

Etude du Comportement Mécanique de la Structure de la Cheminée Solaire

RAHUI Sahar¹, BOUSSHINE Lahbib¹

1. Equipe de Mécanique des Structures et des Matériaux

Ecole Nationale Supérieure d'Electricité et de Mécanique ENSEM, Université Hassan II, Casablanca

Rahui.sahar12@gmail.com

lbousshine@yahoo.com

Résumé

La tour solaire à effet de cheminée est l'un des projets les plus ambitieux de la planète pour la production d'énergie alternative. C'est une usine d'énergie renouvelable qui pourrait fournir une puissance électrique importante tout en étant sûre et propre. Son principal avantage est qu'elle peut fonctionner sans intermittence en utilisant le rayonnement du soleil le jour et la chaleur que dégage la terre la nuit. Les technologies employées pour la construction d'une cheminée solaire ne sont pas très sophistiquées, de sorte qu'elles puissent facilement être mises en œuvre par les pays en voie de développement comme le Maroc. Le présent article donne une aperçue générale sur le projet de la cheminée solaire à travers une description de l'état d'art. La structure de la cheminée est le principal composant de ce type d'installation. Sa conception présente plusieurs défis techniques. La présente étude consiste à la vérification de la stabilité et de la résistance de la structure de la cheminée vis-à-vis de plusieurs exigences. On met l'accent sur un type spécifique de structure, il s'agit des tours autoportantes. L'évaluation du comportement mécanique de la structure de la cheminée se fait en proposant une modélisation approximative de la structure et en effectuant une étude statique linéaire. Les simulations numériques basées sur la méthode des éléments finis sont réalisées à l'aide du logiciel «Patran/Nastran».

Mots clés: *Cheminée Solaire, Energie Solaire, Modélisation, Tour, Autoportante, Elément Finis, Simulation Numérique.*

1. Introduction

La cheminée solaire est une installation solaire de production de puissance qui utilise le rayonnement solaire pour accroître l'énergie interne de l'air s'écoulant à travers le système, transformant ainsi l'énergie solaire en énergie cinétique. L'énergie cinétique de l'air est ainsi transformée en électricité en utilisant des groupes turbogénérateurs adéquats. Une Centrale à Cheminée Solaire est constituée de trois éléments principaux (Fig. 1), à savoir le capteur solaire, la tour-cheminée et la turbine. Le capteur, constitué par le sol et une couverture transparente située à quelques mètres au-dessus du sol, a pour objectif principal de capter le rayonnement solaire pour chauffer la masse d'air présente à l'intérieur. Les forces de gravités dirigent l'air chaud vers la cheminée qui est située au centre du capteur. Des aérogénérateurs sont placés dans la partie supérieure de la cheminée pour

convertir l'énergie cinétique en électricité. Le concept combine plusieurs effets et forces naturels (effet de serre, effet cheminée, effet Venturi, force de Coriolis).

La Cheminée Solaire a été proposé pour la première fois par Cabanyes [1], et ensuite décrite dans une publication par Günter [2]. Depuis 1975, plusieurs brevets ont été accordés à Lucier en Australie, au Canada, en Israël et aux Etats-Unis [3]. Jorch Schlaich a également présenté cette technologie dans un congrès en 1978, pour concevoir et construire, par la suite, avec ses coéquipiers le premier prototype d'une Cheminée Solaire à Manzanares en Espagne entre 1981 et 1982 [4-8]. Ce prototype doté d'une tour de 194.6 m de hauteur, d'un collecteur de 244 m de diamètre et d'une turbine à rotor unique à quatre pales, orientée verticalement, installée à la base de la tour. Ce prototype a fonctionné jusqu'à 1989 en produisant une puissance maximale de 50 kW. Par la suite, Le gouvernement Australien a décidé de soutenir la construction d'une Cheminée Solaire de 200MW à Mildura en Australie. Cette cheminée est de 1000 m de hauteur dotée d'un collecteur de 7000 m de diamètre. Des études numériques et analytiques sont proposées pour construire une centrale à Ciudad Real en Espagne qui sera dotée d'une tour de 750 m de hauteur et d'un collecteur de 3.5 km de superficie, pourra fournir une puissance de 40MW. En mai 2008, le gouvernement Namibien a approuvé une proposition pour la construction d'une cheminée solaire de 400MW appelé le 'Greentower' dotée d'une tour de 1500 m de hauteur et de 280 m de diamètre, et un collecteur de 37 km de superficie. Le collecteur est aussi envisagé pour être utilisé comme une serre pour des fins agricoles [9]. Une autre proposition de construire d'une cheminée solaire de 1000 m de hauteur pour la production d'électricité et le développement de tourisme à Changhaï en Chine a été présentée et sa simulation demandée a été effectuée par l'équipe de HUST (Huazhong University of Science and Technology).

