



UNIVERSITÉ DE LA RÉUNION



LABORATOIRE PIMENT

IBPSA 2014

Optimisation topologique d'une conduite d'aération en forme de
Té pour la réhabilitation

Garry Riviere*, Alain Bastide

20 et 21 mai 2014

*garry.riviere@univ-reunion.fr

- 1 Introduction
- 2 Construction du problème de contrôle optimal
- 3 Système adjoint et conditions aux limites adjointes
- 4 Mise en place numérique
- 5 Résultats et discussions
- 6 Conclusion et perspectives

Contexte

Réhabilitation énergétique des bâtiments :

- Contraintes financières et structurelles
- Existant fixe avec limites spatiales
- Réduire la dépense énergétique



Méthodes

- Contrôler passivement un écoulement en modifiant la géométrie de la conduite
- ➔ Optimisation topologique

L'optimisation topologique dans la littérature

- Méthode développée par [Gunzburger, 2000] ;
- Utilisée par [Othmer, 2008] pour la ventilation automobile.

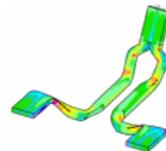


FIGURE 1: optimisation topologique d'un système

Notre problème de contrôle optimal est défini par :

- Des variables qui définissent le système. Il s'agit ici de la vitesse \mathbf{u} et de la pression p de l'air ainsi que k et ε qui sont spécifiques au modèle de turbulence RANS employé ;

Notre problème de contrôle optimal est défini par :

- Des variables qui définissent le système. Il s'agit ici de la vitesse \mathbf{u} et de la pression p de l'air ainsi que k et ε qui sont spécifiques au modèle de turbulence RANS employé ;
- Un paramètre de contrôle α (porosité sur une cellule donnée)

Notre problème de contrôle optimal est défini par :

- Des variables qui définissent le système. Il s'agit ici de la vitesse \mathbf{u} et de la pression p de l'air ainsi que k et ε qui sont spécifiques au modèle de turbulence RANS employé ;
- Un paramètre de contrôle α (porosité sur une cellule donnée)
- Des contraintes physiques \mathcal{F} [Tallet, 2013] : $\mathcal{S} = (S1, S2, S3, S4)$.

$$(S1, S2, S3)^T = (\mathbf{u} \cdot \nabla) \mathbf{u} - \nabla \cdot (2D(\mathbf{u})) + \nabla p + \alpha \mathbf{u} \quad (1)$$

$$S4 = -\nabla \cdot \mathbf{u} \quad (2)$$

L'objectif est alors de trouver les valeurs de \mathbf{u} et de p telles que :

$$\mathcal{F}(\mathbf{u}, p, \alpha) = 0 \quad (3)$$

Objectif principal

Réduction des pertes de charge entre l'entrée et les sorties du Té

Objectif principal

Réduction des pertes de charge entre l'entrée et les sorties du Té

La puissance dissipée E

$$E = - \int_{\partial\Omega} p_t \mathbf{u} \cdot \mathbf{n} dA \quad (4)$$

où $\partial\Omega$, p_t et \mathbf{u} sont respectivement la frontière du domaine Ω , la pression totale et la vitesse du fluide sur un élément de surface dA .

Objectif principal

Réduction des pertes de charge entre l'entrée et les sorties du Té

La puissance dissipée E

$$E = - \int_{\partial\Omega} p_t \mathbf{u} \cdot \mathbf{n} dA \quad (4)$$

où $\partial\Omega$, p_t et \mathbf{u} sont respectivement la frontière du domaine Ω , la pression totale et la vitesse du fluide sur un élément de surface dA .

On cherche à minimiser :

$$\mathcal{J} = - \int_{\Gamma} \left(p + \frac{1}{2} v^2 \right) \mathbf{u} \cdot \mathbf{n} d\Gamma \quad (5)$$

Γ est une partie de $\partial\Omega$.

