



LE PETIT EOLIEN

Février 2015

Ce qu'il faut retenir

Alors que le grand éolien a pour enjeu premier de participer à l'équilibre offre-demande du système électrique français en diminuant le contenu carbone du bouquet énergétique, le petit éolien se positionne comme une production diffuse d'électricité renouvelable.

Il mobilise des niveaux d'investissement moins élevés, nécessite des référentiels normatifs moins complexes et des conditions de connexion au réseau moins règlementées que le grand éolien. Le respect de la contrainte d'efficacité économique implique de centrer le marché du petit éolien sur le domaine rural : ainsi, d'une part la ressource en vent est de meilleure qualité, d'autre part le petit éolien permet de faire levier sur l'enjeu du secteur agricole de diminution de la dépendance énergétique ou d'apporter une solution aux zones non connectées.

Enfin, même si l'enjeu énergétique de la diffusion du petit éolien est dans un premier temps bien moindre que celle du grand éolien, les modalités de déploiement du petit éolien peuvent avoir un impact important en termes d'image sur l'ensemble de la filière éolienne. Il convient donc d'orienter cette filière pour favoriser des installations de qualité.



TABLE DES MATIERES

Ce qu'il faut retenir	1
1. Contexte technique du petit éolien.....	3
1.1. Des diversités techniques et technologiques	3
1.2. La ressource en vent	5
1.3. Dimensionnement du gisement national potentiel.....	5
2. Contexte réglementaire et économique	6
2.1. Réglementation.....	6
2.2. Economie des projets de petit éolien	6
3. Impacts environnementaux	6
4. Acteurs et marché	7
4.1. Offre et demande de machines du petit éolien.....	7
4.2. Acteurs de la chaîne de valeur	7
5. Recommandations pour le développement du petit éolien	8
6. Focus technique sur l'autoconsommation des professionnels en secteur rural	9
7. Conclusion.....	9



1. Contexte technique du petit éolien

1.1. Des diversités techniques et technologiques

La catégorie Petit Eolien regroupe un large spectre de machines :

- le « micro-éolien » : machines < 1 kW ;
- le « petit éolien » : machines entre 1 kW et 36 kW ;
- le « moyen » éolien comprenant les machines entre 36 kW et 250 kW.

La Figure 1 permet de donner quelques ordres de grandeur des caractéristiques physiques de différentes machines. Une machine de 3 kW fait donc environ 4 mètres de diamètre, une machine de 10 kW, 7-8 mètres de diamètre.

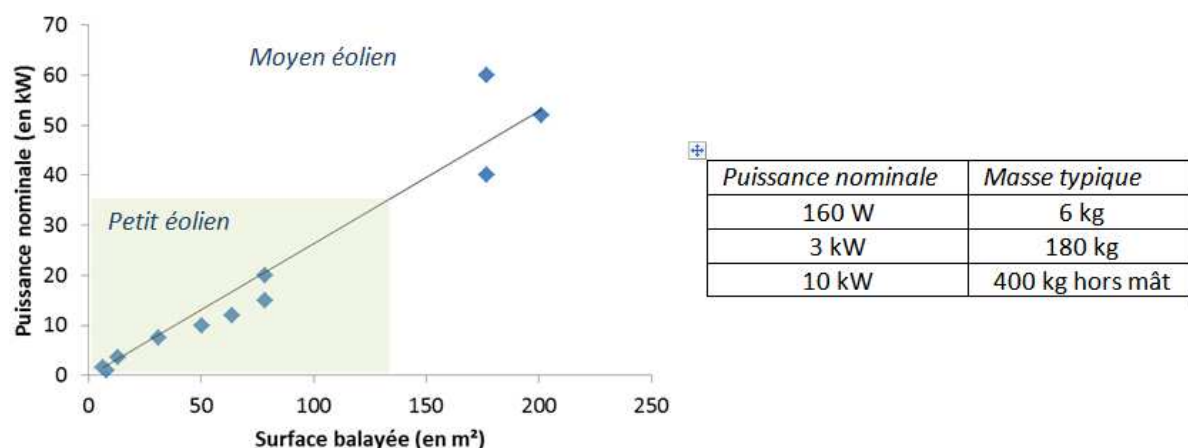


Figure 1 - (à gauche) puissance nominale et surface balayée correspondante (à droite) correspondance puissance / masse (valeurs typiques)

