

LE RAPPORT « MASON »

On trouvera ci-après le texte* du rapport Mason pour Country Guardian qui est l'équivalent en Grande Bretagne de Vent de Colère! Ce rapport dresse un bilan extrêmement sérieux et documenté des résultats lamentables de l'éolien industriel dans l'Ouest du Danemark où 25% de la production est d'origine éolienne. Au Danemark, dans son ensemble, 20% en gros de la production électrique viennent de l'éolien. Le Danemark ne possède ni nucléaire, ni hydraulique. Ce pays est le premier producteur de CO2 par habitant. Il a cru à tort diminuer les émissions de GES avec l'éolien dont le leader mondial est le danois Vestas. Le Danemark est le pays avec le plus grand nombre de MW éoliens par habitant (suivi par l'Allemagne et l'Espagne).

On pourra retenir de ce texte :

- un gros potentiel éolien est quelque chose de très lourd et coûteux à assumer. Cela nécessite que les lignes destinées à évacuer le courant éolien soient dimensionnées pour le cas production éolienne maximale (ce qui n'est jamais le cas). Sans cela on a des problèmes pour l'utiliser rationnellement. Dans le cas de production éolienne très faible, il faut pouvoir mobiliser extrêmement rapidement de nombreuses centrales thermiques de réserve ou disposer d'un potentiel d'importation non négligeable et c'est rarement le cas.
- une première conséquence en est qu'il en résulte que peu ou pas du tout de diminution des émissions de gaz à effet de serre.
- une troisième conséquence est que les maux s'aggravent avec le nombre et la taille des machines.
- une quatrième conséquence est le saccage paysager, le massacre de l'écosystème et le tribut associé payé par les espèces animales, principalement l'avifaune et les chiroptères.

P.Bonn-Déc.2005

* Si des lecteurs bilingues trouvent des erreurs de traduction, ils sont priés de me le signaler afin de me permettre de corriger le texte français.

12.12.2005 – Country Guardian

« L'énergie éolienne dans l'Ouest du Danemark. Leçon pour la Grande Bretagne »

Octobre 2005 par le Dr V.C. Mason pour Country Guardian

Bien qu'un cinquième de l'énergie électrique produite annuellement dans l'Ouest du Danemark provienne de son énorme capacité éolienne, seulement 4% de la consommation totale de la région vient de cette source. La majeure partie de la production d'énergie éolienne vient en surplus de la demande au moment de la production et doit alors être exportée à bas prix pour préserver la sécurité du réseau électrique national. La réduction des émissions de CO₂ est minime. Pour réduire les exportations et abaisser les émissions de CO₂, des plans ont été établis dans le but d'utiliser le surplus d'énergie éolienne pour du chauffage par résistance dans des centrales locales en cogénération.

Contexte

Le Danemark (5,4 millions d'hab.) fait marcher des centrales en cogénération au charbon, au gaz et biocarburants parmi les plus efficaces au monde pour la production nationale et locale et pour le chauffage urbain. C'est aussi un pionnier majeur des énergies renouvelables pour essayer de réduire sa dépendance vis-à-vis des combustibles fossiles et de l'énergie importée. Dans ce contexte, son industrie éolienne est devenue une branche importante de l'économie nationale, employant 20 000 danois et approvisionnant actuellement 40% du marché mondial. (Nielsen 2004). Le pays a également fait des progrès considérables dans le développement de l'énergie solaire et des technologies des biocarburants.

Le programme énergies renouvelables danois repose essentiellement sur l'éolien. Depuis 1985, près de 3 317 MW de capacité dans de mega éoliennes ont été installés (Bülow, 2004a) et dont 420 MW sont off shore (Nielsen, 2004). Il en est prévu encore plus dans le futur (Bendtsen et Hedegaard, 2004). Jusqu'à récemment, ces développements ont été fortement subventionnés, directement et indirectement. Ils reposent sur une obligation statutaire des opérateurs des réseaux chaleur et électricité (et indirectement des consommateurs d'électricité) d'acheter la totalité de la production d'énergie éolienne et de chaleur des sources locale de chauffage à un prix élevé fixé par le gouvernement. De plus des subventions directes sont allouées à l'énergie renouvelable produite avec achat obligatoire et conditions de marché libre. Entre fin 2000 et 2003, les coûts correspondants d'après les sources officielles se sont élevés à 3, 40 – 3,85 milliards de DKK (couronnes danoises) (Bendtsen, 2003) ; cependant, certaines voix se sont élevées pour dire qu'en 2001 les consommateurs payaient chaque année, un supplément de 8 à 10 milliards de DKK en coût du capital et de l'exploitation pour l'ensemble énergie conventionnelle + énergie renouvelable (Krogsgaard, 2001). Une conséquence lourde est que le danois paye l'électricité, pratiquement le double du prix britannique.

Depuis 1985, la taille et le nombre des éoliennes danoises ont augmenté régulièrement pour tenter d'en améliorer efficacité, économie et production. Selon une prévision, des machines de 20 MW, hautes comme la tour Eiffel pourrait être réalisées en 2015 (Andersen, 2001). A cette fin, un plan subventionné de « ré-énergisation » pousse depuis peu au remplacement de 1200 petites machines (<150 kW) par 300 plus grosses (Nielsen, 2004) et par un procédé similaire, 900 autres machines de moins de 450 kW de capacité vont être bientôt remplacées par 175 machines plus importantes (Sandøe, 2004a). Cette augmentation de capacité semble devoir continuer. La plupart des machines mises maintenant au rebut ont marché moins de 16 ans (Bülow, 2002), il est alors très difficile d'en déterminer la durée de vie et le bilan économique effectif. En outre, il n'y a eu que peu, sinon aucune, fermeture de centrales énergétique traditionnelles en réponse à l'avènement de l'énergie éolienne.

