

ÉNERGIE ÉOLIENNE

Ferme éolienne

COPENHAGUE

(Danemark)

L'énergie éolienne n'est pas la source d'énergie qui vient immédiatement à l'esprit lorsqu'on pense à l'énergie renouvelable dans les villes. Peu de villes possèdent des espaces suffisamment importants pour construire de grandes fermes éoliennes. On trouve plutôt des villes équipées de petites éoliennes sur des emplacements adéquats dans la zone urbaine ou des villes réalisant des études de faisabilité sur le sujet. La ville de Copenhague a récemment pris part à un grand projet de ferme éolienne en mer, à deux kilomètres du littoral de la ville. Le projet est basé sur un partenariat entre la municipalité et des actionnaires locaux.

LA VILLE

La capitale du Danemark, Copenhague, (469.000 habitants, 1,3 millions avec les banlieues) est située complètement à l'est de Sjælland; elle est de loin la plus grande ville du Danemark. Elle s'étend sur la rive ouest de l'Øresund, une des voies d'accès principales à la mer Baltique et aux pays baltes. L'histoire de Copenhague remonte juste après la période Viking (1167 après J-C), époque à laquelle l'Archevêque Absalon a fait d'elle la capitale du Royaume du Danemark.

Données Climatiques :

Vitesse moyenne du vent (en mer) : 7,2 m/sec
Température moyenne annuelle : 8,0 °C



CONTEXTE

Aujourd'hui, plus de 100 000 familles danoises sont membres de coopératives pour l'énergie éolienne, qui ont installé 86% de la totalité des turbines éoliennes danoises. Jusqu'à récemment, les coopératives étaient un facteur très important et dominant dans le développement du secteur de l'énergie éolienne danoise. Depuis lors, la propriété individuelle a devancé de loin l'importance des coopératives. Dans les années à venir, on s'attend à ce que les services publics jouent un rôle de plus en plus important dans l'établissement de grandes fermes éoliennes en mer. Le programme des services publics danois à lui seul aura une puissance électrique totale de 750 MW dans les 8 prochaines années.

Dans le projet de la ville de Copenhague, sur les 20 turbines éoliennes dont dispose la ferme éolienne, 10 d'entre elles appartiennent à la Coopérative, et les 10 autres appartiennent au service public local Copenhague Energy. Le projet dans son ensemble a été développé en partie par la Coopérative et en partie par la Copenhague Energy. La part de la coopérative sera composée de 40 500 actions, une action représentant une production de 1 000 kWh/an, vendue à un prix de 567 euros (4 250 couronnes danoises). Ce projet a obtenu un permis de construire en mai 1999 et un accord politique formel de la part de l'Agence de l'Énergie

danoise en décembre 1999. Les contrats avec le fabricant de turbines et les entrepreneurs chargés des fondations et du réseau ont été signés en décembre 1999.

La restructuration et la libéralisation en cours sur le marché danois de l'énergie, qui comprennent de nouveaux mécanismes de réglementation pour le secteur des énergies renouvelables, ont compliqué la réalisation du projet.

La réalisation du projet n'était pas une tâche facile en raison des trois audiences publiques auxquelles il a dû être soumis. Tout d'abord, en 1997, la résistance des autorités et des groupes d'intérêt a provoqué une diminution de la taille de la ferme, qui est passée des 27 turbines proposées au départ à seulement 20 turbines. Ensuite, ce nouveau projet modifié a été soumis à une nouvelle audience, dont l'accent était mis sur l'impression visuelle. La dernière audience concernait l'analyse de l'impact sur l'environnement.

Au début, seules les personnes de la zone municipale pouvaient acheter des actions. Nouveauté mise en place pour l'année 2000 : tout le monde, même en dehors du Danemark, pouvait acheter cette énergie renouvelable sous certaines conditions. Dès octobre 2000, 100% des actions privées étaient vendues. Au jour d'aujourd'hui, ce sont plus de 8 500 personnes qui ont rejoint la coopérative.

EXPÉRIENCE DE COPENHAGUE

Le projet Middelgrunden est une ferme éolienne en mer dotée d'une puissance électrique nominale de 40 MW. Le projet, composé de 20 turbines éoliennes de 2 MW chacune, est situé à seulement 2 km du port de Copenhague, dans des eaux peu profondes (profondeur de 3 à 5 mètres).

