Identification de modèle non linéaire pour le contrôle d'écoulements instables

Congrès Francais de Mécanique — Besançon

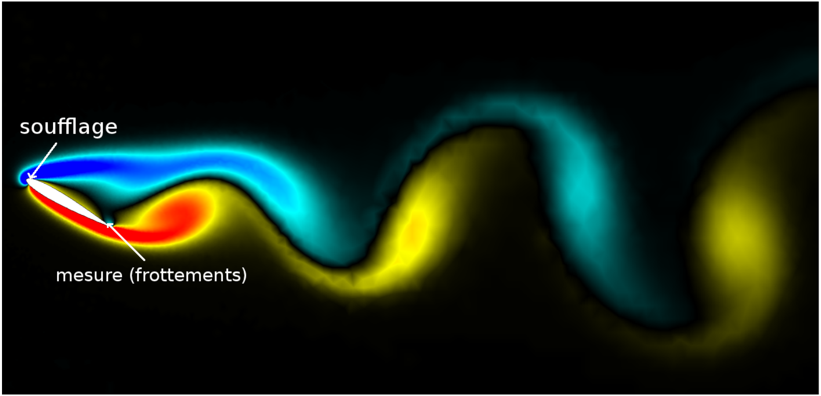
Aurélien HERVÉ, Denis Sipp, Peter Schmid

Office Nationale d'Etudes et de Recherches Aérospatiales

30 Août 2011

Plan

Configuration



NACA010, $Re = 200$, incidence 30°

Identification d'un modèle : méthode proposée

Méthode proposée

1. Identification d'une dynamique non forcée, à l'aide d'une trajectoire POD
2. Utilisation d'un modèle temporel ARX pour inclure la loi de contrôle

Critères de qualité

1. Requis :
   - fréquence et amplitude des oscillations respectées
   - Le modèle admet un point d'équilibre instable, qui correspond à la projection du champ de base sur la base réduite choisie
2. Requis :
   - Bonne prédiction d'une simulation avec forçage

Identification d'un modèle : méthode proposée

Méthode proposée

1. Identification d'une dynamique non forcée, à l'aide d'une trajectoire POD
2. Utilisation d'un modèle temporel ARX pour inclure la loi de contrôle

Critères de qualité

1. Requis :
   - fréquence et amplitude des oscillations respectées
   - Le modèle admet un point d'équilibre instable, qui correspond à la projection du champ de base sur la base réduite choisie
2. Requis :
   - Bonne prédiction d'une simulation avec forçage

Identification d'un modèle : méthode proposée

Méthode proposée

1. Identification d'une dynamique non forcée, à l'aide d'une trajectoire POD
2. Utilisation d'un modèle temporel ARX pour inclure la loi de contrôle

Critères de qualité

1. Requis :
   - fréquence et amplitude des oscillations respectées
   - Le modèle admet un point d'équilibre instable, qui correspond à la projection du champ de base sur la base réduite choisie
2. Requis :
   - Bonne prédiction d'une simulation avec forçage

Identification d'un modèle : méthode proposée

Méthode proposée

1. Identification d'une dynamique non forcée, à l'aide d'une trajectoire POD
2. Utilisation d'un modèle temporel ARX pour inclure la loi de contrôle

Critères de qualité

1. Requis :
   - fréquence et amplitude des oscillations respectées
   - Le modèle admet un point d'équilibre instable, qui correspond à la projection du champ de base sur la base réduite choisie
2. Requis :
   - Bonne prédiction d'une simulation avec forçage

Identification d'un modèle : méthode proposée

Méthode proposée

1. Identification d'une dynamique non forcée, à l'aide d'une trajectoire POD
2. Utilisation d'un modèle temporel ARX pour inclure la loi de contrôle

Critères de qualité

1. Requis :
   - fréquence et amplitude des oscillations respectées
   - Le modèle admet un point d'équilibre instable, qui correspond à la projection du champ de base sur la base réduite choisie
2. Requis :
   - Bonne prédiction d'une simulation avec forçage

Structure du modèle

1. **Calcul POD, autour de Reynolds = 50** :
   $U = \bar{U}_{|Re=50} + \sum_i x_i \Phi_i$ $\qquad \varepsilon = \frac{1}{Re_0} - \frac{1}{Re}$

2. **Structure générale du modèle, en gardant la dépendance en Reynolds** :

$$\begin{aligned} \forall \varepsilon,\ x_i^{t+1} &= \varepsilon A_i + \sum_j x_j \left(B_{ij} + \varepsilon \beta_{ji}\right) + \sum_{j,k} x_j x_k C_{ijk} \\ &= f_i(X, \varepsilon) \end{aligned}$$

Structure du modèle

1. **Calcul POD, autour de Reynolds = 50** :
   $U = \bar{U}_{|Re=50} + \sum_i x_i \Phi_i \qquad \varepsilon = \frac{1}{Re_0} - \frac{1}{Re}$

