

# Contrôle actif multimodal en écoulement : quels problèmes et quelles solutions ?

Emmanuel Friot, Martin Glessler

CNRS - Laboratoire de Mécanique et d'Acoustique

`friot@lma.cnrs-mrs.fr`

- publications variées sur écoulements  $M < 0.1$  (ventilation)  
e.g. un chapitre dans Hansen & Snyder *Active control of noise and vibration*
- quelques publications sur du contrôle de bruit de soufflante sans étude ou prise en compte de l'écoulement

- publications variées sur écoulements  $M < 0.1$  (ventilation)  
e.g. un chapitre dans Hansen & Snyder *Active control of noise and vibration*
- quelques publications sur du contrôle de bruit de soufflante sans étude ou prise en compte de l'écoulement
- résultats des essais sur moteur du programme SILENCE(R) :
  - des atténuations du bruit de soufflante ont pu être obtenues  
*notamment avec le stator actif*

- publications variées sur écoulements  $M < 0.1$  (ventilation)  
e.g. un chapitre dans Hansen & Snyder *Active control of noise and vibration*
- quelques publications sur du contrôle de bruit de soufflante sans étude ou prise en compte de l'écoulement
- résultats des essais sur moteur du programme SILENCE(R) :
  - des atténuations du bruit de soufflante ont pu être obtenues *notamment avec le stator actif*
  - l'échec de certaines stratégies n'est pas bien expliqué
  - peu d'indications pour l'optimisation des dispositifs

# Pourquoi des problèmes en écoulement ?

Le contrôle acoustique « usuel » (haut-parleurs et *feedforward*) demande *a priori* que :

# Pourquoi des problèmes en écoulement ?

Le contrôle acoustique «usuel» (haut-parleurs et *feedforward*) demande *a priori* que :

- la propagation acoustique dans le milieu soit *linéaire*

# Pourquoi des problèmes en écoulement ?

Le contrôle acoustique « usuel » (haut-parleurs et *feedforward*) demande *a priori* que :

- la propagation acoustique dans le milieu soit *linéaire*
- les caractéristiques du milieu varient lentement

# Pourquoi des problèmes en écoulement ?

Le contrôle acoustique «usuel» (haut-parleurs et *feedforward*) demande *a priori* que :

- la propagation acoustique dans le milieu soit *linéaire*
- les caractéristiques du milieu varient lentement
- le rayonnement des haut-parleurs soit une fonction *linéaire et peu variable* de la tension appliquée

Or :



# Pourquoi des problèmes en écoulement ?

Le contrôle acoustique « usuel » (haut-parleurs et *feedforward*) demande *a priori* que :

- la propagation acoustique dans le milieu soit *linéaire*
- les caractéristiques du milieu varient lentement
- le rayonnement des haut-parleurs soit une fonction *linéaire et peu variable* de la tension appliquée

Or :

- on observe de la distorsion dans les événements de basse **dès 3m/s !**

# Pourquoi des problèmes en écoulement ?

Le contrôle acoustique « usuel » (haut-parleurs et *feedforward*) demande *a priori* que :

- la propagation acoustique dans le milieu soit *linéaire*
- les caractéristiques du milieu varient lentement
- le rayonnement des haut-parleurs soit une fonction *linéaire et peu variable* de la tension appliquée

Or :

- on observe de la distorsion dans les événements de basse **dès 3m/s !**
- en écoulement les fluctuations sont convectées ;  
avec beaucoup de modes l'algorithme FXLMS converge lentement

# Pourquoi des problèmes en écoulement ?

Le contrôle acoustique « usuel » (haut-parleurs et *feedforward*) demande *a priori* que :

- la propagation acoustique dans le milieu soit *linéaire*
- les caractéristiques du milieu varient lentement
- le rayonnement des haut-parleurs soit une fonction *linéaire et peu variable* de la tension appliquée

Or :

- on observe de la distorsion dans les événements de basse **dès 3m/s !**
- en écoulement les fluctuations sont convectées ;  
avec beaucoup de modes l'algorithme FXLMS converge lentement
- pour la soufflante il faut produire 140dB en écoulement

- optimiser en laboratoire un contrôle acoustique multimodal : sources, algorithmes, capteurs...

