

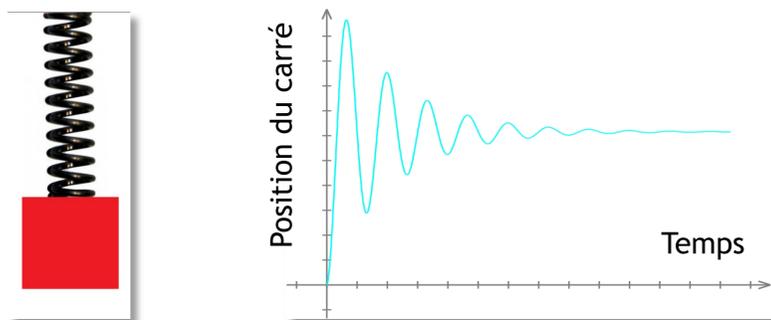
# Les ponts dans le vent

LadHyX Le laboratoire d'hydrodynamique de l'X



## Le problème principal de la conception aérodynamique d'un pont concerne son amortissement.

L'amortissement est la capacité d'une structure à atténuer ses vibrations plus ou moins rapidement lorsqu'une excitation extérieure se produit. L'énergie appliquée se dissipe sous forme de frottement entre les parties mécaniques et au contact de l'air environnant.



Sur un système masse-ressort comme le prisme de section carrée présenté ici, une traction suivie d'un lâcher engendre des oscillations qui s'atténuent au cours du temps.

L'air ambiant contribue à cet amortissement.

Mais lorsque l'air est en mouvement autour de ce carré, c'est à dire lorsqu'il y a du vent, sa contribution à l'amortissement change dramatiquement. A l'inverse d'une contribution positive qui atténue les oscillations, l'apport du vent est négatif et les amplifie.

Cette propriété est liée à la forme carrée et à la répartition de la pression de l'air à sa périphérie. Il est possible d'inverser la tendance en changeant la forme, par exemple en la profilant à l'aide d'un demi-rond.



Dans le cas des ponts, les formes sont plus compliquées que le prisme carré. Les profils sont plus allongés et le mouvement se traduit principalement par une torsion.

Néanmoins la physique reste identique.

Comme pour le prisme de section carrée muni d'un bout rond, un pont bien profilé sera stable (amorti) par rapport à un pont mal étudié. C'est le cas par exemple du pont de Tacoma, que l'on compare ici avec le profil du viaduc de Millau.



# Les ponts dans le vent

LadHyX Le laboratoire d'hydrodynamique de l'X

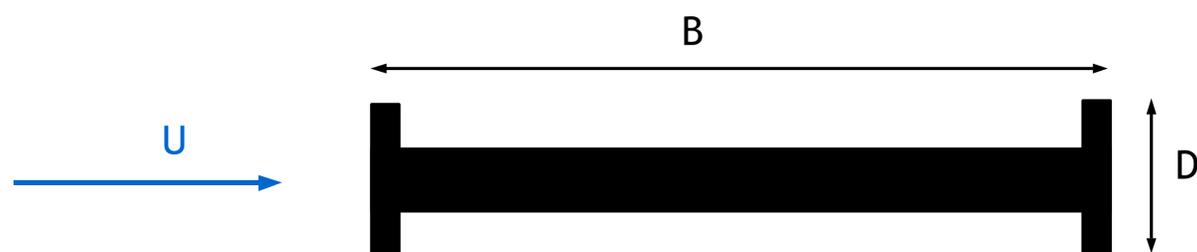


## La chute du pont de Tacoma

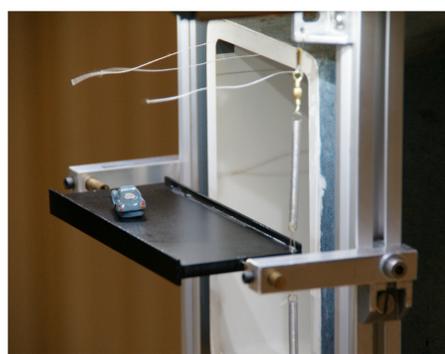
Pour étudier ce phénomène, rien de mieux qu'une maquette à échelle réduite et une soufflerie, à condition de respecter les règles de similitude. Car le calcul de l'écoulement autour d'une structure flexible aussi compliquée reste toujours très incertain.