Méthode :

- 1 Introduction des variables de Lagrange \mathbf{u}^* et p^*
- 2 Le calcul des variations impose alors $\delta \mathcal{L} = 0$
- 3 Le calcul des variations doit vérifier :
 $\delta \mathcal{L} = 0$ avec $\delta_\alpha \mathcal{L} = 0$, $\delta_{\mathbf{u}} \mathcal{L} = \delta_p \mathcal{L} = \delta_{\mathbf{u}^*} \mathcal{L} = \delta_{p^*} \mathcal{L} = 0$

On en déduit alors le système adjoint suivant :

$$\mathbf{S}^* = \begin{cases} \alpha \mathbf{u}^* - \nabla p^* + (\nabla \cdot (\nabla \mathbf{u}^*)) + 2D(\mathbf{u}^*) \cdot \mathbf{u} = 0 \\ \nabla \cdot \mathbf{u}^* = 0 \end{cases}$$

Et les conditions aux limites adjointes suivantes :

	Entrée	Parois	Sorties
Condition limite en vitesse adjointe	$\mathbf{u}_n = \mathbf{u}_n^*$	$\mathbf{u}^* = 0$	$\mathbf{u}^* = \mathbf{u}$
Condition limite en pression adjointe	$\nabla p^* = 0$	$\nabla p^* = 0$	$p^* = (\mathbf{u} \cdot \mathbf{u}^*) + u_n u_n^* + (\mathbf{n} \cdot \nabla) u_n^* - \frac{1}{2} u^2 - u_n^2$

TABLE 1: Récapitulatif des conditions aux limites adjointes

Approximation posée : les gradients normaux et tangentiels sont nuls.

IBPSA 2014

Introduction

Construction du problème de contrôle optimal

Système adjoint et conditions aux limites adjointes

Mise en place numérique

Description géométrique et conditions aux limites

Mise en place numérique

Résultats et discussions

Conclusion et perspectives

Références

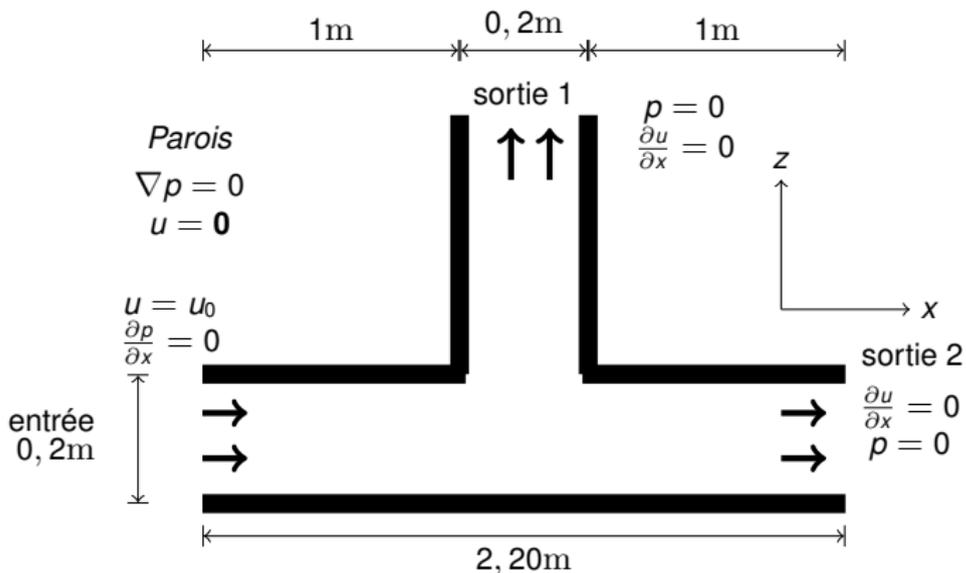


FIGURE 2: Configuration géométrique et conditions limites

Maillage et résolution

- Maillage régulier de 87 000 cellules ;
- Les simulations sont réalisées sous OpenFOAM : Code de calculs aux volumes finis pour la mécanique des fluides numérique.

Maillage et résolution

- Maillage régulier de 87 000 cellules ;
- Les simulations sont réalisées sous OpenFOAM : Code de calculs aux volumes finis pour la mécanique des fluides numérique.

Algorithme d'optimisation

Algorithme de descente basé sur le gradient de la fonctionnelle objectif

Maillage et résolution

- Maillage régulier de 87 000 cellules ;
- Les simulations sont réalisées sous OpenFOAM : Code de calculs aux volumes finis pour la mécanique des fluides numérique.

Algorithme d'optimisation

Algorithme de descente basé sur le gradient de la fonctionnelle objectif

Schémas de discrétisation

- Les termes convectifs sont discrétisés par un schéma *upwind* du premier ordre ;
- Les termes diffusifs sont discrétisés par un schéma du second ordre.

