

www.delaplanete.org / No 7 janvier-février 2003

Le Parc Eolien de Koudia Al Baida : prémisse d'un Eole Dorado marocain ?

Le Parc Eolien de Koudia Al Baida est situé au Nord du Maroc, au Sud du détroit de Gibraltar, entre les villes de Tanger et de Tétouan. Avec une capacité installée de 54 MW, opérationnel depuis l'année 2000, le parc Koudia Al Baida, est la plus importante installation de ce type en Afrique

Par Benoit Lambert



Plus de 200'000 MWh /an d'électricité éolienne sont produites actuellement par quelques 90 aérogénérateurs de la catégorie des 600 kW. La production annuelle totale du parc d'Al Koudia Al Baida est de l'ordre de 226 millions de kilowattheures (kWh) ; cette production correspond à l'équivalent de la consommation électrique de près de 400'000 habitants, soit une ville comme Tétouan. Si cette électricité devait être fournie par une centrale au charbon, ce serait près de 230'000 tonnes de dioxyde de carbone qui seraient rejetées dans l'atmosphère. Selon les responsables du projet, pour éliminer cette quantité de dioxyde de carbone de l'atmosphère, la plantation de plus de 12 millions d'arbres serait nécessaire.

Le montant de l'investissement est d'environ 50 millions d'Euros, dont près de 70% correspond aux aérogénérateurs confiés à l'entreprise danoise VESTAS, le leader mondial du marché. Le génie civil et les tours ont été assurés par des entreprises locales (SOGEA-EMT, ELECAM-DLM), et l'électricité par la multinationale ALSTOM-NEXANS. La maîtrise d'œuvre a été confiée à GERMA, un cabinet d'ingénieurs-conseils français spécialisés dans les techniques éoliennes. La Compagnie Eolienne du Détroit (CED), à l'origine du projet, est composé d'actionnaires français : Electricité de France, BNP Paribas, et GERMA, promoteur du projet. L'installation a été financée à hauteur de 30% par la CED, le reste du financement ayant été assuré par la Banque européenne d'investissement, Proparco, et un pool bancaire dont le chef de file est le Crédit Agricole Indosuez.

En raison de la complexité de ces aspects financiers, la réalisation du parc éolien d'Al Koudia Al Baida a pris du retard dans sa phase de développement. "C'est généralement de cas de projets internationaux faisant appel à un financement structuré à recours limité", déclare Jean-Michel Germa, Président directeur général de la Compagnie Eolienne du Détroit. De plus, il s'agit ici d'un projet de grande taille, qui s'appuie sur l'utilisation d'une forme d'énergie et d'une technologie nouvelles, avec lesquelles les banques ne sont pas encore familiarisées. Plus classique, la phase de construction a été assez aisée à mettre en œuvre. En raison de la qualité du site et des techniques retenues, le projet est rentable, tant pour les investisseurs que pour l'Office national marocain d'électricité, alors que son financement ne fait appel à aucune subvention ni à un prêt à taux bonifié. M. Germa d'ajouter : "Il est cependant vraisemblable, qu'à l'avenir, le développement de grands parcs éoliens se heurtera à la concurrence des énergies thermiques, notamment le gaz, dont les prix, hors externalités, sont bas. Seule la prise en compte des coûts externes associés aux rejets polluants (CO₂, NO_x, SO₂, particules, etc...) de ces dernières pourrait contribuer à rétablir un cadre de compétition équitable, permettant aux énergies renouvelables de participer au développement durable de manière rentable pour la collectivité."



