

JD MACS - 2019

Caractérisation et contrôle de la symétrie du sillage d'un corps d'Ahmed à culot droit.

Kévin MARIETTE*, **Éric BIDEAUX**, **Federico BRIBIESCA-ARGOMEDO**,
Damien ÉBÉRARD et **Sylvie SESMAT**

Laboratoire Ampère - INSA Lyon

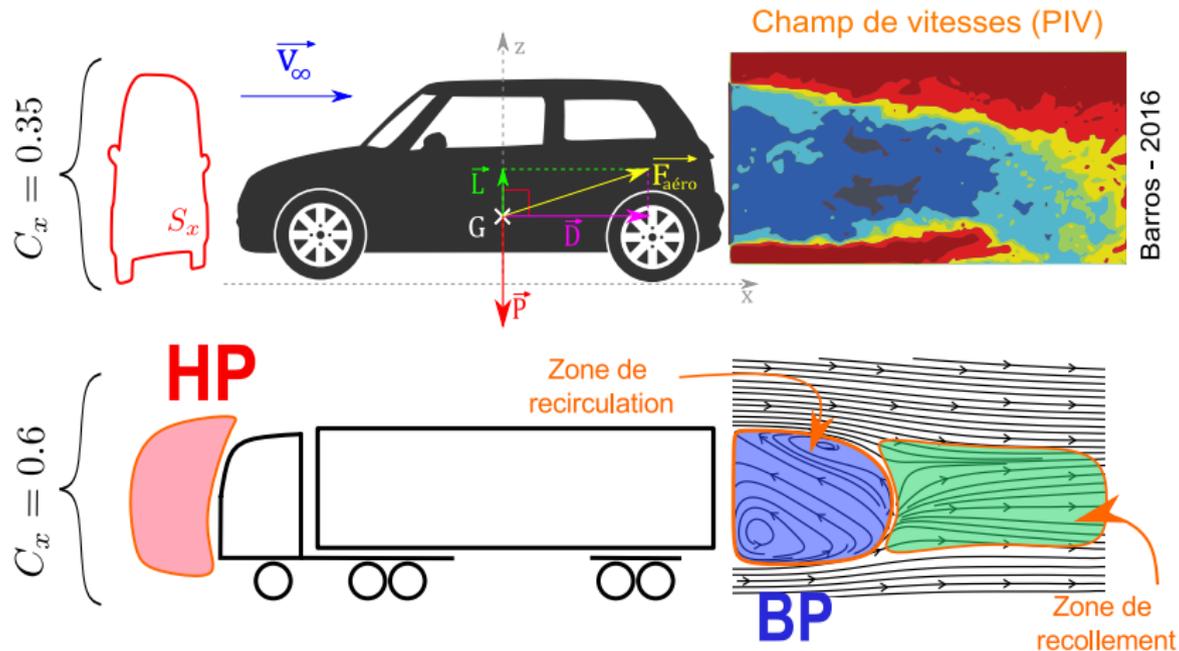
06 juin 2019

* kevin.mariette@insa-lyon.fr



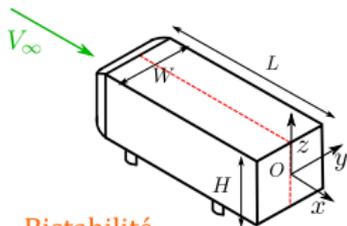
- 1 Introduction de l'étude
 - Les phénomènes de traînée aérodynamique
 - Problématique et objectifs d'étude
- 2 Comportement en boucle ouverte du barycentre de pression au culot
 - État naturel
 - Essais de contrôle en boucle ouverte
- 3 Contrôle par mode glissant
 - Schéma et paramètres
 - État du système en boucle fermée
 - Modèle prédictif d'ordre 1
 - Résultats expérimentaux
- 4 Conclusions et perspectives

Définitions de la traînée



Différence de pression \approx **30%** de la traînée

Le phénomène de dissymétrie latérale temporelle



Dimensions :

$$L = 1.00 \text{ m}$$

$$H = 0.30 \text{ m}$$

$$W = 0.36 \text{ m}$$

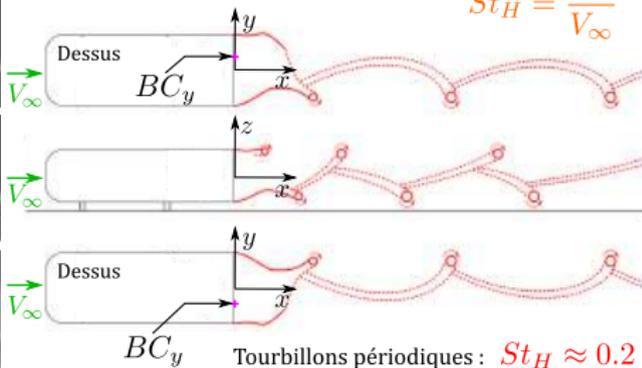
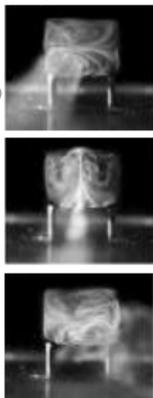
Vitesse
d'écoulement
 $V_\infty = 35 \text{ m/s}$