La hauteur de mât, qui détermine habituellement la vitesse moyenne du vent, n'est pas systématiquement proportionnelle à la puissance des machines, comme dans le cas du grand éolien. En effet, à moins de 20 mètres de hauteur, la rugosité du sol liée au type de végétation ou d'habitat constitue une couche limite dans laquelle la vitesse des vents peut diminuer de façon rapide et non linéaire à mesure qu'on s'approche du sol. Ces caractéristiques dépendent fortement de chaque site, ce qui justifie une **étude de vent**. Toutefois, on peut estimer qu'il n'est jamais très raisonnable que l'extrémité inférieure de la pale du bas passe à moins de 10 mètres du sol.

Les différences en termes de masse ou de puissance électrique impliquent des conceptions mécaniques ou électrotechniques plus ou moins complexes. Le Tableau 1 liste les principales variantes technologiques couramment observées.



Caractéristiques		Variantes
Géométrie de la machine		Axe horizontal Axe vertical
Mât et fondation		Autoporteur Haubané
Régulation		Electronique, pales fixes Calage variable des pales Aérodynamique, pales fixes Aérodynamique, calage variable
Orientation au vent		Par gouvernail Motorisée

Tableau 1 - variantes technologiques sur les machines du petit et moyen éolien

En plus de la variété technologique, **certaines machines n'ont pas encore atteint leur maturité**. Le site d'essai du « SEPEN » (voir section 4.2) permet notamment de confronter les données constructeur et la courbe de puissance mesurée en conditions réelles. On peut vérifier qu'un ensemble de constructeurs fournissent des données consolidées fidèles aux mesures qui permettent de prévoir le productible d'un site, et partant, un plan d'affaires.

A l'opposé, on peut observer des machines ayant une courbe de puissance mesurée « non conforme » : la Figure 2 montre un exemple où les mesures et les données divergent, en raison de la conception même de la machine et de l'absence de contrôle qualité. Sur cette figure, la courbe de puissance mesurée est très en-deçà des données constructeur qui sont dans tous les cas très optimistes ; les données mesurées en shuntant la régulation recollent un peu plus aux données constructeur.