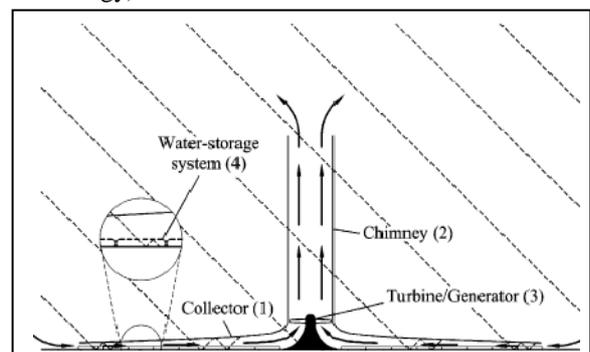


Fig. 1: Dessin schématique d'une cheminée solaire

2. Problématique :

La structure de la cheminée est une structure massive qui est plus de deux fois la hauteur de l'Empire State Building. Ce qui présente un défi pour sa conception. Pour les hauteurs de tours envisagées (au-delà de 500m), les tours en acier connaissent des problèmes de résistance des matériaux. Ces problèmes (flambement par exemple) sont résolus par l'utilisation du béton dans les tours. En effet, de nombreux chercheurs à travers le monde ont présenté plusieurs idées de conceptions de ces tours. Il existe l'idée de la cheminée solaire flottante, c'est une structure plus légère que l'air, composée de trois parties principales: la cheminée principale, la base lourde et la partie inférieure pliable [10]. On trouve aussi les cheminées haubanées, ce sont des structures en tubes de tôle rigidifiés par des poutres en treillis et tenues par des câbles en acier. Devant la diversité des conceptions de la structure de la cheminée, on va mettre l'accent, dans ce travail, sur le type des cheminées autoportantes, c'est une structure architecturale dont la stabilité est assurée par la seule rigidité de sa forme. Pour renforcer les tours en béton armé de hauteurs beaucoup plus importantes, Jorch Schlaich développe dans son livre «The Solar Chimney» [11], un principe intitulé « principe de l'œuf et la roue de bicyclette ». Ce concept permet de placer tout au long de la hauteur de la tour des anneaux raidisseurs (stiffing rings) comme des roues de bicyclette pour fournir une force supplémentaire à la coque qui pourrait s'effondrer très facilement si elle n'est pas renforcée. Des câbles radiaux tirant directement sur le béton pourraient le fragiliser, Jorch Schlaich propose d'intercaler une jante rigidifiée par ces différents rayons qui va s'opposer à toute ovalisation du cylindre vertical sous l'effet du vent [12].

3. Simulation numérique:

3.1 Présentation des modèles :

Les simulations numériques ont été faites pour deux hauteurs différentes 500m et 1000m. On a proposé des différentes modélisations pour effectuer les calculs. La structure de la cheminée est soumise à des charges [13] qui sont : poids propre de la structure, charges dues au vent, pression à l'intérieur de la cheminée, charges sismiques, et le poids des installations et des accessoires. Dans cette étude, l'accent est mis sur l'évaluation des trois premiers cas de charge. Pour la construction des murs, on a proposé d'utiliser le béton armé.