Nombre de
Strouhal :

$$St_H = \frac{Hf}{V_\infty}$$

Bistabilité

Grandemange - 2013



Tourbillons périodiques : $St_H \approx 0.2$

États latéraux
bistables :

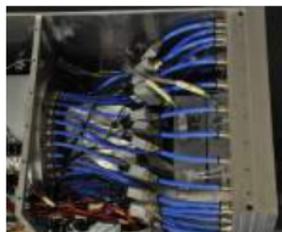
- 2 positions
autour du plan de
symétrie vertical
- Variations
aléatoires entre
les positions
- **Dissymétrie :**
 $\approx 4 \text{ à } 8\%$ de la
traînée

Maquette expérimentale et appareillage

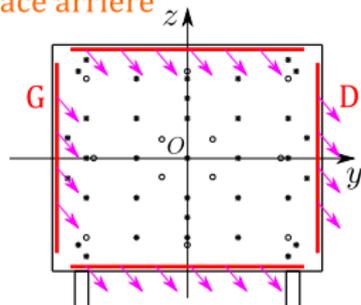
Face avant



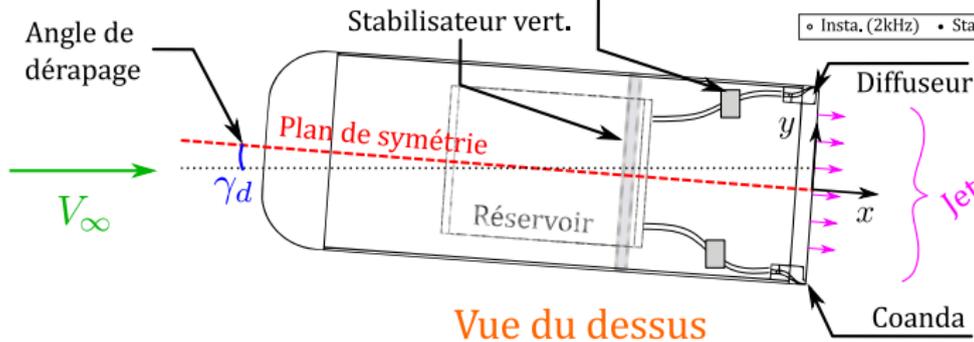
Jonction
Réservoir-EV-Diffuseur



Face arrière



○ Insta. (2kHz) ● Stat. (200Hz) — Fente



Vue du dessus

Jets = $f(P \text{ réservoir, rapport cyclique, } f_{EV}) \rightarrow 0 < V_j < 90 \text{ m/s}$

Peut-on contrôler la dissymétrie latérale du sillage ?

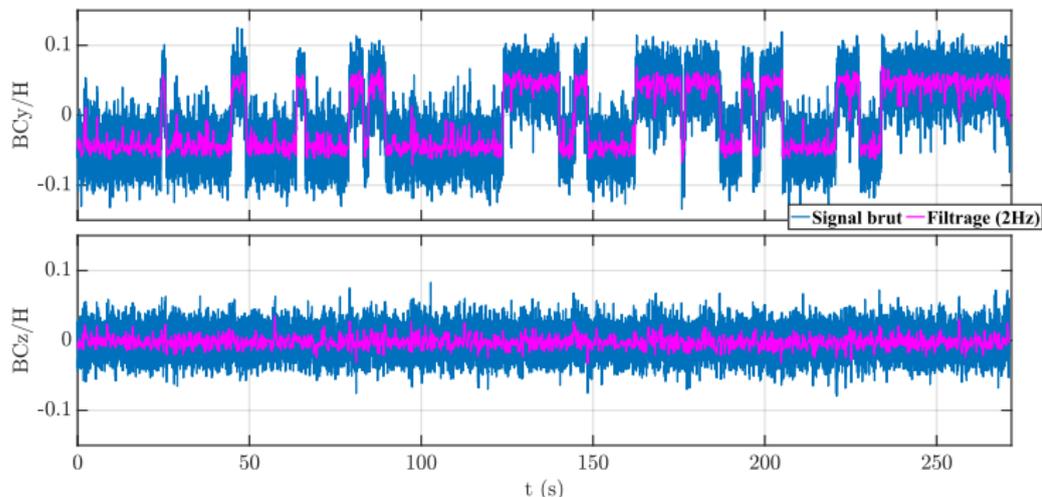
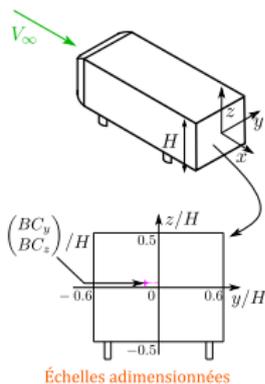
Cas d'étude :

