

Développement d'un modèle de connaissance pour le contrôle de traînée aérodynamique des véhicules routiers

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

Laboratoire Ampère - INSA Lyon

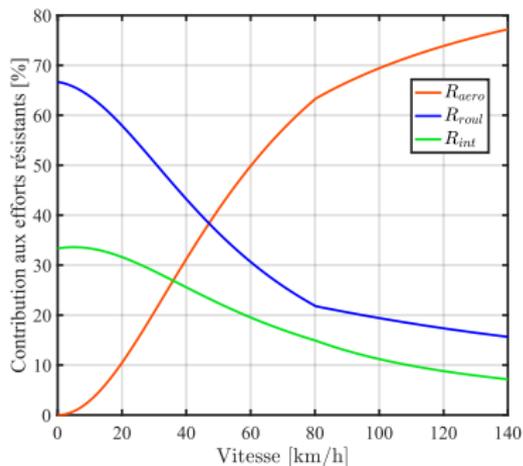
11 juillet 2018

* kevin.mariette@insa-lyon.fr

Plan de la présentation

- 1 Introduction
- 2 Détails du projet ANR et objectifs d'étude
- 3 Développement d'un modèle « gray box »
- 4 Étude de la vectorisation des lignes de champ par le contrôle
- 5 Conclusions

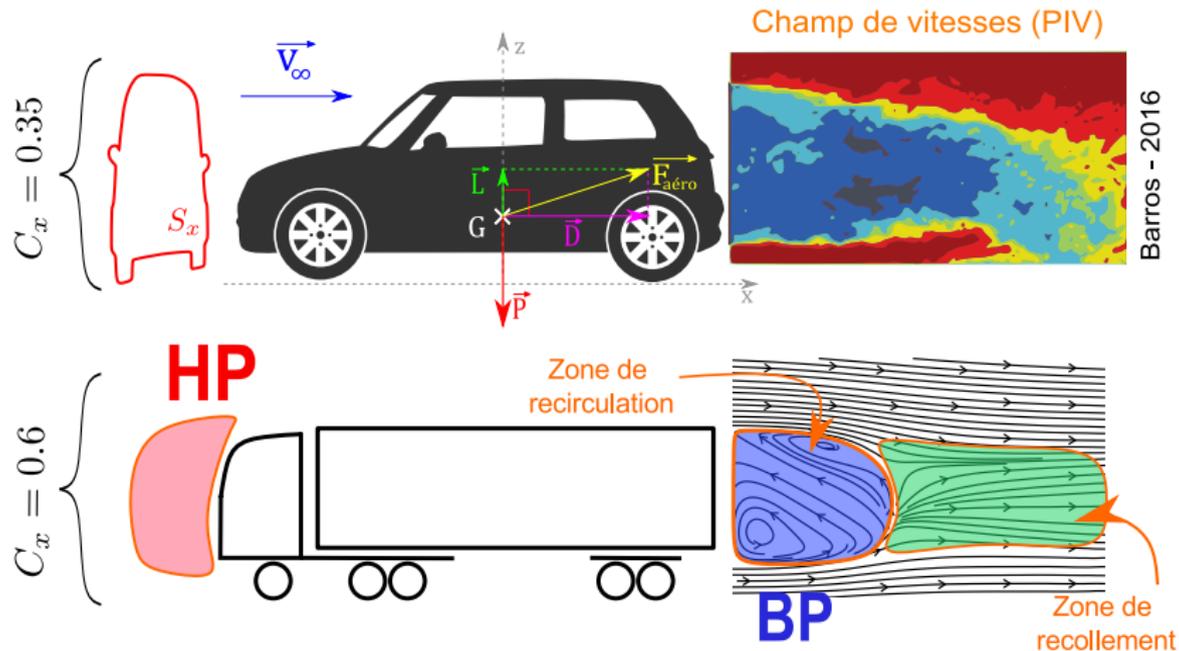
Le contrôle d'écoulement autour des véhicules routiers



Les efforts aérodynamiques :

- Responsables de 70% des efforts résistants (100 km/h)
- Enjeux industriels forts
- Potentiel de réduction important pour **tous** les véhicules