# Les objectifs du LMA dans CoMBE

- optimiser en laboratoire un contrôle acoustique multimodal : sources, algorithmes, capteurs...
- observer les effets d'un l'écoulement jusqu'à  $M = 0,3$

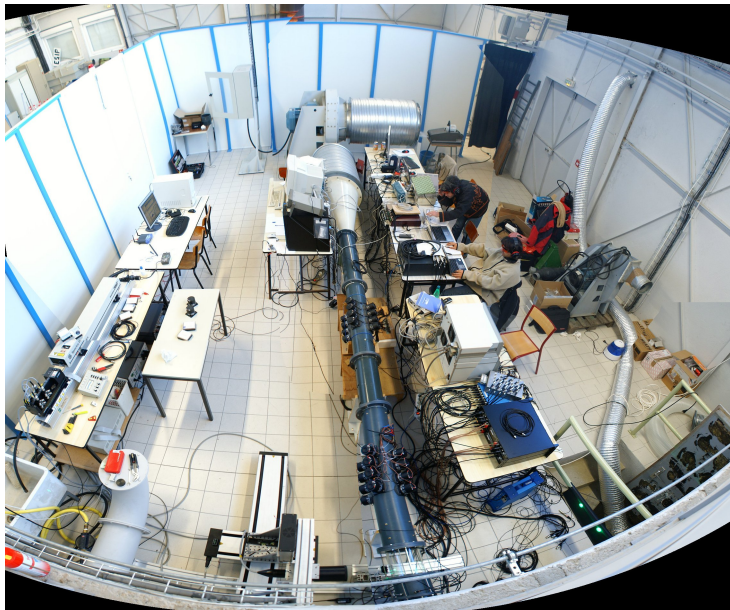
- optimiser en laboratoire un contrôle acoustique multimodal : sources, algorithmes, capteurs...
- observer les effets d'un l'écoulement jusqu'à  $M = 0,3$
- expliquer ces effets pour extrapoler les résultats à d'autres écoulements

- optimiser en laboratoire un contrôle acoustique multimodal : sources, algorithmes, capteurs...
- observer les effets d'un l'écoulement jusqu'à  $M = 0,3$
- expliquer ces effets pour extrapoler les résultats à d'autres écoulements
- relier contrôle en conduit et champ rayonné en extrémité

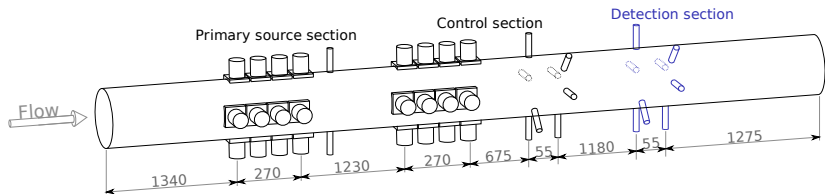
- optimiser en laboratoire un contrôle acoustique multimodal : sources, algorithmes, capteurs...
- observer les effets d'un l'écoulement jusqu'à  $M = 0,3$
- expliquer ces effets pour extrapoler les résultats à d'autres écoulements
- relier contrôle en conduit et champ rayonné en extrémité
- tester de nouvelles stratégies de contrôle



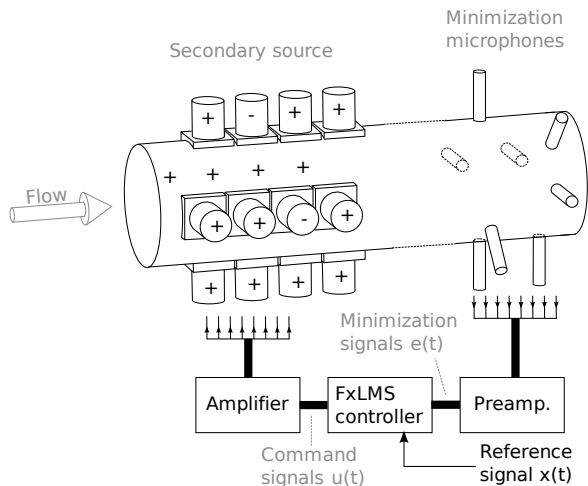
# La veine d'essai



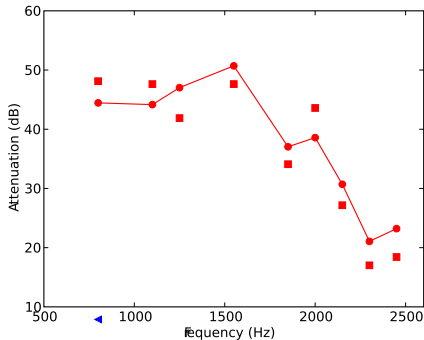
# Les sources et capteurs pour le contrôle