L'ouest du Danemark

Le Danemark met en œuvre 2 réseaux non interconnectés et largement autonomes situés respectivement à l'ouest et à l'est du Grand Belt^a. Chacun d'eux bénéficie de longue date de nombreuses connections facilitant les échanges énergétiques avec les systèmes plus importants norvégiens, suédois et/ou allemands. Le mouvement du flux international de l'électricité se fait d'habitude vers le sud bien que la sécheresse de 2003 en Norvège et Suède ait entraîné un net mouvement vers le nord (Bülow, 2005a).

Les conditions de vent dans l'ouest du Danemark sont comparables à celle que l'on trouve dans presque toute la Grande Bretagne (voir Troen & Petersen, 1989), mais elles sont quelque fois meilleures que celles dans l'est du Danemark. En conséquence, les trois quarts de la capacité éolienne du pays se trouvent dans la partie ouest avec une concentration (environ 820 MW par million d'habitant), l'une des plus élevée au monde. Bien sûr, il y a peu d'endroits dans une région de campagne plutôt plate ou faiblement ondulée où les machines ne sont pas visibles et en particulier les concentrations dans les zones ventées sont fortes. Pour beaucoup d'habitants cela a sérieusement dégradé le charme et la beauté de l'environnement traditionnel préexistant surtout agricole et côtier ; cela a aussi un impact dommageable sur l'habitat de la faune sauvage locale. Un des plus grand journaux nationaux note : « [il est vrai que le Danemark s'est placé dans une position de leader dans l'utilisation de l'énergie éolienne, mais jusqu'ici, et de façon certaine cela ne s'est fait qu'avec un grand coût pour la nature et des subventions publiques considérables] » (Jyllands Posten, 2004).

Structures de la production d'énergie éolienne

Dans l'Ouest du Danemark (le Jutland et la Fionie principalement ; pop. environ 2,9 millions), l'énergie électrique est fournie par 11 unités primaires^b (3 516 MW de capacité installée), 558 usines de chauffage urbain (1 593 MW de c.i. y compris 40 MW de chaudières à bio combustible) et 4 161 éoliennes (2 379 MW de c.i.) (Eltra, 2005). En dépit de la grande proportion de capacité éolienne, la majeure partie de l'électricité pour l'ouest Danemark est toujours fournie par des usines thermiques en cogénération centrales ou locales utilisant les combustibles fossiles de la mer du Nord. Ceci est la conséquence du caractère imprévisible des conditions de vent et de l'impossibilité pour le réseau, d'absorber en proportions suffisantes des quantités largement fluctuantes d'énergie éolienne.

a) En dépit de conditions de vent relativement favorables pour la région, seulement 20-24% de la production annuelle possible des éoliennes de l'ouest du Danemark ont été atteints sur les cinq dernières années. Cela est comparable aux 24,1% de taux (ou facteur) de charge (TC) enregistré en 2003 pour un beaucoup plus petit nombre de machines britanniques terrestres (DTI, 2004), mais c'est plus élevé que les 15% de l'Allemagne sur la même période (voir Reuter, 2004). L'Union for Co-opération on transmission of Electricity (UCTI) revendique un taux de charge (TC) moyen de 20% seulement pour ses membres européens Responsables d'Equilibre^c (Refocus Weekly, 2004). Clairement, le bilan économique d'une éolienne est grandement affecté par son TC qui à son tour est influencé par les vitesses du vent local, les turbulences, l'accumulation d'insectes ou de sel sur les pales et les panes. De sérieux problèmes techniques ont été relevés sur les transformateurs des éoliennes en mer à Horn Rev (Andersen, 2004a ; Renewable Energy Access, 2004) et à MiddelGrunden (Møller, 2005).

b) La production d'énergie éolienne est hautement variable et imprévisible. Dans des vents forts, jusqu'à 2379 MW de puissance éolienne peuvent être produits pour l'ouest Danemark dont la demande tout au long de l'année, peut varier entre 1300 et 3800 MW environ. En revanche, des conditions défavorables peuvent grandement réduire la production (Bülow, 2004a). Courant février 2003 par exemple, les vitesses de vent et la production d'énergie éolienne ont été très basses (Bülow, 2003), alors qu'en janvier 2005, un ouragan a obligé les éoliennes à s'arrêter au milieu d'heures de fonctionnement proche de la production maximale (Andersen, 2005a). Les niveaux de production sont très sensibles aux conditions de vent. A la centrale

^a Le Grand Belt est un large détroit entre l'île de Sjælland à l'est et l'ensemble Fionie-Jutland à l'ouest (NdT).

^b Centrales thermiques (NdT).

^c TSO = Transmission System Operators = « Responsables d'Equilibre » en français EDF / RTE (NdT)

éolienne offshore de Horn Rev par exemple, une augmentation de la vitesse du vent d'environ 9 à 11,5 mètres par seconde peut doubler la production de 80 à 160 MW^δ environ en quelques minutes (Eltra, 2005).

c) Bien que la production d'énergie renouvelable ait atteint l'équivalent en chiffre de 26,5% de la demande annuelle (Bülow, 2005a) et que l'éolien compte pour 20% de la production totale (Eltra, 2005), la majeure partie de l'énergie éolienne de la région doit être exportée pour assurer la stabilité du réseau de la région. En 2003, par exemple, jusqu'à 84% de la production annuelle éolienne d'électricité était en trop par rapport à la demande au moment où on la produisait (Sharman, 2004) et seulement 4% de la consommation d'énergie ont été satisfaits par l'éolien (Sharman, 2005a). En fait, il existe une relation étroite entre la production éolienne et les exportations nettes d'électricité de la région. (voir Nissen, 2004 ; et Sharman, 2004). Avant le 1^{er} janvier 2005, les surplus ont été encouragés par des subventions offertes pour l'électricité produite par des centrales urbaines en cogénération produisant de façon indépendante, et cela sans considération de la demande (Sandøe, 2004b). Interrogé par le Jyllands Posten dès 2001, l'ancien Président d'Eltra a déclaré : « [La conséquence de beaucoup d'éoliennes et de centrales thermiques décentralisées est que pendant l'hiver, on a produit de façon régulière, 1000 à 2000 MW de plus que nécessaire dans notre région. Nous devons nous débarrasser de cette surproduction sur le marché libre à un prix considérablement plus bas que celui que nous avons payé] » (Kongstad, 2001). Des estimations récentes suggèrent que de telles exportations coûtent 1 milliard de DKK par an aux consommateurs danois (Sharman, 2004).

