

Détermination de charges statiques équivalentes en prenant en compte le comportement aéroélastique pour ponts de grande portée

Auteur : Krauth, Baptiste

Promoteur(s) : Denoël, Vincent

Faculté : Faculté des Sciences appliquées

Diplôme : Master en ingénieur civil des constructions, à finalité spécialisée en "civil engineering"

Année académique : 2025-2026

URI/URL : <http://hdl.handle.net/2268.2/26119>

Avertissement à l'attention des usagers :

Tous les documents placés en accès ouvert sur le site le site MatheO sont protégés par le droit d'auteur. Conformément aux principes énoncés par la "Budapest Open Access Initiative"(BOAI, 2002), l'utilisateur du site peut lire, télécharger, copier, transmettre, imprimer, chercher ou faire un lien vers le texte intégral de ces documents, les disséquer pour les indexer, s'en servir de données pour un logiciel, ou s'en servir à toute autre fin légale (ou prévue par la réglementation relative au droit d'auteur). Toute utilisation du document à des fins commerciales est strictement interdite.

Par ailleurs, l'utilisateur s'engage à respecter les droits moraux de l'auteur, principalement le droit à l'intégrité de l'oeuvre et le droit de paternité et ce dans toute utilisation que l'utilisateur entreprend. Ainsi, à titre d'exemple, lorsqu'il reproduira un document par extrait ou dans son intégralité, l'utilisateur citera de manière complète les sources telles que mentionnées ci-dessus. Toute utilisation non explicitement autorisée ci-avant (telle que par exemple, la modification du document ou son résumé) nécessite l'autorisation préalable et expresse des auteurs ou de leurs ayants droit.

Détermination de charges statiques équivalentes en prenant en compte le comportement aéroélastique pour ponts de grande portée

Du calcul dynamique au livrable de bureau d'études : application au Humber Bridge

AUTEUR : Baptiste KRAUTH
SECTION : Ingénieur Civil des Constructions

PROMOTEUR : Vincent DENOËL
ANNÉE ACADÉMIQUE : 2025–2026

RÉSUMÉ

Le dimensionnement des ponts suspendus de grande portée repose sur des analyses dynamiques aéroélastiques dont les résultats — densités spectrales, écarts-types, matrices de covariance — ne s'intègrent pas directement dans les outils usuels de dimensionnement. Ce travail comble cet écart en condensant les résultats de l'analyse couplée sous la forme d'un livrable statique directement exploitable par un bureau d'études.

La réponse stochastique aéroélastique du tablier est calculée sur une gamme de vitesses de vent allant jusqu'au voisinage de la vitesse critique de flottement, pour deux modèles aérodynamiques : quasi-stationnaire et instationnaire avec mémoire aérodynamique. Pour chaque vitesse et chaque réponse cible — déplacements y , z , θ et efforts internes de dimensionnement —, une charge statique équivalente (ESWL) est construite par la méthode LRC-MIL, combinant contribution de background et contribution résonante.

Les ESWL sont ensuite agrégées puis comprimées par décomposition en valeurs singulières en une base réduite de charges statiques principales (PSWL), commune aux différentes vitesses et réponses. Leurs combinaisons sont calibrées sous contrainte d'un dépassement nul ou légèrement contrôlé des enveloppes cibles, afin de reconstruire les réponses extrêmes avec un taux minimal de 95 %. La méthode est appliquée au Humber Bridge, modélisé dans FINELG et validé sur les mesures modales de Brownjohn ; la vitesse critique $U_{cr} \simeq 68$ m/s est confirmée par une analyse de continuation indépendante.

Le livrable associe un noyau fixe — vitesse critique et base ordonnée de PSWL — à une couche paramétrable : un abaque et des tables de coefficients explicitant le compromis entre compacité, conservatisme et nombre de combinaisons. L'ingénieur structure peut ainsi appliquer ces distributions comme des cas de charge usuels, sans conduire d'analyse aéroélastique complète. Le modèle instationnaire est finalement retenu, car il identifie correctement la vitesse critique et capture l'amplification des réponses près du flottement, sans alourdir le livrable final.

ABSTRACT

The design of long-span suspension bridges relies on aeroelastic dynamic analyses whose results — power spectral densities, standard deviations and covariance matrices — cannot be directly integrated into usual design tools. This work bridges that gap by condensing the results of the coupled analysis into a static deliverable directly usable by a design office.

The stochastic aeroelastic response of the deck is computed over a range of wind speeds extending to the vicinity of the critical flutter speed, using two aerodynamic models: a quasi-steady model and an unsteady model accounting for aerodynamic memory. For each wind speed and each target response — displacements y , z , θ and design internal forces —, an equivalent static wind load (ESWL) is built using the LRC-MIL method, combining background and resonant contributions.

The ESWL are then aggregated and compressed by singular value decomposition into a reduced basis of principal static wind loads (PSWL), shared across the different wind speeds and responses. Their combinations are calibrated under a zero or slightly controlled overshoot constraint on the target envelopes, in order to reconstruct the extreme responses with a minimum rate of 95 %. The method is applied to the Humber Bridge, modelled in FINELG and validated against Brownjohn's modal measurements; the critical flutter speed $U_{cr} \simeq 68$ m/s is confirmed by an independent continuation analysis.

The deliverable combines a fixed core — critical speed and ordered PSWL basis — with a parametric layer: a design chart and coefficient tables making explicit the trade-off between compactness, conservatism and number of combinations. The structural engineer can then apply these distributions as ordinary load cases, without performing a full aeroelastic analysis. The unsteady model is ultimately retained, since it correctly identifies the critical speed and captures the response amplification near flutter, without increasing the size of the final deliverable.