



METHODOLOGIE DE VALIDATION D'UN SITE EOLIEN

Par Jean-Yves GRANDIDIER
Secrétaire général de France Énergie Éolienne

FRANCE ENERGIE EOLIENNE • Association loi 1901
Siège social : c/o EAF Centre d'Affaires La Boursidière • BP 48 •
92357 LE PLESSIS-ROBINSON • France
mail de l'auteur : jean-yves-grandidier@valorem-eolien.com

Septembre 2002

OBJECTIF DE LA PRESENTATION

- ◆ Permettre aux particuliers, agriculteurs, industriels ou collectivités locales d'apporter par eux-mêmes une réponse à l'une des questions suivantes :
 - » **J'ai le sentiment d'avoir un site venté : quelle approche dois-je entreprendre afin de valider cette impression?**
 - » **J'ai la volonté de réaliser ou de favoriser la réalisation d'un projet éolien : qu'est ce que ça peut bien rapporter et comment choisir le ou les sites adéquates?**

LES EVOLUTIONS RECENTES DU CONTEXTE

- ◆ Avant de présenter la méthode de validation des projets, voici quelques éléments décrivant les évolutions récentes du contexte français et européen, à savoir :
 - » **la loi électricité de février 2000**
 - » **la traduction des objectifs de la directive européenne sur les EnR pour l'éolien français**
 - » **l'arrêté de juin 2001 sur les tarifs éoliens**

La nouvelle loi électricité de février 2000 (1)

- ◆ Mise en place d'une Commission de Régulation de l'Électricité (CRE)
- ◆ Obligation d'achat par les concessionnaires des réseaux des productions à partir d'énergie éolienne jusqu'à 12 MW
 - => Tarif d'achat édité par le gouvernement (DGEMP du ministère de l'industrie)
 - => Surcoûts éventuels pour l'acheteur pris en charge par le fond de compensation des charges de service public
- ◆ Pour les puissances supérieures, programmation pluriannuelle des investissements (PPI) donnant lieu à des appels à projets lancés par la CRE



Traduction des objectifs de la directive ENR pour l'éolien français (1)

- ◆ L'objectif pour la France de 21% de sa consommation d'électricité à partir d'EnR en 2010 (évaluée à 568 TWh en tendance)
 - ⇒ **41 TWh de production d'électricité EnR supplémentaire en 2010 (compte tenu de la production EnR actuelle égale à 72 TWh et d'un effort de MDE de 31 TWh)**
 - ◆ La part des autres filières EnR (tiré de note JLB du 17/11/2000)
 - **Hydraulique : 4 TWh**
 - **Biomasse (y.c. incinération) : 6 TWh**
 - **Autres (Géothermie, PV) : 0,3 TWh**
- ⇒ Restent environ 31 TWh qui devront être satisfaits par l'éolien en 2010, soit environ 12 500 MW**

Traduction des objectifs de la directive ENR pour l'éolien français (2)

- ◆ Même avec une volonté politique forte, cet objectif est difficilement atteignable dans le temps imparti
- ◆ Si l'on tient compte de ce qui s'est fait dans les pays voisins, un objectif de 10 000 MW paraît plus réaliste comme le montre le tableau suivant

année	Taux de croissance annuel	capacité annuelle (MW)	capacité cumulée (MW)	Observations
2000		40	65	
2001	70%	68	133	70% est la croissance du
2002	70%	116	249	marché espagnol depuis
2003	70%	197	445	3 à 4 ans
2004	70%	334	779	
2005	70%	568	1 347	
2006	70%	966	2 313	
2007	50%	1 448	3 761	il s'est installé 1500 MW en
2008	30%	1 883	5 644	1999 en Allemagne
2009	20%	2 259	7 903	
2010	10%	2 485	10 388	

Traduction des objectifs de la directive ENR pour l'éolien français (3)

- ◆ **Cependant, même avec un objectif plus réaliste de 10000 MW, le planning à respecter pour l'atteindre est tendu et nécessite la mise en place d'un cadre institutionnel adéquat**
 - **Un tarif suffisant pour mobiliser sur le marché financier les 70 MdF nécessaires**
 - **Des appels à propositions dans le cadre de la PPI rapidement mis en place pour les gros projets (en particulier off shore)**
 - **Des procédures administratives claires et transparentes**
 - **Des capacités d'accueil du réseau suffisantes, en particulier en région Languedoc Roussillon et dans sa périphérie**