# Architecture du contrôle

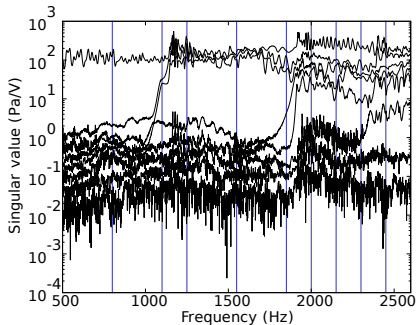


# Résultats de contrôle sans écoulement



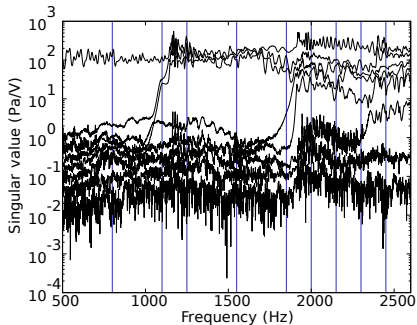
Les performances du contrôle avec 6 modes sont bonnes...  
...mais moins bonnes qu'avec 3 modes

# Hypothèse : la faute au conditionnement

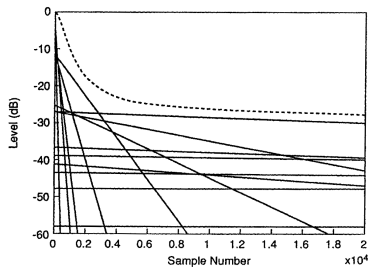


Valeurs singulières  
du transfert secondaire

# Hypothèse : la faute au conditionnement



Valeurs singulières  
du transfert secondaire



« modes de convergence »  
(d'après Elliott, SP for ANC)

## *Pre-conditioned Normalized Filtered-Error Least Mean Square*

*Pre-conditioned Normalized Filtered-Error Least Mean Square*

A partir de l'algorithme FXLMS «usuel» :



## *Pre-conditioned Normalized Filtered-Error Least Mean Square*

A partir de l'algorithme FXLMS «usuel» :

- pour égaliser les modes de convergence, on «distord» la matrice de transfert secondaire de l'algorithme adaptatif

## *Pre-conditioned Normalized Filtered-Error Least Mean Square*

A partir de l'algorithme FXLMS «usuel» :

- pour égaliser les modes de convergence, on «distord» la matrice de transfert secondaire de l'algorithme adaptatif
- s'apparente à de la formation de voies mais ne demande ni modèle *a priori* ni calibration précise

## *Pre-conditioned Normalized Filtered-Error Least Mean Square*

A partir de l'algorithme FXLMS «usuel» :

- pour égaliser les modes de convergence, on «distord» la matrice de transfert secondaire de l'algorithme adaptatif
- s'apparente à de la formation de voies mais ne demande ni modèle *a priori* ni calibration précise
- «facile» à mettre en œuvre dans le cas de sons purs, plus délicat en large bande

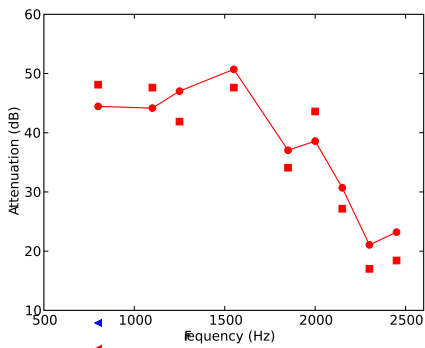
## *Pre-conditioned Normalized Filtered-Error Least Mean Square*

A partir de l'algorithme FXLMS «usuel» :

- pour égaliser les modes de convergence, on «distord» la matrice de transfert secondaire de l'algorithme adaptatif
- s'apparente à de la formation de voies mais ne demande ni modèle *a priori* ni calibration précise
- «facile» à mettre en œuvre dans le cas de sons purs, plus délicat en large bande
- le gain en convergence dépend de la qualité de l'estimation des transferts  
n'a pas pu être utilisé en écoulement dans CoMBE

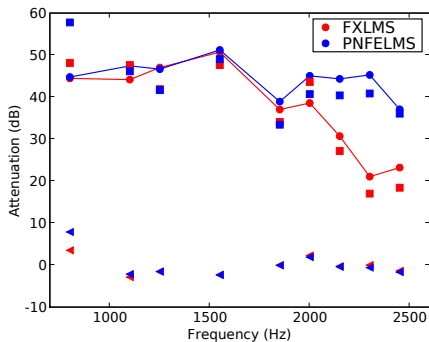
# Algorithme FXLMS vs. PNFELMS

avec le contrôleur « maison » COMPARS :



