

# **Informations pour comprendre** **l'énergie éolienne**

Daniel LIVERNAIS  
Ingénieur électromécanique

## **Ce qu'il faut avoir en tête pour commencer**

- A chaque seconde la demande des consommateurs doit être satisfaite par une production équivalente.
- La puissance du vent dépend de sa vitesse à la puissance trois :  $V^3$ .
- Le vent est variable au cours de la journée, au cours de l'année.
- Le vent est difficilement prévisible avec la précision nécessaire.

## **Les questions sur l'éolien**

### **1- Généralités**

- Production d'électricité d'une éolienne
- Quand et combien une éolienne produit-elle?
- Cas de l'Indre et de la Creuse

### **2- L'intermittence de l'éolien**

- Il y a-t-il toujours du vent quelque part?
- Adéquation production demande
- Primes d'installation et répercussion des coûts

### **3- L'énergie pilotable, pourquoi? Conséquences.**

- Fonctionnement du réseau électrique
- Valeurs comparées du kWh pilotable et intermittent
- Rendre pilotable l'énergie intermittente
- Gestion de l'intermittence par le réseau
- Conséquences de la gestion de l'intermittence

### **4- Ecologie et social**

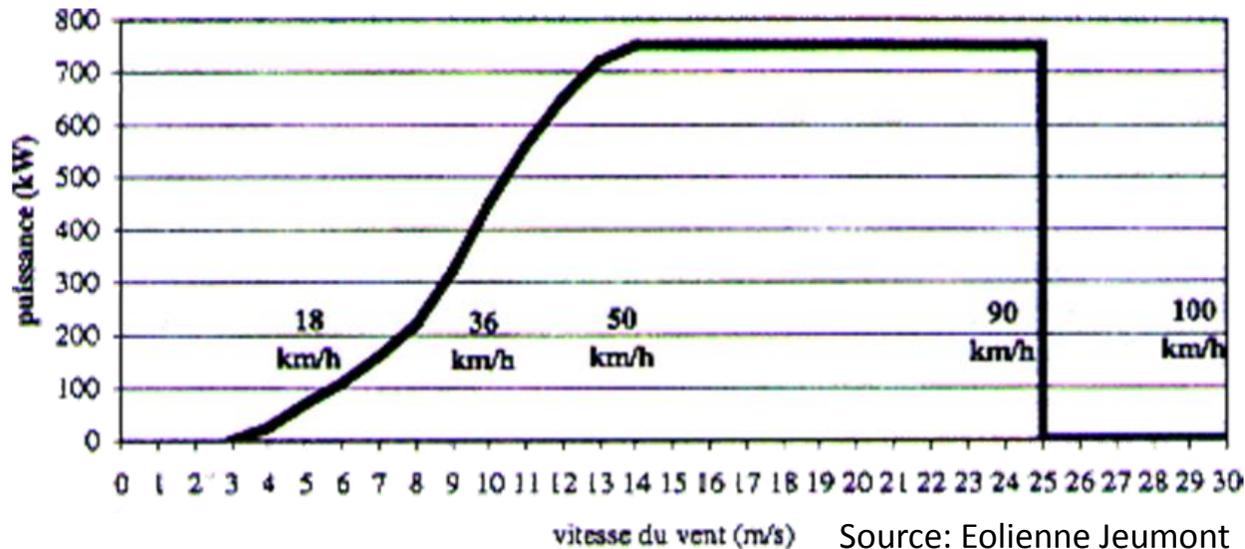
- Nuisances de l'éolienne
- Déconstruction et déchets
- L'industrie éolienne génère-t-elle des emplois
- Pièges du bail emphytéotique

