

# Quelques éléments de détermination du rendement d'une tour aérogénératrice

## Coustou - Alary

Le fonctionnement de la tour est basé sur la combinaison en une même structure de quatre effets naturels – Effet de serre, effet cheminée, effet Venturi, effet Coriolis – si possible de basses calories de récupération et éventuellement du vent.

Les calories obtenues par effet de serre dépendent en moyenne annuelle de l'ensoleillement (latitude et climat) et de la superficie des serres. Le stockage diurne des calories est assuré par les bassins décrits dans le texte du brevet. Ceci assure la continuité du fonctionnement de l'installation, basée sur le différentiel de température entre base et sommet et non sur le niveau absolu de la température.

Il est prévu de réduire considérablement la superficie des serres qui seraient nécessaires en fonctionnement autonome, grâce à la récupération de basses calories obtenues de l'industrie, d'une centrale électrique ou de la géothermie. C'est ce type de configuration qui fait l'objet des calculs et estimations ci-après.

Le calcul du rendement doit se faire en deux grandes étapes : Celle de la conversion de l'énergie thermique en énergie cinétique et celle de la conversion de l'énergie cinétique en énergie électrique.

Le premier niveau de conversion est limité par le principe de Carnot. D'après ce principe, le rendement maximal de cette transformation est d'autant meilleur (ou moins mauvais) que la différence de température entre source chaude et source froide est plus élevée. Il est de l'ordre de 30 à 35 % en ce qui concerne une centrale électrique.

Le second niveau de conversion (énergie cinétique en énergie électrique) peut être beaucoup plus élevé : De l'ordre de 90%, voire plus, en ce qui concerne les turbines hydrauliques ou les turbines à gaz.

L'énergie retirée de la tour aérogénératrice est la résultante des deux :

L'énergie initiale provient principalement de l'obtention d'un différentiel thermique en ce qui concerne l'effet de serre, la création d'une tornade captive (qui tire initialement son énergie à la fois du différentiel thermique et de la « force » de Coriolis) et de la récupération si possible massive de basses calories. Ajoutons que les phénomènes de condensation que l'on peut éventuellement laisser survenir en haut de la tour peuvent contribuer à recharger en énergie le flux d'air ascendant en rotation.

L'effet est purement cinétique en ce qui concerne la récupération éventuelle du vent, l'effet Coriolis et l'effet Venturi.

La combinaison de l'ensemble de ces éléments est susceptible de permettre d'aller – en apparence – au delà des contraintes du principe de Carnot. En réalité, le principe est bien évidemment respecté mais nous avons vu que le différentiel de températures n'est pas la seule source d'énergie que notre système permet d'utiliser.

Revenons à l'estimation des calories récupérables. Outre la surface couverte par les serres surplombant les bassins qui peuvent être utilisés comme échangeur thermique et qui ajouteront des calories solaires à l'ensemble, il est prévu de récupérer des calories « industrielles ». Or, en ce qui concerne une centrale électrique, ces calories – autrement en grande partie perdues – constituent un potentiel considérable. Avec un rendement de 30 à 35%, les centrales nucléaires relâchent ainsi dans la nature à peu près les 2/3 des calories produites : l'équivalent de quelque 2,6 GW contre 1,3 GW électrique. A condition de configurer le système de transfert de calories de manière à ne pas obérer le rendement de la centrale, il est donc possible de « récupérer » la presque totalité de ces 2,6 GW pour accélérer la colonne d'air ascendante.

Même si seulement 30 % des calories étaient utilisées pour induire le flux ascendant (rendement thermodynamique : cf. infra), une autre partie de l'énergie contribuerait au mouvement de rotation de la colonne d'air (effet de tornade captive, entretenu et accéléré par la « force » de Coriolis). L'effet Venturi permettrait quant à lui d'accélérer le flux au niveau du système de conversion de l'énergie cinétique en énergie électrique, réduisant le diamètre nécessaire des turbines ou hélices à pas variable, tandis que le vent éventuel entraînerait une légère surpression à la base – facilement contrôlable par le système de volets prévu en périphérie – accroissant encore l'énergie cinétique.

Au total, et en tenant compte de la synergie entre l'ensemble des effets, on peut estimer à quelque 1,3 à 1,5 GW l'énergie cinétique obtenue pour une grande tour de 300 à 350 m de hauteur.

Reste la question de la conversion de l'énergie cinétique en énergie électrique. Là, notre installation est particulièrement intéressante, notamment si on la compare à une éolienne. Les éoliennes ne fonctionnent qu'une partie du temps (environ 1/3 pour les modèles actuels) et ne peuvent guère convertir plus de 50% de l'énergie du vent incident (loi de Betz, limitant à un maximum théorique de 59% ce rendement cinétique).

