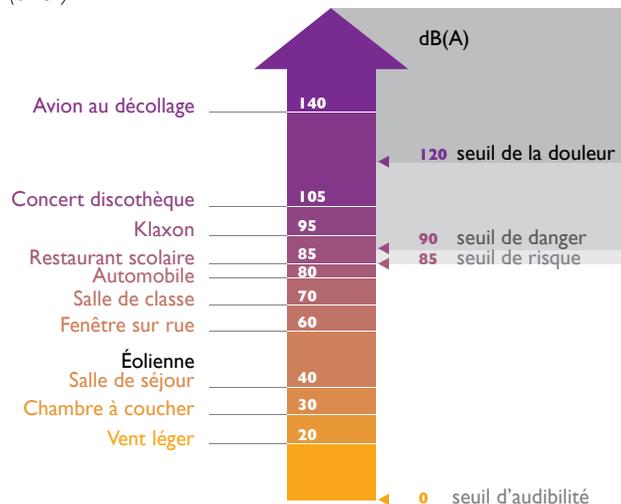
Une étude de dangers-type est en cours de réalisation par l'Institut national de l'Environnement industriel et des Risques (INERIS).

La santé, un souci très présent

Les éoliennes récentes sont **peu bruyantes**, et des études n'ont pas montré d'impact particulier du bruit sur les riverains des parcs éoliens.

Échelle du bruit

(en dB)



Les machines font l'objet de **perfectionnements techniques** constants pour réduire encore le bruit : diminution de la vitesse de rotation des pales, engrenages de précision silencieux, montage des arbres de transmission sur amortisseurs, capitonnage de la nacelle.

Les projets éoliens sont soumis à la réglementation relative à la lutte contre les bruits de voisinage (décret 2006-1099 du 31/08/2006).

Une perception globalement favorable*

Les Français sont nettement favorables à l'installation d'éoliennes en France (à 80%) et dans leur région (à 75%). Ils le sont encore majoritairement (à 60%) si le projet se situe à moins d'1 km de chez eux.

Lorsqu'ils ne sont pas favorables à l'installation d'une éolienne à moins d'1 km de chez eux, ils motivent leur réponse par la crainte de la nuisance paysagère et du bruit. L'inquiétude au sujet du bruit s'estompe bien souvent après la visite d'une ferme éolienne.

* baromètre 2011 « les français et les énergies renouvelables » réalisé par BVA pour l'ADEME et le ministère du Développement durable.

Un potentiel en découverte, L'ÉOLIEN EN MER

L'éolien en mer (dit aussi « off-shore ») n'est pas encore développé en France. Il offre des perspectives prometteuses avec l'amélioration des technologies. Son développement devra prendre en compte les activités déjà présentes comme la pêche ou la navigation, tout en respectant les paysages et les écosystèmes côtiers.

L'éolien en mer a sa place dans la diversification de nos sources d'énergies, comme c'est déjà le cas dans d'autres pays d'Europe tel que le Royaume-Uni ou le Danemark. Plus encore, sa mise en place en France est indispensable pour atteindre l'objectif fixé par le Grenelle Environnement d'utilisation des énergies renouvelables. Avec 1,4 million de tep prévus en 2020, il représentera 7% de cet objectif.

Utiliser les vents de la mer

Le potentiel énergétique de l'éolien en mer est plus élevé que celui de l'éolien terrestre : les vents marins sont **plus forts et plus réguliers**.

● La situation européenne

En Europe, **54 parcs éoliens en mer** sont opérationnels à octobre 2012, totalisant 4657 MW* de capacité installée. Au cours des prochaines années, de nombreux parcs devraient voir le jour, en particulier au large des côtes allemandes et britanniques.

L'éolien en mer pourrait fournir à terme **10% de l'électricité** de l'Union européenne et éviter le rejet de **200 millions de tonnes** de CO₂ par an.