Définitions et moyens d'étude



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

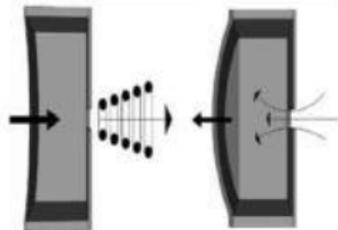
Méthodes de réduction de la traînée

Passives

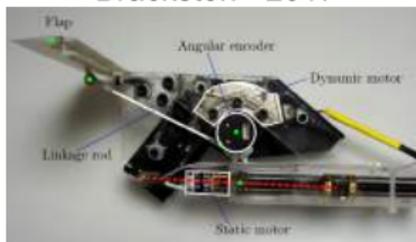


Actives

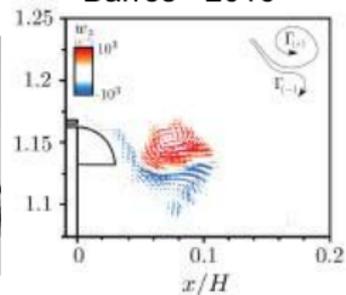
Gimeno - 2009



Brackston - 2017

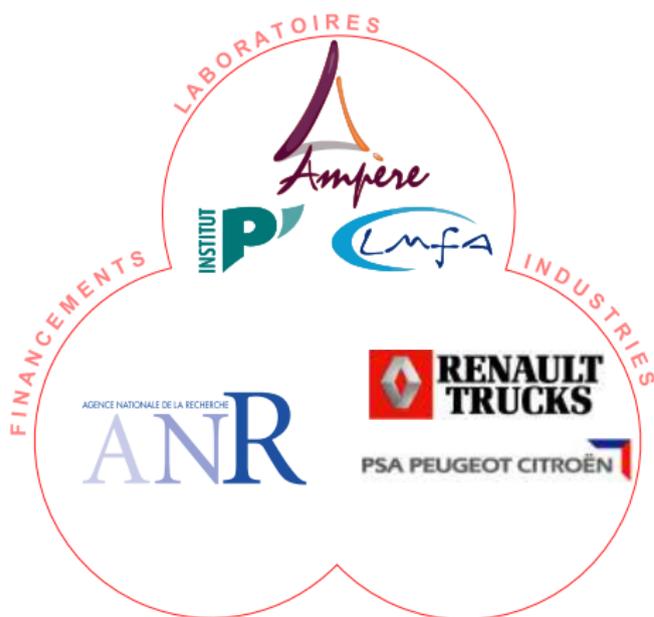


Barros - 2016



Le projet ANR Activ'Road : Acteurs et objectifs

Partenariat académique et industriel :

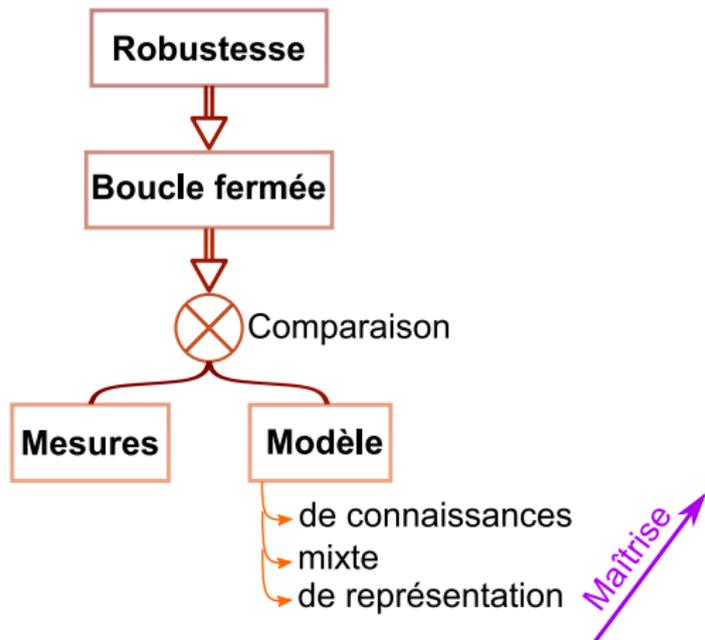


Points clés :

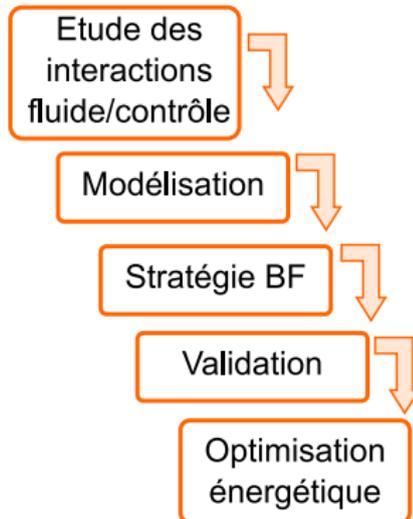
- Contrôle actif
- Haute fréquence (\rightarrow 1kHz),
- Jets pulsés
- Voiture et camion.