- Écoulement aligné ($\gamma_d = 0$)
- Vitesse du fluide: $V_\infty = 35 \text{ m/s}$
- Vitesse de pic des jets : $V_{j_{max}} = 45 \text{ m/s}$
- Rapport cyclique (DC) : 50%
- Actionnement haute fréquence : $f_{EV} = 1050 \text{ Hz}$

Objectifs d'étude :

- Étudier le barycentre de pression sur le culot :
 - Dans le cas naturel
 - Dans le cas contrôlé
- Symétriser horizontalement le sillage

État naturel du barycentre : données spatiales et temporelles



Analyse du barycentre :

Position précise des états bistables

Contenu fréquentiel du signal

Détermination de la vitesse de transition naturelle

État naturel du barycentre :

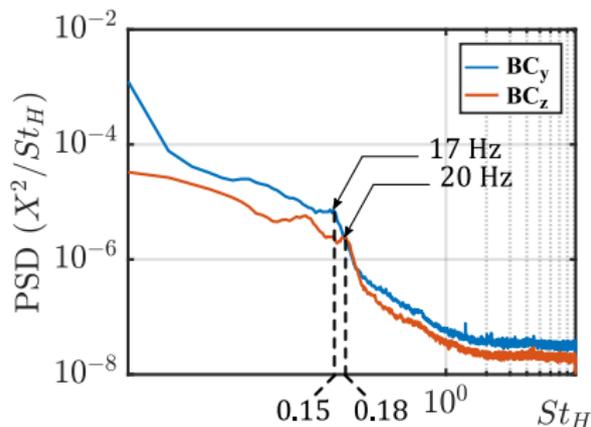
analyse fréquentielle et vitesse de basculement

Signaux de PSD:

↪ *vortex shedding*

→ BC_y : coupure à 17 Hz

→ BC_z : coupure à 20 Hz

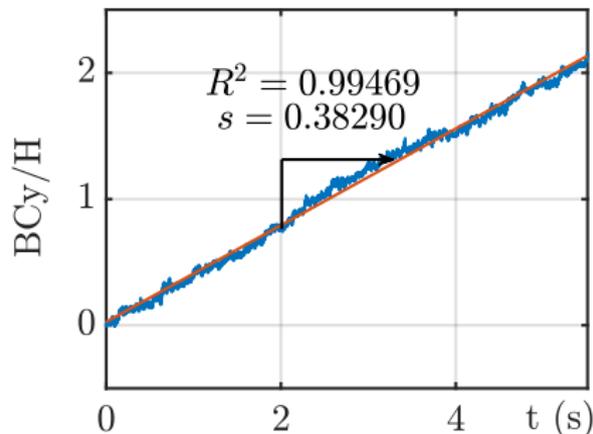


Vitesse de transition :

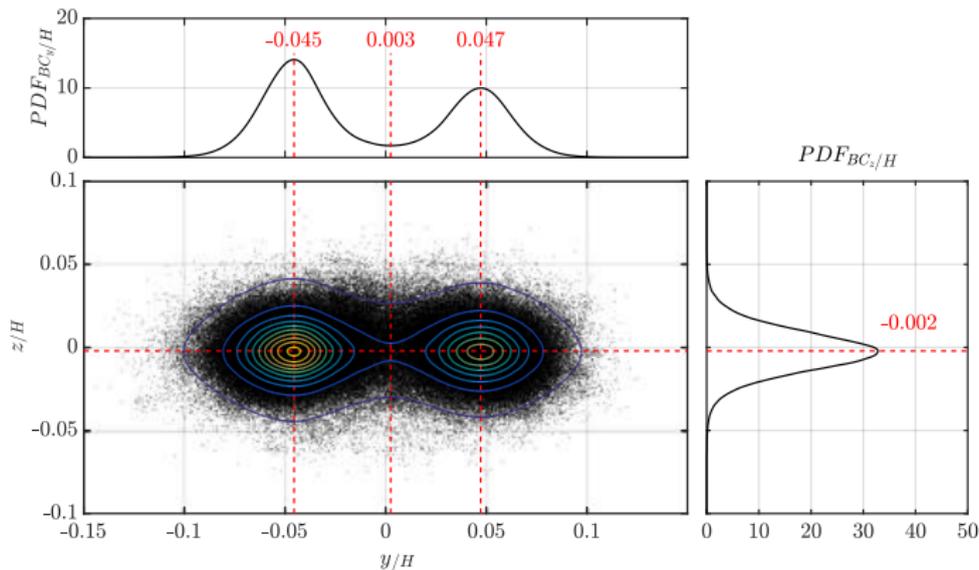
→ Constante

→ pour $V_\infty = 35 \text{ m/s}$:

