

## Sur une question posée par Jacques Treiner

Dans son exposé sur l'électricité d'origine éolienne, Jean-Pierre Pervès a produit ce graphique (figure 1), extrait d'un rapport aisément téléchargeable de la Société E.ON. Issue d'une étude effectuée par un Institut Universitaire d'Aix-la-Chapelle, cette courbe montre que la capacité relative de substitution d'un parc éolien lorsque la taille de celui-ci est appelée à augmenter au fil du temps.

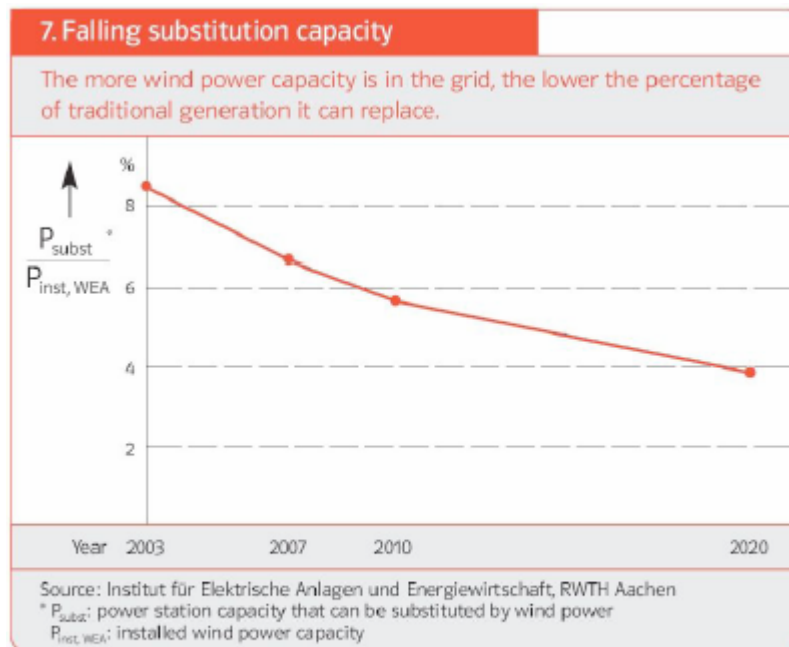


Figure 1.

Ce résultat est contre-intuitif. Il trouve sa justification dans les analyses dues à divers Instituts de Recherche d'Outre Rhin. Pour en comprendre l'origine, il convient de partir de la disponibilité de sources d'énergie au comportement aléatoire.

### Etablissement d'une monome de disponibilité

Tous les générateurs d'électricité sont soumis à des aléas : pannes ou intermittence. Pour fixer les idées, on va raisonner sur un exemple simple. Soit deux générateurs électriques G1 et G2, d'une puissance maximale de 50 MW et affligés d'un taux de panne de 10 %. L'ensemble peut se trouver dans l'un ou l'autre de quatre états, dont on évalue aisément la probabilité (tableau 1).

Tableau 1

Etat du système	G1	G2	Puissance fournie	Probabilité
1	1	1	100 MW	81 %
2	0	1	50 MW	9 %
3	1	0	50 MW	9 %
4	0	0	0	1 %

<sup>1</sup> EON\_Netz\_Windreport2005\_eng

<sup>2</sup> H. Roth, EPS symposium on wind energy, Greifswald, octobre 2009.

A partir de là, on dresse une « monotone de disponibilité » représentée sur la figure 2 qui montre que le fournisseur peut garantir à 99 % une puissance de 50 MW, et à 81 % seulement une puissance de 100 MW. Une telle disponibilité est indépendante de la demande.

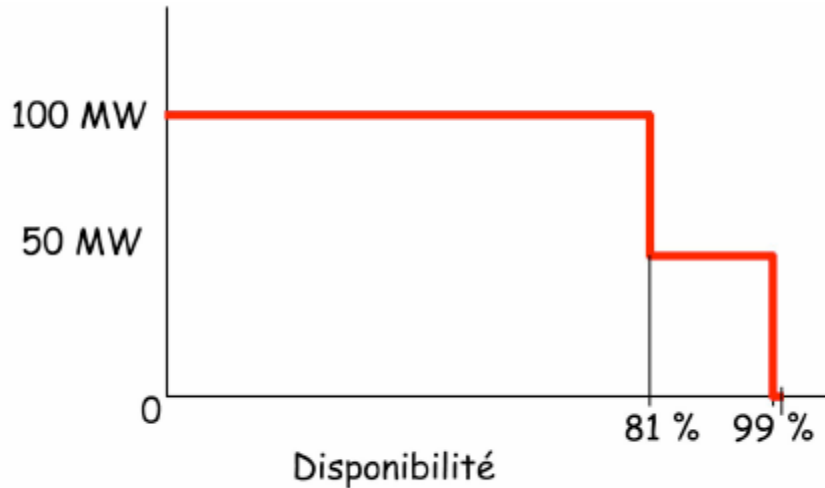


Figure 2. Monotone de disponibilité dans un cas simple.