Proposer un **contrôle robuste de la traînée de pression en boucle fermée.**

Prérequis du contrôle et méthodologie

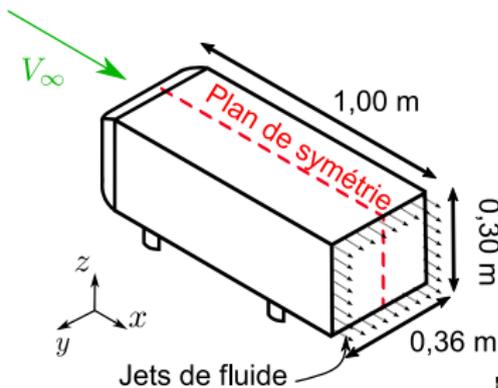


ANR ActivRoad

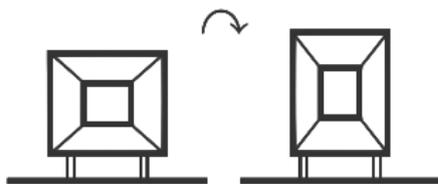
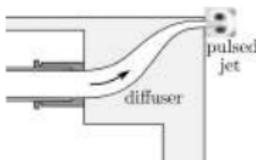


Dispositif expérimental et nature de l'écoulement

Maquette expérimentale :

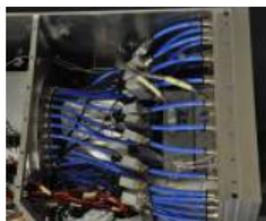


Haffner - 2017



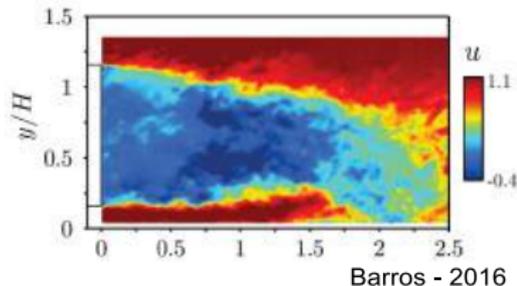
Config. voiture

Config. camion



Jonctions EV/Diffuseurs

Champ de vitesses
($V_\infty = 15 \text{ m.s}^{-1}$)

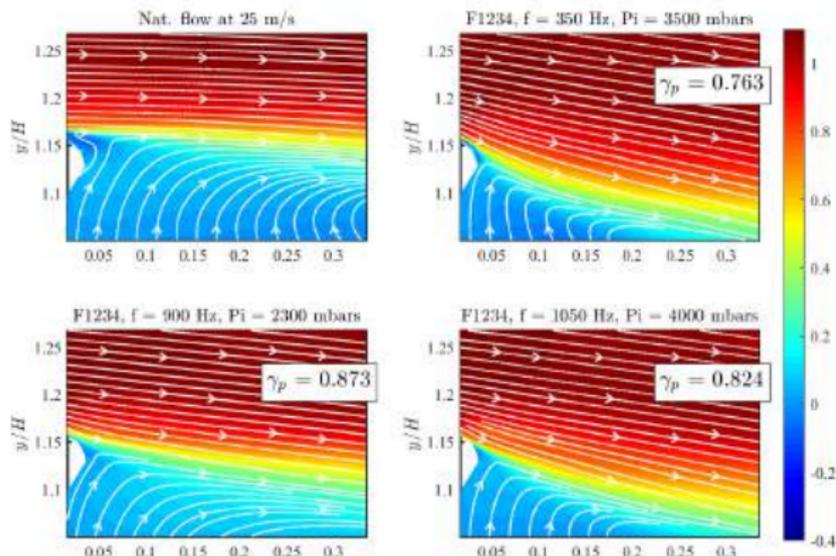


Barros - 2016

- Régime turbulent : $Re_H > 10^5$
- Incompressible
- Mesures directes de pressions délicates