Maillage et résolution

- Maillage régulier de 87 000 cellules ;
- Les simulations sont réalisées sous OpenFOAM : Code de calculs aux volumes finis pour la mécanique des fluides numérique.

Algorithme d'optimisation

Algorithme de descente basé sur le gradient de la fonctionnelle objectif

Schémas de discrétisation

- Les termes convectifs sont discrétisés par un schéma *upwind* du premier ordre ;
- Les termes diffusifs sont discrétisés par un schéma du second ordre.

Modèle de turbulence RANS utilisé

$k - \varepsilon$

Maillage et résolution

- Maillage régulier de 87 000 cellules ;
- Les simulations sont réalisées sous OpenFOAM : Code de calculs aux volumes finis pour la mécanique des fluides numérique.

Algorithme d'optimisation

Algorithme de descente basé sur le gradient de la fonctionnelle objectif

Schémas de discrétisation

- Les termes convectifs sont discrétisés par un schéma *upwind* du premier ordre ;
- Les termes diffusifs sont discrétisés par un schéma du second ordre.

Modèle de turbulence RANS utilisé

$k - \varepsilon$

L'algorithme vérifie la condition d'optimalité sur les cellules du maillage

- Si la cellule est productive \Rightarrow Porosité faible \Rightarrow Assimilée à du fluide
- Si la cellule est contre productive \Rightarrow Porosité élevée \Rightarrow Assimilée à solide

Résultats

- Le contour de la porosité élevée donne la forme optimale
- L'algorithme identifie deux zones assimilées à du solide

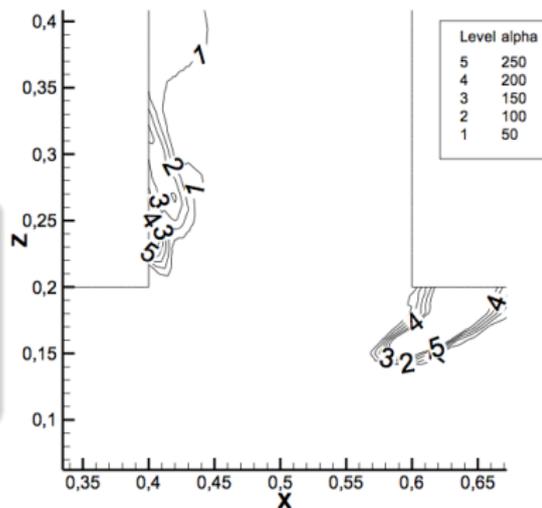


FIGURE 3: Champ de porosité sur une coupe à $y=0,1\text{m}$ dans le plan de symétrie XOZ (zoom)

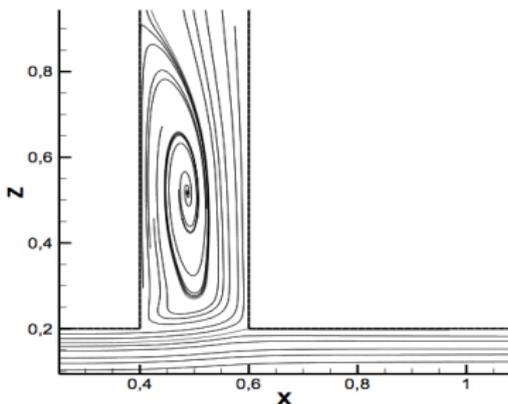


FIGURE 4: Lignes de courant sur une coupe à $y=0,1\text{m}$ dans le plan de symétrie XOZ (zoom)

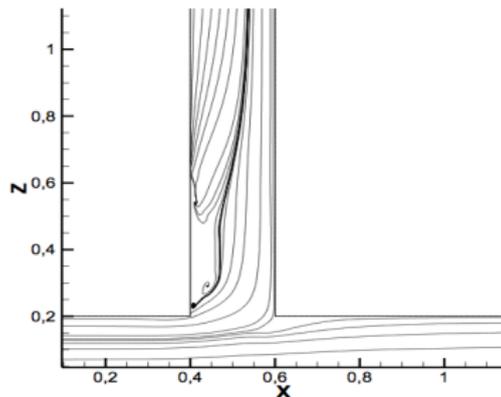


FIGURE 5: Lignes de courant du cas optimisé sur une coupe de la conduite d'aération à $y=0,1\text{m}$ dans le plan de symétrie XOZ (zoom)