$$c_{tr} = 0.383 \times H \text{ (m/s)}$$



Conclusion sur les fluctuations naturelles au culot

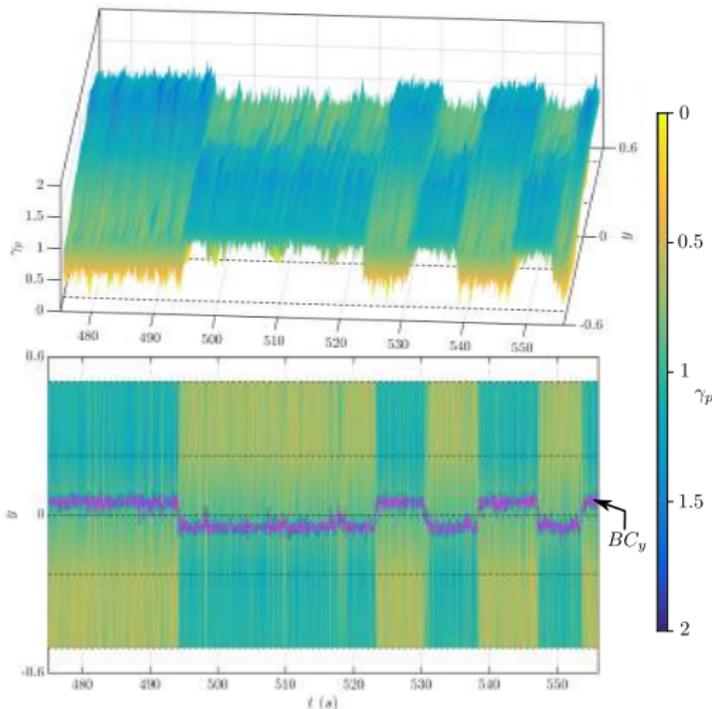


Bilan :

- Coupure des phénomènes fréquentiels à $St_H \approx 0.2$
- Bistabilité en $y/H \approx \pm 0.05$
- Vitesse de transition constante

Effets de la dissymétrie sur la pression au culot

Gradients spatiaux et temporels de $\gamma_{p,\{z=0\}}$



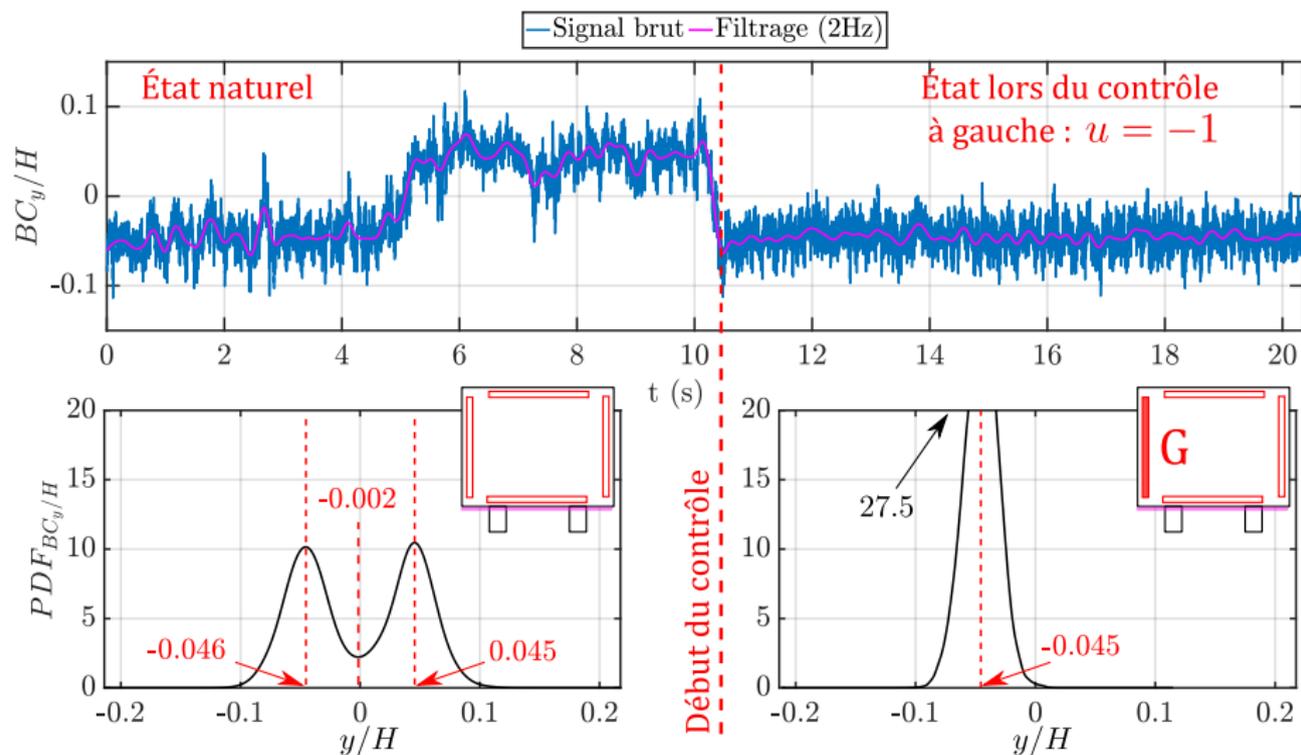
$$\gamma_{p_i} = \frac{P_i - P_{dyn}}{\text{moy}(P_{i_{nat.}} - P_{dyn})}$$

$$\gamma_{p_i} \begin{cases} > 1 & \Rightarrow \text{dégradant} \\ < 1 & \Rightarrow \text{bénéfique} \end{cases}$$