### **5- Publications et annonces trompeuses**

## Généralités

### Une éolienne qui tourne produit-elle de l'électricité?

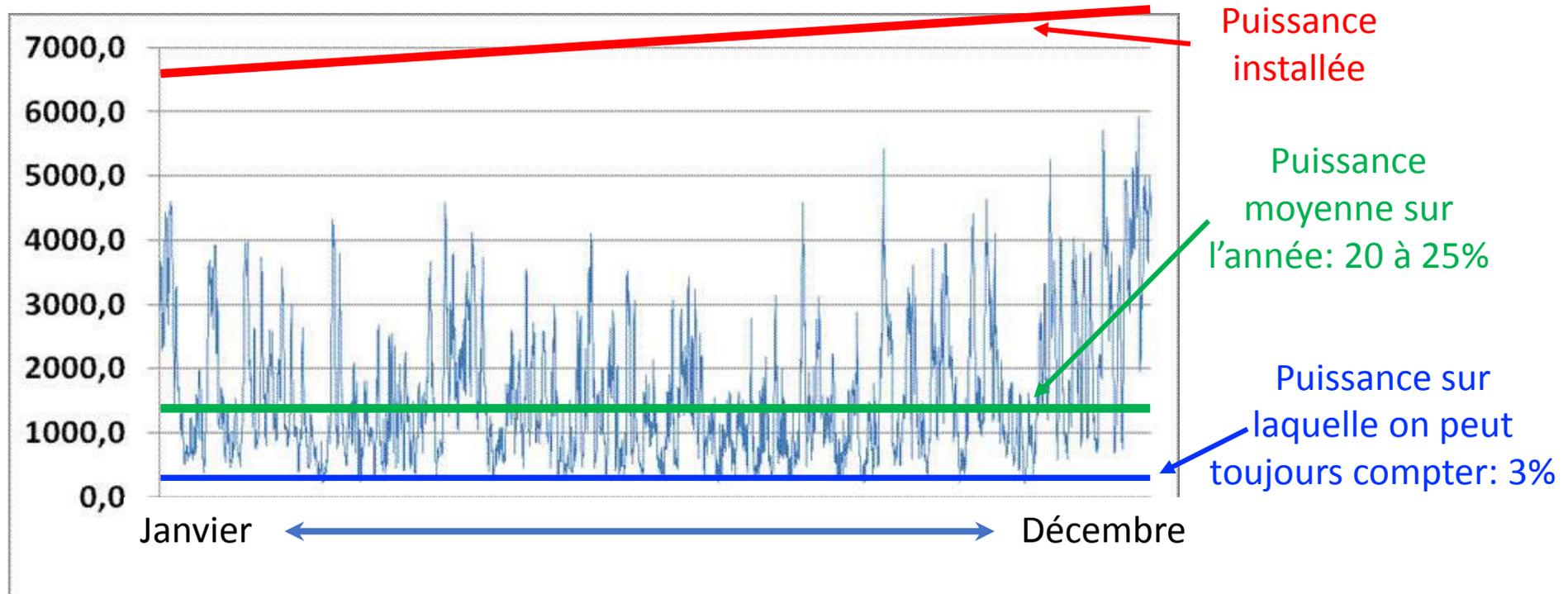
Ça dépend beaucoup du vent:



- ✓ 18 km/h pour commencer à débiter un peu sur le réseau électrique
- ✓ au moins 50 km/h pour avoir la puissance nominale délivrée
- ✓ Au dessus de 90 km/h la production est coupée (limite mécanique)

## Généralités

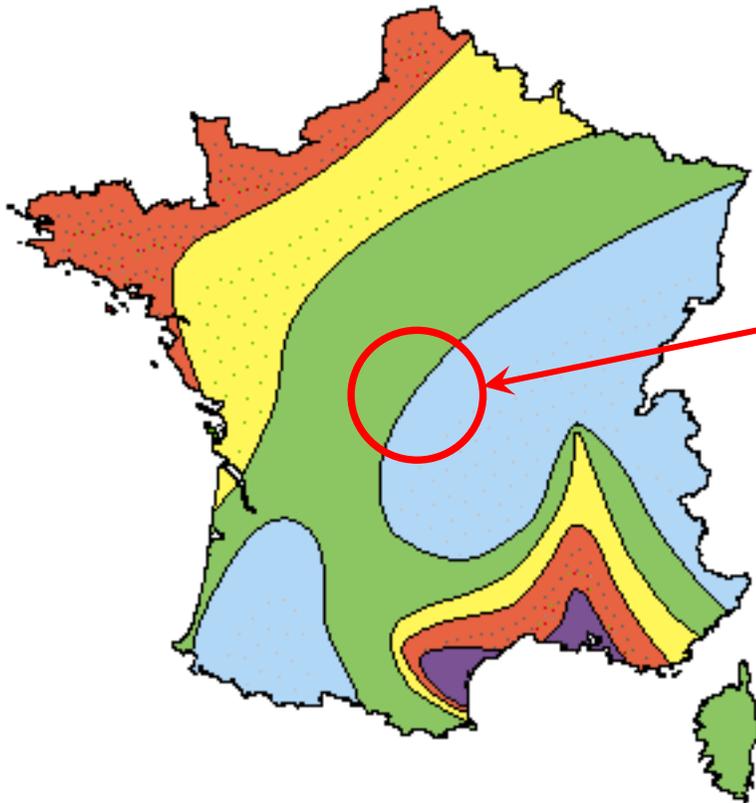
### Quand et combien une éolienne produit-elle?