Equilibrer le réseau

Le contrôle de l'équilibre est un problème complexe pour les Responsables d'Equilibre régionaux (Eltra), cela revient à « [devoir manœuvrer un train articulé de remorques derrière un camion se déplaçant rapidement et cela sans volant, ni accélérateur, ni embrayage, ni freins] » (Andersen, 2003a). Bien qu'il éolien ne produise de l'énergie que quand le vent souffle, toute l'électricité doit être vendue soit par contrat, soit sur le marché spot, sur une base horaire et cela 16 heures avant qu'elle soit produite. Si pendant plusieurs heures, le vent souffle plus fort que prévu, il faut se débarrasser de l'électricité envoyée au réseau vers l'étranger à des prix faibles et dictés par une urgence pressante (Sandøe, 2005b).

Les afflux d'énergie sont envoyés à l'étranger par des inter-connecteurs à courant alternatif suffisamment importants (environ 2400 MW) pour prendre en compte presque toute la production du coûteux ensemble d'éoliennes de la région. La Norvège et la Suède peuvent toutes deux absorber cette énergie par une réduction rapide de la production d'électricité hydraulique ou en utilisant cette énergie pour pomper de l'eau dans les réservoirs des barrages pour produire de l'électricité plus tard (White, 2004). Le Jutland et l'Allemagne s'échangent de l'électricité en quantités grossièrement équivalentes, mais quand le vent souffle, les exportations danoises peuvent rencontrer des problèmes qui sont dus aux grandes quantités d'énergie éolienne qui sont produites aux mêmes moments du côté de la frontière sud (Sandøe, 2003a). Cette situation ne peut que s'aggraver avec l'augmentation de la production éolienne offshore de l'Allemagne (voir Andersen, 2005b).

Dans des périodes calmes, l'ouest du Danemark peut généralement importer depuis ses importants voisins de l'électricité manquante d'origine hydraulique, nucléaire ou thermique au charbon, bien que les limites dans les capacités d'inter-connection ont souvent obligé l'achat de l'énergie manquante à Elsam, le plus grand producteur d'énergie de la région (Sandøe, 2003a). Depuis le 1^{er} janvier 2005, des centrales urbaines en cogénération parmi les très grandes (>5-10 MW) de la région ouest du Danemark, ont commencé à fournir une énergie de régulation aux conditions du marché libre (Bülow, 2004b ; Bülow 2005b), et dans un futur proche, une telle énergie deviendra également disponible depuis le reste de la Scandinavie (Bülow, 2005c). Il est intéressant de relever ce qu'a tiré de son expérience, le Responsable d'Equilibre allemand E.ON-Netz : « Il faut des centrales énergétique traditionnelles d'une capacité égale à 90% de la puissance installée éolienne qui soient en état de marche permanent pour pouvoir garantir une fourniture permanente d'énergie électrique » (Teyssen & Fuchs, 2005). Cela souligne le besoin sous une forme ou une autre d'un appoint de

^δ A cause de la formule de Betz : la puissance $P = k V^3$ où V est la vitesse du vent et alors $dP/P = 3 dV/V$ (NdT)

sécurité et on peut en déduire que les émissions de gaz carbonique sont souvent beaucoup plus petites que le plus souvent revendiqué.

On espère que l'intégration future de la production énergétique de l'éolien de l'Ouest du Danemark avec les centrales en cogénération conduira à des réductions dans la production de surplus et permettra une coproduction de l'électricité plus régulière et prévisible (Andersen, 2003b). Pour cela, le gouvernement danois abandonne ses plans d'achat obligatoire (Andersen, 2004b) bien que les propriétaires des éoliennes existantes et les usines de chauffage urbain continueront de recevoir des subventions (Nielsen, 2004). La nouvelle législation permettra aussi le chauffage via des résistances (Sandøe, 2005a,b), permettant ainsi de se substituer à du gaz actuellement brûlé dans les centrales de chauffage urbain et cela pendant l'hiver en particulier (Sandøe, 2003b). L'utilisation de l'éolien pour produire de l'hydrogène pour les piles à combustibles et la production d'électricité est aussi envisageable (Andersen, 2004c). Mais la demande pour suffisamment de carburant hydrogène devant se substituer à l'usage actuel des hydrocarbures pour les véhicules de transport demanderait environ neuf fois autant d'électricité que n'en a produit l'ensemble de l'éolien de l'ouest du Danemark, en 2003 (voir Sharman, 2004). Un autre plan consiste à établir des interconnexions entre l'ouest et l'est du Danemark pour 2010 (Sandøe, 2005a).

Seul le temps nous revelera l'efficacité technique et la viabilité économique des combinaisons associées à ces différentes approches. En tout état de cause, il apparaît probable que la qualité esthétique de la campagne et du littoral de l'ouest du Danemark va continuer à se dégrader au fur et à mesure que s'accroît la taille et peut-être le nombre d'éoliennes ainsi que les usines (thermiques) associées.

Emissions de gaz carbonique

La signification quantitative des émissions d'origine humaine dans le changement climatique est encore l'objet de controverses scientifiques et de débats publics. En 2000, les émissions danoises de CO₂ d'origine humaine étaient estimées à seulement 0,0003% de tout le CO₂ rejeté annuellement dans l'atmosphère depuis la terre (Jyllands Posten, 2001). Néanmoins, il semble logique pour le Danemark (un petit pays avec une population relativement faible et des réserves limitées en combustibles fossiles) de chercher à améliorer l'efficacité de sa production énergétique.