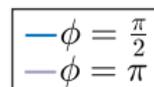
Modifier les positions bistables du barycentre :

- Analyse en boucle ouverte
- Analyse en boucle fermée
- Étude de l'effet du contrôle sur la pression

Actionnement en boucle ouverte ($u = -1$)



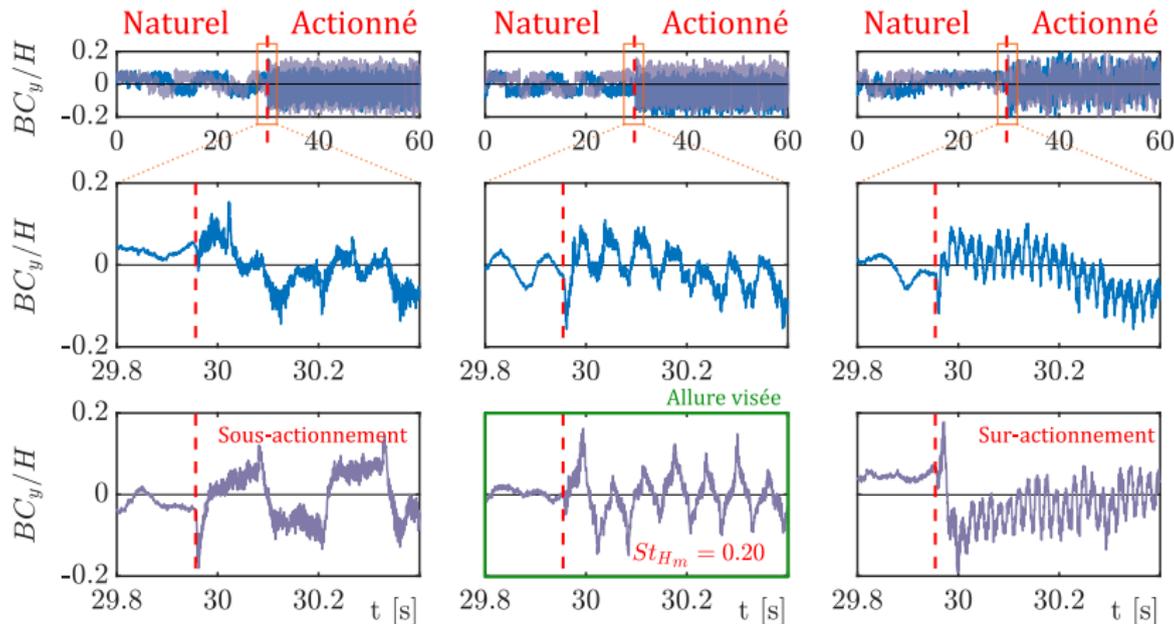
Actionnement gauche/droite déphasé de ϕ ($u = -1 / +1$)



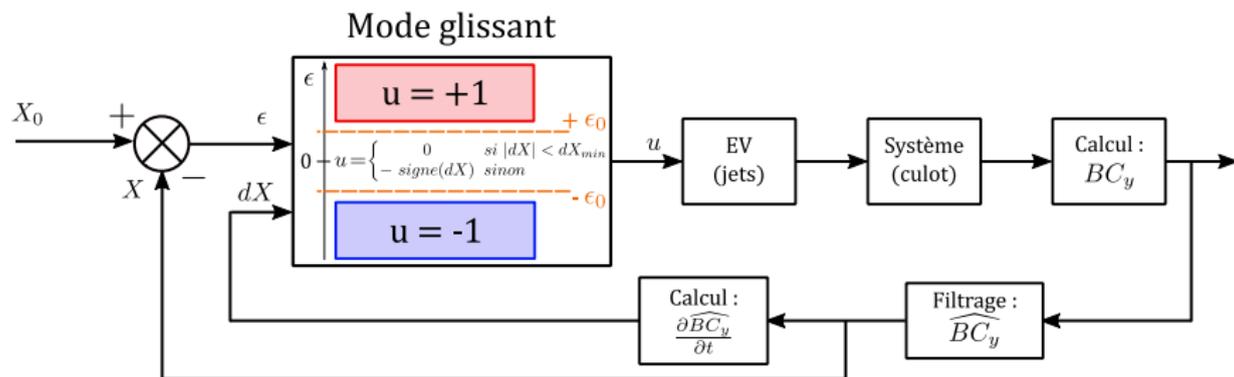
$St_{H_m} = 0.05$
 $f_m = 4.1 \text{ Hz}$