Les règles de similitudes s'appuient sur une théorie rigoureuse. Elles servent en particulier à traduire l'effet d'échelle lorsque l'on travaille avec une maquette à échelle réduite, afin de reproduire le phénomène en laboratoire et de permettre l'extrapolation des résultats de mesure au cas réel. L'expérience doit donc être conçue de sorte que le rapport entre certaines grandeurs caractéristiques soit respecté entre la maquette et le pont.

Pour le problème du pont de Tacoma, le paramètre important s'appelle la **vitesse réduite, notée  $U_r$** . Il traduit le rapport entre le temps caractéristique des oscillations avec celui de l'écoulement. L'expérience de laboratoire doit donc avoir la même vitesse réduite que le pont réel dans les conditions de l'accident.



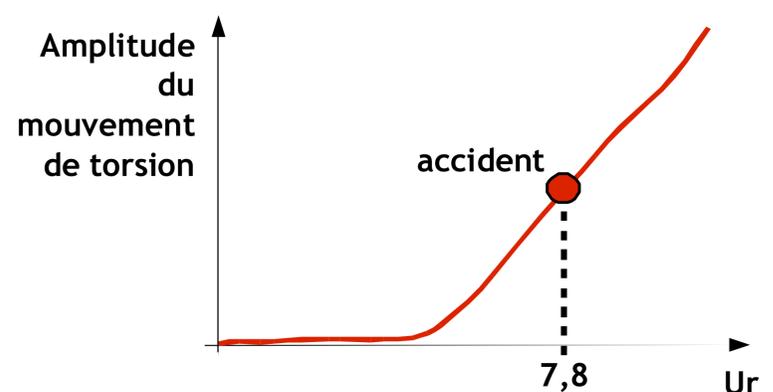
$$U_r = \frac{\text{temps structure}}{\text{temps écoulement}} = \frac{1/f}{B/U}$$



La forme de la maquette à l'échelle 1/200 est simplifiée. Elle se réduit à un H aplati de rapport  $B/D$  égal à 5.

En tenant compte également des fréquences respectives du pont et de la maquette, un vent de 100 km/h dans la réalité vaut 26 km/h sur la maquette.

PARAMETRES	PONT de TACOMA	MAQUETTE
Vitesse du vent : U	19 m/s (68 km/h)	5 m/s (18 km/h)
Largeur du pont : B	12,2 m	6 cm
Fréquence du pont : f	0,2 Hz	10,7 Hz
Vitesse réduite : $U_r = U / B f$	7,8	7,8



L'explication de l'accident qui incrimine une résonance entre le mouvement du pont et des tourbillons d'air créés dans le sillage du tablier est fautive. Ces tourbillons existent effectivement et leur fréquence est donnée par le nombre de Strouhal, noté  $St$ , un paramètre physique qui dépend de la forme du tablier.

Il s'écrit  $St = f_t D / U$

où  $f_t$  est la fréquence des tourbillons et  $D$  l'épaisseur du pont. Pour cette forme de H aplati, le nombre de Strouhal vaut 0,11. Le calcul de la fréquence des tourbillons le jour de l'accident montre que leur fréquence est très différente de celle du pont et exclut tout risque de résonance.

PARAMETRES	PONT de TACOMA	MAQUETTE
Vitesse du vent : U	19 m/s (68 km/h)	5 m/s (18 km/h)
Epaisseur du pont : D	2,40 m	1,2 cm
Nombre de Strouhal : St	0,11	0,11
Fréquence des tourbillons : $f_t$	0,87 Hz	46 Hz