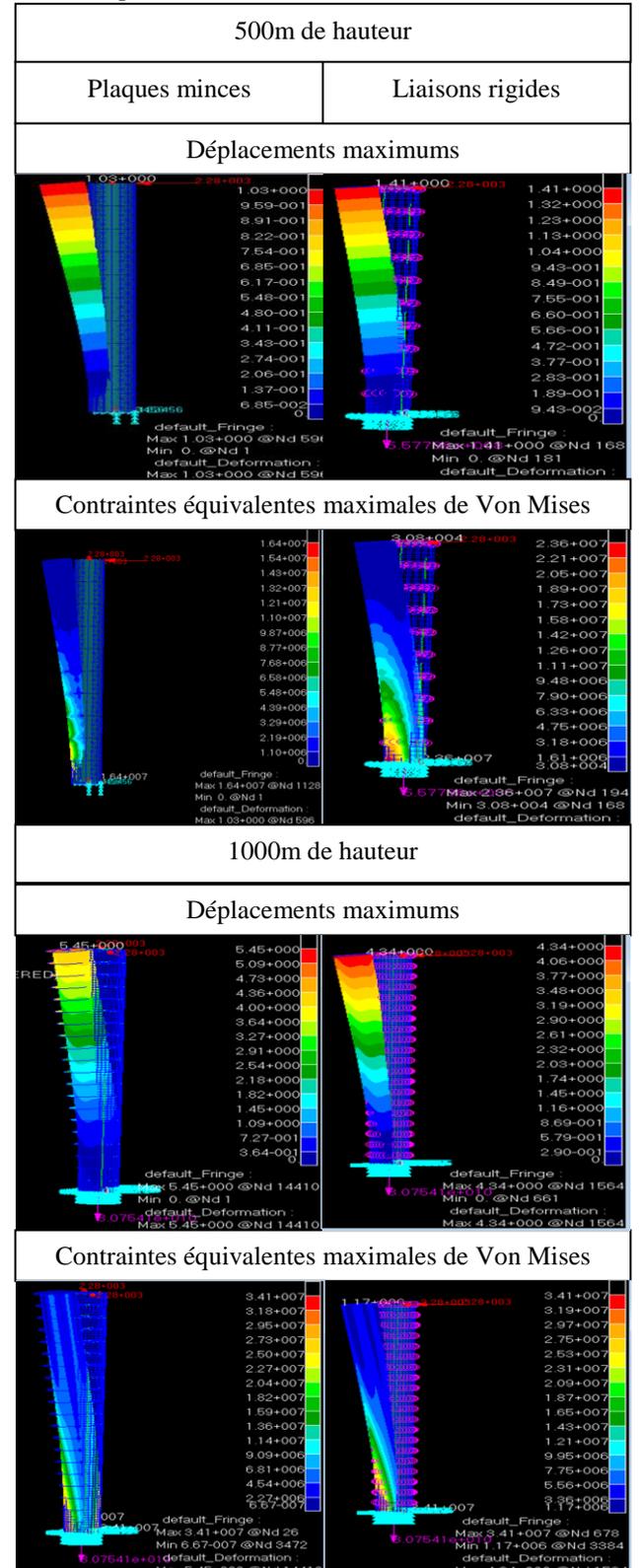
3.2 Résultats et discussion :

La structure de la cheminée est composée de deux éléments principaux :

- Structure: On suppose que la tour a un comportement « élément coque ». Sa base est encastree. Le maillage est réalisé à l'aide du logiciel Patran, on adopte un maillage avec des éléments coques minces du type éléments quadratiques à 4 nœuds en utilisant le meilleur Isomesh.
- Anneaux raidisseurs: pour la modélisation de ces éléments, deux configurations différentes ont été proposées : soit on les modélise comme des plaques minces qui vont se placer tout au long de la hauteur de

la tour, soit on les modélise comme des liaisons rigides en utilisant les MPC (contrainte multipoint) du logiciel Patran. Pour toutes les hauteurs étudiées, on a placé un anneau raidisseur chaque 50m.

