

# Réflexions sur l'énergie éolienne

---

Francis Massen  
francis.massen@education.lu

1.

Produire de l'énergie électrique sans rejets, en utilisant une source naturelle librement disponible est certainement attractif. L'utilisation de l'énergie du vent pour produire du courant électrique n'est pas une découverte des mouvements verts, mais fait partie de l'histoire industrielle et technologique des débuts du 20<sup>e</sup> siècle. Ce qui est nouveau, c'est l'essor de l'industrie éolienne grâce aux subsides faramineux accordés par les pouvoirs publics, comme réponse à une inquiétude (fondée ou non) de dérangement climatique global causé par les rejets des combustibles fossiles.

Disons-le d'une façon nette et claire : sans subsides permanents (aides directes ou « tarif feed-in » (Einspeisevergütung) le complexe techno-éolien moderne que nous connaissons n'existerait pas dans sa forme actuelle.

2.

Utiliser le vent comme source d'énergie additionnelle semble néanmoins raisonnable, à condition d'en connaître les limites et les contraintes, et de ne pas prendre les vessies pour des lanternes. J'ai été probablement le seul professeur de physique du secondaire au Luxembourg qui pendant de nombreuses années à traité avec les élèves les questions de bases de l'éolien ; ceci avec mes recherches privées font que je connais les faits.

La première loi fondamentale à été établie en 1919 par l'ingénieur allemand Albert Betz (1885 – 1968) et publiée en 1926 dans son livre « *Wind-Energie und ihre Ausnutzung durch Windmühlen* » : elle donne la puissance maximale que l'on peut extraire de la vitesse du vent, indépendamment du type d'éolien utilisé.

Selon cette loi une éolienne ne peut pas utiliser plus que les 16/27 (= 60% approx.) de la puissance du vent soufflant. La force qu'exerce le vent sur une surface de 1m<sup>2</sup> perpendiculaire à sa vitesse est  $F = 0.5 \cdot \rho \cdot v^2$ . (unités SI).

Si le vent souffle p.ex. avec une vitesse de 12 m/s, sa puissance, qui est  $P = F \cdot v$  devient  $P = 0.5 \cdot \rho \cdot 12^3$  W/m<sup>2</sup>

Le facteur rho est la masse volumique de l'air. En prenant  $\rho = 1.25$  kg/m<sup>3</sup>, on trouve ainsi une puissance maximale disponible de

$$P = 0.5 \cdot 16/27 \cdot 1.25 \cdot 12^3 = 640 \text{ W par m}^2 \text{ de surface ailée utilisable.}$$

La surface à retenir est celle balayée par les rotors. Pour des rotors de 50m de rayon (comme la Nordex N100) on atteint ainsi  $640 \cdot \pi \cdot 50^2 = 5$  MW ; le modèle N100 est vendu comme une éolienne de 2.5 MW, ce qui montre qu'en réalité la formule de Betz donne une grandeur théorique maximale que l'on ne peut pas atteindre en pratique.

Il est remarquable que le nombre de  $640 \text{ W/m}^2$  est du même ordre de grandeur que la puissance envoyée par le soleil, qui par beau temps d'été peut atteindre  $1000 \text{ W/m}^2$  sur une surface bien orientée.

De là une première conclusion : l'énergie éolienne, fille de l'énergie solaire, est d'un même ordre de grandeur : c'est une énergie diffuse qui demande de grandes surfaces pour « faire du volume ».

3.

Les éoliennes les plus récentes sont des constructions formidables, et témoignent du génie des ingénieurs qui les ont développés. Malheureusement les résultats qu'en tirent les différents mouvements de pression s'approchent plus du mensonge pur et dur que d'une appréciation intelligente. En effet, ce qui compte finalement sont deux caractéristiques :

- combien d'énergie l'éolienne a-t-elle produite en une année par rapport à sa puissance spécifique (facteur de capacité, Lastfaktor, capacity factor)
- pendant combien de temps cette énergie a-t-elle été disponible (disponibilité, « availability »)

Au Luxembourg, mes calculs sur les données précises du parc de Heinerscheid fournissent une réponse d'environ 20% à la première question.