L'arrêté de Juin 2001 sur les tarifs éoliens (1)

- ◆ Hypothèses de calcul du Ministère de l'Industrie :
 - Coût d'investissement identique de 7000 F/kW quelque soit le nombre d'heures à équivalent pleine puissance
 - Tarifs calculés pour obtenir un TRI projet allant de 8% pour 2000 h à 13% pour 3600 h

◆ Résultats

**Tarif de vente en fonction du nombre d'heures annuel de fonctionnement à équivalent pleine puissance
(valable pour les 1500 premiers MW)**

Nb heures annuel à équivalent pleine puissance (12% de pertes et de marges incluses)	2000	2200	2400	2600	2800	3000	3200	3400	3600
Vitesse moyenne au moyeu (m/s) pour turbine N60 (k=2,3 et d=1,225 kg/m ³)	6,8	7,1	7,4	7,7	8,0	8,3	8,6	8,9	9,1
Tarif équivalent sur 15 ans(F/kWh)	0.550	0.520	0.490	0.460	0.440	0.420	0.400	0.380	0.360
<i>Pour mémoire : prix de vente étude de sensibilité</i>		<i>0.525</i>		<i>0.463</i>		<i>0.429</i>		<i>0.404</i>	
Tarif de vente années 1 à 5 (F/kWh)	0.550	0.550	0.550	0.550	0.550	0.550	0.550	0.550	0.550
Tarif de vente années 6 à 15 (F/kWh)	0.550	0.497	0.443	0.390	0.352	0.314	0.276	0.238	0.200

L'arrêté de Juin 2001 sur les tarifs éoliens (2)

- ◆ Modalités :
 - » **TV2 (années 6 à 15) : calculé sur la base de la production annuelle des 3 années « moyennes » parmi les 5 premières années**
 - » **Indexation du prix = 0,6 x inflation**
 - » **Décroissance du tarif pour les nouvelles installations à partir du 1^{er} janvier 2003 : 3,3%/an – l'inflation**

- ◆ Au-delà des 1500 premiers MW :
 - » 0,55 F pour 1900 h, 0,46 pour 2400 h et 0,36 pour 3300 h

Le déroulement d'un projet éolien

- ◆ la phase de validation
- ◆ la phase de faisabilité, incluant la campagne de mesures
- ◆ la phase d'obtention des autorisations administratives
- ◆ la phase de réalisation
- ◆ la phase de fonctionnement

Analyse de la rentabilité en fonction de la puissance de l'installation (1)

Hypothèses

- ◆ 5 puissances étudiées :
 - » 60 kW en utilisant une GEV 15/60 sur mât de 30 m
 - » 220 kW en utilisant une GEV 26/220 sur mât de 50 m
 - » 600 kW en utilisant une Enercon E44/600 kW sur mât de 50 m
 - » 1500 kW en utilisant une Tacke 70/1500 kW sur mât de 80 m
 - » 12000 kW en utilisant 8 Tacke 70/1500 kW sur mâts de 80 m(les turbines de 60 et 220 kW sont à ranger dans la catégorie du petit et moyen éolien, celles de 600 et 1500 dans celle du grand éolien)

- ◆ emprunt de la totalité de l'investissement à un taux préférentiel de 4,2%

Analyse de la rentabilité en fonction de la puissance de l'installation (2)

Hypothèses

- ◆ pour les puissances 60 et 220 kW qui correspondent à l'éolien de proximité :
 - » **garantie de performance donnée par le fabricant de la turbine**
 - » **auto-construction des fondations, des accès et de la ligne**
 - » **éolienne à 100 m du point de connexion au réseau**
 - » **raccordement en basse tension**
 - » **exploitation assurée par le maître d'ouvrage**
- ◆ pour les puissances 600, 1500, 12000 kW :
 - » **projets vendus clé en main par un ingénieur avec toutes les garanties constructeur sur la disponibilité des turbines**
 - » **éoliennes à 500 m du point de connexion pour les puissances 600 et 1500 kW et à 4 km pour la puissance 12000 kW**
 - » **connexion sur le réseau 20 kV**



Analyse de la rentabilité en fonction de la puissance de l'installation (3)