- La puissance délivrée est extrêmement variable
- La puissance moyenne est de l'ordre de 20 à 25%
- La puissance installée cumulée n'est jamais atteinte
- Ne pas confondre puissance installée et puissance fournie

## Généralités

### Le choix d'un site en Creuse ou en Indre est-il pertinent?



- Notre région est une des moins ventées de France avec une vitesse moyenne du vent de 5 à 5,9 m/s (zone bleue et zone verte)
- Les régions les plus ventées sont les côtes de la Manche avec 8,2 m/s et une partie des côtes méditerranéennes (zones violettes) avec 8,7 m/s
- La production sera inférieure à la moyenne constatée en France

# L'intermittence de l'éolien

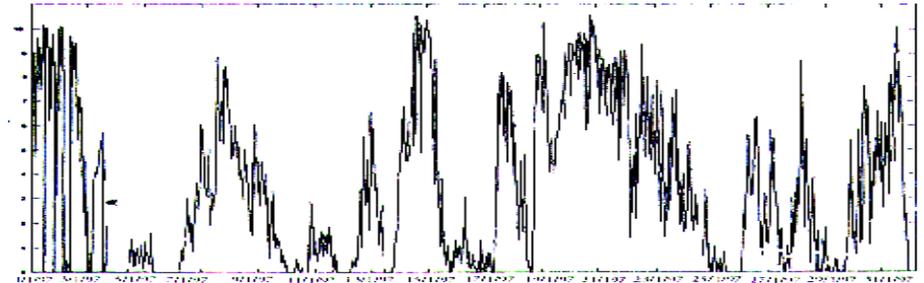
## Questions sur l'intermittence de la production éolienne?

L'éolienne produit en fonction du vent:

Avec des variations très rapides et très importantes

Avec des périodes sans production

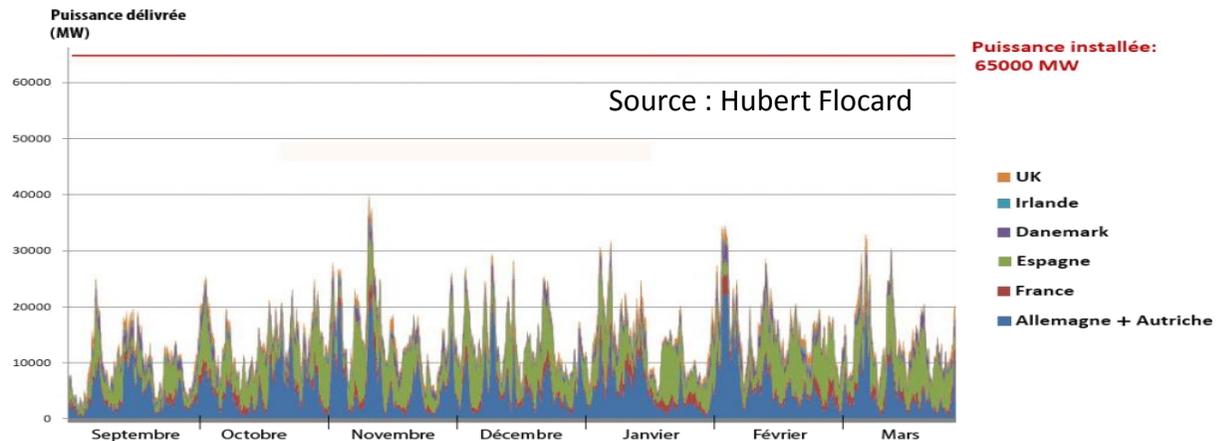
Enregistrement de puissance délivrée par une « ferme » éolienne de 10 MW (située en Grande-Bretagne), au cours du mois de janvier 1997



## Il y a-t-il en Europe une zone ventée quand une autre zone est sans vent?

L'effet de « foisonnement » n'est clairement pas constaté à l'échelle du continent européen :

- Une pointe en novembre à 60%
- Un minimum en septembre de 4%
- En hiver la contribution garantie ne dépasse pas 8%

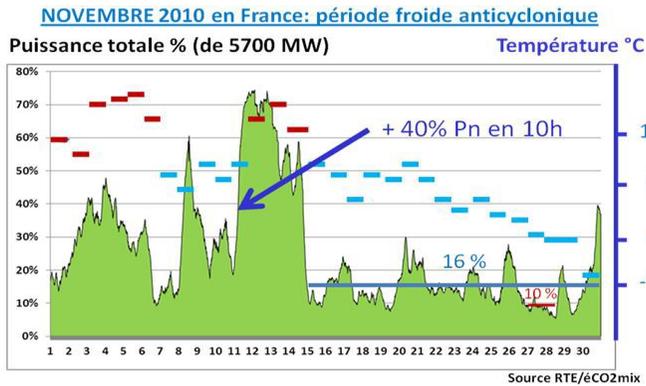


**Il n'y a pas compensation de la baisse en un lieu par une augmentation ailleurs !**

# L'intermittence de l'éolien

## Adéquation production / demande de la production éolienne?

Il y a-t-il correspondance entre le besoin et la production éolienne?