Une grande éolienne de 2.5MW pourrait théoriquement fournir  $2.5 \cdot 8760 = 21900 \text{ MWh}$  en une année ; en fait elle n'en fournit qu'environ  $4380 \text{ MWh} = 4380000 \text{ kWh}$ . Avec une consommation moyenne par ménage de  $10000 \text{ kWh/an}$ , ceci serait donc théoriquement suffisant pour 438 ménages. On lit à ce sujet des nombres souvent purement fantaisistes, obtenus en prenant une consommation par ménage ridiculement basse et une disposition éolienne quasi permanente.

Si l'on s'intéresse sur l'impact de l'éolien pour tout un pays, un site intéressant est celui de Eirgrid (Ireland), qui donne les données de production actuelles et passées, et qui montre également la différence entre ce qui est réellement produit et ce que les modèles avaient prévus :

<http://www.eirgrid.com/operations/systemperformancedata/windgeneration/>

Pour toute l'année 2010, le facteur de capacité de ce pays venteux a été seulement de 23%. La différence maximale entre prévision et production réelle a été presque de 1215 MW pour une puissance de 1425 MW installée (ce qui signifie que ce jour on s'était trompé du fond en comble !). En plus, la tendance générale est plutôt à la baisse, comme le montre la figure suivante : on assiste à une lente érosion annuelle d'environ 1% du facteur de capacité (la flèche rouge représente le calcul de la régression linéaire). Cette tendance, si elle se confirme dans les années suivantes, est vraiment inquiétante pour tous les exploitants de l'énergie éolienne. Est-elle le signal d'une modification climatique durable, ou représente-t-elle seulement une partie d'un cycle pluriannuel encore inconnu ?

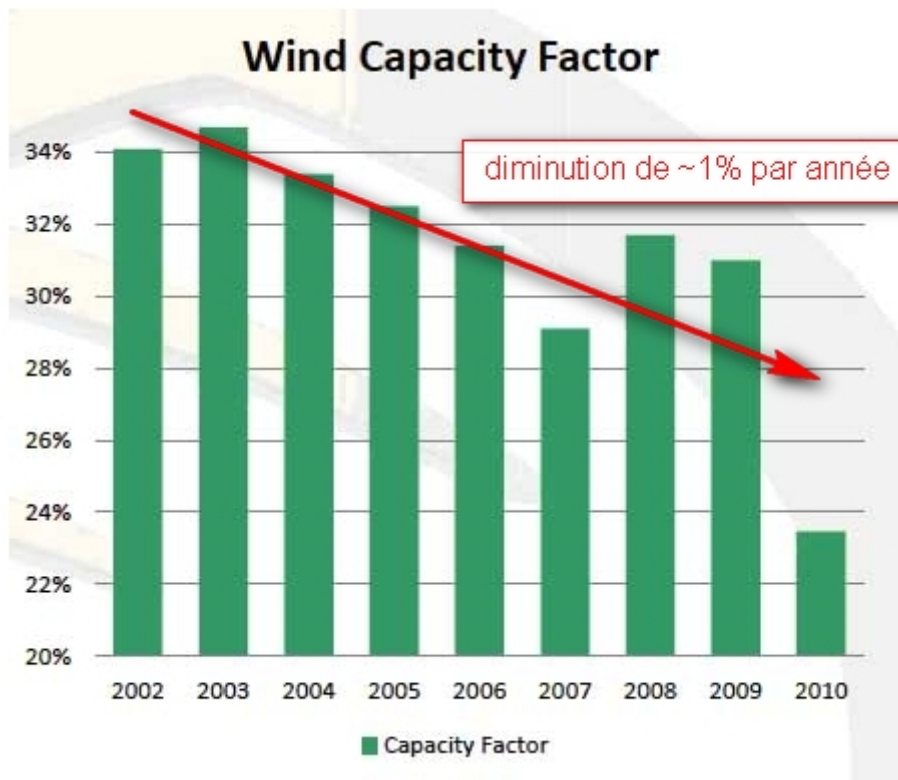


Fig.1

La figure 2 suivante montre la situation irlandaise journalière pour le 26 juin 2011 :