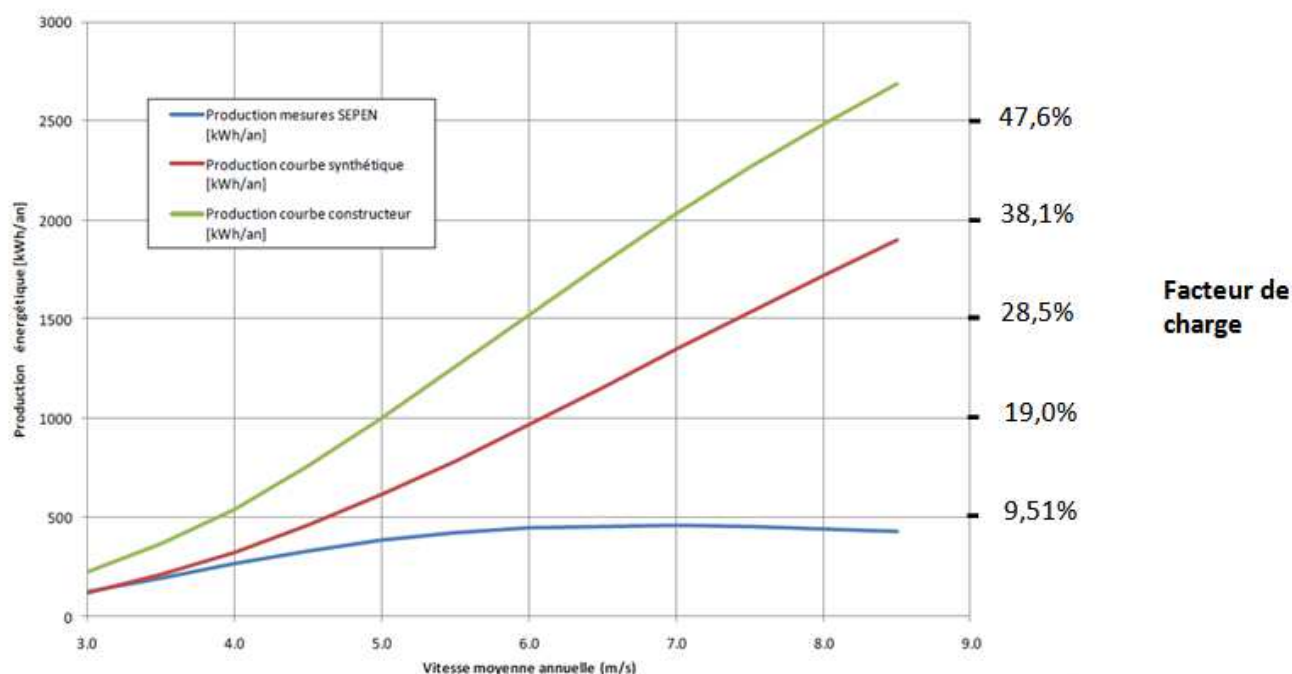


Figure 2 : Productions énergétiques d'éoliennes : comparaison entre les données mesurées au SEPEN (disponibles sur <http://www.sepen-montplaisir.fr>) en fonctionnement nominal (courbe bleu), à régulation shuntée (courbe rouge) et les données constructeur (courbe verte) - machine BlackWind 0,6 kW.



Ainsi, contrairement au grand éolien, il n'y a pas encore eu de convergence technologique, surtout pour les petites machines (typiquement sous les 5 kW, les plus grosses machines bénéficiant plus facilement d'un effet d'échelle et de retour d'expériences du grand éolien). Les conditions de cette convergence (ou réduction des variantes) sont la performance technique et le coût. A cet égard, le site d'essai « [SEPEN](#) » joue un rôle important car il réalise et diffuse sur son portail internet les mesures des performances.

1.2. La ressource en vent

L'efficacité de l'éolien dépend en premier lieu de la qualité du vent : vitesse, stabilité en direction, absence de turbulences. Une étude de vent est donc indispensable pour d'une part, dimensionner la machine et la hauteur de mât pertinente et d'autre part, évaluer l'intérêt économique.

Le coût de l'étude de vent dépend *in fine* de la précision et de l'intervalle de confiance demandés sur le productible prévisionnel.

1.3. Dimensionnement du gisement national potentiel

Etant donnée les faibles hauteurs de mâts en jeu, la réalisation d'un atlas ou d'une cartographie de potentiel pour le petit éolien nécessiterait une approche très spécifique :

- En milieu urbain ou péri-urbain, les calculs devraient être faits à très fine maille et seraient certainement caractérisés par une forte incertitude. Il apparaît cependant que ces sites présentent (en général) des statistiques de vent trop faible ou trop turbulent pour une exploitation rentable¹ en l'état actuel des technologies et des prix de l'électricité (*i.e.* les investissements dans la rénovation thermique ou la maîtrise de la consommation restent plus facilement amortis et sont à privilégier).
- En milieu rural, le potentiel peut être évalué de la même façon que pour le grand éolien, avec des incertitudes plus importantes pour les faibles hauteurs de nacelle (typiquement en dessous de 15-20 m).

Aussi, à notre connaissance, **il n'y a pas d'atlas ou de cartographie nationale de potentiel** à proprement parler pour le petit éolien en France.

Selon la qualité du site et la technologie choisie, un petit aérogénérateur peut produire annuellement entre 1 000 et 3 000 kWh par kW installé.

Si l'on suppose l'installation en France de 7 500 éoliennes de 5 kW (500 éoliennes/an pendant 15 ans, ce qui est déjà un déploiement ambitieux), celles-ci pourraient produire de l'ordre de 70 GWh/an soit approximativement 0,01 % de la consommation d'électricité en France, ce qui représente un faible enjeu énergétique à l'échelle nationale. Par contre, pour les sites isolés, le petit éolien peut représenter une solution technique dont la contribution à la satisfaction des besoins énergétiques est significative.