Comparé à la situation de beaucoup d'autres pays, l'utilisation par l'ouest du Danemark à l'échelon central et local, de centrales efficaces au charbon, au gaz et au biocarburant en cogénération, représente une avancée majeure avec un potentiel considérable de réduction de gaz carbonique. En revanche, ses tentatives pour utiliser d'importantes quantités d'énergie éolienne dans le système ouest danois se sont avérées très décevantes et n'ont conduit jusqu'ici qu'à peu ou aucune réduction des émissions de CO₂. Les raisons en sont les besoins en importation d'énergie ou une production moins efficace par l'ouest du Danemark, d'énergie d'appoint de sécurité destinée à protéger l'intégrité de son réseau (Sandøe, 2003a). La plupart de ses exportations importantes d'énergie éolienne se substituent simplement à de l'électricité « verte » hydraulique ou nucléaire produite en Norvège et en Suède en aidant à re-compléter les réservoirs mais seulement en période sèche ou quand l'énergie est bon marché. Cela a conduit un ancien président d'Eltra à demander : [« Est-ce favorable à l'environnement de produire de l'électricité éolienne s'il n'y a personne qui peut l'utiliser ? Et est-ce favorable à l'environnement de brûler du gaz naturel dans des usines décentralisées en cogénération pendant que l'on brade la surproduction danoise d'énergie éolienne en Norvège où il est possible de stocker l'eau destinée aux turbines hydrauliques »] (Kongstad, 2001). Les opérations de fabrication, le creusement et/ou l'installation de routes d'accès, les fondations massives en béton, les composants de la nacelle et du rotor, les pylônes et les équipements associés, tout cela milite contre les avantages de la réduction des émissions de CO₂ attribués à l'éolien géant.

En fait, en dépit du véritable tapis massif d'éoliennes de l'ouest du Danemark, les émissions de CO₂ ont récemment augmenté (Bruun, 2005), et un expert dirigeant d'Elsam a laissé entendre que « [le développement accru de l'éolien ne réduit pas les émissions danoises de CO₂] » (Nissen, 2004). La région peut cependant espérer que la future liaison entre centrales en cogénération et l'éolien dans un système plus

flexible et coordonné, améliorera la prévisibilité et la tenue de la production énergétique, modérera les afflux brutaux et les exportations (forcées) et même, réduira les émissions de CO₂.

Leçons pour la GB

La GB aspire à 20% d'énergie renouvelable (niveau déjà atteint dans l'ouest du Danemark). Cela équivaut à environ 60 – 70 TWh d'énergie renouvelable (voir Sharman, 2005b). Pour obtenir 70 TWh de production sur la seule base de l'éolien demanderait une puissance installée entre 23 et 40 GW, suivant le taux de charge (TC) atteint (soit 35-20%). L'expérience danoise suggère que l'estimation de 40 GW (équivalent à 20000 éoliennes de 2 MW) serait la plus proche de la réalité et que la GB aurait aussi à investir lourdement en unités locales en cogénération et/ou dans de vastes inter-connexions pour les appoints de sécurité. La majeure partie des besoins correspondants en gaz naturel devrait alors être fournies à partir de sources étrangères vulnérables.

L'utilisation d'un tel nombre de mega éoliennes aura un énorme impact sur l'usage du sol britannique. Une règle simple très utilisée nous dit que pour éviter les turbulences des machines voisines ce qui consomme réciproquement de l'énergie et réduit donc le TC total, il faut les séparer de 7 à 10 fois le diamètre du rotor. Même cet espacement est trop serré et l'effet de traînée peut être détecté à 5 km des éoliennes (Andersen, 2005c). On voit alors que l'installation de 40 GW éoliens en GB donnera un « marquage » fort en machines (implantations près des habitations), sur terre et/ou en mer, équivalent en taille à pratiquement la moitié de la surface totale du Pays de Galles (suivant la taille, le nombre et la disposition des machines). La situation sera encore pire quand on utilisera l'éolien pour faire de l'hydrogène comme carburant. En supposant un TC très optimiste de 50% pour des machines de 3 MW, une étude récente (Oswald et Oswald, 2004) estime qu'il faudra environ 96000 machines pour faire rouler tous les véhicules britannique à l'hydrogène. Cela demandera qu'on y consacre une surface plus grande que celle du Pays de Galles ou bien une bande de 10 km de larg, le long de toutes les côtes des Iles Britanniques.

L'implantation d'éoliennes et de pilônes dans les endroits les plus pittoresques de GB entraînera inévitablement la déforestation (pour maximiser le TC) et le drainage de zones humides lors du creusement et de la construction de routes d'accès et de fondations. Cela accélérera l'oxydation de la tourbe (rejets de CO₂), et nuira sévèrement sur beaucoup d'habitats essentiels à la survie d'espèces particulières de faune sauvage. Vis-à-vis des espèces protégées d'avifaune et chiroptères, le danger potentiel que représente la destruction générale des habitats et les collisions avec les pales d'éoliennes a déjà été illustré par de nombreux exemples américains et européens (par exemple voir site web de la centrale éolienne de Cefn Croes, 2004, et Mason, 2004).

Conclusions

Le modèle de l'Ouest du Danemark montre clairement que l'implantation d'un grand nombre d'éoliennes peut amener des problèmes sévères et coûteux relatifs à la transmission de l'énergie ; elle mène aussi à de sérieuses nuisances à la faune sauvage ainsi qu'à la valeur esthétique du paysage terrestre et marin pour peu ou aucune réduction des émissions de CO₂. Il est alors impératif que les plans d'économie d'énergie et les sources alternatives d'énergie renouvelable soient plus scrupuleusement examinés avant qu'en GB, de larges pans de l'exceptionnelle campagne et du littoral pittoresque soient détruits par l'éolien industriel. On pourra réduire les émissions de CO₂ de 30%, seulement par des mesures d'économie d'énergie.