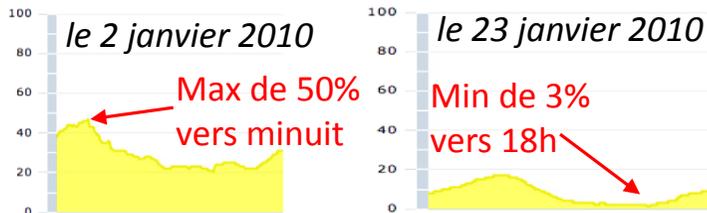


### *Constatations pour l'ensemble du parc éolien Français*

En période dépressionnaire il fait doux: de 7°C à 15°C (rectangles rouges) et le vent est très variable. La puissance varie de 10 à 70%

En période d'anticyclone il fait froid: de 7°C à -5°C (rectangles bleus) et le vent est faible. La puissance moyenne est d'environ 16%

### *Puissance délivrée par le parc éolien espagnol en % de la puissance installée*



Forte production a minuit alors que la demande est faible  
Faible production à 18h alors que la demande est maximum

**Il n'y a pas de corrélation entre demande et production!**

## L'intermittence de l'éolien

### Une éolienne génère de l'électricité à quel coût et qui paye?

Compte tenu des conditions de vent ( puissance moyenne délivrée = 23% de la puissance installée seulement):

- Pour l'éolien terrestre en 2013 on arrive à 0,09 € par kWh
- Pour l'éolien en mer, en estime à 0,23 € par kWh, compte tenu des difficultés d'installation
- Ces prix ne comprennent pas les coûts des centrales qui produiront quand le vent sera faible
- En France le prix moyen de production est de 0,05 € par kWh

#### **Comment sont compensés les surcoûts:**

- ✓ EDF ,dans le cadre de sa mission de service public, est tenu d'acheter l'électricité éolienne à un coût fixé, qui engendre un surcoût pour l'entreprise.
- ✓ C'est aussi vrai pour les autres énergies renouvelables avec des surcoûts encore plus élevés.
- ✓ Pour compenser ces surcoûts, **une ligne CSPE est apparue sur vos factures** d'électricité quelque soit votre fournisseur
- ✓ Le montant de la CSPE est fixé par la CRE (commission de régulation de l'énergie)
- ✓ 0,3 centimes d'€ par kWh en 2002 et 2,25 cts d'€ en 2020 soit 650% d'augmentation
- ✓ La CSPE a été plafonnée par l'état pour ne pas affoler le consommateur

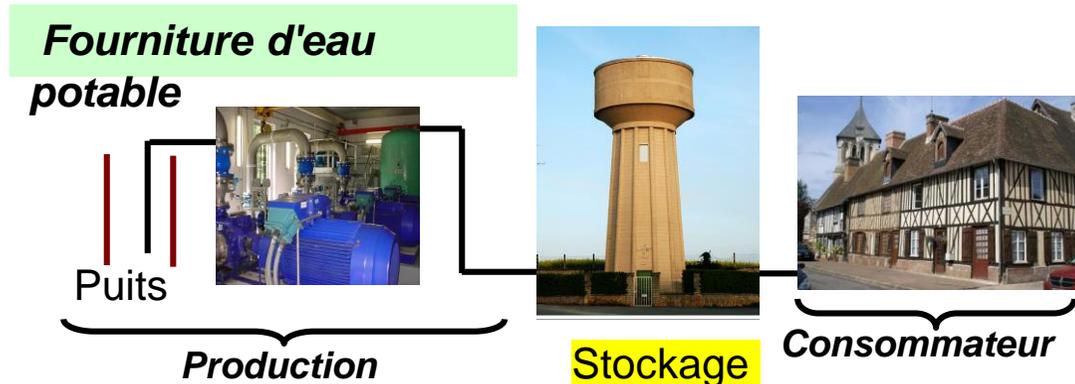
La CSPE ne couvre pas la totalité des surcoûts, restait à charge d'EDF 5 milliards de surcoûts cumulés en 2012

En 2020 la CRE estime le surcoût annuel de l'éolien à 3 milliards par an pour EDF.