L'enjeu du petit éolien n'est pas de contribuer à l'équilibre offre-demande d'électricité (niveau national), mais de proposer une production diffuse d'électricité renouvelable (niveau local).

- Schéma privilégié : autoproduction / autoconsommation
- Mécanisme incitatif indexé à l'autoconsommation plutôt qu'à la production

¹ Voir les études de cas du projet européen Wineur, 2006-2007



2. Contexte réglementaire et économique

2.1. Réglementation

L'essentiel de la réglementation applicable aux installations de type petit éolien vient de l'article R 421-2 c du Code de l'Urbanisme :

- Un permis de construire est obligatoire si la distance entre le sol et le haut de la nacelle atteint au moins 12 mètres de haut.
- Le permis est délivré par le maire lorsque la production est destinée à l'autoconsommation, ou par le préfet lorsqu'elle est destinée à la vente. Une évaluation environnementale est demandée pour tout projet.

Pour éviter une demande de permis de construire, beaucoup d'installations font donc moins de 12 m de hauteur, ce qui est inefficace du point de vue de la production électrique et donc de la viabilité économique.

De plus, si la hauteur du mât est supérieure à 12 m (et inférieure à 50 m), les petites et moyennes éoliennes sont soumises à déclaration au titre de la législation des Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (ICPE), quelle que soit leur puissance nominale.

2.2. Economie des projets de petit éolien

D'après les données recueillies auprès de la profession, l'investissement est actuellement de l'ordre de 10 k€/kW pour les petites machines (moins de quelques kW), et de l'ordre de 4 k€/kW pour des machines de plus de 10 kW. On bénéficie donc d'importantes économies d'échelle sur la gamme 10-50 kW.

D'autre part, il n'existe pas de tarif d'achat spécifique au petit éolien. Le seul mécanisme incitatif actuellement en place est le crédit d'impôt transition énergétique (en remplacement depuis le 1er septembre 2014 du crédit d'impôt développement durable (CIDD)). Depuis début 2014, le CIDD était de 15% pour l'installation seule d'une petite éolienne, et de 25% dans le cas d'un bouquet de travaux liés à l'amélioration énergétique. Le crédit d'impôt transition énergétique présente un taux unique de 30%.

Le crédit d'impôt est un des ressorts qui a entretenu les contre-exemples d'installation chez les particuliers, car il n'est pas conditionné par une quelconque exigence sur la qualité des produits utilisés et de l'installation.

Enfin, localement il peut exister des dispositifs complémentaires (ex : micro-crédit 0% par le Conseil régional de Poitou-Charentes, cumulable avec le crédit d'impôt), toujours sans condition liée à la qualité technique de l'installation.

3. Impacts environnementaux

On retrouve dans le petit éolien les mêmes thématiques que dans le grand éolien, mais à des échelles différentes (rotor de plus faible diamètre mais plus grande vitesse de rotation, mâts moins élevés).

Compte tenu de la faible hauteur des mâts, l'impact paysager reste limité et les ouvrages en béton assurant l'ancrage des mâts au sol sont souvent peu étendus. Généralement, aucun chemin d'accès dédié n'est nécessaire pour cette gamme d'aérogénérateurs.



La question du bruit doit être traitée avec attention par le fabricant (niveau technologique) et l'installateur (respect de la réglementation générale en matière de nuisances sonores) pour garantir le confort acoustique de l'utilisateur et de son voisinage : la vitesse de rotation, plus élevée que dans le cas du grand éolien, conduit à des émissions sonores dans des fréquences plus hautes donc potentiellement plus impactantes ; les mesures au SEPEN incluent systématiquement une étude acoustique.

Plus généralement, les projets doivent s'inscrire dans une logique d'évaluation environnementale des installations, mais il n'existe pas actuellement de cahier des charges adapté au petit éolien.