Puissance parc (kW)	60	220	600	1 500	12 000
Investissement (kF)					
Turbine+ mât + transformateur éventuel	660	2 090	3 000	8 200	
Transport	5	10			
Accès + fondations	10	20	300	600	
Ligne	2	4	100	150	
Raccordement	10	50	700	800	
Etudes, Ingénierie			720	1 350	
Total coût d'investissement	687	2 174	4 820	11 100	84 000
Coût/ kW (en kF)	11,45	9,88	8,03	7,40	7,00
Frais annuels d'exploitation(en kF)	6	22	180	450	3 600
Coût des emprunts (taux = 4,2%) :	62	198	438	1 009	7 636
EBE (en kF/an) pour Vent moyen annuel de					
6,0 m/s			-24	51	842
6,5 m/s	-6	-14	56	257	2 492
7,0 m/s	0	28	94	335	3 116
7,5 m/s	4	36	130	431	3 884

Analyse de la rentabilité en fonction de la puissance de l'installation (4)

Conclusion tirées de l'analyse du tableau précédent

- ➔ Plus l'installation a une puissance importante, meilleure est sa rentabilité
- ➔ Avec les tarifs actuels, un projet est jugé « bancable » (ratio entre l'EBE et le coût du crédit supérieur à 20%) à partir d'un vent d'au moins 6,5 m/s si la puissance installée est d'au moins 1500 kW.
- ➔ Plus on réduit la puissance de l'installation, plus le vent doit être fort pour rendre le projet « bancable ». Pour une puissance de 220 kW, il faut un vent d'au moins 7,5 m/s
- ➔ Si l'optique est de tirer de ce type d'installation un revenu récurrent et que l'on n'a pas seul les capacités financières pour investir dans une installation de grande capacité (>1000 kW) on aura avantage à d'abord essayer de se regrouper pour ensemble atteindre la taille requise
- ➔ Une installation avec une puissance inférieure à 1000 kW ne se justifie que si le regroupement n'est pas possible ou que la capacité d'accueil du réseau électrique local n'est pas suffisante

Les questions à aborder pour valider un site éolien (1)

Quelle est la vitesse moyenne annuelle du vent sur mon site?

- ➔ dans la plus part des régions ventées, l'Ademe dispose d'atlas éoliens dont on peut obtenir un exemplaire papier et dont la consultation est publique dans ses délégations régionales
- ➔ en cas de différence entre la hauteur de l'éolienne et celle figurant dans l'atlas, la vitesse à hauteur de moyeu peut se calculer en première approximation par la formule suivante :

$$V(Z2) = V(Z1) \times \frac{\ln(Z2/Z0)}{\ln(Z1/Z0)} \quad \text{avec :}$$

- Z2 : hauteur du moyeu de l'éolienne
- V(Z2) : vitesse moyenne annuelle à la hauteur du moyeu de l'éolienne
- V(Z1) : vitesse moyenne annuelle donnée par l'atlas
- Z0 : longueur de rugosité = 0,1 pour site en rase campagne; 0,4 pour site en campagne (garrigue par exemple); 1 pour un site en forêt

Les questions à aborder pour valider un site éolien (2)

Quelle est la vitesse moyenne annuelle du vent sur mon site (suite)?

- 💧 les valeurs fournies par les atlas, en particuliers dans les régions escarpées, ne sont pas toujours exactes
 - ➔ **en cas de doute consulter un B.E.**
- 💧 les banquiers ne se contenteront généralement pas de cette seule information pour financer le projet. Une campagne de mesure sera ensuite souvent nécessaire
- ◆ Si votre région ne dispose pas encore d 'atlas,
 - ➔ **consulter un B.E. qui a déjà fait des études pas trop loin du site**

Les questions à aborder pour valider un site éolien (3)

Le régime de l'urbanisme de mes terrains me permet-il d'y construire des éoliennes?

- ◆ Si la commune ne possède pas de Plan d'Occupation des Sols (POS), il n'y a pas d'incompatibilité du régime de l'urbanisme avec l'installation d'éoliennes
- ◆ Si la commune possède un POS, si le site est en zone :
 - » **NC, ancienne appellation, ou A comme agricole, nouvelle appellation introduite avec la nouvelle loi sur l'urbanisme, dite loi SRU, alors il faut réviser le POS ce qui prend en moyenne 2 ans**
 - » **ND, ancienne appellation, ou N comme naturelle, nouvelle appellation, alors il faut réviser le POS, sachant que l'administration sera plus regardante que dans les zones NC pour rendre le POS compatible avec l'installation d'éoliennes**

Les questions à aborder pour valider un site éolien (4)

Y a-t-il sur le site des servitudes d'utilité publique?