Références

Voir le texte anglais

12.12.2005 - Country Guardian

Wind power in West Denmark. Lessons for the UK

October, 2005 by Dr V.C. Mason for the Country Guardian

Although one fifth of the electrical power produced annually in West Denmark is generated by its enormous capacity of wind turbines, only about 4% of the region's total power consumption is provided from this source. Most of the output of wind power is surplus to demand at the moment of generation and has to be exported at reduced prices to preserve the integrity of the domestic grid. Savings in carbon emissions are minimal. To diminish exports and lower carbon emissions, plans are now in hand to use surplus wind power for resistance heating at local combined-heat-and-power plants.

Background

Denmark (pop. 5.4 million) operates some of the world's most efficient coal, gas and bio-fuelled CHP plants for central and local electricity production and district heating. It has also become a leading pioneer of renewable energy in an attempt to reduce its reliance on fossil fuels and imported power. In this context its Wind Turbine Industry has become an important aspect of the national economy, employing about 20,000 Danes and currently supplying about 40% of the world market (Nielsen, 2004). The country has also made considerable progress in the development of solar power and bio-fuel technologies.

Denmark's renewable energy programme is based principally on wind power. Since 1985, about 3,317 MW of mega wind turbine capacity have been installed (Bülow, 2004a), of which 420 MW are sited offshore (Nielsen, 2004). More is planned for the future (Bendtsen and Hedegaard, 2004). Until recently, these developments were heavily subsidised, directly and indirectly. They were under-pinned by a statutory obligation on Transmission System Operators (and indirectly on electricity consumers) to buy the total output of power from wind and local district heating sources at elevated prices fixed by Government. In addition, direct subsidies were paid for renewable energy produced under obligatory purchase and free market conditions. Between the end of 2000 and 2003, the associated costs were officially said to be DKK 3.40-3.85 billion per annum (Bendtsen, 2003), although some have claimed that in 2001 consumers were paying an extra DKK 8-10 billion every year in capital and operational costs for the combined conventional + renewable energy package (Krogsgaard, 2001). A serious consequence is that Danish householders pay almost double the UK price for electricity.

Since 1985, the size and number of Denmark's industrial wind turbines has grown steadily in attempts to improve their efficiency, economy and output. According to one prediction, 20MW wind turbines as high as the Eiffel Tower may be a reality by 2015 (Andersen, 2001). Towards this end, a subsidised 're-powering' scheme recently encouraged the replacement of 1,200 small turbines (< 150 kW) by 300 bigger ones (Nielsen, 2004), and under a similar arrangement a further 900 turbines of under 450 kW capacity will soon be displaced by 175 larger machines (Sandøe, 2004a). Such upgrading seems likely to continue. Most of the turbines scrapped to date operated for less than 16 years (Bülow, 2002), so it is very difficult to assess their effective lifespan or economy. Furthermore, there has been little, if any, closure of conventional power plant in response to the advent of wind power.

Western Denmark

Denmark operates two unconnected and largely autonomous grid systems, located west and east of the Great Belt, respectively. Each benefits from having large, long-established inter-connectors which facilitate the exchange of power with the bigger systems of Norway, Sweden and/or Germany. The balance of the international flow of electricity is usually in a southerly direction, although in 2003 drought conditions in Norway and Sweden encouraged a net movement northwards (Bülow, 2005a).

Wind conditions in West Denmark are comparable to those found in most of the UK (see Troen & Petersen, 1989), but are somewhat better than in the east of Denmark. Consequently, three-quarters of the country's capacity of wind turbines is found in the western region, their concentration (c. 820 MW per million of population) being amongst the highest in the world. Indeed, there are few areas in the region's rather flat or gently rolling countryside where turbines are not visible, and in particularly windy locations concentrations are high. For many residents this has seriously detracted from the former charm and beauty of their traditional, largely agricultural surroundings and coastlines, and it has also had a detrimental impact on associated wildlife habitats. A leading national newspaper has commented: "[It is true that Denmark has placed itself in a leading position with regard to the utilisation of wind energy, but until now this has certainly occurred at great cost to nature and with considerable public subsidy]" (Jyllands Posten, 2004).

Patterns of wind power generation

In Western Denmark (principally Jutland and Funen; pop. c. 2.9 million) electrical power is provided by about 11 primary units (3,516 MW i.c.), 558 district heating plants (1,593 MW i.c. (inc. 40 MW bio-boilers)) and 4,161 wind turbines (2,379 MW i.c.) (Eltra, 2005). Despite the high proportion of wind turbine capacity, however, the bulk of domestic electricity is still provided by central and local CHP plants on the basis of fossil fuels derived from the North Sea. This reflects unpredictable wind conditions, and an inability to assimilate widely fluctuating quantities of wind power into the domestic grid in significant amounts:

a) Despite relatively favourable wind conditions in the region, only 20-24% of the potential annual output of West Danish wind turbines has actually been achieved over the last five years. This compares with the 24.1% load or capacity factor recorded in 2003 for the much smaller number of UK onshore turbines (DTI, 2004), but is higher than the 15% calculated for Germany over the same period (see Reuters, 2004). The Union for Co-operation on Transmission of Electricity (UCTE) claims an average load factor (LF) of only 20% for its European TSO members (Refocus Weekly, 2004). Clearly, the economy of a wind turbine is greatly affected by its LF, which in turn is influenced by local wind speeds, turbulence, midge or salt accumulations on blades, and breakdowns. Serious technical problems have been recorded for the transformers of offshore wind turbines at Horns Rev (Andersen, 2004a; Renewable Energy Access, 2004) and Middelgrunden (Møller, 2005).