* source : 4C offshore

Octobre 2012 en Europe : nombre de parcs opérationnels (capacité en MW, nombre d'éoliennes)

Norvège 1 parc, 2 MW, 1 éolienne

Finlande 3 parcs, 32 MW, 11 éoliennes

Suède 6 parcs, 168 MW, 76 éoliennes

Danemark 13 parcs, 1 274 MW, 517 éoliennes

Royaume-Uni
18 parcs, 2 592 MW,
796 éoliennes

Irlande
1 parc, 25 MW,
7 éoliennes

Pays-Bas
4 parcs, 247 MW, 128 éoliennes

Belgique 2 parcs, 195 MW, 61 éoliennes

Allemagne 5 parcs, 120 MW, 36 éoliennes

Portugal 1 parc, 2 MW, 1 éolienne

● Les potentialités françaises

Les zones maritimes sous juridiction française couvrent 11 millions de km² (Pacifique, Océan indien, Atlantique, Manche, Méditerranée).

La France métropolitaine dispose d'une **façade maritime étendue et bien ventée**. Les zones théoriquement exploitables avec les technologies actuelles pour l'éolien marin ont un potentiel énergétique théorique d'environ **30 000 MW**, à moduler en fonction des contraintes locales (environnement, conflits d'usage, restrictions réglementaires).

Le Gouvernement a fixé l'objectif d'une capacité éolienne offshore de 6 000 MW à l'horizon 2020, soit environ 1 200 éoliennes. Le premier appel d'offres, lancé en juillet 2011, pour la France métropolitaine et portant sur des installations éoliennes de production d'électricité en mer doit permettre d'ériger 500 à 600 éoliennes sur cinq zones propices (Saint-Nazaire, Saint-Brieuc, Courseulles-sur-mer, Fécamp, Le Tréport), pour une capacité installée de 3 000 MW. Ces installations devront être construites progressivement à partir de 2015.

Débattre d'un projet

L'acceptabilité économique, environnementale et sociale est un point crucial des projets qui seront retenus par l'appel d'offres. La concertation est donc une étape incontournable. La Commission nationale

du débat public (CNDP) avait ainsi organisé un débat public en 2010, concernant le projet de parc éolien offshore des Deux-Côtes au large du Tréport (Picardie).

• Réaliser un parc éolien en mer

Il est plus délicat d'installer un parc éolien en mer que sur terre : les conditions météo sont plus rigoureuses, les éoliennes sont soumises à des vents violents, aux embruns salés... Les constructeurs conçoivent des matériels adaptés à ces conditions extrêmes.

En l'état actuel de la technologie, les **parcs en mer** sont situés généralement à moins de 40 m de profondeur et à moins de 30 km des côtes. La partie « marine » du parc comprend :

les **aérogénérateurs** (fondations + mâts + turbines). Les mâts peuvent atteindre une centaine de mètres au-dessus du niveau de la mer et chaque pale dépasser 80 m de long ;

un **module** pour les équipes d'intervention ;

un **transformateur** ;

les **câbles sous-marins** assurant la collecte et le transport de l'électricité jusqu'à la côte.

Dans l'avenir, l'éolien dit « flottant » permettra d'installer des parcs ancrés à une profondeur maximum de 150 m, ce qui pourrait augmenter les zones potentiellement exploitables.

Les **annexes à terre** comprennent :

un **transformateur** et un **poste de raccordement** au réseau terrestre ;

des **lignes électriques enterrées**.

Pour se développer, les parcs éoliens en mer ont besoin des **ports** proches de leur implantation, ce qui pourrait y apporter de **nouvelles activités industrielles et économiques** :

la **construction des gros composants** (fondations, mâts...);

le **pré-assemblage** des éoliennes ;

le **transport** des composants du parc.

Quels impacts ?

• Un impact sur les écosystèmes marins ?