La disposition du parc a été conçue afin d'optimiser le captage de l'énergie éolienne et de minimiser l'impact sur le milieu environnant. Les vents dominants provenant des secteurs Est et Ouest, les turbines sont alignées sur un axe nord-sud sur une dizaine de kilomètres. Elles sont réparties sur de hautes crêtes inhabitées. Afin de ménager des passages pour les oiseaux, les turbines ont été rassemblées en trois groupes séparés les uns des autres par des couloirs de plusieurs centaines de mètres. Une étude pour évaluer l'impact du parc sur les oiseaux a d'ailleurs conclu à une faible mortalité. L'étude, menée de fin août 2001 à fin octobre 2001, en pleine période de migration, a duré 44 jours: 9'000 grands voiliers ont été observés (dont 18 espèces de rapaces et 2 de cigognes), et 1338 passereaux (22 espèces). Selon les critères d'évaluation retenus par l'étude, la majorité des grands voiliers qui ont traversé les crêtes où se trouvent les éoliennes, ont détourné leur vol, tandis que les passereaux ont été très peu affectés. Les oiseaux ont bifurqué vers l'Ouest, passé dans la trouée prévue, ou survolé les éoliennes. Seuls deux oiseaux ont été trouvés morts sous les pales durant cette période, un Martinet pâle *Apus pallidus* et une Alouette *Lulu Lullula arborea*.



Le directeur d'exploitation, M. Youssef FANIAR de la Compagnie Eolienne du Détroit, nous a accordé une interview. On l'aperçoit ici à gauche, avec l'équipe d'entretien du site.

Le Maroc : une future superpuissance éolienne ?

(Cette section s'inspire d'informations disponibles sur le site www.saharawind.com)

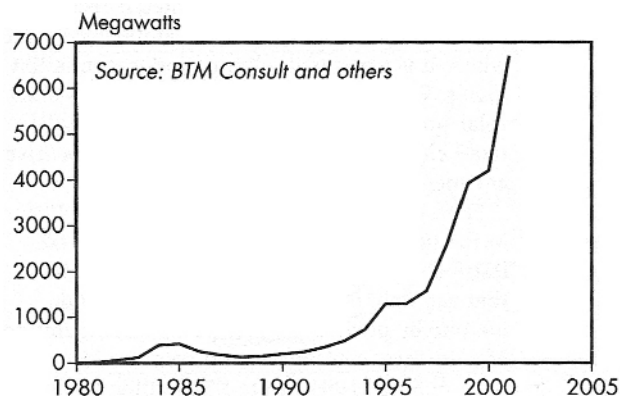
Le Maroc a affirmé très tôt sa volonté de devenir un des hauts lieux de l'énergie éolienne dans le monde. Une étude de nombreux sites d'implantation, réalisée par le Centre marocain de Développement des Energies Renouvelables (CDER) a permis d'aboutir à la création du bassin éolien Abdelkhalek Torres. Comprenant le parc éolien d'Al Koudia Al Baïda et un parc modèle (3.5 MW, exploité par l'Office National d'Electricité), le bassin Abdelkhalek Torres a été inauguré par Sa Majesté le Roi Mohamed VI le 10 mai 2000. De nombreux autres projets vont voir le jour dans les prochaines années. Parmi ces projets, notons le plus important : l'Office National d'Electricité a lancé un appel d'offres pour la construction de deux parcs éoliens d'une puissance totale de 200 MW (140 MW à Tanger dans le Nord, et 60 MW à Tarfaya, au sud sur la côte Atlantique). La mise en service industrielle est prévue pour 2004.

Le développement de l'énergie éolienne est un succès européen, et son potentiel pourrait être assez grand pour subvenir aux besoins électriques de toute l'Europe. Cette alternative est toutefois limitée par la très forte densité de la population européenne, ce qui limite les superficies mobilisables. Or la majeure partie de l'Afrique du Nord est composée de déserts, où la sécheresse permanente et un rayonnement solaire élevé ont limité la croissance végétale, rendant ainsi la présence humaine très difficile. L'amplitude thermique élevée combinée à l'érosion éolienne chronique a détérioré la morphologie de cette région, au point que plus de 90% de la superficie actuelle du Sahara est constituée de plaines et de plateaux rocheux. Cette surface présente un coefficient de résistance au vent particulièrement bas. Les dunes de sable communes à notre imagination représentent en fait moins de 10% de la superficie totale du Sahara.

