



**HAL**  
open science

# Analyse de stabilité linéaire appliquée à l'interaction entre un jet visqueux et un biseau

Damien Forgeot d'Arc, Antoine Hajczak, Augustin Ernoult

## ► To cite this version:

Damien Forgeot d'Arc, Antoine Hajczak, Augustin Ernoult. Analyse de stabilité linéaire appliquée à l'interaction entre un jet visqueux et un biseau. JJCAAS 2026 - Journées Jeunes Chercheurs en Audition, Acoustique musicale et Signal audio, Jan 2026, Le Mans, France. <hal-05481439>

**HAL Id: hal-05481439**

**<https://inria.hal.science/hal-05481439v1>**

Submitted on 28 Jan 2026

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

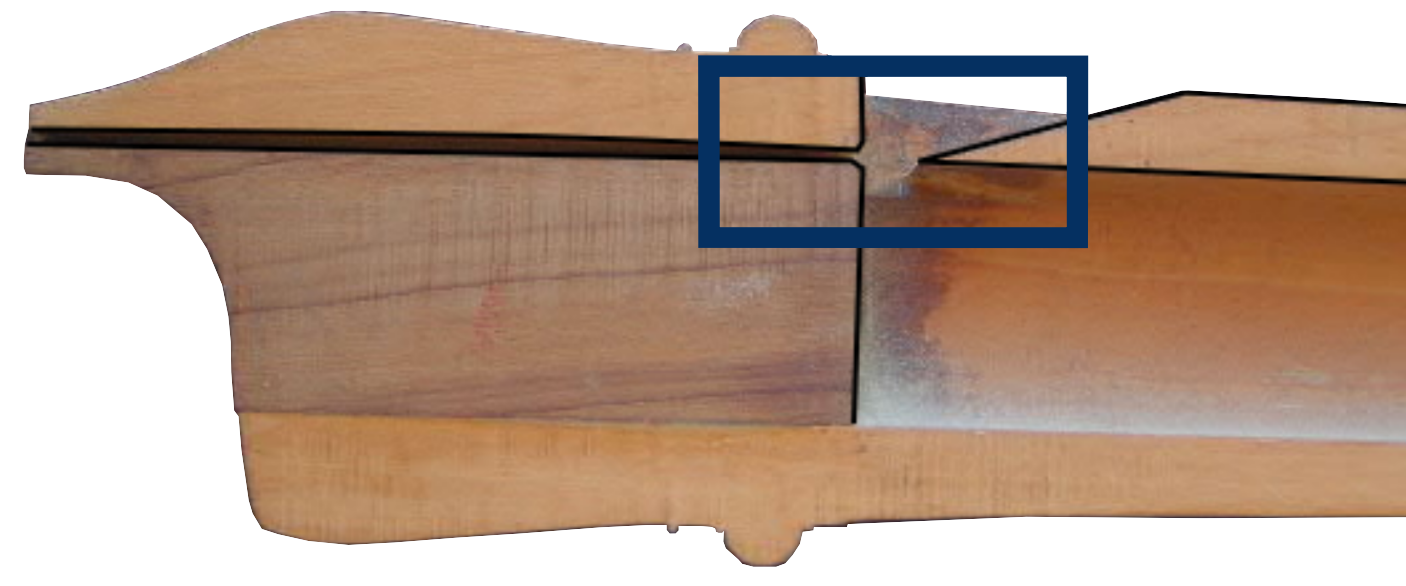
L'archive ouverte pluridisciplinaire HAL, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons CC BY-NC-ND 4.0 - Attribution - Non-commercial use - No Derivative Works - International License