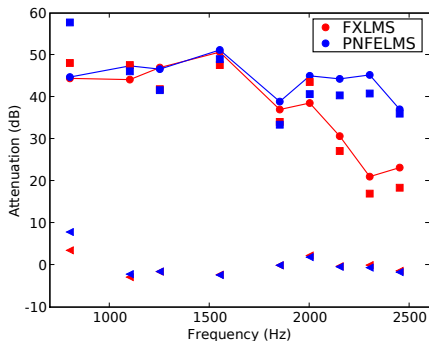
# Algorithme FXLMS vs. PNFELMS

avec le contrôleur «maison» COMPARS :



# Algorithme FXLMS vs. PNFELMS

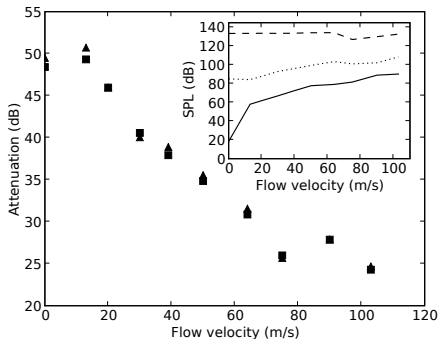
avec le contrôleur « maison » COMPARS :



Le nombre de modes à traiter peut expliquer rétrospectivement certains résultats de SILENCE(R).

Pb : mettre maintenant en œuvre le PNFELMS en écoulement

# Résultats de contrôle avec écoulement



Atténuation obtenue à 800Hz (mode plan seul propagatif) :

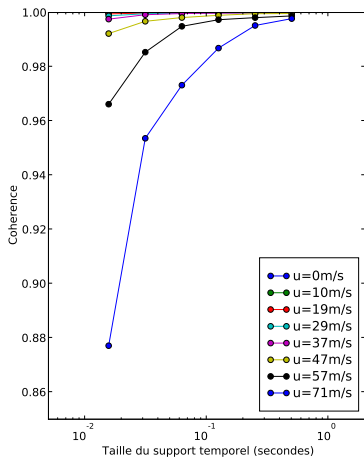
■ sur les microphones de minimisation

▲ sur les microphones de visualisation

en insert : niveaux absolus de bruit sur les microphones

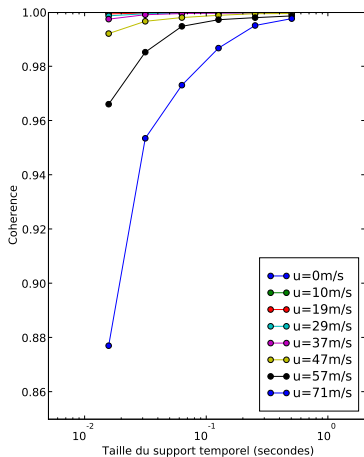


# Cohérence entre signaux de référence/de minimisation



La cohérence reste élevée avec écoulement mais elle diminue plus vite quand on raccourcit la fenêtre d'analyse, ce que provoquent les phénomènes *linéaires instationnaires*.

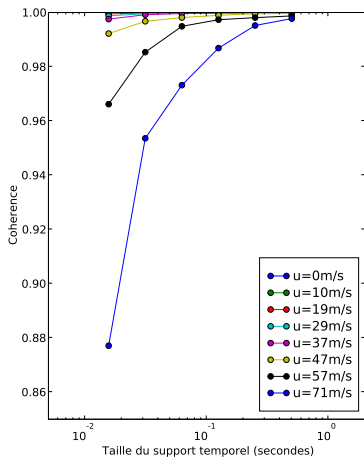
# Cohérence entre signaux de référence/de minimisation



La cohérence reste élevée avec écoulement mais elle diminue plus vite quand on raccourcit la fenêtre d'analyse, ce que provoquent les phénomènes *linéaires instationnaires*.

Le *principe de superposition des excitations* pourrait rester valide (et expliquer les bons résultats du stator actif).

# Cohérence entre signaux de référence/de minimisation

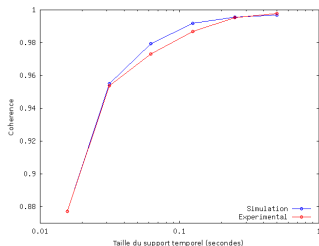


La cohérence reste élevée avec écoulement mais elle diminue plus vite quand on raccourcit la fenêtre d'analyse, ce que provoquent les phénomènes *linéaires instationnaires*.