### Disponibilité d'un Parc Eolien

De la même façon, mais c'est un peu plus compliqué, on construit une monotone de disponibilité pour un ensemble de générateurs intermittents comme un parc éolien. Pour affecter une probabilité à une puissance donnée délivrée par un aérogénérateur, on se base sur la répartition des vitesses de vent. Il convient de choisir avec discernement l'intervalle de temps sur lequel on fait une moyenne, une durée trop grande pouvant fausser le résultat. On voit sur la figure 3, que prendre pour intervalle de temps la journée ou la demi-heure fournit des distributions très différentes. Dans le second cas, la probabilité d'une absence de vent apparaît bien plus grande. L'effet est renforcé pour la puissance puisqu'il faut au moins un vent de 4 m/s (8 nœuds), pour obtenir une puissance significative, *quelle que soit la taille de l'éolienne.*

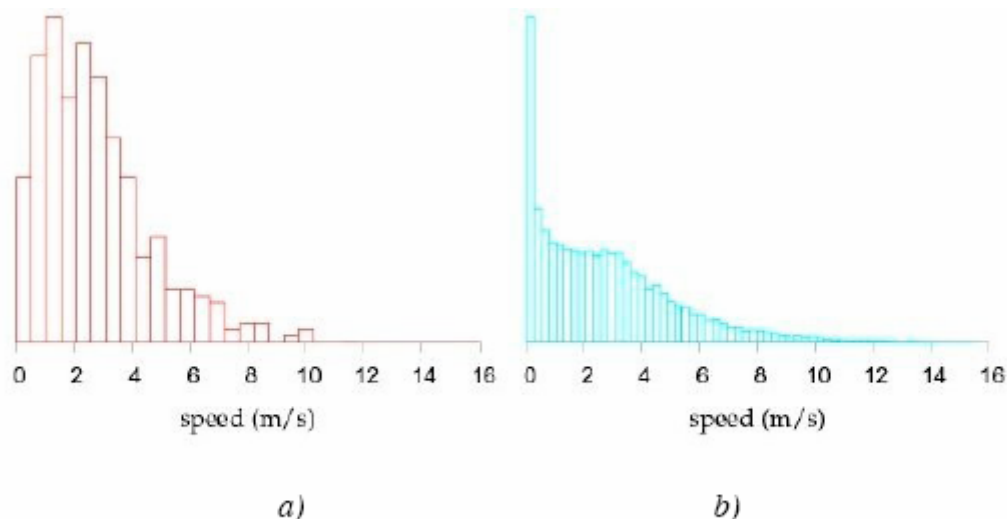


Figure 3. Distributions de la vitesse du vent à Cambridge (UK) relevées par David Mac Kay<sup>1</sup> en prenant comme intervalle de temps : a) la journée ; b) la demi-heure.

La monotone de disponibilité produite par E.ON pour l'année 2004 (figure 4), a été établie en prenant pour intervalle de temps le quart d'heure. Elle s'applique à des éoliennes à terre (« onshore »). La puissance moyenne est garantie à un peu moins de 4 %.

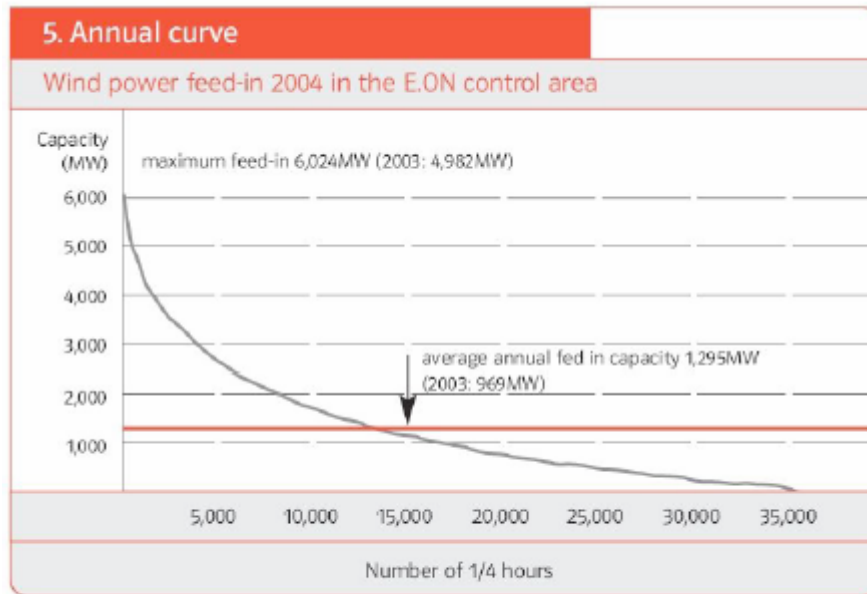


Figure 4. Monotone de disponibilité du parc éolien E.ON en 2004.