Particularités de l'écoulement contrôlé

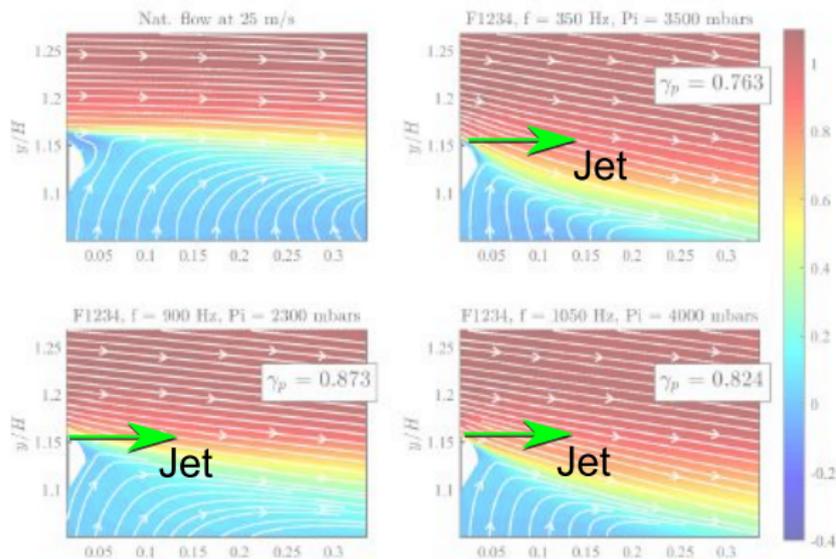
Champs turbulents moyennés



$$\gamma_p = \frac{\langle P \rangle - P_{ref}}{\langle P^0 \rangle - P_{ref}}$$

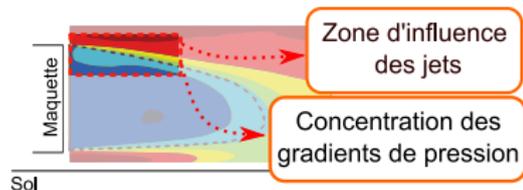
Particularités de l'écoulement contrôlé

Champs turbulents moyennés



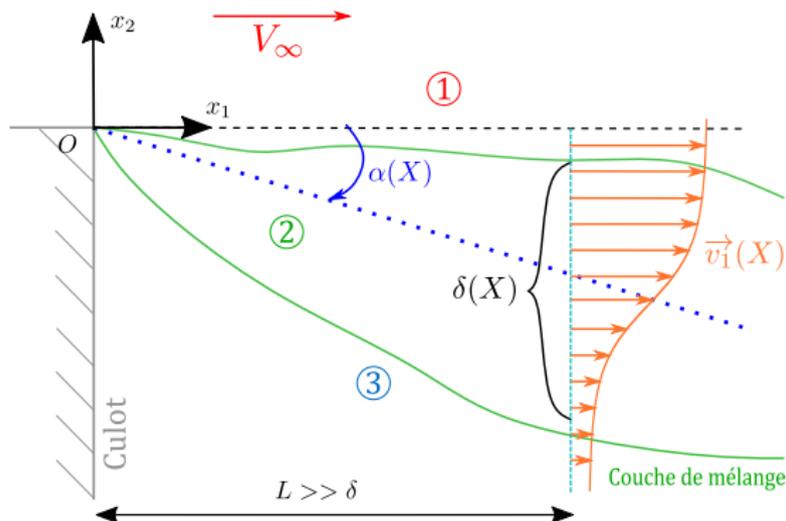
$$\gamma_p = \frac{\langle P \rangle - P_{ref}}{\langle P^0 \rangle - P_{ref}}$$

Modèle de couche de mélange (CM) stationnaire



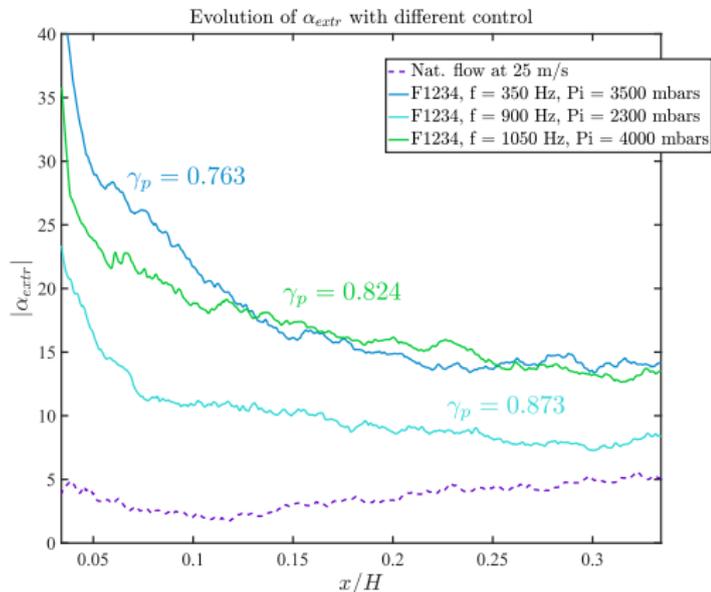
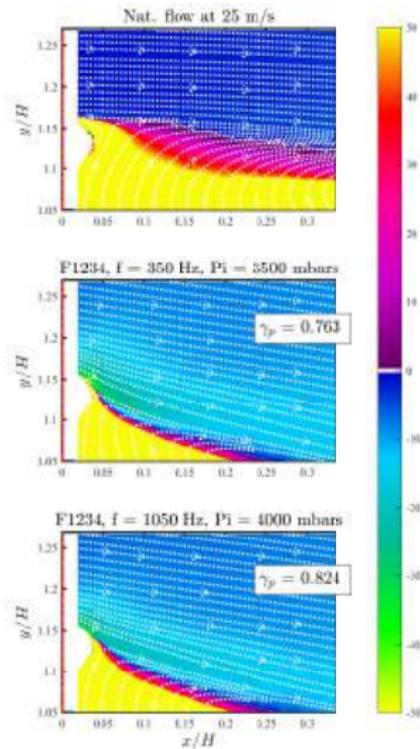
Domaines :