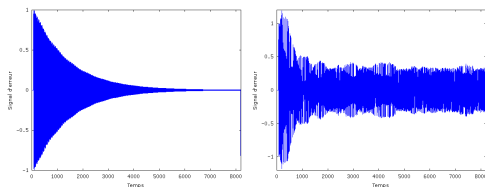
Le *principe de superposition des excitations* pourrait rester valide (et expliquer les bons résultats du stator actif).

Il faudrait trouver un signal de référence qui intègre les effets instationnaires.

Simulations de contrôle FXLMS du mode plan avec convection de fluctuations de célérité :

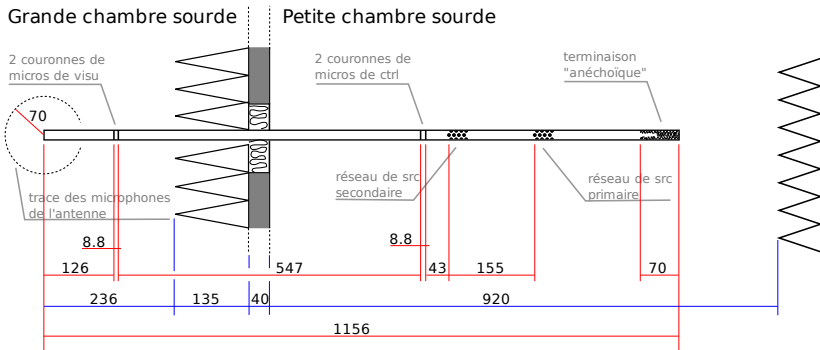


cohérence  
référence/minimisation

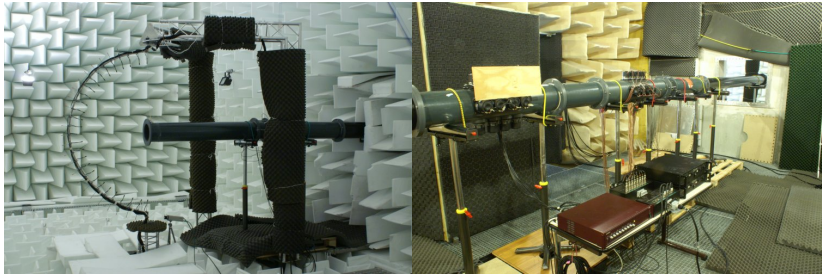


effet des fluctuations  
sur le signal de minimisation

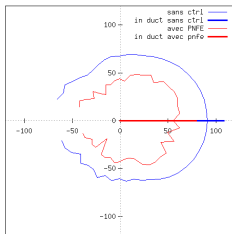
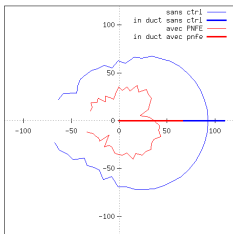
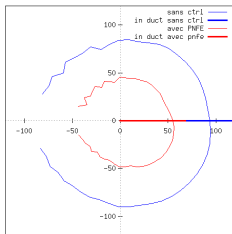
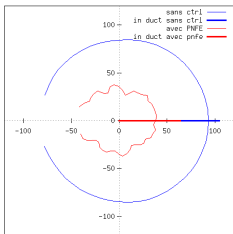
# Installation de la veine en chambre sourde au LMA



# Installation de la veine en chambre sourde au LMA



# Mesures en champ libre



Niveau de pression acoustique avec et sans contrôle à 800, 1550, 2150 et 2450Hz.

Au programme d'OPENAIR :

- identification des transferts secondaires par excitations simultanées



Au programme d'OPENAIR :

- identification des transferts secondaires par excitations simultanées
- mise en œuvre de l'algorithme PNFE en écoulement

Au programme d'OPENAIR :

- identification des transferts secondaires par excitations simultanées
- mise en œuvre de l'algorithme PNFE en écoulement
- conception et utilisation dans l'écoulement d'un capteur de référence :
  - peu sensible au *feedback*
  - peu sensible à la turbulence

# Qui a fait quoi dans CoMBE au LMA

- Emmanuel Friot *algorithmes et coordination*
- Martin Glessner *beaucoup de tout*
- Régine Guillermin *campagnes d'essai*
- Philippe Herzog *réseaux de haut-parleurs et microphones*
- Marie-Madeleine Morano *gestion*
- Cédric Pinhède *campagnes d'essai*
- Alain Roure *programmation temps-réel et essais*
- Muriel Winninger *programmation temps-réel et essais*