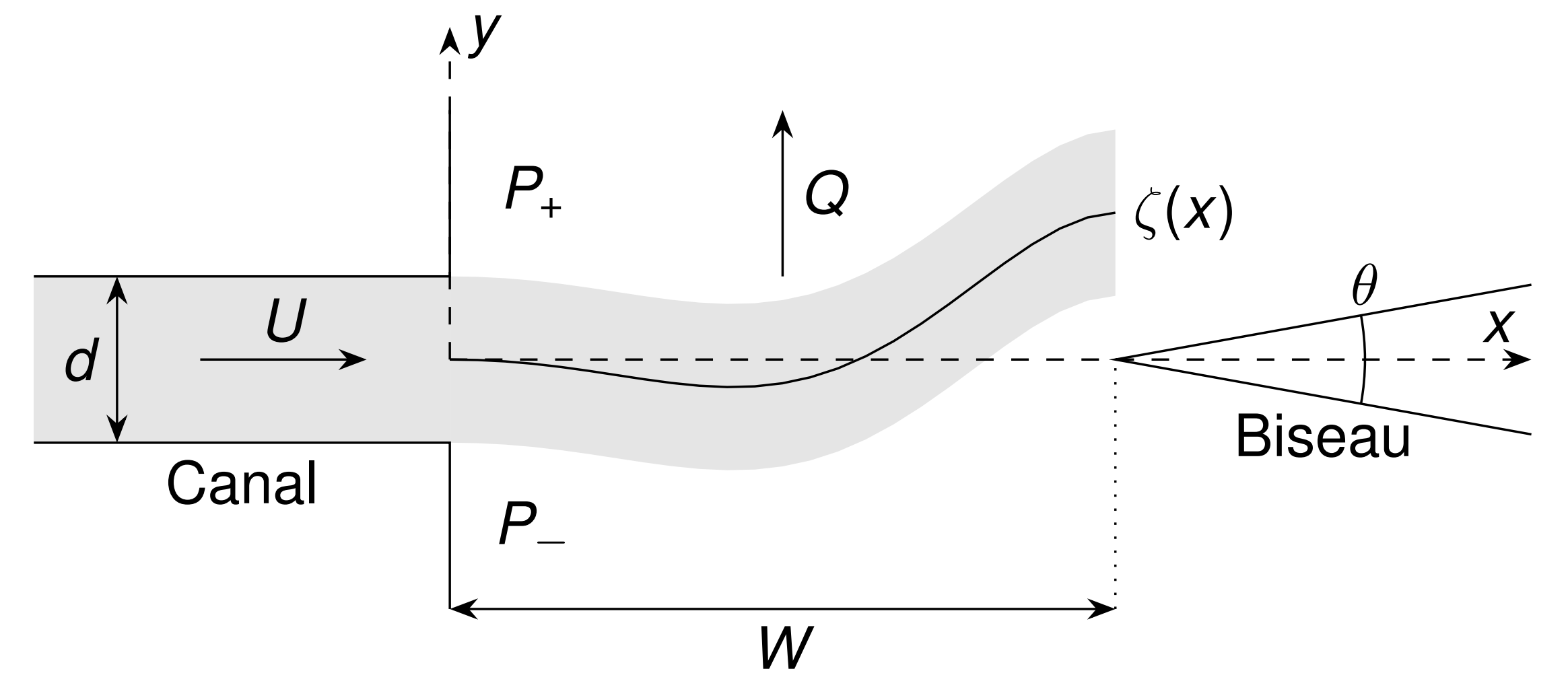
## Introduction : le *edge-tone*

- Source acoustique dans les flûtes
- Jet - biseau (sans résonateur) : feedback hydrodynamique
- Oscillations périodiques, fréquences non harmoniques



© P. Bolton

$W \simeq 5\text{mm}$ ,  $d \simeq 1\text{mm}$   
 $U \simeq 10\text{m.s}^{-1} \rightarrow Re_d \sim 100$



## Étude théorique de Howe [4]

Hypothèses : fluide **non-visqueux** ( $Re \rightarrow \infty$ ) et **jet fin** ( $d \ll W$ )  
Conductivité Rayleigh :

$$K_R(\omega) = \frac{i\omega\rho_0 Q(\omega)}{P_+(\omega) - P_-(\omega)}$$

- Réponse linéaire du jet
- Dédit de  $\zeta$ , solution de l'équation du mouvement :  $A(\omega)\zeta = 1$
- Auto-oscillations : pôles de  $K_R(\omega) \Leftrightarrow \det(A(\omega)) = 0$

## Problématique

- Système réel (flûte) : fluide visqueux, et jet non fin
- Comment modéliser les effets de la largeur du jet et de la viscosité ?