La construction et le démantèlement d'un parc éolien en mer peuvent avoir des impacts potentiellement négatifs sur l'environnement, notamment sur les mammifères et les poissons. Des mesures d'atténuation sont généralement mises en place. En fonctionnement, les éoliennes peuvent également avoir un impact sur les mammifères marins et les poissons (vibrations) et sur l'avifaune (risques de collisions, phénomène d'évitement). Ces impacts restent difficiles à quantifier.

L'existence d'un effet de « récif artificiel » a par contre été très nettement observée sur des parcs installés depuis plusieurs années au Danemark et au Royaume Uni.



L'implantation de parcs éoliens en mer pourrait donc aussi favoriser l'augmentation locale de biomasse et de la biodiversité marine.

• Un impact pour les communes riveraines ?

Le développement d'un parc éolien en mer est susceptible de générer des conflits d'usages avec les autres utilisateurs de la mer et du littoral : impact paysager, impacts sur la pêche, impact pour la navigation, impact sur les radars... La concertation avec les parties prenantes est donc primordiale pour éviter ces conflits et pour identifier les mesures d'atténuation et les mesures compensatoires appropriées.

• Un intérêt pour d'éventuels visiteurs ?

Le succès actuel des visites de parcs éoliens terrestres rend envisageable l'intérêt du public pour les fermes éoliennes en mer. Leur découverte pourrait faire l'objet d'une valorisation d'ordre touristique.

Cette valorisation impliquerait alors l'association des acteurs locaux du tourisme à leur implantation.

Les aspects ÉCONOMIQUES

Techniquement fiable, la filière éolienne voit sa compétitivité faire des progrès continus.

Coût et rentabilité

Le coût d'investissement constaté en 2010 et 2011 pour l'éolien terrestre est d'environ 1 300 € par kW installé*. Il englobe le coût des études, des matériels, du raccordement, de l'installation, des frais de mise en route et de démantèlement.

La rentabilité d'un investissement dans un projet éolien dépend des prix de revient et de vente du kWh. Le prix de revient devrait continuer à **baisser** dans les années qui viennent (progrès techniques, diminution régulière du coût du kW installé consécutive aux volumes installés, effets d'apprentissage, etc.). Le tarif d'achat est fixé par les pouvoirs publics, qui **soutiennent les énergies renouvelables, dont l'éolien**. Ce soutien est de même nature que celui apporté aux autres filières énergétiques mais l'éolien est aujourd'hui la filière la plus proche de la compétitivité.



Les coûts d'exploitation, d'entretien et de maintenance représentent 3% par an du coût d'investissement total.

Comme toutes les nouvelles techniques de production d'électricité à leurs débuts, le kWh éolien est plus cher que celui produit par les centrales classiques dont tous les coûts environnementaux

* Source: étude « Marchés, emplois et enjeux énergétiques des activités liées aux énergies renouvelables »

ne sont pas pris en compte. Ce « surcoût » temporaire est pris en charge par tous les consommateurs d'électricité via la Contribution au service public de l'électricité (CSPE), au même titre que les autres charges du service public de l'électricité. La Commission de régulation de l'énergie a estimé le surcoût en 2020 sur la facture d'un client type (hors chauffage électrique) à 24 € TTC/an.

Cette valeur ne tient pas compte des retombées économiques engendrées ni des **moindres impacts sur l'environnement** d'un tel programme.

Retombées économiques

La filière éolienne est **créatrice d'emplois**, pour la fabrication et pour l'installation. Elle employait fin 2010 environ 192 000 personnes en Europe et 670 000 dans le monde*.

* source Syndicat des Énergies renouvelables



Sur internet: www.ademe.fr

rubrique « Recherche, développement et innovation / Stratégie et orientation / l'ADEME et vous : Stratégie et études n° 13 »



Préparation d'un moule en acier inoxydable utilisé pour la fabrication des pales dans une entreprise française (A tout Vent).