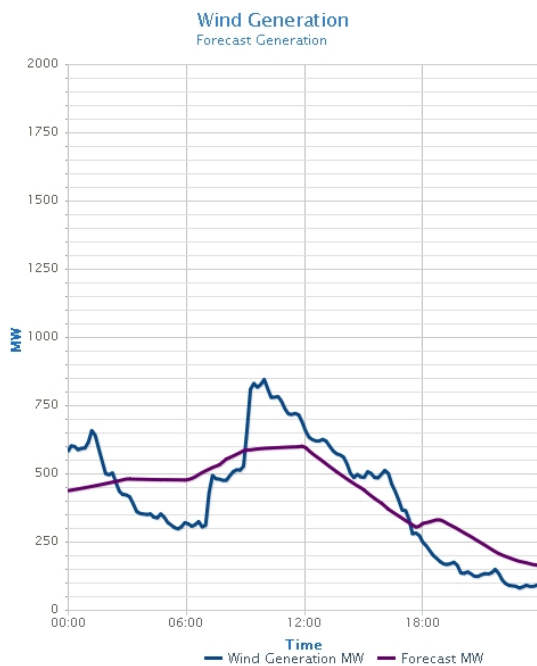


Fig.2

Remarquez que la puissance fournie fluctue de façon dramatique : d'un maximum de 800 MW de durée très réduite (~2 heures) à un minimum de 100 MW qui s'étendra sur une durée d'au moins 6 heures; le lendemain le maximum ne dépassera pas les 250 MW.

Aucun réseau électrique ne peut supporter de telles variations (puisque l'électricité produite doit être consommée tout de suite), de sorte que tout un tas de processus régulateurs rapides doivent venir en aide pour stabiliser le réseau : stations de pompes hydrauliques (genre SEO-Vianden) pour écrémer les pointes et fournir du courant d'appoint, turbines à gaz et éventuellement stations thermiques au fuel ou au charbon pour assurer un minimum garanti (la fameuse « base load »). Il n'existe pas beaucoup de stations de pompes, qui sont des constructions extrêmement chères et voraces de terrain. La SEO p.ex. dépense ca. 150 millions d'Euros pour sa machine M11 de 200 MW, qui pourrait intervenir rapidement (quelques minutes) pour utiliser ce qui est de trop ou fournir de l'énergie d'appoint (pendant 4 heures environ).

Actuellement les turbines à gaz constituent les stations de soutien les plus faciles à mettre en route (temps de constructions relativement courts, moins de rejets de CO2 qu'une station au charbon équivalente, meilleure réactivité). On peut donc dire que sans l'énergie fossile l'énergie éolienne ne pourrait pas exister. C'est d'ailleurs ce qu'ont compris les allemands, qui suite à l'abandon du nucléaire doivent se relancer maintenant dans la construction de stations polluantes, fortement émettrices de ce gaz CO2 qui il y a quelques mois encore était synonyme pour eux de fin du monde.

4.

De plus en plus souvent, ces mécanismes régulateurs deviennent insuffisants ; surtout par périodes très venteuses et une demande énergétique faible les propriétaires des parcs éoliens sont payés pour ne pas fournir du courant électrique!

## Warum negative Strompreise an der Strombörse? European Energy Exchange EEX Leipzig, EEX Spotmarkt,

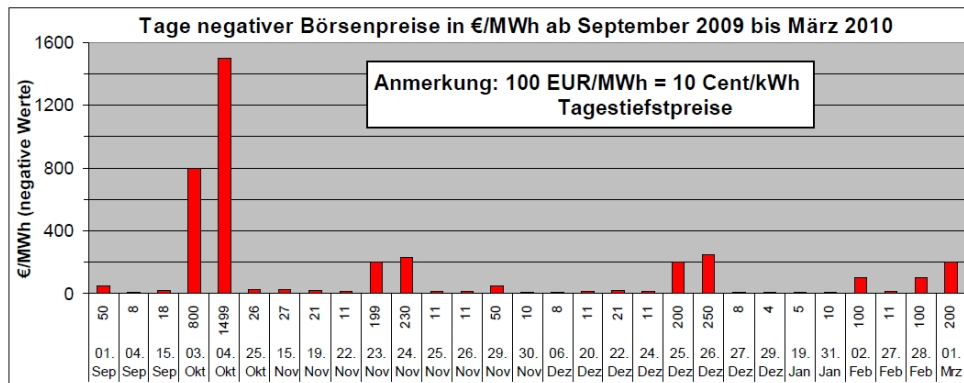


Fig.3

Ce graphique du Prof. Alt de la TH Aachen montre quant l'énergie éolienne a été « vendue » à prix négatif à la bourse EEX de Leipzig (prix négatif signifie que les clients sont payés pour accepter cette énergie). Sept parcs éoliens écossais ont été payés 625000£ le 24 mai 2011 pour arrêter leurs machines (source : raptorpolitics.org.uk)! Des sommes atteignant 20 fois le prix de l'électricité non générée ont été payées au Royaume Uni pour stopper la production éolienne. Il va de soi que ces paiements se retrouvent (de façon cachée) sur la facture électrique du client final, et qu'il faudrait les ajouter aux sommes gigantesques versées sous forme de subsides directs ou de tarif d'achat préférentiel.