Le post traitement de cette étude s'est réalisé par le logiciel de calcul des structures Nastran en utilisant le solveur sol 101. L'évaluation des résultats se fait en termes de déplacements maximums en mètre et des contraintes équivalentes maximales de Von Mises en pascal. Les résultats sont présentés dans les figures suivantes pour les deux hauteurs traitées.



Selon les figures précédentes, La concentration des contraintes se situe au niveau de la base de la structure, alors on doit augmenter l'épaisseur dans la partie inférieure de la tour. On a constaté que les déplacements maximums augmentent au fur et à mesure avec la hauteur, il faut augmenter le nombre des anneaux raidisseurs au niveau supérieur de la cheminée.

4. Conclusion :

La combinaison des ressources éoliennes et solaires utilisant la cheminée solaire pour produire de l'électricité à faible coût est une technique prometteuse d'énergie renouvelable et de développement durable à grande échelle. L'objectif de ce travail est l'évaluation du comportement mécanique de deux hauteurs proposées de la structure de la cheminée. Une modélisation construite avec précision et bon sens permet de prédire assez correctement le comportement de telles structures minces et élancées. Alors, la modélisation proposée donne des résultats assez proches de la réalité.

Références

- [1] I. Cabanyes, 'Las chimeneas solares (Solar chimneys)', La energia eléctrica. Cited due to Wikipedia; 1903.
- [2] H. Günther, 'In hundert Jahren – Die künftige Energieversorgung der Welt (In hundred years – Future energy supply of the world)' Kosmos, Franckh'sche Verlagshandlung, Stuttgart, 1931.
- [3] R.E. Lucier, 'Apparatus for converting solar to electrical energy', US. Patent, 1979.
- [4] N. Pasumarthi and S.A. Sherif, 'Experimental and theoretical performance of a demonstration solar chimney model. Part I: Mathematical model development', International Journal of Energy Research, Vol. 22, N°3, pp. 277 – 288, 1998.
- [5] W. Haaf, K. Friedrich, G. Mayr and J. Schlaich, 'Solar chimneys. Part I: Principle and construction of the pilot plant in Manzanares', International Journal of Sustainable Energy, Vol. 2, N°1, pp. 3 – 20, 1983.
- [6] R. Richards, 'Solar Prototype Development in Spain Show Great Promise', Modern Power System (MPS) Reviews, Vol. 2, pp. 21 – 23, 1982.
- [7] R. Richards, 'Hot Air Starts to Rise Through Spain's Solar Chimney', Electrical Review, Vol. 210, N°15, pp. 26 – 27, 1982.
- [8] W. Haaf, 'Solar Chimneys, Part II: Preliminary Test Results from the Manzanares Pilot Plant', International Journal of Solar Energy, Vol. 2, N°2, pp. 141 – 161, 1984
- [9] R. Cloete, 'Solar Tower Sheds Light on Little-Used Technology', Engineering News, 2008.
- [10] Papageorgiou C. "Floating Solar Chimney" E.U. Patent 1618302 April. 29, 2009.
- [11] The Solar Chimney: Electricity from the sun, Jörg Schlaich, Éditions Axel Menges, 1995 pour l'édition anglaise.
- [12] Tension structures for solar electricity generation, J. Schlaich, 1999, Engineering Structures 21, 658-668.
- [13] S. Rahui, L. Bousshine, 'Evaluation of the loads acting on the Solar Chimney', International Conference on Mechanics and Energy, December 22-24, 2016, Hammamet, TUNISIA