b) The output of wind power is highly variable and unpredictable. In strong winds, up to 2,379 MW of wind power can be generated for a domestic system in which the demand throughout the year can range between about 1,300 and 3,800 MW. In contrast, adverse conditions can greatly restrict production (Bülow, 2004a). Throughout February 2003, for example, wind speeds and the generation of wind power were very low (Bülow, 2003), while in January 2005 a hurricane forced wind turbines to shut down within hours of running at near maximum output (Andersen, 2005a). Levels of output are very sensitive to conditions. At the Horns Rev off-shore wind station, for example, an increase in wind speed from about 9 to 11.5 metres per second can double production from about 80 to 160 MW within a few minutes (Eltra, 2005).

c) Although renewable energy generation has now reached the numerically equivalent of about 26.5% of annual demand (Bülow, 2005a) and wind turbines account for about 20% of total power production (Eltra, 2005), most of the region's wind power has to be exported in order to secure stability in the domestic grid. During 2003, for example, as much as 84% of the annual supply of wind electricity was surplus to demand at its moment of generation (Sharman, 2004), and only about 4% of domestic power consumption was satisfied by wind turbines (Sharman, 2005a). In fact, close relationships exist between wind power generation and the region's net exports of electricity (see Nissen, 2004; and Sharman, 2004). Prior to 1st January 2005, surpluses were also promoted by subsidies offered for electricity produced by the independently operating district CHP plants, irrespective of the demand for power (Sandøe, 2004b). Talking to Jyllands Posten as early as 2001, a former Chairman of Eltra, stated: "[The consequence of the many wind turbines and decentralised power stations is that during the winter there is regularly produced 1,000 to 2,000 MW more than is needed in our area. This over-production we must dispose of on the open market for considerably less than we have

paid]" (Kongstad, 2001). Recent assessments suggest that such exports cost Danish consumers about DKK 1 billion per annum (Sharman, 2004).

Balancing the grid

Balance control is a complex issue for the region's Transmission System Operator (Eltra) and has been likened to "[having to manoeuvre a rapidly moving articulated lorry train without a steering wheel, accelerator, clutch or brakes]" (Andersen, 2003a). Although wind turbines produce power as the wind blows, all electricity has to be sold by contract or on the open market on an hourly basis at least 16 hours before it is delivered. If the wind blows more strongly than expected for several hours, electricity delivered to the grid must be disposed of abroad at low, 'here-and-now' prices (Sandøe, 2005b).

Surges of power are transmitted abroad via AC inter-connectors big enough (c. 2,400 MW) to accommodate almost all the output of the region's expansive wind carpet. Both Norway and Sweden can absorb this power by rapidly reducing their output of hydro electricity or using power to pump water to elevated reservoirs for the later generation of electricity (White, 2004). Jutland and Germany exchange power in roughly equal quantities, but in windy conditions difficulties can be encountered with Danish exports because of direct competition from the large amounts of wind power synchronously produced on the southern side of the border (Sandøe, 2003a). This situation may worsen as Germany increases its offshore production of wind power (see Andersen, 2005b).

In becalmed periods, West Denmark can usually import hydro-, nuclear- or coal-based electrical backup from its big neighbours, though limitations in inter-connector capacity have often necessitated the purchase of balance power from Elsam, the region's biggest power company (Sandøe, 2003a). Since January 1st 2005 some of West Denmark's larger district CHP plants (> 5-10 MW) have started to supply regulating power under free market conditions (Bülow, 2004b; Bülow, 2005b), and in the near future such power will also become available from the rest of Scandinavia (Bülow, 2005c). It is interesting to note the experience of the German TSO, E.ON-Netz, that "traditional power stations with capacities equal to 90% of the installed wind power capacity must be permanently online in order to guarantee power supply at all times" (Teyssen & Fuchs, 2005). This emphasises the need for backup in one or other form, and may infer that savings in carbon emission are often much smaller than is often claimed.

It is hoped that the future integration of power production by West Denmark's wind turbines and CHP plants will lead to reductions in the output of surpluses and allow a more even and predictable co-production of electricity (Andersen, 2003b). To this end, the Danish Government is abandoning its obligatory purchase scheme (Andersen, 2004b), though owners of existing wind turbines and district heating plants will continue to receive subsidy (Nielsen, 2004). New legislation will also permit resistance heating (Sandøe, 2005a,b), thus allowing wind electricity to displace some of the gas currently burned at district heating facilities, particularly during winter (Sandøe, 2003b). The use of wind power to produce hydrogen for fuel cells and electricity production is also being considered (Andersen, 2004c), although the demand for enough hydrogen fuel to displace the current usage of hydrocarbons for transport vehicles would appear to require roughly nine times as much electricity as was produced by West Denmark's turbine carpet during 2003 (see Sharman, 2004). Another plan is to establish inter-connectors between West and East Denmark by 2010 (Sandøe, 2005a).

Only time will reveal the technical efficiency and economic viability of combinations of these approaches. In any event it appears likely that the aesthetic quality of West Denmark's countryside and coastal areas will continue to be eroded as the size and, perhaps, number of wind turbines and associated plant increases.

Carbon emissions

The quantitative significance of man-made carbon emissions in the process of climate change is a matter of scientific dispute and public conjecture. In 2000, Danish man-made emissions of carbon dioxide were

estimated to correspond to only 0.0003% of all the carbon dioxide released annually into the atmosphere from the Earth (Jyllands Posten, 2001). Nevertheless, it makes sense for Denmark (a small, relatively lightly populated country with limited reserves of fossil fuels) to seek to improve its efficiency of power production.

