

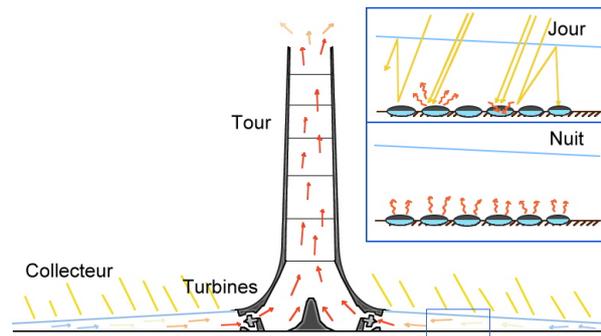
Devoir en temps libre n° 30

Les tours solaires aérothermiques

Un prototype de tour solaire aérothermique, un type de centrale de production d'électricité à partir de l'énergie solaire, a fonctionné durant plusieurs années à Manzanares en Espagne¹.



(a) La centrale de Manzanares



(b) Principe d'une tour solaire

Le principe est le suivant. Une très grande surface vitrée posée proche du sol, chauffe l'air qui se trouve en-dessous ; au centre de cette surface, une tour de grande hauteur collecte l'air chauffé. La convection ainsi créée met en mouvement une batterie de turbines. Le schéma de principe est montré ci-dessus².

Les caractéristiques techniques de la centrale de Manzanares sont passées en revue dans un article récent³ :

- diamètre du collecteur : 122 m,
- hauteur de la cheminée : 195 m,
- rayon de la cheminée : 5 m,
- température de l'air sous le collecteur : 20 °C au-dessus de la température ambiante,
- vitesse de l'air dans la cheminée : 15 m · s⁻¹,
- puissance électrique obtenue : entre 41 et 49 kW (selon l'irradiation solaire).

Connaissant la masse volumique de l'air (environ 1,2 kg · m⁻³) et sa capacité thermique massique à pression constante (environ 1 kJ · kg⁻¹ · K⁻¹), évaluer la puissance mécanique maximale récupérée par les turbines, et comparer à la puissance électrique annoncée.

Dans une revue sur les tours solaires⁴, on peut lire : « The Manzanares plant achieved an electrical efficiency of 0,53%, but Schlaig [il s'agit de l'ingénieur à l'origine de la conception de la centrale] believes that it can be increased to 1,3%. ». Conclure.

1. Voir l'article de Wikipedia : [https://fr.wikipedia.org/wiki/Tour_solaire_\(chemin%C3%A9e\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Tour_solaire_(chemin%C3%A9e)).
2. Dessin de Kilohn limahn : https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Sch%C3%A9ma_fonctionnel.jpg
3. Erdem Cuce, Pinar Mert Cuce, Harun Sen, Cleaner Engineering and Technology 1 (2020) 100226 disponible à <https://doi.org/10.1016/j.clet.2020.100026>
4. H. Alm ElDin Mohamad, E. Medhat, E. Mohamad, R. Mohamed, M. Muthu, Renewable Energy Research and Application, vol 2 n°1, 2021,117-128

Corrigé du devoir en temps libre n° 30

éléments de correction

On peut appliquer le premier principe en système ouvert au fluide qui passe dans la tour. Commençons par déterminer les différents paramètres pertinents.

- Section de la tour : $S = \pi r^2 = \pi \times 5^2 = 78,5 \text{ m}^2$.
- Débit massique de l'air : $D_m = S\rho v = 78,5 \times 1,2 \times 15 = 1,4 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$.
- Dénivellation : $z_s - z_e = 195 \text{ m}$.
- Vitesses d'entrée et de sortie : $v_e = 0$ et $v_s = 15 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.
- Différence de température : $T_s - T_e = -20 \text{ K}$ en admettant que l'air qui sort revient à la température ambiante.

Écrivons le premier principe pour un système ouvert entre l'entrée de l'air dans les turbines au pied de la cheminée et la sortie en haut de la cheminée, supposée calorifugée :

$$D_m \times \left[\frac{v_s^2 - v_e^2}{2} + g(z_s - z_e) + c_p(T_s - T_e) \right] = \mathcal{P}_W + \mathcal{P}_Q$$

On en déduit :

$$\mathcal{P}_W = D_m \times \left[\frac{15^2}{2} + 9,8 \times 195 + 1 \cdot 10^3 \times (-20) \right] = -25 \cdot 10^6 \text{ W}$$

La puissance mécanique maximale récupérée est donc de 25 MW. Si la puissance électrique produite est de l'ordre de 45 kW, on trouve une efficacité de 0,18%. On n'est pas si loin des 0,53% mesurés. En effet, la puissance mécanique maximale récupérée est en fait bien moindre que celle de notre calcul, car il faut tenir compte des frottements de l'air (sur les parois et entre les couches d'air du fait de sa viscosité) et de la nature tourbillonnaire de l'écoulement, qui entraîne une dissipation d'énergie.

Notons pour terminer qu'il est peu probable qu'un tel dispositif soit une solution réaliste aux déficits climatiques face auxquels nous nous trouvons.