5.

La disponibilité est un deuxième talon d'Achille de l'énergie éolienne. Notre civilisation moderne repose de plus en plus sur un approvisionnement de puissance électrique constant : des millions de machines, d'ordinateurs, de pompes, d'ascenseurs etc. doivent fonctionner en permanence, et nécessitent une alimentation électrique fiable et sans interruptions. Cette énergie peut être fournie sans problèmes par les stations thermiques et nucléaires, et dans une moindre mesure par les installations hydrauliques. Il est impensable d'imaginer un approvisionnement fourni exclusivement par des sources aussi fluctuantes que l'éolien et le solaire. Actuellement les solutions de stockage fonctionnant réellement n'existent que sous forme de prototypes. En fait, il y a plutôt une pléthore de technologies concurrentes, dont aucune n'a démontré pour l'instant une acceptabilité économique et technique : batteries à électrolytes pompées (« flowbatteries »), solutions de changement de phase reposant sur l'énergie latente de fusion de sels, cavernes d'air comprimé, puits d'eau, volumes de pierres chauffées/refroidies couplés à des pompes à chaleur, production d'hydrogène.... Sur le papier toutes ces solutions sont plus ou moins séduisantes, mais presque aucune n'a montré sa viabilité économique et sa capacité d'amplification (c.à.d. peut-on accroître la taille du mécanisme de plusieurs ordres de grandeurs sans tomber sur de nouveaux problèmes ?).

Quelles est la disponibilité historique d'installations existantes ?

La figure 3 suivante montre la situation d'Eirgrid pour mai 2011 :

Il faut bien faire attention comment interpréter ce graphe : la courbe brune donne la puissance théorique disponible au cours des 12 mois précédents : on voit que pendant env. 85% du temps, la capacité théorique était disponible. La capacité théorique n'a rien à voir avec ce qui a été réellement fourni, et ce qui a été disponible à tout moment. On voit que pendant l'année, deux périodes de presque un mois présentent des capacités théorique proches de seulement 75%.