Compared to the situation in many other countries, West Denmark's deployment of efficient central and local coal, gas, and bio-fuelled CHP plants represents a major advance, with considerable carbon-saving potential. In contrast, its attempts to assimilate large amounts of wind power into the domestic system have proved to be very disappointing, and have so far produced little or no reduction in carbon emissions because of the need for imported power or the less efficient production of domestic backup to protect the integrity of its grid (Sandøe, 2003a). Most of its large exports of wind power simply displace 'green' hydro or nuclear electricity produced in Norway and Sweden, helping to replenish reservoirs only in dry periods or when power is cheap. This has led a former Chairman of Eltra to ask: ["Is it environmentally friendly to produce electricity with wind turbines if there is no-one who can use it? And is it environmentally friendly to burn natural gas in decentralised heat and power plants while dumping the over-production of Danish wind electricity in Norway, where it possibly leads to water being diverted away from the water turbines?"] (Kongstad, 2001). Processes involved in the manufacture, excavation and/or installation of access roads, massive concrete foundations, turbine components, pylons and associated equipment also militate against the emission-saving benefits claimed for mega wind power.

As a matter of fact, despite West Denmark's massive carpet of wind turbines, its carbon emissions have recently been rising (Bruun, 2005), and a leading Elsam expert has intimated that "[Increased development of wind turbines does not reduce Danish CO₂ emissions]" (Nissen, 2004). The region can hope, however, that the future linking of CHP and wind power in a more flexible and co-ordinated system will improve the predictability and sustainability of power production, moderate surges and exports, and even reduce carbon emissions.

Lessons for the UK

The UK aspires to 20% renewable energy by 2020 (i.e. the level already achieved in West Denmark). This equates to about 60 - 70 TWh of renewable energy (see Sharman, 2005b). To obtain 70 TWh of production on the basis of wind turbines alone would require an installed capacity of between 23 and 40 GW, depending on the LF achieved (i.e. 35-20%). Danish experience suggests that the 40 GW estimate (equivalent to about 20,000 2MW wind turbines) would lie closest to reality, and that the UK would also need to invest heavily in local CHP plants and/or large inter-connectors for backup. Most of the associated requirement for natural gas would need to be met from vulnerable foreign sources.

The deployment of such numbers of mega turbines would have a big impact on UK land use. A widely used rule of thumb stipulates that to prevent the turbulence from adjacent turbines taking power from each other (thereby reducing the overall LF), they should be separated by 7 to 10 times their rotor diameter. Even this spacing is too close, 'shadow' effects being monitored 5 km away from wind stations (Andersen, 2005c). It thus appears that the installation of 40 GW of wind power in the UK could leave a dedicated turbine 'footprint' (i.e. a close-habitat impact zone), on land and/or at sea, equivalent in size to almost half the total land area of Wales (depending on the size, number and layout of turbines). The situation would become much worse if/when wind power is exploited to produce hydrogen as fuel. Assuming a very optimistic LF of 50% for 3MW wind turbines, a recent study (Oswald and Oswald, 2004) estimated that about 96,000 units would be required to run all British transport vehicles on hydrogen. These would occupy a dedicated area greater than that of Wales or, alternatively, a 10 km strip encircling the entire coastline of the British Isles.

The instalment of turbines and pylons in the more scenic parts of the UK would inevitably involve the clear-felling of woodland (to maximise LF) and the incidental drainage of wetland during the excavation and building of access roads and foundations. This would stimulate the oxidation of peat (releasing carbon dioxide), and impact badly on many habitats essential for the survival of particular species of wildlife. The potential danger to protected birds and bats presented by general habitat destruction and the flailing blades

of wind turbines has already been illustrated in many American and European situations (e.g. see the Cefn Croes Wind Farm website, 2004, and Mason, 2004).

Conclusions

The West Danish model clearly shows that the installation of large numbers of wind turbines can lead to severe and expensive problems with power transmission, and seriously degrade wildlife habitats and the aesthetic value of land- and seascapes for little or no reduction in carbon emissions. It is therefore imperative that energy conservation schemes and alternative sources of renewable energy are more thoroughly explored before large swathes of unique UK countryside and coastal scenery are lost to industrial wind stations. Conservation measures alone could reduce UK carbon emissions by 30% (Copping, 2003).

References

Andersen, P., 2001: "Om 15 år har vi møller på mere end 20 MW". [In 15 years we will have turbines of more than 20 MW]. Eltra magasinet, 10, November.

Andersen, P., 2003a: "Der-ud-af uden speeder, rat, kobling og bremses". [Out there without accelerator, steering wheel, clutch or brakes]. Eltra magasinet, 1, January.

Andersen, P., 2003b: "Regulering af lokal production gør os til bedre nabo". [Regulation of local production will make us better neighbours]. Eltra magasinet, 1, January.

Andersen, P., 2004a: "Forskere endevender søsyge transformere". [Researchers scrutinise seasick transformers]. Eltra magasinet, 2, February.

Andersen, P., 2004b: "Staten overtager Eltra og Elkraft fra årsskiftet". [The State takes over Eltra and Elkraft from New Year]. Eltra magasinet, 4, April.

Andersen, P., 2004c: "Eltra støtter og får viden fra norsk vind/brint-projekt". [Eltra supports and gets information from Norwegian wind/hydrogen project]. Eltra magasinet, 8, October.

Andersen, P., 2005a: "Da stormen tog til stod møllerne af". [When the storm increased the turbines switched off]. Eltra magasinet, 1, February.

Andersen, P., 2005b: "Tysk netstudie: Muligt at nå 20 procent vind om 10 – 15 år". [German grid study: Possible to achieve 20 percent wind in 10 – 15 years]. Eltra magasinet, 2, March.

Andersen, P., 2005c: "Mølleparker: Skyggevirkning mærkes fem kilometer borte". [Turbine parks: Shadow effect is felt five kilometres away]. Eltra magasinet, 4, June-July.

Bendtsen, B., 2003: Parliamentary answer to Question S 4640, 2nd September 2003. http://www.ft.dk/Samling/20021/spor_sv/S4640.htm.