$St_{H_m} = 0.20$
 $f_m = 16.3 \text{ Hz}$

$St_{H_m} = 0.65$
 $f_m = 54.2 \text{ Hz}$



Boucle fermée par mode glissant

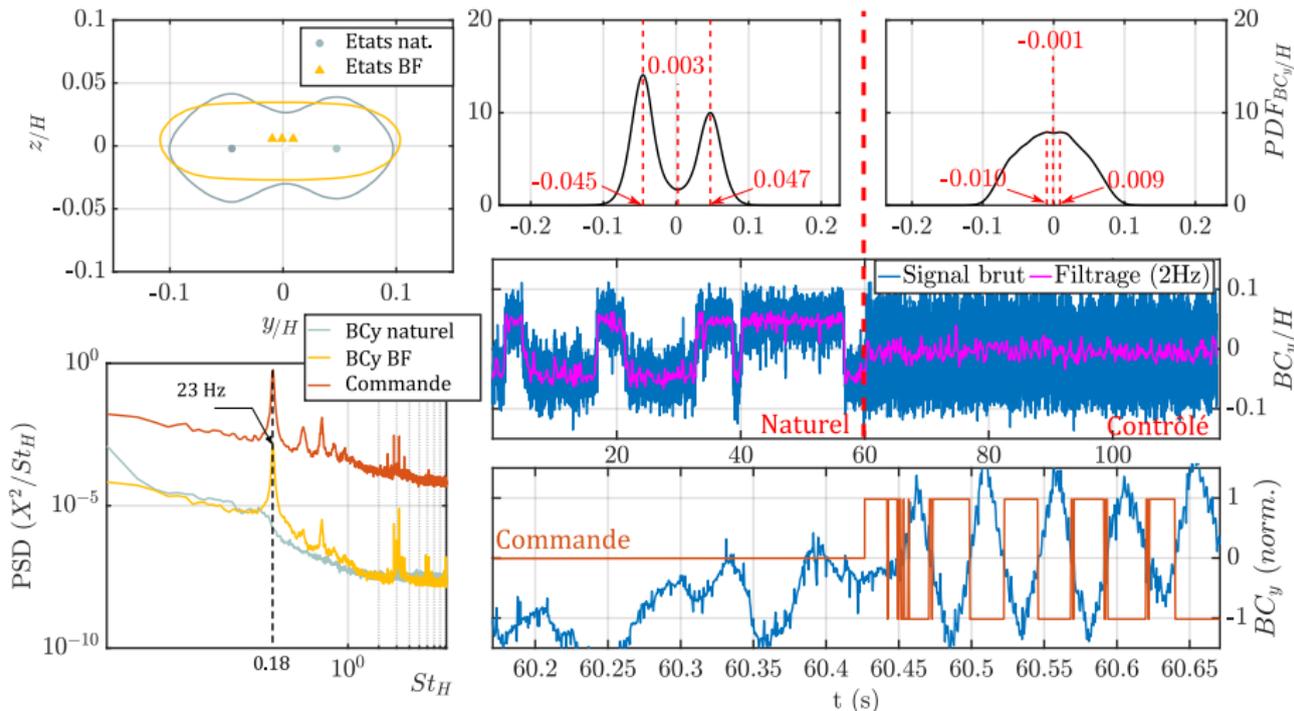


Réglage des jets : Pression de réservoir, f_{EV} , rapport cyclique (DC)

Réglage de la BF : Position cible X_0 , seuil d'erreur ϵ_0 , seuil d'influence de la dérivée dX_{min}

Résultats expérimentaux

$f_{EV} = 1050 \text{ Hz}$, $DC=0.5$, sans seuil ($\epsilon_0 = 0$)



Remarques sur le contrôle par mode glissant

Symétrisation du barycentre autour de $y = 0$

→ Structures oscillatoires :

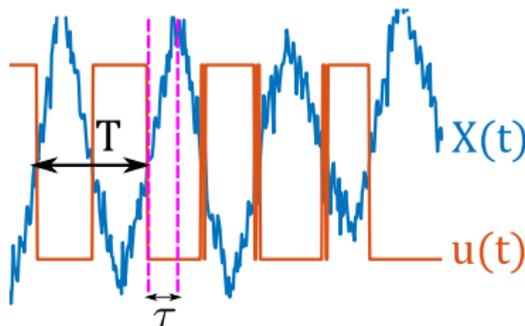
Amplification du *vortex shedding*
($St = 0.18$)

Destabilisation de la pression du culot ($\gamma_p > 1$)

Pistes d'amélioration :

- Actionnement haute fréquence (1kHz)
- Augmentation de ϵ_0
- Utilisation de la dérivée

→ Nouvelle approche :



Modèle empirique :