**Comment l'état, par sa politique énergétique, compensera-t-il les milliards supportés par EDF?**

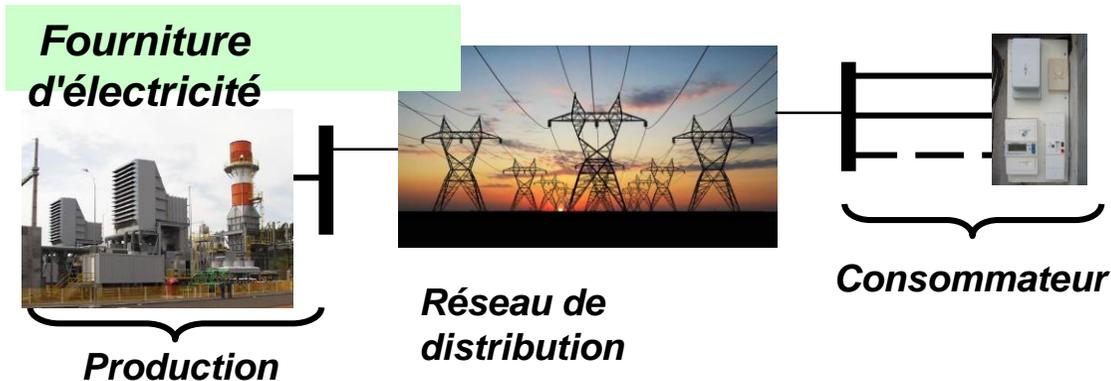
# L'énergie pilotable, pourquoi? conséquences

## Pourquoi le réseau a-t-il besoin d'une énergie pilotable?



La production d'eau peut être intermittente tout en garantissant la fourniture d'eau au consommateur quand il le désire  
Il faut juste que la production moyenne sur une période corresponde à la demande

**La production peut se permettre d'être intermittente, le château d'eau va compenser**



Il n'y a pas d'accumulateur entre la production d'électricité et le consommateur  
A chaque seconde il faut que la production s'adapte à la demande du consommateur

**Faute de s'adapter très rapidement le réseau s'effondre en quelques minutes**

**La production doit être pilotable pour garantir l'équilibre du système électrique**



**Perte d'une partie du réseau US pendant des heures**

14 Août 2003 aux USA

## **L'énergie pilotable, pourquoi? conséquences**

### **1 kWh d'énergie intermittente vaut-il 1 kWh d'énergie pilotable?**

***Prenons un exemple:***

Un train de passagers a besoin de 2 000 kWh pour faire un trajet entre deux villes

Un train est alimenté avec une énergie pilotable l'autre avec des éoliennes

	<b>il dispose d'une énergie pilotable</b>	<b>il dispose d'une énergie intermittente éolienne</b>
Heure de départ	A l'heure prévue	A l'heure prévue s'il y a du vent sinon quand le vent soufflera
Le voyage	Le conducteur pilote le train à la vitesse souhaitée pour respecter l'horaire	Le train ralenti quand le vent baisse, il s'arrête quand le vent ne souffle plus
Heure d'arrivée	A l'heure prévue	Cela dépend du vent, on arrive quand on arrive

**Le service est très différent pourtant ces deux trains ont reçu 2 000 kWh chacun**

**Le kWh intermittent a une valeur bien inférieure au kWh pilotable**

## **L'énergie pilotable, pourquoi? conséquences**

### **Peut-on rendre pilotable une énergie intermittente?**

**Reprenons notre exemple du train:**

J'ajoute au train une motrice diesel qui se substitue à l'éolien en cas de vent défaillant