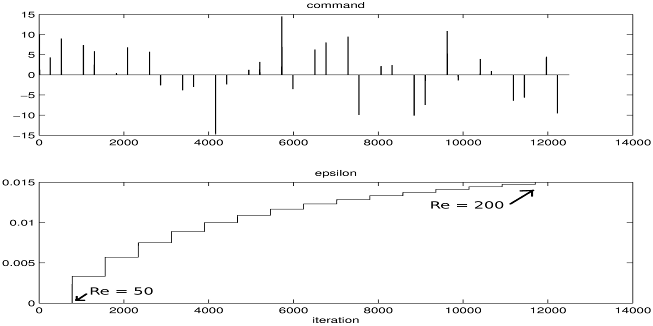
2. **Structure générale du modèle, en gardant la dépendance en Reynolds** :

$$
\begin{aligned}
\forall \varepsilon,\ x_i^{t+1} &= \varepsilon A_i + \sum_j x_j \left(B_{ij} + \varepsilon \beta_{ji}\right) + \sum_{j,k} x_j x_k C_{ijk} \\
&= f_i(X, \varepsilon)
\end{aligned}
$$

Identification du modèle : ensemble d'apprentissage

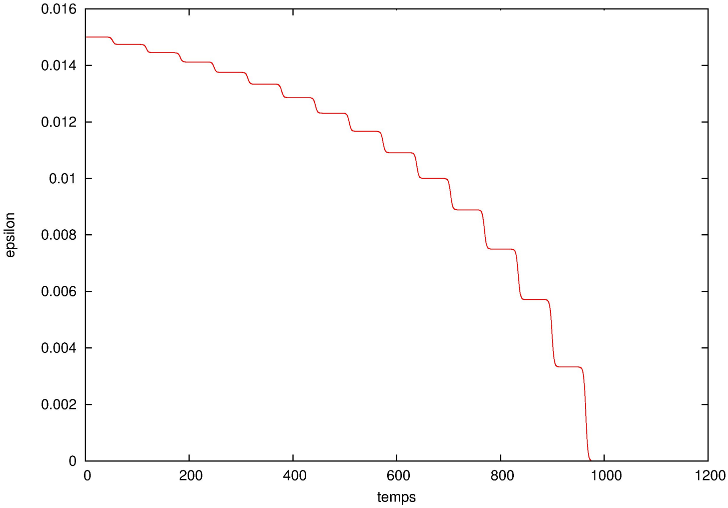
Equation du modèle

$$x_i^{t+1}(X,\varepsilon) = \varepsilon A_i + \sum_j B_{ij}x_j + \sum_j \varepsilon\beta_{ij}x_j + \sum_{j,k} C_{i,j,k}x_jx_k$$

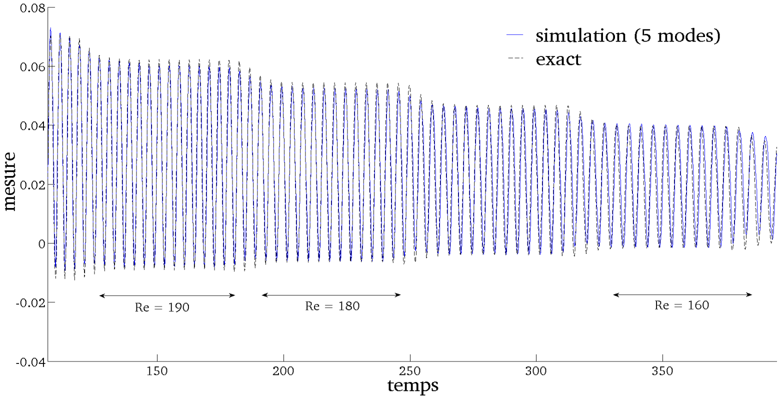


Ensemble d'apprentissage. La simulation est ponctuellement forcée pour obserber une dynamique plus riche

Ensemble de test

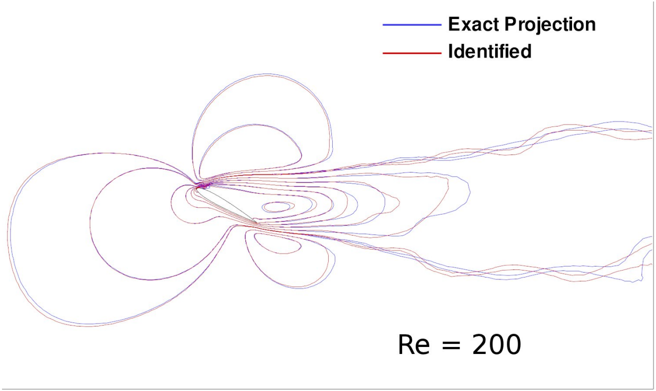


Résultat de l'identification : prédiction d'une simulation



Simulation sur l'ensemble de test : le Reynods diminue et la loi de forçage est nulle

Prédiction du champ de base grâce au modèle identifié



Baseflow (Newton)
POD basis
} -----> Exact projection

model equilibrium
POD basis
}------> Identified baseflow

Ajout de l'effet du forçage : modèle

Identification de l'action du contrôle sur la base :