## Analyse de stabilité linéaire (ASL)

**Navier-Stokes incompressible** ( $\partial_t u = NS(u)$ ), solution de la forme :  $u(x, t) = u_b(x) + \varepsilon u_m(x) e^{\lambda_m t}$

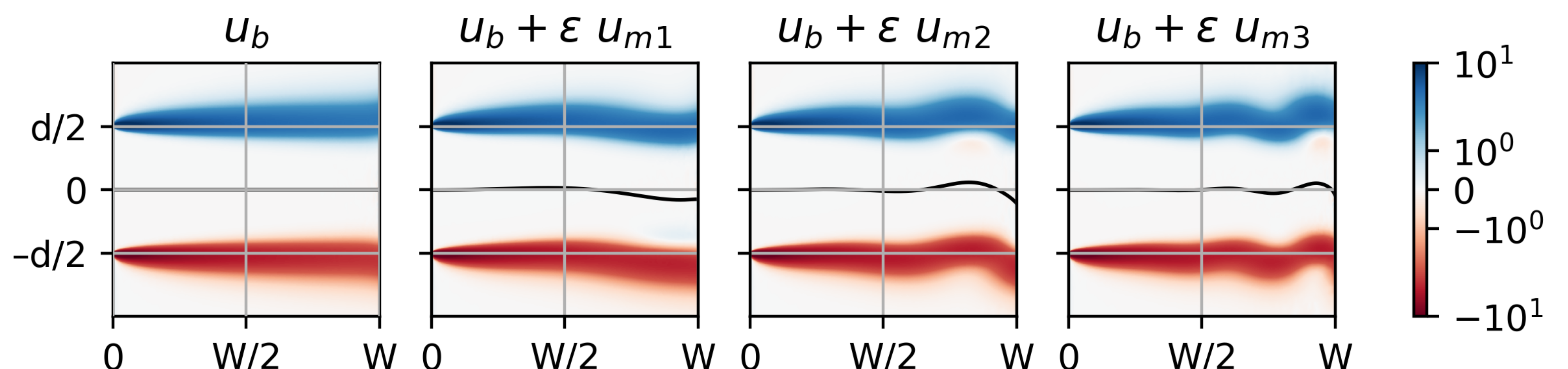
- $u_b$  : écoulement de base (stationnaire)