L'intersection entre l'Océan Atlantique et le désert du Sahara crée une zone d'échange énergétique globale caractérisée par la présence de vents réguliers qui pénètrent profondément à l'intérieur de ce territoire. La région côtière atlantique du Maroc vers la Mauritanie, longue d'environ 2000 kilomètres, représente l'une des plus grandes superficies ventées au monde. En raison de ces conditions climatiques extrêmement dures, la densité de population vivant dans ce secteur est de moins de 1 habitant/km². Cette population est essentiellement concentrée dans des agglomérations. Les grandes masses d'air chaud s'élèvent à l'équateur (à 1000 kilomètres au sud) vers les couches plus élevées de l'atmosphère et migrent vers les latitudes du Nord, où les températures sont plus froides. Cependant, dans l'hémisphère Nord, à cause de la rotation de la terre (force de Coriolis) à environ 30° de latitude, ces grands mouvements d'air sont déviés vers la droite (à l'est) et tournent dans le sens des aiguilles d'une montre au-dessus l'Océan Atlantique. Près de la côte Africaine, à la jonction du désert du Sahara avec l'Océan Atlantique, le climat est dominé par les Alizés qui sont des vents forts et réguliers.



Etant donné que la côte Atlantique du Maroc vers la Mauritanie s'étend sur plus de 2000 kilomètres, une densité de puissance installée de moins de 2.4MW/km² sur une partie de ce territoire pourrait suffire à produire plus de 1000 TéraWatt/heure par an. Cette production est équivalente à près de la moitié de la consommation annuelle de l'Union Européenne (2300 TWh). Ce potentiel, s'il est exploité comme décrit ci-dessus, ne peut être utilisé sur place : il représente plusieurs dizaines de fois les besoins cumulés des pays d'Afrique du Nord.



Capacité annuelle supplémentaire de l'énergie éolienne dans le monde, 1980 – 2001. 1'000 mégawatts correspondent à la production d'une grande centrale nucléaire en France.
Source: Christopher Flavin, *Vital Signs 2002*, Worldwatch Institute, p.43

Notez qu'en 2002, la production mondiale d'énergie générée par le vent a franchi les 30'000 mégawatts.

Grâce à la technologie actuelle des lignes électriques à haute tension, la perspective d'importation d'énergies renouvelables en provenance de régions éloignées s'avère techniquement réalisable. Il y a actuellement plus de 60 GW de capacité électrique dans plus de 80 projets dans le monde qui sont transportés par des lignes à haute tension en courant continu. Leur principal objectif est de permettre le transfert vers les centres urbains ou industriels de l'électricité hydraulique et thermique produite à partir de sites éloignés. Parmi ces projets nous pouvons mentionner celui qui approvisionne la ville de New York avec de l'électricité hydraulique

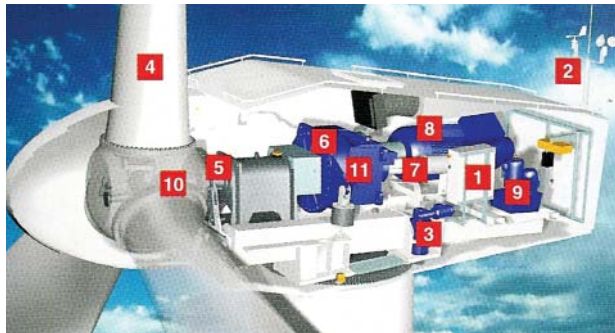
produite par Hydro-Québec sur des barrages situés à une distance de plus de trois mille kilomètres. Cette distance est comparable à celle qui sépare le Sahara du centre de l'Europe.

En se basant sur une production annuelle moyenne de 3400 heures et un investissement initial de 1000 euros/kilowatt, avec 5% de taux d'intérêt ajusté, 20 ans de durée de vie et 2% de l'investissement consacré aux coûts annuels de fonctionnement et de maintenance, le prix de revient de l'électricité produite par un aérogénérateur est de euros 0,03/kWh. D'après les mesures de vents effectuées sur ce territoire, la production annuelle moyenne pourrait atteindre plus de 4500 heures. Le transfert de cette énergie à partir de la Mauritanie (limite à l'extrême sud de ce territoire) jusqu'en Allemagne par exemple, nécessiterait une longueur de ligne à haute tension de 4400 km dont 40 km de câble sous-marin. Le prix de revient de l'électricité produite au Sahara vendue en Allemagne serait de moins de euros 0,045/kWh. Ce montant inclut tous les coûts inhérents à la production et au transport de cette énergie. Les pertes liées au transport, calculées avec une ligne à haute tension en courant continu de 5 GW de capacité, sont limitées à 10% et représentent un montant de euros 0,005/kWh [Czisch 2000]. Avec les vitesses de vents mesurées sur place et l'utilisation des meilleurs sites, les coûts de production pourraient encore être notablement améliorés.