Les constructeurs européens détiennent **plus de 80% des parts** du marché mondial des éoliennes (Danemark, Allemagne, Espagne). Historiquement, l'industrie éolienne française s'est spécialisée dans la fabrication de composants (mâts, pales, génératrices, etc.). Aujourd'hui AREVA (Multibrind), Alstom (Ecotécnia) et Vergnet se positionnent sur le marché de la fabrication et de l'assemblage des composants des éoliennes. En 2011, la filière éolienne française (fabrication et installation) employait environ **10 000 personnes**. 150 entreprises industrielles françaises œuvrent dans ce secteur.

Les parcs éoliens sont une **source de revenus pour les collectivités locales** par le biais de la contribution économique territoriale qui remplace la taxe professionnelle depuis 2010. Elle rapporte, pour une éolienne de 1 MW, environ 6800 € par an au bloc communal (commune et communauté de commune) et 3500 € au département.

Les **propriétaires fonciers** touchent de 2.000 à 3.000 € par an et par éolienne implantée sur leur terrain. Ce revenu fixe est apprécié dans le secteur agricole soumis aux aléas des marchés mondiaux des matières premières.

Perspectives d'avenir

Pour atteindre les objectifs fixés par le Grenelle Environnement (puissance installée fin 2020: 19 000 MW sur terre et 6 000 MW en mer), il faudra installer environ **1 450 MW en moyenne annuelle**, alors qu'environ 875 MW ont été installés en 2011. Il faut donc accélérer le rythme des installations.

Les **perspectives pour l'emploi** dans ces conditions sont prometteuses: si les objectifs actuels sont tenus, l'éolien pourrait offrir **60 000 emplois en 2020*** dans notre pays, dont 24 000 pour l'éolien en mer.

L'éolien marin participerait à cette dynamique, non seulement dans la construction des parcs, mais aussi dans leur maintenance. Il pourrait en particulier renforcer l'activité des ports à proximité des fermes off-shore.

* source Syndicat des Énergies renouvelables

Pour les particuliers, LE PETIT ÉOLIEN

L'éolienne individuelle

Certains particuliers souhaitent s'équiper d'éoliennes individuelles. Les petites éoliennes les plus courantes, à axe horizontal, fonctionnent mal dans les zones urbaines où les turbulences sont importantes. Elles peuvent convenir en revanche dans les secteurs ruraux, en particulier dans les sites isolés non raccordés au réseau, si le potentiel éolien y est intéressant. Leur potentiel de production unitaire et donc leur impact sur le système électrique français reste toutefois limité.

● Une condition nécessaire: des vents constants et réguliers

La **force, la fréquence et la régularité des vents** sont des facteurs essentiels pour que l'exploitation de la ressource éolienne soit intéressante, et cela quelle que soit la taille de l'éolienne. À moins de 20 km/h de moyenne annuelle (soit 5,5 m/sec), l'installation d'une éolienne domestique n'est pas conseillée.

La **localisation géographique et topographique** est importante: à Narbonne, une éolienne sera efficace presque partout. À Dijon, il faudra l'installer en haut d'une colline pour qu'elle produise suffisamment.

N'oubliez pas que vous devez vous situer dans une **zone de développement éolien** (ZDE, voir page 14) si vous voulez bénéficier de l'obligation d'achat d'électricité par EDF ou un distributeur non nationalisé (tarif actuel: 0,087 €/kWh).

Étudiez le vent !

Même si la zone où vous habitez semble favorable à l'installation d'une éolienne, il est quasi indispensable de bien étudier le vent au travers des données météorologiques locales et de réaliser

des mesures. En montagne, ces précautions sont absolument nécessaires car, du fait du relief, les situations peuvent varier de façon importante sur de faibles distances.



L'électricité produite par de petites éoliennes peut être injectée dans le réseau électrique, servir au pompage ou au dessalement de l'eau ou répondre aux besoins des sites isolés.