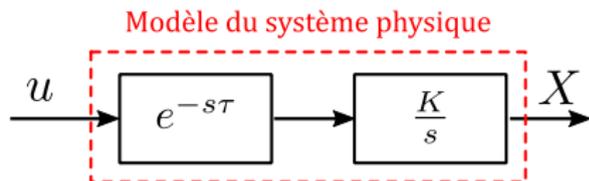
$$\dot{X}(t) = K.u(t - \tau)$$

→ **modèle
d'intégrateur avec
retard**

Mode glissant avec schéma prédictif

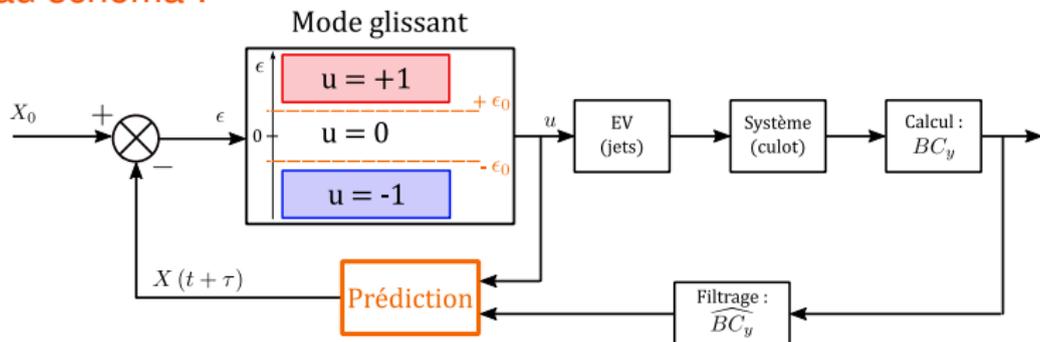
Prédicteur de Smith d'ordre 1 pour corriger le retard

Grâce au modèle:



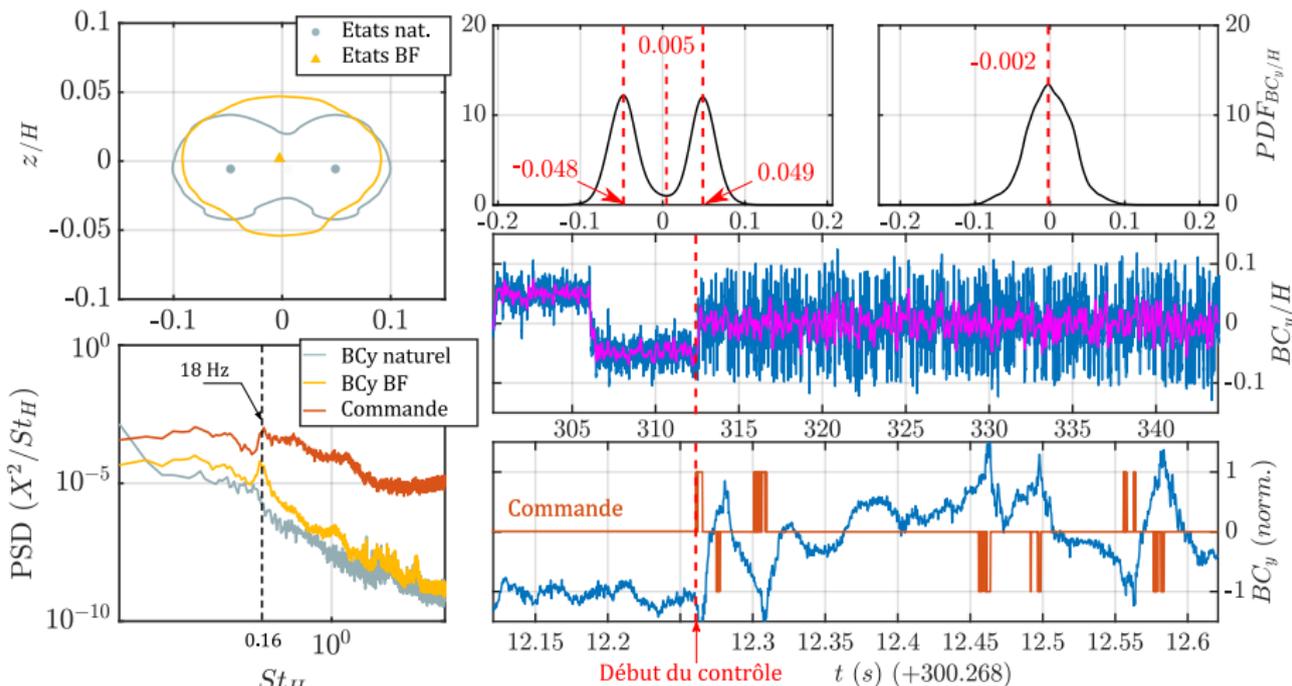
$$X(t + \tau) = X(t) + \int_0^\tau Ku(t - \tau + \sigma) d\sigma$$

Nouveau schéma :