- ① Écoulement externe
- ② Couche de mélange
- ③ Zone de recirculation



Vectorisation de l'écoulement : l'angle de déviation α

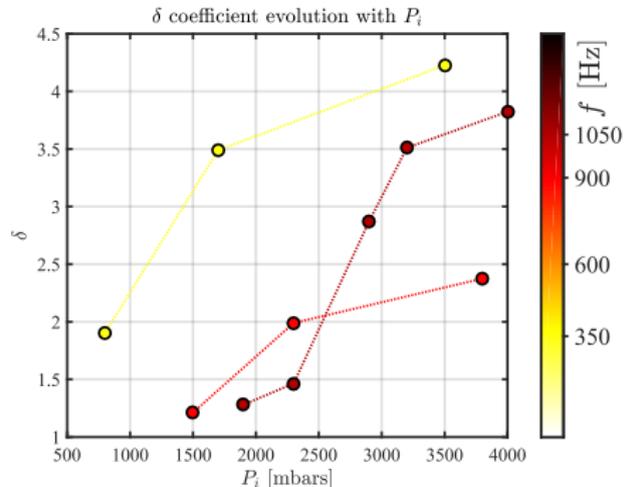
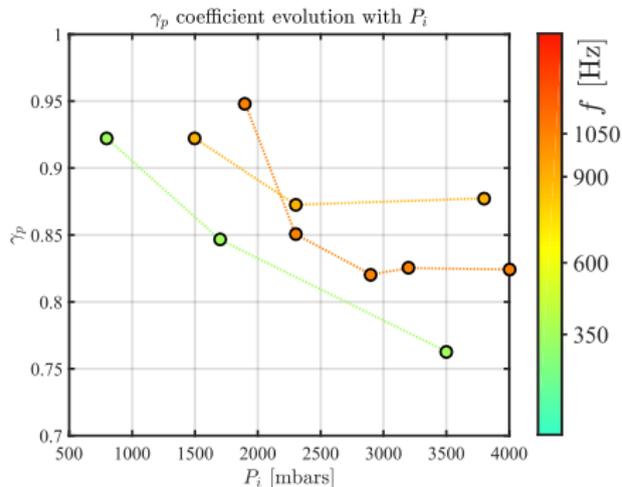
Comparaison des meilleurs gains en pression obtenus



Évolution des coefficients δ et γ_p avec la pression de soufflage

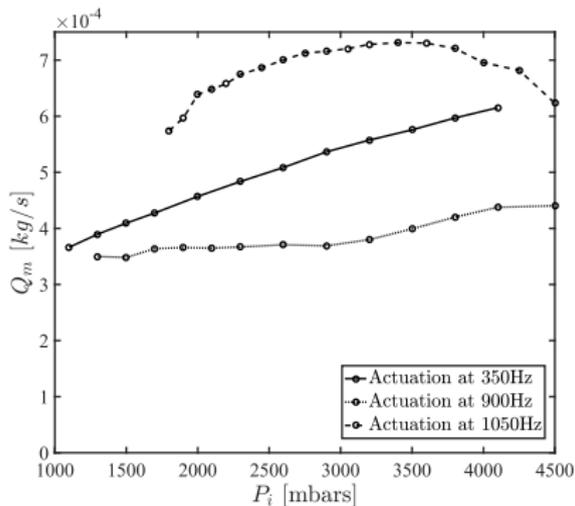
Définition de δ :