Fabricant de turbines	Bonus Energy
Réalisation des fondations	Monderberg & Thorsen
Responsable branchement au réseau	NKT
Nombre de turbines éoliennes	20

Les ressources éoliennes sont limitées, mais grâce à la proximité de la capitale par rapport à la côte, le coût n'est que de 1,2 millions d'euros par MW, connexion au réseau comprise. Le coût en électricité est de 5,3 euros par kWh, exploitation et maintenance comprises. L'investissement total pour le projet était d'environ 45 millions d'euros (340 millions de couronnes danoises).

L'Agence de l'Energie danoise a alloué la somme de 680 000 euros (5,1 millions de couronnes danoises) afin d'enquêter sur les aspects techniques et environnementaux de la puissance éolienne en mer. Cette étude a mis en évidence les points suivants :

- Le risque de fuite de débris et de contamination métallique provenant de l'ancien centre d'enfouissement des déchets (3 ou 4 sites ont été contaminés par des métaux lourds et pour surmonter



ce problème, le dépôt doit être très peu manipulé au cours des travaux de dragage).

- La propagation du bruit (cela ne pose en principe aucune problème état donné que la distance qui sépare la ferme des zones habitées est supérieure à 2 km).
- L'influence sur le débit libre de l'eau à Oeresund (la ferme éolienne réduira uniquement le débit d'eau dans la ceinture entre le Danemark et la Suède de 0,0012% ; pour compenser la diminution du débit d'eau, un retrait d'environ 4000 m³ de dépôts d'une zone appropriée du fond océanique, est actuellement en cours de discussion).
- Le risque de collision avec des navires.
- L'impact sur la faune et la flore.
- Le risque de découverte d'épaves et de dépôts datant de l'Age de Pierre et présentant un intérêt archéologique.

Données techniques de la ferme éolienne

La ferme éolienne est située en mer à 2 km du port de Copenhague. La ferme éolienne est composée d'une ligne légèrement incurvée de 20 turbines, chacune étant dotée d'un rotor d'un diamètre de 76 m et d'un générateur de 2 MW. Le tableau et l'image ci-dessous indiquent l'emplacement et les spécifications techniques de la ferme éolienne.



Hauteur du moyeu	64 m
Vitesse moyenne du vent (à une hauteur de moyeu de 64 m)	7,1 m/s
Hauteur totale	102 m
Rayon du rotor	36 m
Puissance de sortie estimée	89 GWh
Efficacité du parc	93%

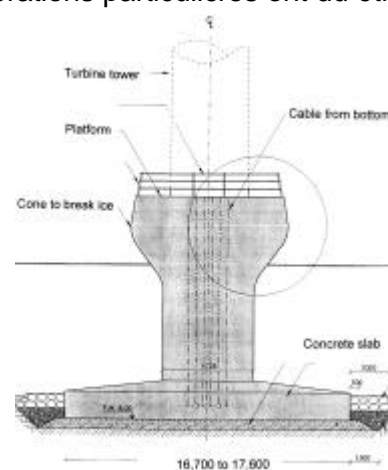
Disposition géographique

Spécifications techniques

Au cours de la construction de la ferme éolienne, des considérations particulières ont dû être prises en compte par rapport à la résistance à la fatigue ; les vagues associées au vent et à la poussée des glaces ainsi que les turbulences causées par la distance relativement courte entre les turbines éoliennes. Et très peu d'expérience était disponible sur ces trois sujets.

Une question technique très importante avait été le développement de fondations les plus appropriées, en tenant compte des fonds marins entre 2,5 et 5 mètres en dessous du niveau de la mer. Deux types de fondations ont été examinés à l'origine :

- Une fondation en caisson de gravité standard utilisé pour les turbines éoliennes sur la terre, construite sur de l'acier ou du béton (bien que le type de caisson en acier ne puisse pas concurrencer le béton dans des eaux peu profondes, même avec de l'acier bon marché).



- Une solution à pile unique (ce n'était pas réalisable pour ce site en raison de la présence d'un type de calcaire particulier).