$$NS(u_b(x)) = 0$$

- $u_m, \lambda_m$  : mode et valeur propre

$$\lambda_m u_m(x) = \frac{\partial NS}{\partial u} \Big|_{u_b} (u_m(x))$$

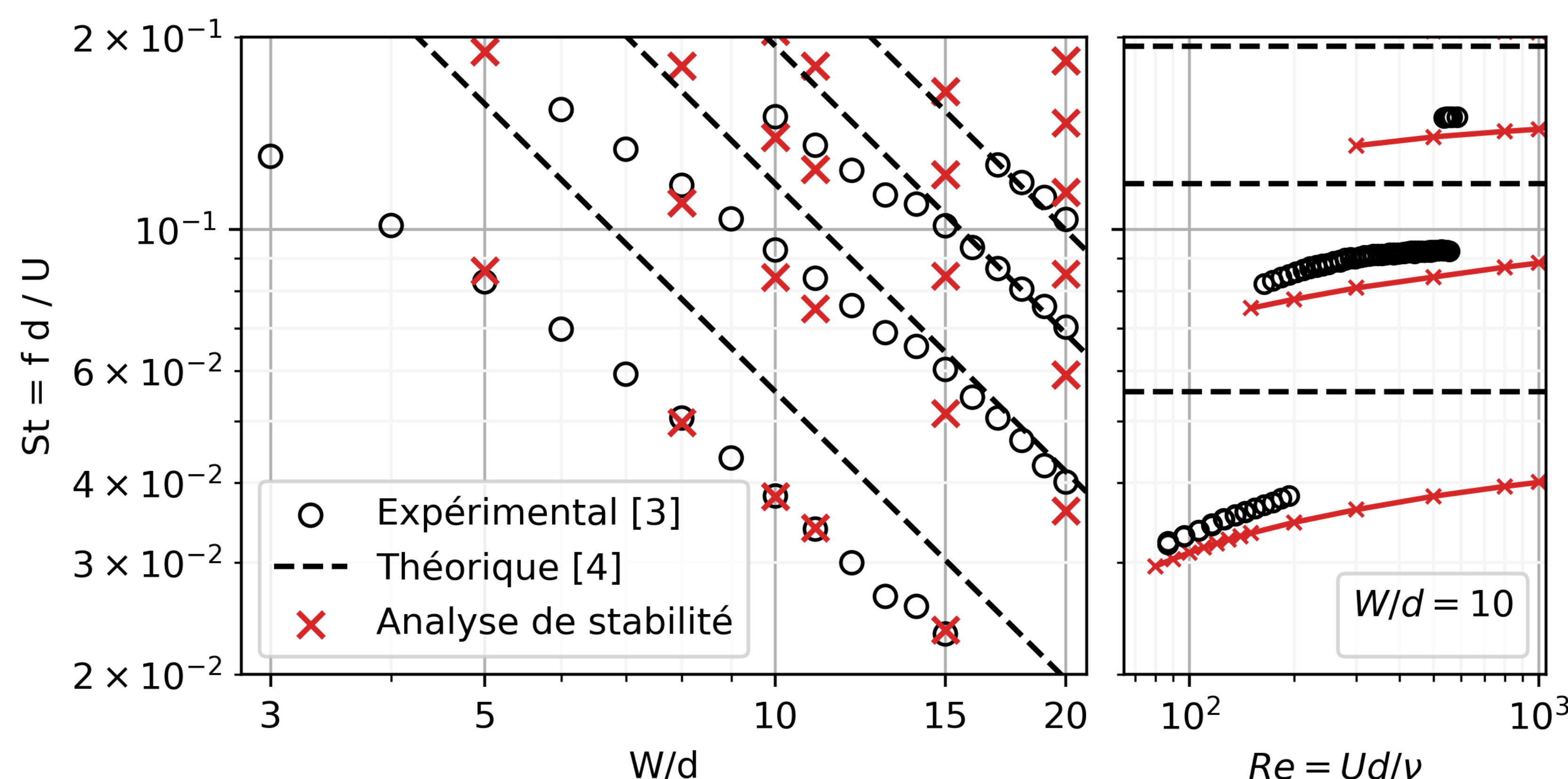
Résolution en éléments finis 2D (StabFem) [2]



Vorticité de l'écoulement de base et de 3 modes calculés

## Évaluation de la validité des résultats de l'ASL

- Comparaison des fréquences d'oscillation expérimentales, théoriques et numériques



Nombre de Strouhal en fonction de la longueur du jet et du nombre de Reynolds

- **Meilleure prédiction par l'ASL** : tient compte de l'épaisseur du jet
- Viscosité prise en compte, effets bas Reynolds :  $St \propto (W/d)^\alpha Re^\beta$

## Perspectives

- Intégration de  $K_R$  dans un modèle de flûte, à comparer aux modèles existants [1]
- Calcul de  $K_R(\omega)$  par StabFem
- Géométrie plus réaliste :  $\theta > 0$  et présence de chanfreins
- Variation des paramètres géométriques : problématiques de facture instrumentale

## Références

- [1] R. AUVRAY et al. In : *The Journal of the Acoustical Society of America* (2014).
- [2] D. FABRE et al. In : *Applied Mechanics Reviews* (2019).
- [3] A. HAJCZAK et A. ERNOULT. Données non publiées. (2025).
- [4] M. S. HOWE. In : *Journal of Fluid Mechanics* (1997).