$$\delta = \frac{1}{\Delta x} \int \sin(|\alpha|) dx$$

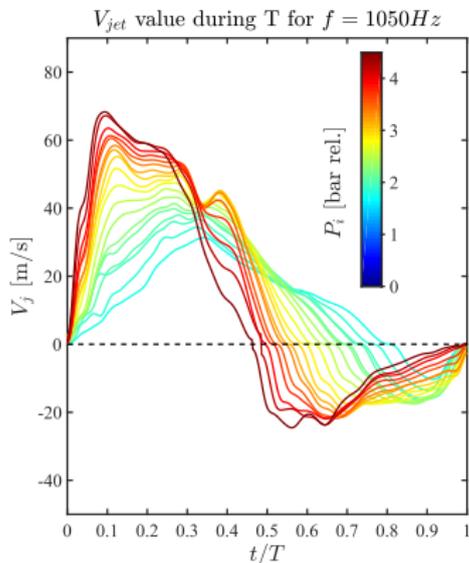


Utilisation du débit massique en sortie d'électrovannes

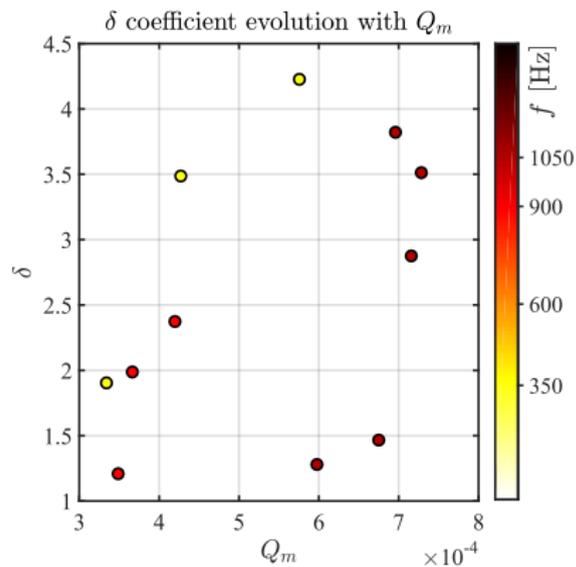
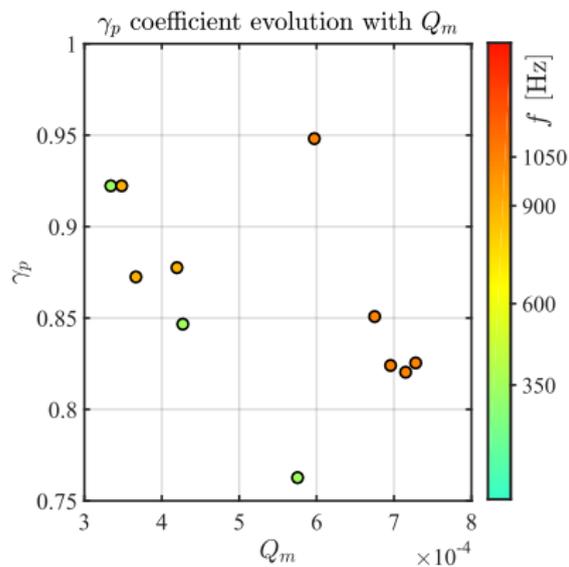
Débit d'air injecté en fonction de la pression amont



Allure caractéristiques des jets



Corrélations au débit Q_m de γ_p et de δ



Conclusions sur l'analyse des données

Vectorisation de l'écoulement au bord de la maquette

- Potentiellement quantifiable via δ
- Liée à la quantité de mouvement injectée
- Semble impacter la répartition de pression au culot

Exploration et analyse complémentaire requise

- Données statistiques à compléter
- Liaison avec les équations physiques à venir
- Garder en vue la définition d'un **observateur** pour le contrôle

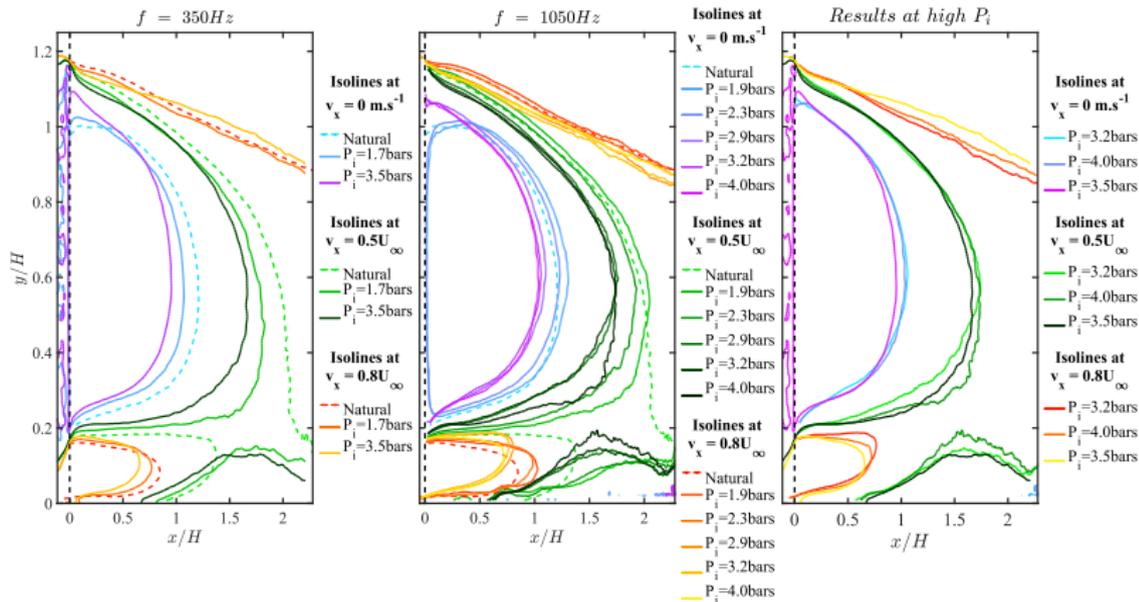
Campagne d'essai réalisée en juin :

- Mesures par PIV
- Essais de contrôle du barycentre des pressions au culot
- Effets d'un contrôle multi-fréquentiel sur le sillage

Merci de votre attention.