Bendtsen, B. & Hedegaard, C., 2004: "Vindmøller i vælten". [Wind turbines in fashion]. Jyllands Posten, 21st September.

Bruun, H., 2005: "Progress toward the Kyoto targets". Danmarks Miljøundersøgelser. [National Environmental Research Institute, Denmark]. 15th April.

Bülow, T., 2002: "Mange møller skrottes i utide". [Many wind turbines are scrapped prematurely]. Eltra magasinet, 10, December.

Bülow, T., 2003: "Den mest vindfattige februar nogensinde". [The most wind-deficient February ever]. Eltra magasinet, 4, April.

Bülow, T., 2004a: "Guleroden væk – derfor småt med ny vindkraft". [No carrot – therefore little new wind power]. Eltra magasinet, 2, February.

Bülow, T., 2004b: "Et marked for regulerkraft tiltrækker decentrale anlæg". [A market for regulating power attracts decentralised plants]. Eltra magasinet, 5, May.

Bülow, T., 2005a: "Miljøet atter i balance efter turbulens i 2003". [Environment again in balance after the turbulence of 2003]. Eltra magasinet, 3, April-May.

Bülow, T., 2005b: "Nu regulerkraft fra PUDEL-værker". [Now regulating power from the PUDEL plants]. Eltra magasinet, 2, March.

Bülow, T., 2005c: "Snart regulerkraft fra hele Norden". [Regulating power from all Scandinavia soon]. Eltra magasinet, 4, June-July.

Cefn Croes Wind Farm website, September, 2004:
(<http://www.users.globalnet.co.uk/~hills/cc/gallery/gallery.htm>).

Coppinger, R., 2003: "Renewed disinterest". The Engineer, 29th August.

DTI, 2004: 2003 Energy Statistics:
http://www.dti.gov.uk/energy/inform/energy_stats/renewables/index.shtml .

Eltra, 2005: Annual Report 2004, 28 – 29 (in English). See also earlier editions.

Jyllands Posten, 2001: "0.0003 pct". [0.0003%]. Editorial, 1st September.

Jyllands Posten, 2004: "Ud med møllerne". [Out with the turbines]. Editorial, 22nd September.

Kongstad, J., 2001: "Grøn el sælges med tab". [Green electricity is being sold at a loss]. Jyllands Posten, 26th April.

Krogsgaard, O.T., 2001: "Energipolitik som vinden blæser". [Energy policy as the wind blows]. Politiken, 14th January.

Mason, V.C., 2004: "Environmentally unfriendly wind power – a personal opinion".
<http://www.dartdorset.org/Unfriendly%20WF%2018%20Feb%202004.pdf>.

Møller, T., 2005: "Erstatningskrav på 17 mill. Kr. for transformer-havarier". [Compensation claim of DKK 17 million for transformer damages]. Naturlig Energi, March 2005.

Nielsen, S., 2004: "The Danish Wind Power Experience", The Utilities Journal, OXERA. May Edition, 22-23.

Nissen, F., 2004: " Hvordan kan vindkraft styrke danske energiselskaber på det europæiske marked"? [How can wind power strengthen Danish energy companies in the European market?]. Elsam presentation at a conference "Vind eller forsvind", held at the Dansk Design Center, Copenhagen, on 27th May 2004.
[http://www.windpower.org/media\(254,1030\)/ELSAMFlemmingNissen.ppt](http://www.windpower.org/media(254,1030)/ELSAMFlemmingNissen.ppt)

Oswald, A. & Oswald, J., 2004: "The arithmetic of Renewable Energy".
<http://www.oswald.co.uk/ocl/windaccountancy04.pdf>.

Refocus Weekly, 2004: "Availability of wind power averages 20%, says industrial group", 6th October.
<http://www.sparkdata.co.uk/refocus/redesign/showdoc.asp?docid=57273501&accnum=1>

Renewable Energy Access, 2004: "Troubled wind farm undergoes dismantling". 13th July.
<http://www.solaraccess.com/news/story?storyid=7116&p=1>.

Reuters, 2004: Reuters Power News, 1st June.

Sandøe, N., 2003a: "Flere vindmøller skaber kaos". [More wind turbines cause chaos]. Jyllands Posten, 4th June.

Sandøe, N., 2003b: "Varmt vand af vindenergi". [Hot water from wind energy]. Jyllands Posten, 5th June.

Sandøe, N., 2004a: "Energiforlig sætter fart i møllerne". [Energy agreement speeds up the wind turbines]. Jyllands Posten, 30th March.

Sandøe, N., 2004b: "Planøkonomi erstattes af tilskud". [Planned economy replaced by subsidy]. Jyllands Posten, 30th March.

Sandøe, N., 2005a: "Vindmøller kan varme boliger op". [Wind turbines can heat homes]. Jyllands Posten, 17th June.

Sandøe, N., 2005b: "Vindmøller skal opvarme boliger". [Wind turbines must heat homes]. Jyllands Posten, 7th October.

Sharman, H., 2004: "Electrolysis for Energy Storage & Grid Balancing in West Denmark". Work Group Report prepared for Energistyrelsen [Danish Energy Authority], August.

Sharman, H., 2005a: "Danes blow away wealth in wind power exports". Financial Times, 24 May.

Sharman, H., 2005b: "Why wind power works for Denmark". Proceedings of ICE. Civil Engineering, 158, 66-72.

Teyssen, J. & Fuchs, M., 2005: "Wind Report 2005". E.ON Netz GmbH, www.eon-netz.com.

Troen, I. & Petersen, E.L., 1989: European Wind Atlas. Published for the European Communities by Risø National Laboratory, Roskilde, Denmark. ISBN 87-550-1482-8.

White, D.J., 2004: "Danish wind: Too good to be true?". The Utilities Journal, OXERA. July Edition, 37-39.

© Dr V.C. Mason and Country Guardian

<http://www.countryguardian.net/>