En raison de la nature intermittente du vent et de sa dépendance à l'égard du climat, la production d'électricité éolienne ne peut être garantie. Des fluctuations de puissances électriques au sein des parcs éolien se produisent pendant des périodes courtes, de l'ordre de quelques secondes, voire de quelques heures. Plus ces fluctuations sont courtes, plus il sera facile à d'autres centrales électriques de les couvrir dans un même réseau pour satisfaire la demande. Comme ces fluctuations diminuent avec un nombre plus élevé d'aérogénérateurs s'ils sont étalés dans un champ capteur plus grand, la zone concernée, qui assure un tel étalement, est idéale. Ajoutons que la prévisibilité des énergies renouvelables ne pose pas un problème plus grand que celui de l'anticipation de la charge. Celle-ci sera appelée à s'améliorer continuellement en utilisant les technologies de télédétection spatiale. Les centrales électriques traditionnelles, utilisant comme combustible le charbon ou la fission nucléaire, auront tout autant de peine à s'ajuster dans un futur réseau électrique d'approvisionnement durable, tant leur inertie les empêchera de subvenir rapidement à la demande maximale de charge.

La ressource éolienne du Sahara, qui s'étend sur une côte désertique de plusieurs milliers de kilomètres, nécessitera encore quelques années pour être évaluée avec précision. Néanmoins, elle représente probablement l'une des plus grandes ressources éoliennes du

monde, à ce stade encore inexploité. La taille de ce territoire, les caractéristiques du vent ainsi que la proximité géographique du continent européen font que cette région présente des perspectives très prometteuses pour l'avenir des énergies renouvelables.



Comment fonctionne une éolienne?

Quand le vent se lève, l'automate (1), grâce à la girouette (2) située à l'arrière de la nacelle, commande aux moteurs d'orientation (3) de placer l'éolienne face au vent. Les trois pales (4) sont mises en mouvement par la seule force du vent. Elles entraînent avec elles l'axe lent (5), le multiplicateur (6), l'axe rapide (7) et la génératrice (8).

Lorsque la vitesse du vent est suffisante (15 km/h), l'éolienne peut être couplée au réseau électrique. Le rotor tourne alors à sa vitesse nominale (environ 30 tours par minute) et la génératrice à 1'500 tours par minute. Ces vitesses de rotation vont rester constantes tout au long de la période de production. La génératrice délivre alors un courant électrique alternatif d'une tension de 690 volts, dont l'intensité varie en fonction de la vitesse du vent. Ainsi, lorsque la vitesse du vent croît, la portance s'exerçant sur le rotor augmente, et la puissance délivrée par la génératrice s'accroît. Quant la vitesse du vent atteint 15 m/s, l'éolienne fournit sa puissance nominale. Cette puissance est alors maintenue constante par la réduction progressive de la portance des pales. L'unité hydraulique (9) régule la portance en modifiant l'angle de calage des pales qui pivotent sur leur roulement (10). Lorsque la vitesse du vent dépasse 90 km/h, les pales sont mises en drapeau (parallèles à la direction du vent) et leur portance devient quasiment nulle. L'éolienne ne produit plus d'électricité. Tant que la vitesse du vent reste supérieure à 90 km/h, le rotor tourne en roue libre (quelques tours par minute) et la génératrice est déconnectée du réseau. Dès que la vitesse du vent diminue, l'éolienne se remet en production. Toutes ces opérations sont entièrement automatiques et gérées par ordinateur. En cas d'arrêt d'urgence, un frein à disque (11) placé sur l'axe rapide permet de mettre l'éolienne en sécurité. Au pied de chaque éolienne, un transformateur convertit la tension de 690 volt en 22'000 volts, tension de transport jusqu'à la station HT/MT. Cette tension est élevée à 60'000 volts, tension de transport du réseau national de l'Office National de l'Electricité, sur lequel toute l'électricité produite est déversée.

Benoît Lambert, rédacteur en chef de l'Etat de la Planète