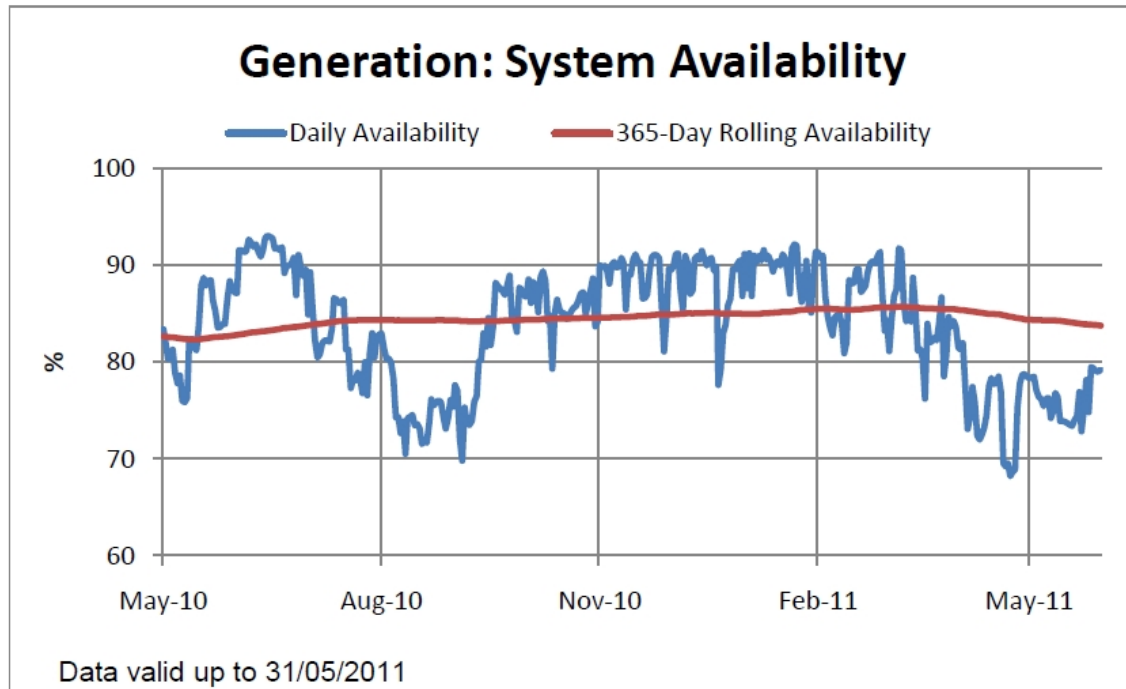


Fig.3

Quelle est la situation qui intéresse le consommateur, c.à.d. comment a varié l'énergie fournie durant ce mois de mai 2011 ?

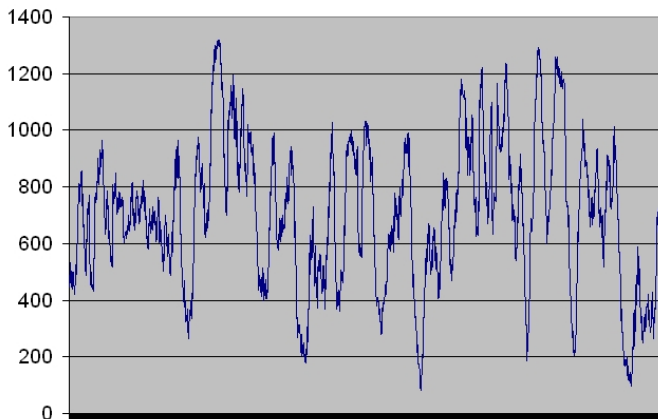


Fig.4

La figure montre que durant ce mois il y a eu au moins 9 périodes où la puissance fournie a été inférieure à 300MW, dont 2 périodes où elle ne dépassait pas notablement 100MW. L'énergie éolienne ne peut pas garantir une fourniture suffisante en permanence, même si la moyenne mensuelle semble suffisante (ici : 700 MW sur 1448 MW installés)

On parle beaucoup de la nécessité de nouvelles lignes de transmission électriques (à haute tension DC, pour minimiser les pertes en lignes) pour pouvoir transporter le courant éolien d'un coin à l'autre de l'Europe. L'argument est que quelque part en Europe le vent soufflera toujours. C'est probablement souvent vrai, mais cette capacité éolienne régionale sera nécessaire pour sa région, et n'est pas toujours disponible à être partagée avec le reste de l'Europe. Entre novembre 2008 et décembre 2010 il y avait 124 occasions où l'énergie éolienne fournie au Royaume Unie fut inférieure à 20 MW (c.à.d. pratiquement

nulle), bien que la moyenne était de 1600 MW. Ces situations avaient une durée moyenne de 5 heures (source : [www.wind-watch.org](http://www.wind-watch.org)). Pendant chacun des 4 points de demande maximale de l'année 2010, la production éolienne fut extrêmement faible : 4.7, 5.5, 2.6 et 2.5% de la capacité installée.

Les premiers jours de décembre 2010, très froids et à production éolienne pratiquement nulle, ont donné un exemple clair de ce qui peut se passer si la météo ne participe pas à l'enthousiasme éolien. Il est faux de dire « que le vent souffle toujours quelque part ». Des périodes anticycloniques froides, étendues et stables ne sont pas infréquentes.

6.

Terminons ces réflexions par une analyse comparée du cycle de vie (LCA = life cycle analysis) des différentes « low carbon » méthodes de production électrique.