4. Acteurs et marché

4.1. Offre et demande de machines du petit éolien

Le marché est en croissance, mais les dynamiques sont fragiles. La croissance du marché pour les entreprises françaises est essentiellement nationale bien qu'il y ait des opportunités significatives à l'exportation que ce soit pour le petit éolien raccordé au réseau ou sur sites isolés.

Aux Etats-Unis, de 2006 à 2011, en moyenne 7 000 petites éoliennes ont été installées chaque année ; la capacité installée en 2011 a été de 19 MW. De 2006 à 2008, les installations étaient en grande majorité non connectées au réseau ; en 2011, 40% des machines installées étaient connectées au réseau. Le marché est également dynamique au Royaume Uni et cible principalement l'agriculture, avec 22 MW installés en 2011 et une cible de 800 MW cumulés en 2020.

En France, d'après l'Association des Professionnels du Petit Eolien (AFPPE), 2 500 petites éoliennes ont été installées entre 2010 et 2012. Le marché compte aujourd'hui plusieurs fabricants français, mais ceux-ci éprouvent des difficultés à se développer : en effet, la rentabilité économique pour l'utilisateur (le producteur ou l'autoconsommateur) n'est pas toujours garantie, et la concurrence de fabricants étrangers produisant de petites éoliennes en grande série reste forte.

En France, la demande pour des installations de petit éolien émane d'agriculteurs voulant valoriser leur terrain et de particuliers. On peut aussi noter que des personnes physiques (de profils plutôt « précurseurs » ou militants), architectes ou bureaux d'étude proposent régulièrement un certain nombre de projets d'éolien urbain sans se soucier de la qualité du gisement de vent, ce qui n'a pas de sens avec les technologies disponibles

4.2. Acteurs de la chaîne de valeur

Toutes les compétences de la chaîne de valeur sont présentes en France.

Bureau d'études vent	ex : Météolien, CapVent
Fabricants	Eolys : en collaboration avec Bouy SAS. Ateliers en Vendée. Machines : axe horizontal 6 kW, 12 kW, 52 kW Nhéolis : ateliers dans les Bouches du Rhône. Machines : axe horizontal 1,5 kW. Okwind : ateliers en Mayenne. Machines : axe vertical 2,5 kW
Installateurs	Les fabricants effectuent en général l'installation.
Site de test	Site Expérimental pour le Petit Eolien National (SEPEN) Le SEPEN regroupe 2 sites physiques : Malbouissou (Aude,



4km de Castelnaudary), adapté à l'établissement des courbes de puissance et des performances acoustiques, et Montplaisir (Aude, commune de Narbonne), plus turbulent et permettant un test de résistance et de mise au point / R&D.

La structuration de la filière est portée par l'Association Française des Professionnels du Petit Éolien (AFPPE), qui regroupe un ensemble d'acteurs autour d'une charte qualité.

5. Recommandations pour le développement du petit éolien

Les éléments de développement du petit éolien sont les suivants :

- Cohérence avec les messages de la Transition Énergétique : le soutien à la rénovation thermique et à la maîtrise de la consommation semble plus pertinent à privilégier en zones urbaines et péri-urbaines par rapport au petit éolien.
- Efficacité financière et CAPEX : on bénéficie d'importantes économies d'échelle sur la gamme 10-50 kW.
- Productible versus règles d'urbanisme : même pour des petites machines de quelques kW, une hauteur minimale (~12 m) est nécessaire pour assurer le facteur de charge, ce qui nécessite un permis de construire et une déclaration au titre des ICPE.

Le Tableau 2 présente nos recommandations de soutien au développement sur la base d'une catégorisation par secteur d'application.

Typologie	Constat	Recommandations ADEME
Eoliennes rattachées au pignon des habitations	Peuvent mettre en danger la stabilité du bâtiment	Déconseiller systématiquement
Eoliennes en milieu urbain ou péri-urbain	i) Le vent est en général trop faible ou trop turbulent pour une exploitation rentable ii) Risque élevé de modification du paysage urbain, impactant la ressource en vent	Déconseiller les installations
Eolienne en zone rurale (connectée ou non au réseau électrique)	La ressource est plus facilement accessible. Les éoliennes à installer en milieu rural sont globalement plus homogènes, techniquement plus matures. Un soutien au déploiement sur ce secteur permettrait de suivre une courbe d'apprentissage plus rapide que pour des plus petites machines.	Secteur cible pour les petites et moyennes éoliennes. Etudes de faisabilité ou opération exemplaire pour un bouquet de travaux EnR-efficacité énergétique.