• Quelques données pour cadrer l'installation

La production d'une éolienne dépend de la vitesse du vent, du rendement du rotor et de la surface balayée par les pales. Si on augmente leur longueur de 40%, la puissance disponible double. Si la vitesse du vent double, la puissance disponible est multipliée par 8.

Les éoliennes domestiques peuvent être **raccordées au réseau** ou **alimenter une habitation en site isolé**.

Ce sont des machines de petite ou moyenne puissance (0,1 à 36 kW) montées sur des mâts de 10 à 35 m. En site non raccordé au réseau, pour vos besoins (hors chauffage), une éolienne de **3 à 5 kW** convient généralement.

L'installation comprend une **éolienne** à deux ou trois pales, qui fonctionne sur le même principe de base qu'un grand aérogénérateur (voir page 11).

Un **onduleur** permet d'obtenir un courant aux qualités constantes malgré les variations du vent, utilisable par vos appareils électriques ou réinjectable dans le réseau de distribution. En site isolé, il est indispensable de disposer d'un **générateur d'appoint** (installation photovoltaïque ou petit moteur Diesel) pour compenser une longue période sans vent, au cours de laquelle les **batteries** servant au stockage du courant excédentaire pourraient se décharger.

La **durée de vie** d'une éolienne est d'environ vingt ans.

• Un travail de spécialiste

Bien choisir le site d'implantation, concevoir la machine, la dimensionner au plus près de vos besoins, l'installer... : un spécialiste proposera un matériel performant et réalisera les travaux selon les règles de l'art et en particulier selon les règles de sécurité (fondations, haubanage, etc.). Pour plus de précisions, consultez l'Espace **INFO → ÉNERGIE** le plus proche de chez vous.

Attention !

Adressez-vous à des professionnels reconnus ou de confiance pour la fourniture des éléments de votre installation. En effet,

il n'existe pas encore de certification sur le matériel éolien à usage privatif, ni de formation certifiée.

• Des démarches préalables indispensables

N'oubliez pas que des autorisations ou des accords sont nécessaires ou utiles pour implanter un aérogénérateur :

auprès de la mairie de votre commune, une demande de permis de construire, si le mât de votre éolienne dépasse douze mètres de haut. Dans les autres cas, une déclaration de travaux suffit. Si la production de l'éolienne est destinée à l'autoconsommation, c'est le maire qui délivre le permis de construire. Si elle est destinée à la vente, c'est le préfet ;

auprès de vos voisins, car un petit aérogénérateur a un impact visuel et peut générer une nuisance sonore.

Si vous voulez **électrifier un bâtiment non relié au réseau**, faites votre demande d'électrification par courrier au maire de votre commune. C'est lui qui agréera votre demande. Le maître d'ouvrage de votre installation sera votre syndicat d'électrification en zone rurale, EDF en zone urbaine.

Vous devez ensuite vous assurer que le **coût de l'électrification par énergies renouvelables est inférieur au coût de raccordement au réseau de distribution**. Si c'est le cas, une ou plusieurs solutions techniques et une participation financière vous sont proposées. Le maître d'ouvrage fait les demandes de participations financières auprès des partenaires concernés (voir ci-dessous).

Les travaux peuvent commencer après obtention de votre accord et de celui des partenaires financiers.

Une fois terminée, en règle générale **l'installation ne vous appartient pas**, elle est concédée à EDF ou à une régie d'électricité et vous devez vous acquitter d'une redevance mensuelle qui est fonction de la puissance du générateur, comme un abonné classique.

• Des précautions à prendre

Sur votre parcelle, le lieu d'implantation sera le plus exposé possible. Un aérogénérateur ne prend pas beaucoup de place. Cependant, si c'est un modèle qui peut être basculé en cas de vent violent, il faut l'installer dans un endroit dégagé. Le bruit peut être gênant si l'éolienne est trop près de la maison, mais plus elle sera loin, plus le câblage coûtera cher. L'endroit idéal réalisera sans doute un compromis de toutes ces exigences.