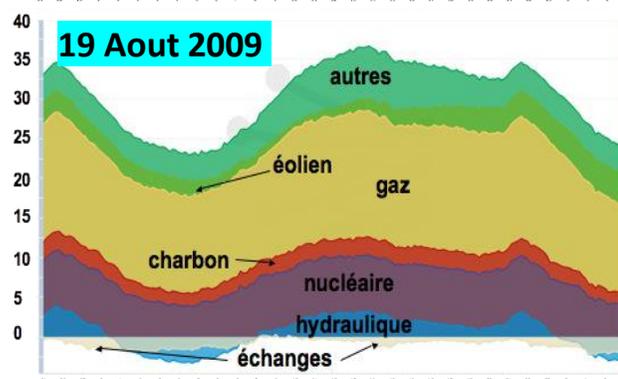
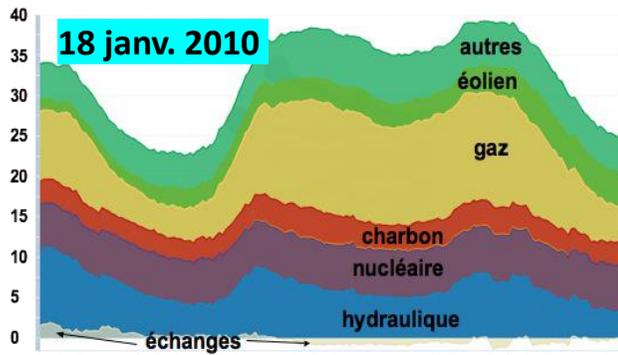
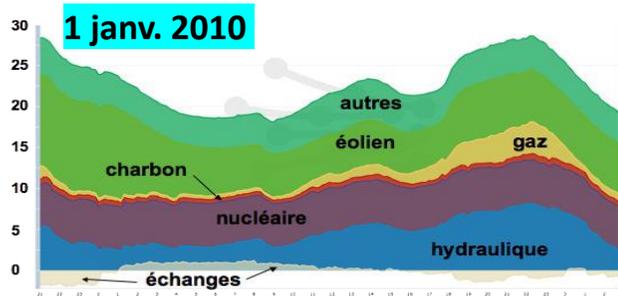
	<b>il dispose d'une énergie intermittente éolienne</b>	<b>Il dispose en plus d'une motrice autonome diesel</b>
Heure de départ	A l'heure prévue s'il y a du vent sinon quand le vent soufflera	Grace à la motrice le train partira à l'heure même si le vent est faible
Le voyage	Le train ralenti quand le vent baisse, il s'arrête quand le vent ne souffle plus	Si le vent baisse la motrice compensera le déficit de vent pour respecter l'horaire
Heure d'arrivée	Cela dépend du vent, on arrive quand on arrive	Il arrivera à l'heure prévue

- **En ajoutant la motrice le service devient le même qu'avec l'énergie pilotable**
- **L'éolienne ne s'est pas substituée à la motrice mais s'est ajoutée à la motrice**
- **Le gain est seulement un gain de carburant quand il y a du vent**

**Pour être comparée au pilotable il faut ajouter le secours à l'intermittent**

# L'énergie pilotable, pourquoi? conséquences

## Gestion de l'intermittence de la production éolienne : cas de l'Espagne



La puissance appelée totale culmine à 30 GW

Le nucléaire délivre une puissance identique toute la journée

C'est l'hydroélectricité qui ajuste la production à la demande

L'éolien fait une part importante jusqu'à 40% de la demande

*Nous avons eu un communiqué de presse*

La puissance appelée totale culmine à 40 GW

Le vent a faibli et ne produit plus que 5% à 10% de la demande

Le nucléaire reste au même niveau de production

L'hydroélectrique gère sa réserve dans les barrages

C'est le gaz qui produit l'essentiel de ce que l'éolien a perdu aidé

par le charbon *La presse n'en a pas parlé*

En été l'hydroélectrique n'a pas beaucoup d'eau et ne vide pas ses barrages

Le nucléaire reste au même niveau de production

C'est encore le gaz qui compense l'absence d'éolien toujours aidé par le charbon

Note: l'Espagne dispose aussi de 2 régimes de vents: Atlantique et Méditerranéen mais il y a des jours avec presque rien

*La presse n'en a pas parlé non plus*

# **L'énergie pilotable, pourquoi? conséquences**

## **Conséquence de la gestion de l'intermittence de la production éolienne**

En Espagne comme dans l'exemple du train c'est le gaz et le charbon qui assurent la continuité

- L'utilisation de l'éolien nécessite l'installation ou le maintien d'autres centrales
- L'investissement dans l'éolien n'est pas à la place d'un autre mais en plus d'un autre
- Le double investissement n'est compensé que par le gain du combustible quand le vent est utilisable, car une centrale thermique fonctionne à coût pratiquement fixe seul le combustible est variable
- **L'Espagne a cessé de subventionner les promoteurs depuis 2012**

Pour être correct:

- Le surcoût du double investissement doit être imputé à l'éolien.
- La production de gaz à effet de serre des centrales de substitution doit être imputé à l'éolien

## **Cas de la France ou de l'Allemagne**

- ❑ L'installation d'éoliennes nécessite de garder les moyens actuels en secours par vent inexploitable
- ❑ Il est donc erroné de penser que pour chaque GW d'éolien on arrête une tranche nucléaire.  
En fait il faudrait dire 4 GW d'éolien compte tenu de la production moyenne des parcs éoliens.
- Hypothèse n°1: Si l'éolien est secouru majoritairement par le nucléaire: (cas de la France)
  - ✓ le gain de l'éolien n'est que le coût du combustible nucléaire économisé: presque négligeable
  - ✓ c'est une opération neutre pour le climat (pas de gain sur les gaz à effet de serre)
  - ✓ **C'est juste plus cher sans bénéfice réel pour le climat**
- Hypothèse n°2: Si l'éolien veut remplacer le nucléaire: (c'est le cas en Allemagne)
  - ✓ il faut construire des centrales à combustibles fossiles en secours par vent inexploitable.
  - ✓ **Le CO2 produit aggrave l'effet de serre. C'est l'inverse de ce qui était recherché!**