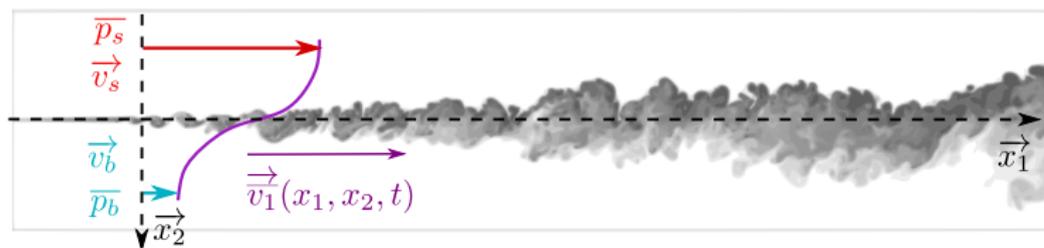
S'il-vous-plaît, posez vos questions.

Zones à vitesse nulle, moyenne et limites de la zone de mélange



Modèles analytiques de référence

La couche de mélange de Goertler



Assumptions :

- $v_s \gg v_b$
- $\vec{v} \cdot \vec{x}_2 \approx 0$
- Viscosité turbulente :
$$-\rho \overline{v_i' v_j'} = \mu_t \left[\frac{\partial \overline{v}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \overline{v}_j}{\partial x_i} \right], \mu_t \text{ fixé}$$
- Champ de vitesses auto-semblable

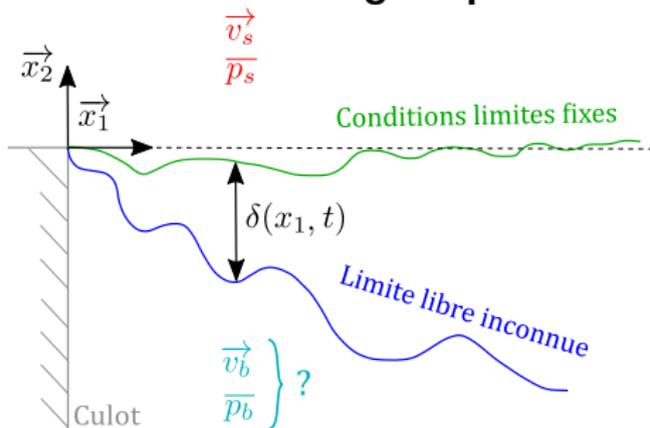
Résultats :

$$\overline{v}_1(x_1, x_2, t) = \frac{v_s - v_b}{2} \left[1 - \text{erf} \left(\sigma \frac{x_2}{x_1} \right) \right] + v_b, \sigma \text{ fixé}$$

Modèles analytiques de référence

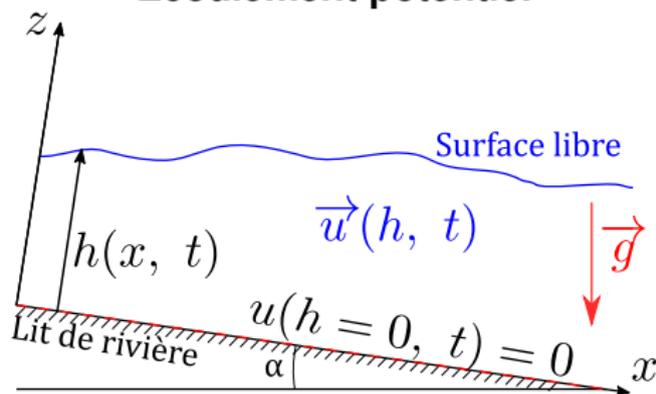
Écoulement de Saint-Venant

Couche de mélange supérieure



$$\overline{v}_1(x_1, x_2, t) \gg \overline{v}_2(x_1, x_2, t)$$

Écoulement potentiel



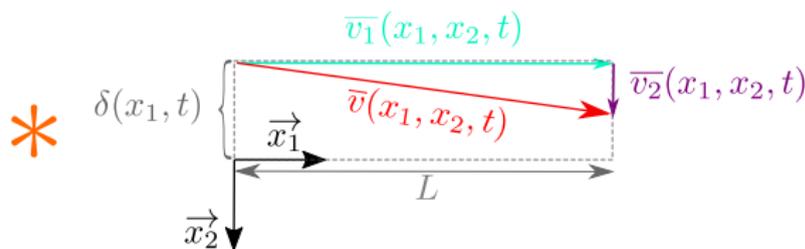
Équations de Navier-Stokes décrites sous l'hypothèse de couche de mélange turbulente (1/2)