Tableau 2- catégorisation du petit éolien par secteur d'application et recommandations correspondantes



6. Focus technique sur l'autoconsommation des professionnels en secteur rural

Les exploitations agricoles représentent un schéma de développement sur une gamme de machine 10 kW – 50 kW.

Par exemple :

En production : une éolienne de 10 kW (diamètre de rotor 7-8 m) avec un facteur de charge de 17 % (ou 1500 heures équivalent pleine puissance) produit de l'ordre de 15 MWh/an.

En consommation :

- Sur un élevage laitier, la consommation électrique annuelle est en moyenne de 0,4 MWh/an par vache laitière, mais la consommation est très variable au cours de la journée.
- Sur un élevage de porcs : la consommation électrique annuelle est très variable : de 20 MWh/an à plus de 100 MWh/an par exploitation, et couvre en majorité des besoins de chauffage et ventilation.
- Digesteur : une installation pour 3 à 4 exploitations agricoles consomme environ 40 MWh/an d'électricité.
- Hangar de conservation de pommes de terre : pour des capacités de 500 à 1000 tonnes, les besoins principaux sont sur la ventilation (de l'ordre de 4 kW), le groupe froid (de l'ordre de 50 kW) ou le canon à chaleur (de l'ordre de 60 kW).

Sur ces exemples, les besoins peuvent absorber les variations rapides de production éolienne (inertie thermique, méthaniseur), mais demandent un complément (réseau ou autres EnR) pour les creux de production longs.

Bénéfices du Petit Eolien :

- Pour l'utilisateur : diminution de la facture énergétique, stabilisation du prix de l'énergie
- Pour la collectivité : synergies techniques et financières (aides PAC, CUMA)

7. Conclusion

Il n'est pas pertinent, dans les conditions technologiques et économiques actuelles, de soutenir les très petites machines pour les particuliers (typiquement en dessous de 2-3 kW).

Dans l'optique d'une démarche qualité, deux **critères techniques** doivent être satisfaits : existence d'une ressource en vent (étude de gisement indispensable) et conformité/certification des machines. Ce dernier point fait l'objet d'une convention entre le SEPEN et l'ADEME (DR Languedoc Roussillon et SRER) visant l'établissement d'un site de labellisation/certification de matériels.

La cible à privilégier correspond aux professionnels (industrie, agriculture, ou tertiaire) **en zone rurale**, afin d'éviter d'installer des éoliennes de taille trop faible sur des gisements non favorables.

Pour les particuliers, l'ADEME soutient l'idée d'abrogation du crédit d'impôt actuel, qui pourrait être remplacé par un soutien à l'autoconsommation. Un seuil de puissance et une étude de vent pourraient par exemple être des conditions nécessaires pour l'obtention du soutien.



La convergence technologique, l'efficacité économique et la maturité de la filière impliquent de viser des machines de diamètre assez important (> 5 mètres) dont la vitesse de rotation est plus élevée que pour le grand éolien (ce qui peut influencer sur les émissions sonores). Il convient alors d'être vigilant et d'établir le plus tôt possible un cahier des charges pour **l'évaluation environnementale** des installations.

L'ADEME EN BREF

L'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME) participe à la mise en œuvre des politiques publiques dans les domaines de l'environnement, de l'énergie et du développement durable. Elle met ses capacités d'expertise et de conseil à disposition des entreprises, des collectivités locales, des pouvoirs publics et du grand public, afin de leur permettre de progresser dans leur démarche environnementale. L'Agence 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 conjointe du ministère de l'Ecologie, du Développement durable et de l'Energie, et du ministère de l'Éducation nationale, de l'Enseignement supérieur et de la Recherche.

www.ademe.fr



ADEME
20, avenue du Grésillé
BP 90406 | 49004 Angers Cedex 01

www.ademe.fr