- ◆ Si la commune possède un POS, y est en général annexé un plan des servitudes d'utilité publique auquel on peut utilement se référer pour identifier les contraintes du site
- ◆ Dans le cas contraire, il faut s'adresser à :
 - » la DAC pour les contraintes liées à la navigation aérienne
 - » l'agence nationale des fréquences à Plouzané dans le Finistère pour les interférences électromagnétiques
 - » l'armée de l'air et la marine nationale

Y a-t-il une possibilité d'interférence télévisuelle?

- ◆ Ce cas peut se produire quand les éoliennes sont situées entre un émetteur TDF et des récepteurs d'utilisateurs

Les questions à aborder pour valider un site éolien (5)

Le site se trouve t-il dans le périmètre d'un site classé ou d'un site inscrit à l'inventaire des zones à protéger?

Pour avoir la liste des sites classés ou inscrits s'adresser à la DIREN de votre région

Si votre site se trouve dans le périmètre d'un site classé, consulter l'Architecte des Bâtiments de France du secteur pour lui soumettre le projet. Si son avis est réservé, il est préférable d'aller chercher ailleurs

Si l'inscription est liée à un enjeu avifaunistique (ZICO ou pire ZPS), une étude plus approfondie sur ce point devra être faite rapidement pour déterminer précisément les enjeux et les contraintes. Lorsqu'il s'agit d'un petit projet, il est préférable à ce moment là de voir si on peut le déplacer

Les questions à aborder pour valider un site éolien (6)

Quelle est la distance des habitations les plus proches?

On entend sous le vocable « habitation » une résidence principale ou secondaire faisant l'objet d'une occupation régulière. Une résidence n'ayant plus eu d'occupation prouvée depuis plus de 2 ans ne sera plus considérée comme habitation.

On parle de distance minimum essentiellement vis à vis du bruit. La législation impose un niveau d'émergence de 5 dB le jour et de 3 dB la nuit. Le code de santé publique ne considère pas les bruits faibles inférieurs à 30 dB. Le bruit d'une éolienne à 500 m est d'environ 35 dB, et n'émergera pratiquement pas vis à vis des bruits ambiants dont les valeurs minimum sont de cet ordre de grandeur.

➔ **dans le cas du grand éolien, nous préconisons donc de respecter une distance de 500 m minimum vis à vis des habitations les plus proches**

Les questions à aborder pour valider un site éolien (7)

Quelle est la distance des habitations les plus proches (suite)?

- ◆ Nous préconisons d'augmenter encore un peu cette distance si il y a un vis à vis direct de l'éolienne avec un riverain, c'est à dire que les ouvertures d'une pièce de vie comme la salle à manger donne directement sur l'éolienne sans qu'il y ait interposition d'obstacles entre les 2.
- ◆ Dans le cas d'un habitat aggloméré nous préconisons une distance minimum de 800 m
- ◆ Vis à vis des autres constructions (locaux commerciaux, établissements industriels, bâtiments agricoles), la distance minimum doit être égale à la hauteur hors tout de la turbine

Les questions à aborder pour valider un site éolien (8)

Le site est-il accessible à un convoi d'éoliennes?

- ◆ Les grandes éoliennes représentent des convois lourds et encombrants. Les chemins d'accès doivent être assez larges et pas trop pentus :
 - » En ligne droite, une largeur de 4,5m est nécessaire
 - » dans les virages la largeur doit être d'au moins 5,5m et le rayon de giration intérieur au virage doit être d'au moins 20 m
 - » en ligne droite, les pentes doivent être inférieures à 12% sur sol bitumé et 6% dans les autres cas.
- ➔ Au delà, consulter un BE pour analyser ce point

Les questions à aborder pour valider un site éolien (9)

Quelle est la capacité du réseau local ?

Pour avoir la réponse à cette question il faut écrire à l'ARD de votre région, l'organisme issu d'EDF qui gère les réseaux de distribution

Éventuellement, combien d'éoliennes puis-je y installer?

Cette question se pose lorsque l'on veut faire un gros projet et que l'on a répondu positivement à toutes les questions qui précèdent. A partir de ce moment là, il est préférable de vous faire épauler par un BE dont c'est la spécialité pour voir avec lui la suite à donner à votre projet