• Et l'aspect financier ? Coût, aides et rentabilité

La **fourniture du matériel et son installation** par un professionnel représente un investissement pouvant aller **de 25 000 € à 40 000 €**, y compris les batteries, mais peut varier dans des proportions assez importantes en fonction de la puissance précise de l'aérogénérateur, du type de technologie proposée, etc.

Vous avez droit à un crédit d'impôt pour l'achat d'un aérogénérateur. Le matériel et la main d'œuvre bénéficient également d'un taux de TVA réduit.



Sur internet :
ecocitoyens.ademe.fr/financer-mon-projet
sur le crédit d'impôt et les équipements éligibles

En cas d'électrification en site isolé, vous pouvez bénéficier de subventions particulières :

sur un territoire en régime rural d'électrification, vous pouvez recevoir des **aides du FACE** (fonds d'amortissement des charges d'électrification) **ou de l'ADEME**, par l'intermédiaire de votre syndicat d'électrification et parfois de votre commune. Le montant de ces aides peut atteindre au maximum 95 % des dépenses.

des **aides complémentaires** peuvent exister localement, provenant de l'Union européenne, des conseils régionaux ou généraux. Si vous habitez les DOM-COM, consultez la direction ADEME de votre région pour connaître les formules particulières à votre disposition.

La **rentabilité d'un projet de petit éolien est rarement assurée hors des ZDE**. Elle est fortement conditionnée par la vitesse du vent. Le **temps de retour** est en général supérieur à 10 ans.

Ne prenez pas ce projet à la légère!

Dans tous les cas, un tel projet n'est pas aussi simple que l'utilisation des autres énergies renouvelables à la maison (chauffe-eau solaire, bois énergie, panneaux

photovoltaïques) : ne vous lancez dans un projet éolien individuel que dans des conditions très favorables et entouré de spécialistes compétents.

Une autre façon d'investir dans l'éolien : participer au financement des parcs

Certains parcs éoliens sont mis en place avec la **participation financière de la population**. Ainsi, les riverains peuvent bénéficier des retombées économiques positives directes d'une telle implantation.

Cette implication des citoyens dans le projet peut jouer un rôle important dans son acceptation par la population.



Visite scolaire du parc éolien d'Ally (Auvergne) comprenant 26 éoliennes de 1,5 MW et de 122 m de haut.

CONCEPTION GRAPHIQUE Atelier des Giboulées | RÉDACTION Hélène Bateau | PHOTOS ADEME : R. Bourguet (p. 3, 5, 24, 31), J. Le Goff (p. 13, 23), O. Sébart (p. 14), F. Gallier (p. 25) - Paillard Lycée HQE Calais (p. 6) - MEDDE : A. Bouissou (p. 17, 18), L. Mignaux (p. 28) | ILLUSTRATIONS Agnès Géraud, Olivier Junière

L'ADEME

L'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie (ADEME) participe à la mise en œuvre des politiques publiques dans les domaines de l'environnement, de l'énergie et du développement durable. Afin de leur permettre de progresser dans leur démarche environnementale, l'agence met à disposition des entreprises, des collectivités locales, des pouvoirs publics et du grand public, ses capacités d'expertise et de conseil. Elle aide en outre au financement de projets, de la recherche à la mise en œuvre et ce, dans les domaines suivants : la gestion des déchets, la préservation des sols, l'efficacité énergétique et les énergies renouvelables, la qualité de l'air et la lutte contre le bruit.

L'ADEME est un établissement public sous la tutelle du ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie et du ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche.

www.ademe.fr



Pour des conseils pratiques et gratuits sur la maîtrise de l'énergie et les énergies renouvelables, contactez les Espaces **INFO → ÉNERGIE**, un réseau de spécialistes à votre service. Trouvez le plus proche de chez vous en appelant le n° Azur **0 810 060 050**

(valable en France métropolitaine, prix d'un appel local)

Ce guide vous est fourni par :