- Calcul d'une simulation avec forçage aléatoire $u(t)$
- $\Delta(t) = X(t+1) - f(X(t), \varepsilon(t))$
- *modèle ARX :* $\Delta(t) = \sum_k \alpha_k u(t-k)$

Ajout de l'effet du forçage : modèle

Identification de l'action du contrôle sur la base :

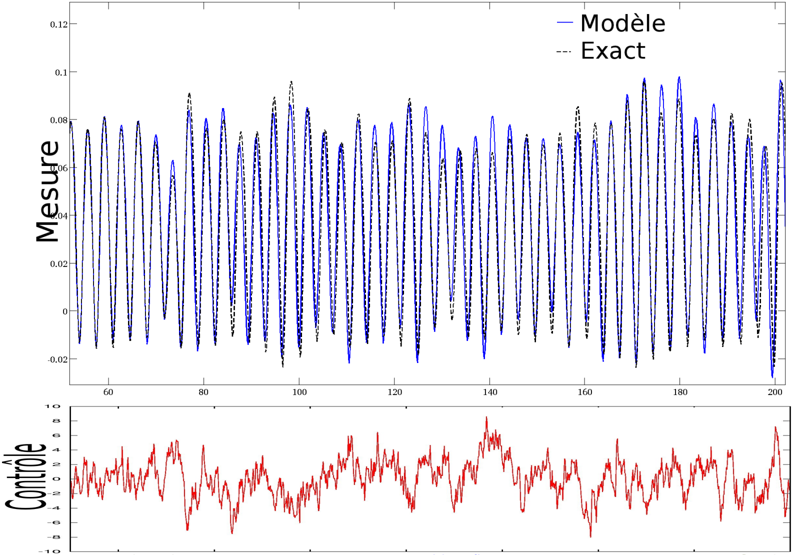
- Calcul d'une simulation avec forçage aléatoire $u(t)$
- $\Delta(t) = X(t+1) - f(X(t), \varepsilon(t))$
- *modèle ARX :* $\Delta(t) = \sum_k \alpha_k u(t-k)$

Ajout de l'effet du forçage : modèle

Identification de l'action du contrôle sur la base :

- Calcul d'une simulation avec forçage aléatoire $u(t)$
- $\Delta(t) = X(t+1) - f(X(t), \varepsilon(t))$
- *modèle ARX :* $\Delta(t) = \sum_k \alpha_k u(t-k)$

Ajout de l'effet du forçage : résultats



Conclusion

Modèle réduit

- Modélisation fiable de la dynamique non forcée à l'aide de 5 modes, et sur une large plage de Reynolds
- La projection du champ de base sur la base réduite est déduite de la dynamique observée
- Modèle temporel pour prendre en compte les effets du forçage

Perspectives

- Influence du forçage comme fonction du Reynolds
- Définition d'un estimateur
- Contrôle non linéaire

Modèle réduit

- Modélisation fiable de la dynamique non forcée à l'aide de 5 modes, et sur une large plage de Reynolds
- La projection du champ de base sur la base réduite est déduite de la dynamique observée
- Modèle temporel pour prendre en compte les effets du forçage

Perspectives

- Influence du forçage comme fonction du Reynolds
- Définition d'un estimateur
- Contrôle non linéaire

Conclusion

Modèle réduit

- Modélisation fiable de la dynamique non forcée à l'aide de 5 modes, et sur une large plage de Reynolds
- La projection du champ de base sur la base réduite est déduite de la dynamique observée
- Modèle temporel pour prendre en compte les effets du forçage

Perspectives

- Influence du forçage comme fonction du Reynolds
- Définition d'un estimateur
- Contrôle non linéaire

Conclusion

Modèle réduit

- Modélisation fiable de la dynamique non forcée à l'aide de 5 modes, et sur une large plage de Reynolds
- La projection du champ de base sur la base réduite est déduite de la dynamique observée
- Modèle temporel pour prendre en compte les effets du forçage

Perspectives

- Influence du forçage comme fonction du Reynolds
- Définition d'un estimateur
- Contrôle non linéaire

Conclusion

Modèle réduit

- Modélisation fiable de la dynamique non forcée à l'aide de 5 modes, et sur une large plage de Reynolds
- La projection du champ de base sur la base réduite est déduite de la dynamique observée
- Modèle temporel pour prendre en compte les effets du forçage

Perspectives

- Influence du forçage comme fonction du Reynolds
- Définition d'un estimateur
- Contrôle non linéaire

Conclusion

Modèle réduit

- Modélisation fiable de la dynamique non forcée à l'aide de 5 modes, et sur une large plage de Reynolds
- La projection du champ de base sur la base réduite est déduite de la dynamique observée
- Modèle temporel pour prendre en compte les effets du forçage

Perspectives

- Influence du forçage comme fonction du Reynolds
- Définition d'un estimateur
- Contrôle non linéaire