# **Déconstruction, écologie, et social**

## **L'industrie éolienne est-elle exempte de nuisances?**

### **Le bruit**

- Une éolienne produit un bruit permanent mais aussi un bruit pulsé dû au passage des pales devant le mat.
- Une éolienne produit des infra-sons que nous n'entendons pas mais dont les conséquences physiologiques sont en cours d'études.
- C'est ce bruit pulsé et les infra-sons qui sont de nature à perturber les organismes des hommes et des animaux.
- L'article L553-1 du code de l'environnement proscrit les éoliennes à moins de 500 m des habitations ou des terrains constructibles. En Allemagne c'est 1000 m.

### **La glace**

- Quand il fait froid et que l'humidité est élevée, les pales peuvent se charger de glace
- La glace peut être éjectée et constitue alors un danger là où elle va tomber.
- Les constructeurs préconisent de décembre à mars de :
  - ✓ limiter la circulation aux abords des éoliennes,
  - ✓ respecter formellement l'interdiction d'accès aux plateformes des éoliennes.
- Des panneaux sont généralement installés sur site signalant la zone potentiellement dangereuse.
- Ce risque est aussi valable pour les animaux qui pâturent.

# Déconstruction, écologie, et social

## L'industrie éolienne est-elle exempte de déchets?

Une éolienne a une durée de vie de 20 à 25 ans, ensuite il faudra la déconstruire  
Si le mât et la partie électromécanique sont en grande partie recyclables ce n'est pas le cas des pales en composite



*Crédits : Getty, Google Earth, Wyoming News Now*

- A Casper dans le Wyoming, on a enfoui dans son sol les morceaux de 870 pales
- Aux États-Unis, chaque année, se sont **8000 pales** qui sont remplacées.
- le **temps de dégradation** des « cadavres » de pales est inconnu.
- les morceaux constituent une pollution de la terre pendant des millénaires

**Les cimetières à pales sont condamnés à rester pour l'éternité**

# Déconstruction, écologie, et social

## L'industrie éolienne est-elle exempte de nuisances et de déchets?

### *Qu'en est-il des fondations?*

La fondation n'est pas visible mais elle est très importante en volume de béton

### **Crennes-sur-Fraubée (Mayenne) Vestas V90 2MW**

Diamètre du massif de fondation: 20 m  
Hauteur du massif de fondation: 2,6 m  
Poids du massif de fondation: 1 000 tonnes

C'est seulement la partie haute qui sera excavée  
Les bases des socles seront enfouis pour l'éternité  
Et tous les 20 à 25 ans on en fera d'autres  
Ce sont des milliers de galettes qu'il faut considérer sur l'ensemble du territoire Français



Auteur : Denis53 - Source :  
[Club VTT de Villaines-la-Juhel en Mayenne](#)

#### **Article R553-6 du code de l'environnement**

Les opérations de démantèlement et de remise en état d'un site après exploitation comprennent :

a) Le démantèlement des installations de production ;

**b) L'excavation d'une partie des fondations**

# Déconstruction, écologie, et social

## Une éolienne génère-t-elle des emplois en France?

D'où  
viennent  
les  
éoliennes  
françaises  
(2011)

	PAYS	PUISSANCE MW FIN 2011
ENERCON	ALLEMAGNE	1600
VESTAS	DANEMARK	1392
Repower	DANEMARK	1298
NORDEX	ALLEMAGNE	1032
GAMESA	ESPAGNE	664
SIEMENS	ALLEMAGNE	270
GE	USA	220
ALSTOM	ESPAGNE	219
VERGNET	FRANCE	82
	TOTAL	6777

Source EurObserv'ER

- A fin 2012 on a installé 7 450 MW de puissance annoncée
- Ne produira pas plus que 1 700 MW en moyenne
- Pour un coût de 11 milliards d'Euros d'investissement dont la majorité a financé et produit des emplois hors France

# **Déconstruction, écologie, et social**

## **Pourquoi le propriétaire des installations loue-t-il les terres au lieu de les acheter?**

- Il faut environ 2 ha pour installer une éolienne de taille 2 MW ; le terrain agricole coûte en moyenne 15 000 €/ha, ce qui fait un coût de 30 000 € pour le terrain d'une éolienne.
- Or il propose 6 000 € par an au propriétaire sur la durée du bail soit, pour 30 ans, 180 000 €

