**BEGUIN Vincent**

# Étude de l'impact du vent sur la Tour de Shanghai

**Positionnement thématique :** PHYSIQUE (mécanique des fluides), SCIENCES INDUSTRIELLES (génie mécanique),

**Mots-clés :** vent, pression dynamique, flexion, gratte-ciel, soufflerie
**Keywords :** wind, dynamic pressure, bending, skyscraper, wind tunnel

**Pourquoi j'ai choisi ce thème :** Je voulais comprendre quel effet le vent peut avoir sur une tour de plusieurs centaines de mètres de haut, et comment les ingénieurs peuvent l'anticiper.

**Ancrage au thème « Sobriété, efficacité, optimisation » :** Réduire l'action du vent sur la tour permet d'utiliser moins de matiériaux pour la structure, donc de construire plus sobrement. Le sujet porte sur l'optimisation de paramètres géométriques (forme, vrillage, profil effilé) pour diminuer les efforts du vent.

**Bibliographie commentée**

Pour comprendre comment la forme de la tour de Shanghai a été pensée, ma source principale est un article de conférence d'Aleksandar Zeljic, responsable de la façade chez Gensler [1]. La forme y est décrite par quelques paramètres : un profil horizontal triangulaire arrondi, une réduction de la taille de la tour avec la hauteur d'environ 55 % et une rotation totale de 120°. Pour trouver la meilleure combinaison, l'équipe a testé en soufflerie, chez RWDI, des rotations de 90° à 210° et des réductions de taille de 25 % à 85 %, toutes comparées à une tour effilée de section carrée. Le meilleur compromis est une rotation de 120° avec une réduction de 55 % ceci diminue jusqu'à 24 % les charges de vent par rapport à cette référence. Une rotation de 180° aurait gagné 9 % de plus, mais elle a été écartée pour des raisons esthétiques. Cette démarche, qui consiste à faire varier un paramètre et à comparer à une référence, guidera mon protocole expérimental.

Le point de vue de l'ingénieur de structure est donné par un article du magazine *Engineering News-Record* avec Dennis Poon, du bureau Thornton Tomasetti [2]. Les ingénieurs ont séparé la structure de la forme vrillée, ce qui permet de garder une structure orthogonale, et la forme asymétrique devient un atout car elle disperse le vent. Poon annonce une réduction de 32 % des charges de vent par rapport à une tour effilée, contre 24 % chez Gensler. Cet écart m'invite à rester critique sur ces chiffres, dont les définitions ne semblent pas être identiques.

Le mécanisme physique est expliqué dans un entretien avec Ben Tranel, de Gensler [3]. L'air contourne le bâtiment puis s'en détache : plus il se détache tôt, plus la pression exercée sur la tour est faible. Il rappelle aussi qu'une torsion plus forte rend la construction plus complexe, d'où la recherche d'un compromis.

La forme n'est pas la seule solution contre le vent. Un amortisseur de 1000 tonnes près du sommet, décrit par l'entreprise qui l'a conçu [4], fait passer l'amortissement de la tour d'environ 1 % à 3 %. Il réduit les mouvements de la tour, mais pas la force exercée par le vent. Cela me permet de délimiter mon sujet d'étude:dans mon cas je me concentre sur l'effet de la forme sur les efforts.

Pour modéliser le vent, je me place dans le cas d'un vent moyen constant et je néglige les turbulences. L'Eurocode 1 [5] fournit le cadre de calcul de la pression dynamique du vent sur un bâtiment. Un document de la base de connaissance de Dlubal, éditeur de logiciels de calcul de structures [6], précise que les vitesses de base du vent sont des valeurs moyennes, et que les profils de l'Eurocode tiennent compte de la rugosité du terrain. Le vent est donc plus faible près du sol, en ville, et augmente avec l'altitude, ce qui explique pourquoi le haut de la tour est le plus sollicité.

La plupart de ces sources viennent des acteurs du projet. Je présenterai donc les chiffres de réduction comme des valeurs annoncées et je les comparerai à mes propres mesures.

**Problématique retenue**

Dans quelle mesure la forme de la tour de Shanghai (vrillage, profil effilé, angles arrondis) a-t-elle permis de réduire les efforts du vent et la flexion de la structure ?

**Objectifs du travail**

1. Modéliser l'action d'un vent moyen sur une tour à l'aide de la pression dynamique et d'un profil de vitesse en fonction de l'altitude.
2. Calculer la force, le moment fléchissant à la base et le déplacement en tête pour une tour droite, avec un modèle de poutre encastrée.
3. Mesurer les forces que le vent exerce sur des maquettes de formes différentes (droite, effilée, vrillée) pour estimer la réduction obtenue.
4. Comparer mes résultats à la réduction de 24-32 % annoncée pour la tour réelle et discuter des écarts.

**Références bibliographiques**


[1] A. S. Zeljic (Gensler), *Shanghai Tower Façade Design Process*, ICBEST 2010. https://www.gensler.com/uploads/document/242/file/Shanghai_Tower_Facade_Design_Process_11_10_2011.pdf

[2] N. M. Post, *Sheer Innovation*, Engineering News-Record, 21 juillet 2010. https://enr.com/articles/451-sheer-innovation?page=2

[3] Trends Ideas, *Twisting facade of China's tallest building reduces sway and cuts construction costs*. https://trendsideas.com/stories/twisting-facade-of-chinas-tallest-building-reduces-sway-and-cuts-construction-costs

[4] Motioneering, *The value of performance testing on a grand scale*. https://www.motioneering.ca/post/the-value-of-performance-testing-on-a-grand-scale

[5] Eurocode 1, partie 1-4 : *Actions du vent sur les bâtiments* (NF EN 1991-1-4). https://fr.scribd.com/document/725510525/Actions-du-vent-sur-les-batiments-selon-l-Eurocode-1-Partie-1-4

[6] Dlubal, *Profil de vitesse du vent*. https://www.dlubal.com/fr/telechargements-et-informations/documents/manuels-en-ligne/rwind-3/005621