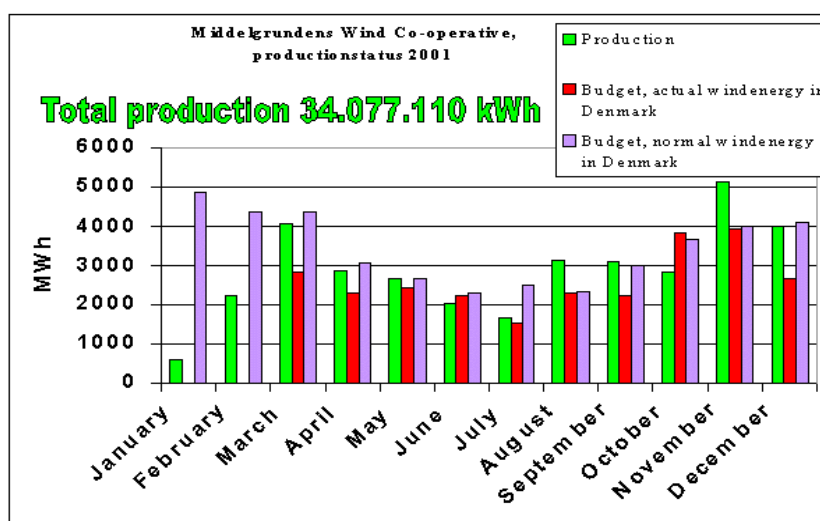
Finalement, les fondations en caisson à gravité, construites sur du béton, constituent la solution choisie. La connexion au réseau interne dans la ferme éolienne est composée de câbles pex de 30 kV enterrés dans le sol. Cette installation n'utilise pas de station de transformation centrale. Au lieu de cela, chaque turbine contient un transformateur de 690V/30kV en bas de la tour.

L'inauguration de la Ferme Éolienne en mer de Middelgrunden a eu lieu à Copenhague sur le quai Langelinie le 6 mai 2001. Environ 10 000 personnes ont participé à l'événement. Près de 1 300 personnes ont pris part au voyage en bateau et ont pu observer de plus près les turbines éoliennes. Cette ferme éolienne dispose désormais d'un site web (www.middelgrund.com) où vous pouvez suivre la production à partir de cette ferme éolienne en ligne. La production effective est mise à jour toutes les 10 minutes.

EVALUATION ET PERSPECTIVES

Avec Vindeby (construite en 1991) et Tunoe (construite en 1995), la ferme éolienne en mer de Middelgrunden représente le premier pas vers une extension prévue à grande échelle de la production d'électricité issue de turbines éoliennes en mer au Danemark. Dans les 5 à 8 ans à venir, 5 fermes éoliennes en mer de plus grande taille seront construites. La puissance totale de chacune de ces fermes sera de 150 MW. Une ferme éolienne en mer de plus petite taille, près de l'île de Samsøe, avec une puissance de 22 MW, est prévue pour 2001-2002 (www.samsøe.com).

Sur le graphique, on peut constater le progrès de la production de la Ferme Éolienne en mer de Middelgrunden au cours de l'année 2001. Les turbines étaient en première phase de test de janvier à avril, afin qu'une production normale puisse débuter à partir d'avril. Le budget figurant sur le diagramme a été calculé sur la base d'une année de vent standard. Par conséquent, il est donné uniquement à titre indicatif pour la production estimée.



Le potentiel des fermes éoliennes en mer dans les eaux danoises a été estimé à 2 250 MW pour les années 2000 à 2015, et 1 750 MW supplémentaires pour les 15 prochaines années. Ces estimations sont basées sur les technologies d'énergie éolienne, qui ont été découvertes il y a quelques années.

Comme conséquence de l'énergie qui sera produite en mer dans les années à venir, 50% de la consommation d'électricité danoise sera produit par des parcs à énergie éolienne en mer d'ici 2030 (Ministère de l'Environnement et de l'Énergie danois, 1996 ; Groupe de Travail sur les fermes éoliennes en mer, 1997). Dans ce sens, le projet de Middelgrunden a été un

projet pilote qui peut être d'une valeur considérable pour les futurs projets, dans le cadre de l'extension à grande échelle future de la production danoise d'énergie éolienne en mer.

POUR ALLER PLUS LOIN

Middelgrundens Vindmøllelaug
Jens H. Larsen
Blegdamsvej 4B
DK - 2200 KØBENHAVN N.
tél. : +45 35 37 36 36
Fax : +45 35 37 36 76
E-mail : kmek@sek.dk ou laugget@middelgrunden.dk
<http://www.middelgrunden.dk>

Københavns Energi
Børge Zoega Hansen
Vognmagergade 8
DK - 1149 KØBENHAVN K.
tél. : +45 33 95 39 31
Fax : +45 33 12 72 91
E-mail : ke@kk.dk
<http://www.ke.kk.dk>

Cette étude de cas a été réalisée par Energie-Cités en coopération avec Middelgrundens Vindmøllelaug IS et l'entreprise publique Københavns Energi. Elle a été financée par le Programme ALTENER de la DG XVII de la Commission européenne.