La situation est différente pour un parc éolien offshore (figure 5), qui bénéficie d'une plus grande occurrence de la puissance nominale, atteinte pour une vitesse de 15 m/s (30 nœuds ce qui correspond en mer à un coup de vent de force 8). Mais la disponibilité à 90 % reste limitée à quelques pourcents de la puissance nominale, les intervalles de calme étant aussi fréquents à la mer qu'à terre.

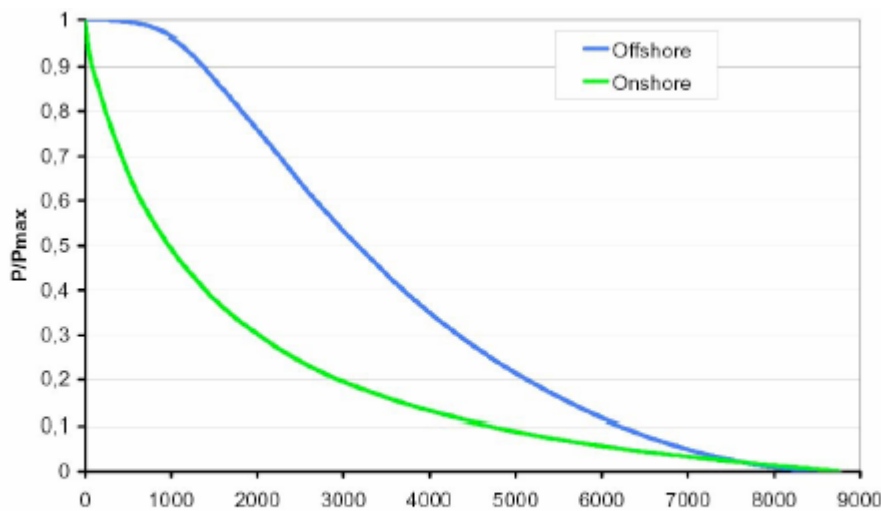


Figure 5. Monotones de disponibilité comparées pour un parc éolien à terre (vert) et un autre en mer (bleu). Les abscisses sont en heures pour une année.

<sup>1</sup> <http://www.withouthotair.com/>

### Disponibilités cumulées

Un fournisseur d'électricité est tenu de garantir à ses clients un taux élevé de disponibilité quelle que soit la demande. S'il utilise des sources intermittentes aléatoires en plus de générateurs thermiques à combustible fossile ou nucléaire, la monotone de disponibilité aura l'allure représentée sur la figure 6 où elle est superposée à la monotone établie pour les seules sources conventionnelles. Les puissances affichées sont relatives à l'Allemagne 2007.

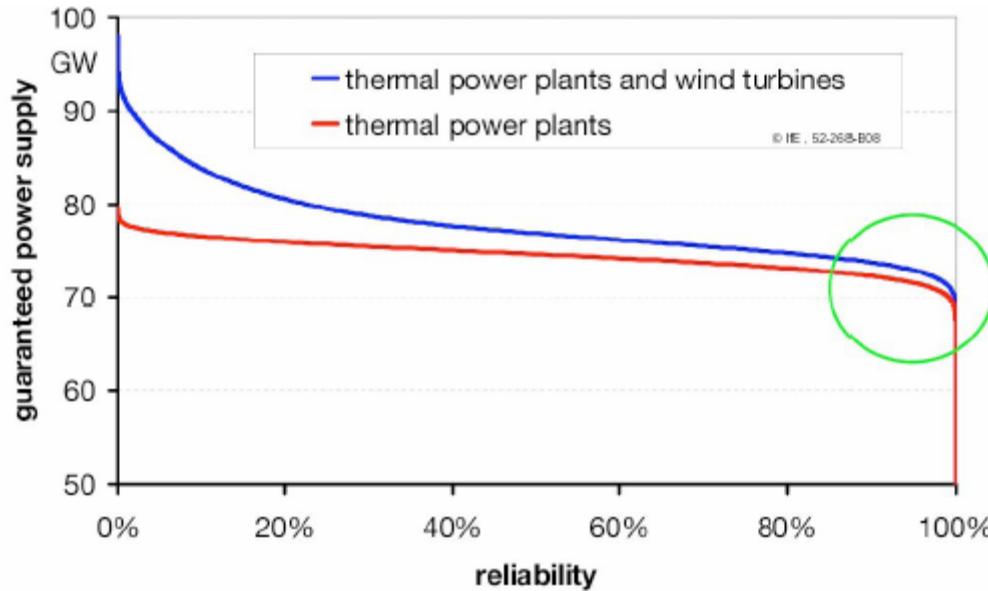


Figure 6. Monotones de disponibilité pour un parc mixte ; éolien plus thermique.