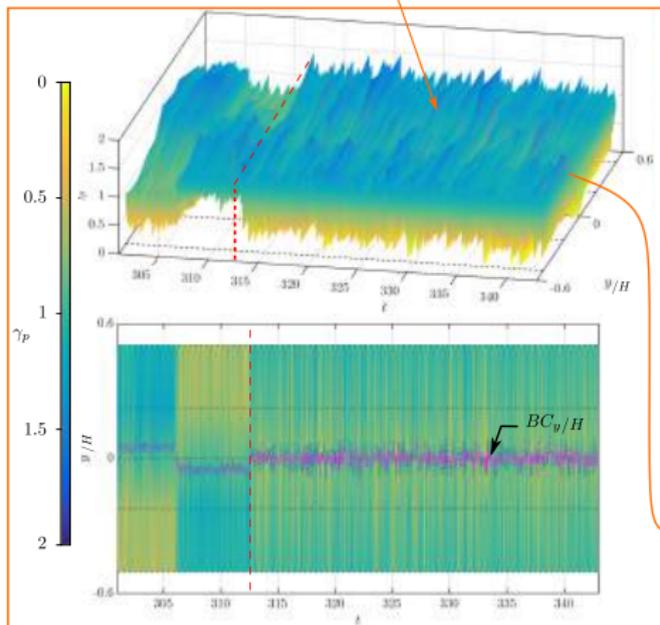
Résultats du contrôle par prédicteur

$f_{EV} = 1050 \text{ Hz}$, $DC=0.5$, $\epsilon_0 = 0.8$



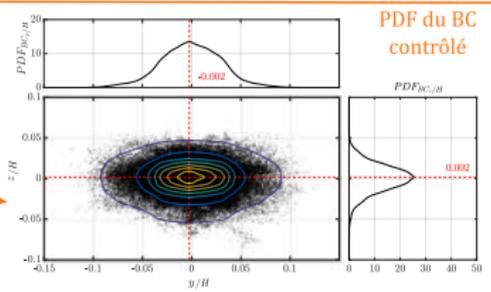
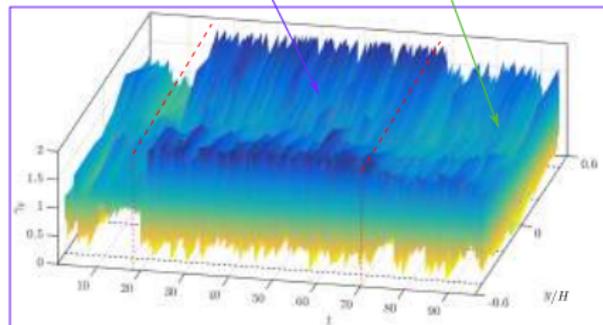
Visualisation des évolutions de coefficient de pression

BF avec prédicteur, $\epsilon_0 = 0.8$



BF sans prédicteur, $\epsilon_0 = 0$

BF avec prédicteur, $\epsilon_0 = 0$



Conclusions

- Etude du système bistable naturel et actionné en BO
- Modélisation de l'état actionnée en BF
- ↪ Mode glissant avec prédiction (Smith)
- Réglage d'un seuil suffisant pour l'actionnement en BF

Stabilisation horizontale du barycentre

Perspectives

- Gain d'autorité sur la précision du contrôle
- ↪ Affinage du modèle d'intégrateur
- ↪ Utilisation d'un mode glissant d'ordre 2
- Quantification précise des gains et pertes sur la traînée
- Contrôle pour des cas statiques et dynamiques d'angle de dérapage non nul



Merci pour votre attention,
Avez-vous des questions ?



Références bibliographiques



Diogo Barros.
Wake and Drag Manipulation using Fluidic Forcing.
PhD Thesis, ISAE ENSMA, 2015.



R.D. Brackston, A. Wynn, and J.F. Morrison.
Modelling and feedback control of vortex shedding for drag reduction of a turbulent bluff body wake.
International Journal of Heat and Fluid Flow, 71:127–136, June 2018.



Mathieu Grandemange.
Analyse et contrôle de sillages turbulents tridimensionnels: des cas axisymétriques aux automobiles.
PhD thesis, 2013.



Yann Haffner.
Test campaign March 2017.
Technical report, ANR Activ'Road, 2017.



Yann Haffner.
Manipulation of 3d blunt body turbulent wakes: drag reduction and wake equilibrium, November 2018.



Ruiying Li, Diogo Barros, Jacques Borée, Olivier Cadot, Bernd R. Noack, and Laurent Cordier.
Feedback control of bimodal wake dynamics.
Experiments in Fluids, 57(10), October 2016.

Description des paramètres mesurés

$$\text{Moyenne temporelle } \bar{X} = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} X dt$$

$$\text{Moyenne spatiale } \langle X \rangle = \frac{1}{n} \sum_i^n X_i$$

$$\text{Pression dynamique } P_{dyn} = \frac{1}{2} \rho V_{\infty}^2$$

$$\text{Pression relative au capteur } i \ P_{i_r} = P_i - P_{dyn}$$

$$\text{Coefficient de pression } C_{p_i} = \frac{P_{i_r}}{P_{dyn}}$$

$$\text{Ratio de pression } \gamma_{p_i} = \frac{C_{p_i}}{C_{p_i} \text{ naturel}}$$