* $Re > 10^5$ \Rightarrow Hypothèse de fluide parfait \Rightarrow

Équations de Reynolds
(Navier-Stokes moyenné en temps)

\Rightarrow Moyenne sur le temps T_{turb} :

$$v(X, t) = \overline{v(X, t)} + v'(X, t)$$



$$\frac{\overline{v_2}}{\delta} \approx \frac{\overline{v_1}}{L}$$

\Rightarrow Analyse des ODG :

$$\frac{\partial \overline{v_2}}{\partial t} + \overline{v_1} \frac{\partial \overline{v_2}}{\partial x_1} + \overline{v_2} \frac{\partial \overline{v_2}}{\partial x_2} \ll \nabla \overline{p}$$

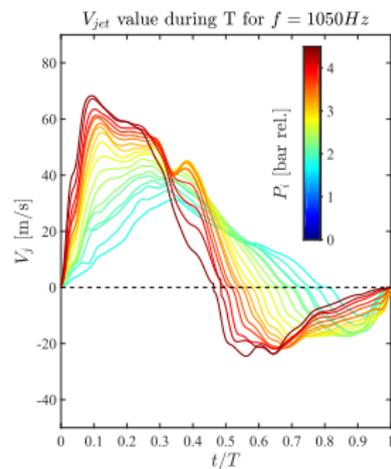
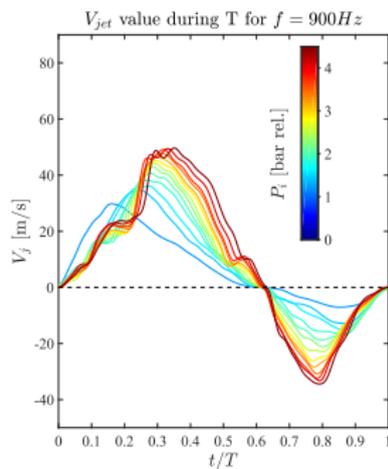
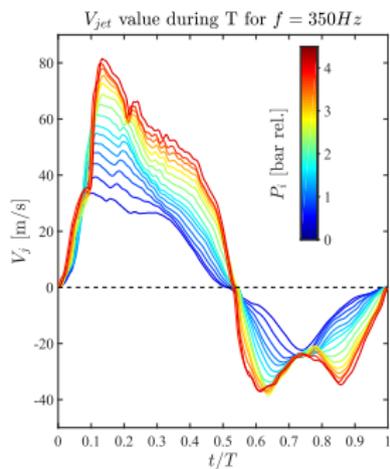
Équations de Navier-Stokes décrites sous l'hypothèse de couche de mélange turbulente (2/2)

System d'équations de Reynolds

Équations 2D URANS

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Mass cons.} \\ \text{Momentum cons.} \\ \text{Energy cons.} \end{array} \right. \quad \left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial \bar{v}_1}{\partial x_1} + \frac{\partial \bar{v}_2}{\partial x_2} = \frac{\partial v_1'}{\partial x_1} + \frac{\partial v_2'}{\partial x_2} = 0 \\ \frac{\partial(\bar{v}_1)}{\partial t} + \bar{v}_1 \frac{\partial \bar{v}_1}{\partial x_1} + \bar{v}_2 \frac{\partial \bar{v}_1}{\partial x_2} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{p}}{\partial x_1} - \frac{\partial \overline{v_1'^2}}{\partial x_1} - \frac{\partial \overline{v_1' v_2'}}{\partial x_2} \\ \frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{p}}{\partial x_2} = -\frac{\partial \overline{v_1' v_2'}}{\partial x_1} - \frac{\partial \overline{v_2'^2}}{\partial x_2} \\ \frac{\partial \bar{p}}{\partial t} + \bar{v}_1 \frac{\partial \bar{p}}{\partial x_1} + \bar{v}_2 \frac{\partial \bar{p}}{\partial x_2} = -\overline{v_1' \frac{\partial p'}{\partial x_1}} - \overline{v_1' \frac{\partial p'}{\partial x_2}} \end{array} \right.$$

Vitesses des jets d'air en sortie de diffuseur



Régressions linéaires sur les nuages de points de δ et γ_p