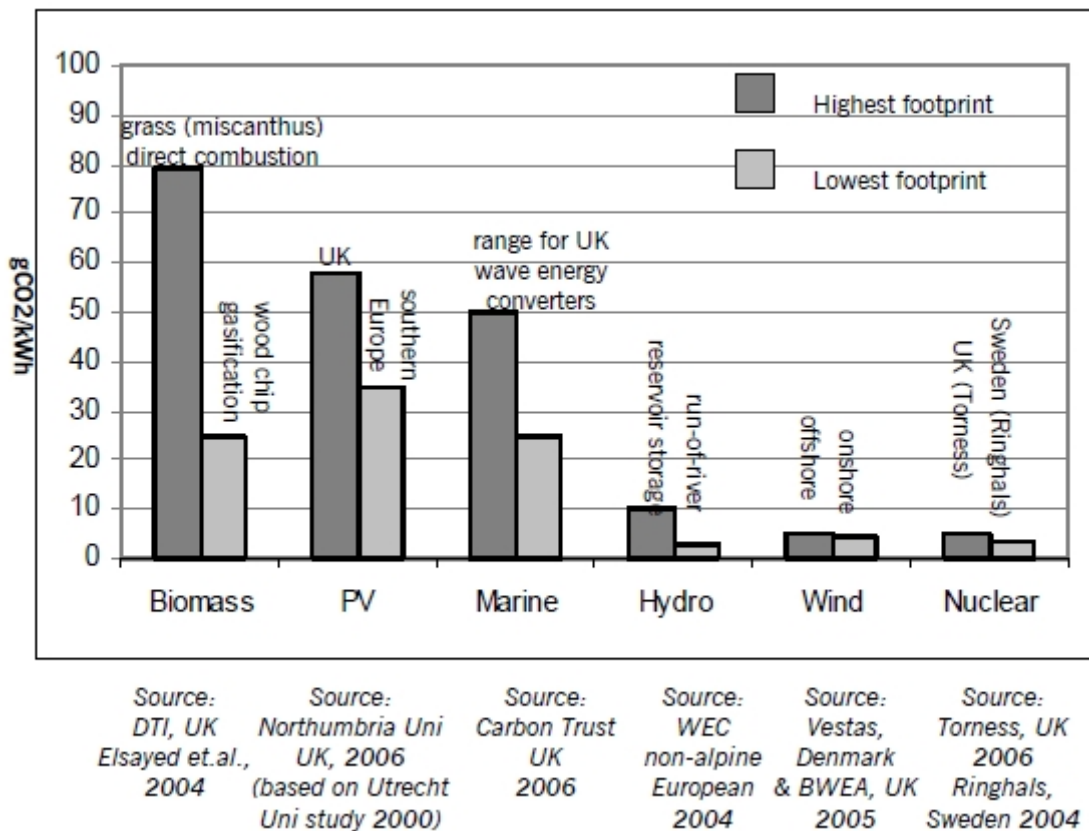


Fig.5

On remarque que l'éolien et le nucléaire sont pratiquement équivalents : 4.64 pour le onshore, 5.25 pour le offshore et 5 gCO2eq/kWh pour le nucléaire. (source : Parliamentary Office of Science and Technology, Oct. 2006, note 268). Les chiffres correspondants pour la production thermique par le charbon sont 800 gCO2eq/kWh, et pour la production par gaz 400 gCO2eq/kWh. On ne peut

qu'être effrayé du prix en émissions que nos voisins allemands acceptent volontiers de payer pour sortir du nucléaire qu'ils estiment être une œuvre diable!

Rappelons que ces chiffres résultent d'une analyse de cycle de vie, et comportent donc toutes les émissions liées aux travaux miniers, sidérurgiques, bétons, transports, démantèlement etc.

## Conclusions

Je ne suis pas un ennemi farouche de l'éolien : c'est une ressource disponible, et donc nous avons intérêt à l'utiliser. Cependant les décisions politiques devraient être honnêtes et claires : Quel est le prix d'une transformation importante de la beauté d'un paysage ? Quelles sont les nuisances réelles sur le voisinage et l'environnement ? Quel est le coût réel de cette technologie ? Pourra-t-elle un jour survivre sans subventions cachées ou ouvertes ? Les problèmes intrinsèques de fluctuations peuvent-ils être réglés sans imposer des restrictions drastiques de liberté (comme le smart grid peut en entraîner) ? Est-il raisonnable de diaboliser une ressource nucléaire peu polluante qui a de formidables capacités d'évolution, en termes de sécurité aussi bien qu'en termes de déchets, et qui sait assurer une production constante et fiable?

Beaucoup de ces questions sont traitées de façon incomplète, partisane et malhonnête. Si on n'arrive pas à une discussion scientifique claire, mettant tous les atouts et défauts sur table, l'éolien restera un vaste champ de bataille de ceux qui veulent à tout prix sauver la planète (qu'ils croient en danger), quelque soient les abandons des achèvements démocratiques et de bien-être des derniers siècles, et des opposants qui ont souvent des arguments solides mais que l'on diabolise en leur collant l'étiquette de NIMBY.