Par contre, les tours aérogénératrices s'apparentent à une turbine à gaz et, sans atteindre avec certitude le rendement de 90% qui est celui de ces dernières, devraient permettre d'atteindre, voire de dépasser le rendement de 75% que nous annonçons dans le descriptif de l'invention.

Par rapport aux éoliennes, il faut en effet tenir compte des caractéristiques aérodynamiques particulières des tours : flux d'air guidé par la structure, effet Venturi, composante rotative s'ajoutant à la composante verticale du flux d'air, recharge au moins partielle en énergie en haut de la tour par le dégagement de calories induit par la condensation, compensation du ralentissement de la colonne ascendante par son élargissement progressif après chaque étage de turbines ou d'hélices à pas variables...

Au total, la puissance installée – et disponible en continu – d'une grande tour de 300m pourrait être comprise entre 1 et 1,3 GW et donc approcher celle d'un réacteur nucléaire.

### Quelques données complémentaires :

L'effet Venturi : dépend directement du rapport entre la superficie libre à la base de la tour (qui doit être égale à la surface des entrées d'air à la base de l'édifice) et la surface correspondant à la section de la tour au niveau de la base des turbines.

Avec un rapport envisagé de 50 à 1 et une vitesse d'entrée d'air égale à 10 km/h, la vitesse ascensionnelle pourrait atteindre 500 km/h à la base des turbines. Il est seulement souhaitable d'éviter d'atteindre des vitesses transsoniques pour limiter les contraintes au niveau des pales. En tenant compte du fait qu'à masse d'air déplacée égale, l'énergie cinétique évolue comme le carré de la vitesse, le rendement thermodynamique de l'installation devrait être considérablement supérieur à celui qui est envisageable avec le seul effet cheminée (tours solaires de Manzanares et d'Australie), lequel ne permettrait d'obtenir qu'une vitesse ascensionnelle de quelques dizaines de km/h (maximum 60 km/h dans le cas

du projet initial de tour australienne, d'une puissance de crête prévue égale à 200 MW pour une hauteur de 1000 mètres).

La tornade artificielle et contrôlée générée et entretenue dans la tour aérogénératrice ajouterait une composante rotative que nous estimons à 200 km/h en bout de pales au niveau de la turbine la plus basse. En fait, une tornade naturelle entraîne des vents de 200 à 500 km/h en composante rotative et plusieurs centaines de km/h en composante verticale. Sans atteindre une telle force, l'effet tornade améliorerait probablement très fortement l'énergie cinétique récupérable grâce à la tour aérogénératrice.

A l'effet Coriolis, s'ajouterait l'effet Venturi pour renforcer la tornade : le rétrécissement de la tour à la base des turbines s'accompagnera d'une accélération de la rotation (conservation du moment cinétique).

Cette tornade est totalement contrôlée. La conversion de la majeure partie de son énergie en énergie électrique (combinaison turbines/alternateurs) l'affaiblit en effet et ne lui permet pas de survivre à la sortie de la colonne d'air en haut de la tour. Il est de plus toujours possible de contrôler le flux d'air entrant à la base de la tour grâce à un double système de volets électroniquement commandés, les uns au niveau des baies d'entrée de l'air, les autres au niveau de la périphérie des serres..

Calcul de l'effet cheminée et des vitesses ascensionnelles (en mètres par seconde) obtenues en fonction de la hauteur et du différentiel de température (en degrés Celsius) entre la base et le niveau le plus étroit de la tour, avec prise en compte de l'effet Venturi.

a) Pour une tour de 300m (hauteur optimale):

10° => 160 m/s

15° => 180 m/s

20° => 195 m/s

25° => 210 m/s

30° => 220 m/s

35° => 230 m/s

40° => 240 m/s

b) Pour une tour de 100m (hauteur minimale):

10° => 090 m/s

15° => 100 m/s

20° => 115 m/s

25° => 120 m/s

30° => 125 m/s

35° => 130 m/s

40° => 135 m/s

Rien n'interdit de partir d'un différentiel thermique plus important à la seule condition de maîtriser les turbulences en évitant d'arriver en régime transsonique (si nécessaire en ralentissant un peu la colonne d'air ascendante soit en modifiant le pas des pales, soit en ajoutant un ou plusieurs étages de turbines et d'alternateurs).

L'énergie cinétique variant comme le carré de la vitesse, le rendement sera d'autant meilleur que la vitesse ascensionnelle sera plus élevée.

Ces calculs ne tiennent pas compte de la composante rotative, susceptible d'ajouter un complément notable d'énergie cinétique, le sens de rotation des turbines devant être le même que celui de la tornade artificielle.

Le pas variable des pales du dispositif de conversion de l'énergie cinétique permettrait de maintenir la vitesse de rotation de chacun des étages dans des limites compatibles avec la résistance des matériaux et le contrôle des turbulences.

Alain COUSTOU