## **Attention au piège du bail emphytéotique**

- ✓ Il s'agit d'un bail emphytéotique qui est fait pour une durée définie de 30 ans, **il engage sa succession**
- ✓ A l'expiration de la période le terrain revient à son propriétaire ainsi que toutes les « améliorations » que son locataire a pu y faire! L'éolienne en particulier, les accès et autres détails.
- ✓ Si la déconstruction et ses détails ne sont pas prévus au bail, elle revient au propriétaire du terrain
- ✓ **La déconstruction de l'éolienne peut coûter de l'ordre de 400 000 à 500 000 €**
- ✓ La déconstruction est obligatoire de par la loi article R553-6 du code de l'environnement
- ✓ **Les 180 000 € perçus pendant les 30 ans ne suffiront pas à la déconstruction**

## **Autre piège**

- ✓ L'achat à coût subventionné du kWh par EDF n'est prévu que pour 15 ans, la rentabilité diminue ensuite
- ✓ A l'issue du bail le promoteur, basé à l'étranger, met sa filiale qui gère la centrale éolienne en faillite
- ✓ la faillite peut intervenir avant, le propriétaire ayant escompté des revenus sur 30 ans sera le dindon.
- ✓ Le promoteur ayant disparu, l'obligation de déconstruction revient donc au propriétaire du terrain.
- ✓ La loi oblige le promoteur à constituer une provision de 50 000 €, ce sera largement insuffisant pour le propriétaire qui devra assumer les 90% restant de la déconstruction. Généralement il ne pourra pas.
- ✓ **C'est la collectivité qui après avoir payé les subventions payera aussi la déconstruction**

## Publications et annonces trompeuses

### Quelques annonces trompeuses qui ne résistent pas à l'analyse



#### *Annoncé au porte voie par ConsoGlobe mais aussi par d'autres*

En 2009 s'est installée dans le monde une puissance de 37 500 mégawatts (MW) d'éoliennes, soit l'équivalent en puissance de 23 réacteurs nucléaires EPR.



#### **Vous êtes amenés à penser que toutes ces éoliennes produiront autant que les 23 EPR?**

- c'est vrai que les puissances installées sont équivalentes, mais l'intermittence va pénaliser largement les éoliennes en terme d'énergie produite.
- La production a lieu quand le vent est favorable et non au moment où le consommateur en a besoin.
- les 23 EPR produiront 4 fois plus d'énergie (pas d'intermittence) et, au moment où on en a besoin

**Il ne faut pas confondre les MW et les MWh c'est dire l'énergie et la puissance**

## Publications et annonces trompeuses

### Quelques annonces trompeuses qui ne résistent pas à l'analyse



***Annoncé au porte voie par ConsoGlobe  
mais aussi par d'autres***



Au 31 dec. 2009, il y avait en France 2 914 éoliennes d'une puissance égale à 4 réacteurs nucléaires de 1 200 MW ; elles ont fourni 1,6% de la consommation française d'électricité.

**Vous pensez donc qu'on aurait pu arrêter 4 réacteurs des 2009?**

- est vrai que les éoliennes ont fourni 1,6% de la consommation
- Cette production a lieu quand le vent est favorable et non quand le consommateur en a besoin
- avec une disponibilité moyenne de 80%, 4 réacteurs nucléaires de 1 200 MW ont produit 8,5% de la consommation soit 5 fois plus
- Ces 2 914 éoliennes n'ont même pas produit l'énergie d'un seul de ces réacteurs alors qu'on les annonce à puissance égale

**Il ne faut pas confondre les MW et les MWh c'est dire l'énergie et la puissance**

## **Publications et annonces trompeuses**

### **Quelques annonces trompeuses qui ne résistent pas à l'analyse**



***Annoncé au porte voie par ConsoGlobe  
mais aussi par d'autres***

Une éolienne d'une puissance de 2 MW produit annuellement environ 4 400 mégawattheures, soit la consommation électrique d'environ 2 000 personnes.



**Vous êtes amenés à penser que 2 000 personnes pourront se passer des autres sources?**

**Par contre ces personnes :**

- s'éclaireront à la bougie les soirs sans vent
- Se lèveront à 2 h du matin pour regarder la télé parce que le vent s'est levé
- La chaudière à gaz a besoin d'électricité donc il y aura du chauffage quand il y aura du vent
- Le congélateur est un concept à oublier avec une énergie intermittente

**Ces 2 000 personnes auront une vie bien inconfortable sans l'aide extérieure**

***L'opinion est quelque chose d'intermédiaire  
entre la connaissance et l'ignorance.***

**Platon (Philosophe)**