Il apparaît que dans la zone où le fournisseur doit se placer, disponibilité supérieure à 95 %, la contribution de l'éolien est marginale. Ce constat est renforcé si l'on zoome sur les disponibilités comprises entre 96 et 100 % (figure 7). Un parc éolien dont la puissance nominale est de 20 GW n'apporte au mieux que 1,5 GW de puissance garantie à plus de 96 %.

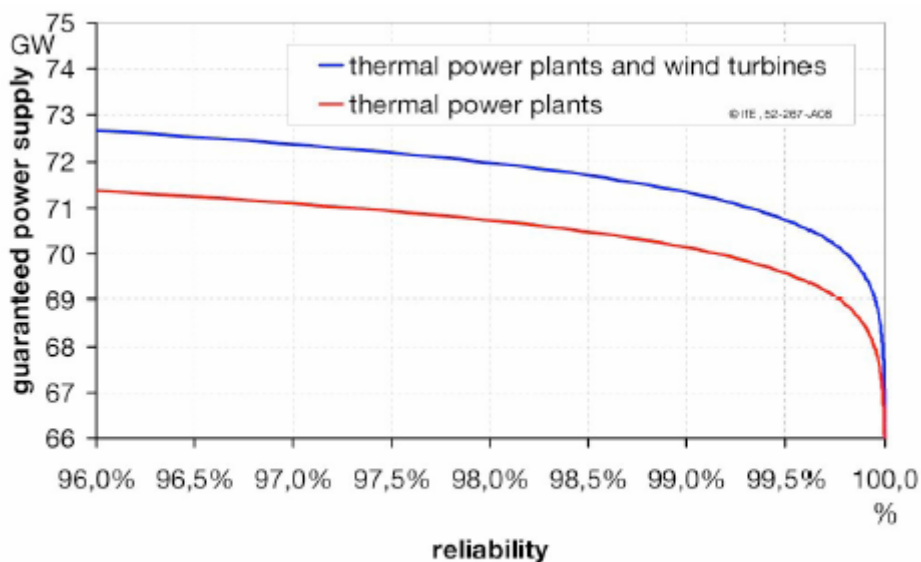


Figure 7. Zoom sur les taux élevés de disponibilité.



Dans la formulation de E.ON, ces 1,5 GW sont la puissance éolienne substituable à la puissance de générateurs thermiques avec la même garantie de disponibilité. Les analyses faites par les Instituts Universitaires spécialisés en Allemagne montrent que cette puissance substituable croît en valeur absolue avec l'augmentation de la puissance nominale installée mais représente une proportion de plus en plus faible de celle-ci. Cet effet est dû au poids important des courtes mais fréquentes périodes à puissance nulle dans la statistique de l'énergie éolienne.

### **Conclusion**

Les analyses faites en Allemagne concordent sur ce point : un parc éolien dominé par une intermittence aléatoire ne peut garantir à plus de 96 % qu'une fraction marginale, quelques pourcents, de la puissance installée. On peut aussi énoncer qu'un parc éolien ne peut garantir qu'une fraction marginale de sa puissance installée en substitution de sources conventionnelles. Cette fraction diminue avec la puissance installée en raison du poids statistique des périodes à production nulle.

Le remède auquel on pense le plus souvent pour contrer l'intermittence consiste à disposer de générateurs en réserve (back-up), mis en service chaque fois que le vent est trop faible. Ces réserves sont incluses dans le parc conventionnel avec la même disponibilité. Le parc éolien n'apportant qu'un supplément marginal, le parc conventionnel doit avoir la taille suffisante pour satisfaire la demande de pointe. Les aérogénérateurs servent alors lorsque le vent souffle à remplacer des générateurs thermiques émetteurs de CO<sub>2</sub> déconnectés du réseau pour l'occasion. Avec les données de la figure 6 et sachant que la puissance électrique d'origine fossile (charbon et lignite), est en Allemagne de 50 GW, les 20 GW éoliens économisent 8 % des émissions de Gaz à Effet de Serre. Le remplacement des combustibles solides par du gaz serait de ce point de vue nettement plus efficace : 40 %.

Il reste deux possibilités pour une bonne exploitation d'un parc éolien : la première consiste à exporter le courant, la seconde à stocker l'énergie. Le Danemark combine les deux grâce à la Norvège qui dispose d'un fort potentiel hydraulique.

JL BOBIN.