Résultats

- Présence d'une zone de recirculation
- Zone de recirculation qui contribue à la dissipation de la puissance
- L'optimisation permet de réduire la recirculation

	p_{entre}	$p_{sortie1}$	$p_{sortie2}$	$ \Delta p _1$	$ \Delta p _2$
Cas optimisé	0,015662	0	0	0,015662	0,015662
Cas non optimisé	0,0180506	0	0	0,0180506	0,0180506

TABLE 2: Tableau des différences de pression entre l'entrée et les sorties du Té

Résultats

- $|\Delta p|$ plus faible pour le cas optimisé
- Réduction de 13% de la puissance dissipée
- ✓ Objectif de la réduction des pertes de charge atteint

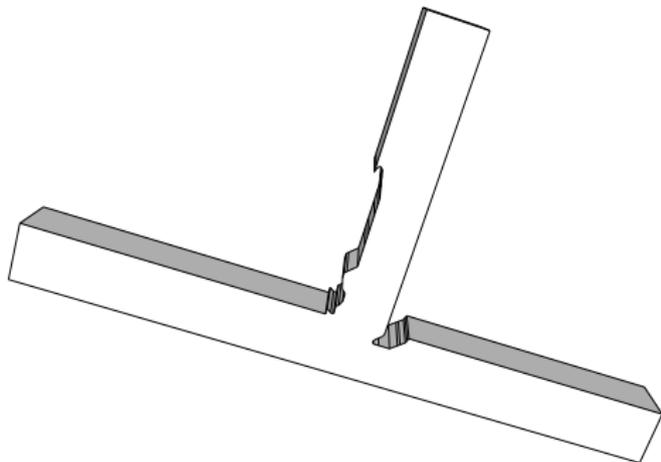
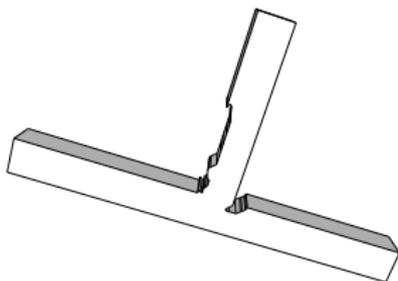


FIGURE 6: Forme optimale de la conduite



Résultats

$|\Delta p|$ plus faible lors de la simulation de la forme optimale

FIGURE 7: Forme optimale de la conduite

	p_{entre}	$p_{sortie1}$	$p_{sortie2}$	$ \Delta p _1$	$ \Delta p _2$
Cas optimisé	0,015662	0	0	0,015662	0,015662
Cas non optimisé	0,0180506	0	0	0,0180506	0,0180506
Forme optimale	0,0052789	0	0	0,0052789	0,0052789

TABLE 3: Tableau des différences de pression entre l'entrée et les sorties du Té

Synthèse des résultats

- Forme optimale obtenue avec comme objectif la réduction de la puissance dissipée
- L'optimisation permet une réduction de la différence de pression entre l'entrée et les sorties
- La simulation de la forme optimale confirme la réduction de la perte de pression

Synthèse des résultats

- Forme optimale obtenue avec comme objectif la réduction de la puissance dissipée
- L'optimisation permet une réduction de la différence de pression entre l'entrée et les sorties
- La simulation de la forme optimale confirme la réduction de la perte de pression

Interets pour la réhabilitation

- Permet de réduire de 13% les pertes de charge ;
- Solution qui permet la modification légère des structures existantes ;
- Solution peu couteuse à l'installation par rapport au remplacement par un nouveau système de ventilation.

Synthèse des résultats

- Forme optimale obtenue avec comme objectif la réduction de la puissance dissipée
- L'optimisation permet une réduction de la différence de pression entre l'entrée et les sorties
- La simulation de la forme optimale confirme la réduction de la perte de pression

Interets pour la réhabilitation

- Permet de réduire de 13% les pertes de charge ;
- Solution qui permet la modification légère des structures existantes ;
- Solution peu couteuse à l'installation par rapport au remplacement par un nouveau système de ventilation.

Perspectives

- Développement d'autres fonctionnelles objectifs (Contrôle du débit...)
- Dissociation de la zone de contrôle et la forme de l'orifice



GUNZBURGER, M. (2000).

Adjoint equation-based methods for control problems in incompressible, viscous flows.

Flow, Turbulence and Combustion, pages 249–272.



OTHMER, C. (2008).

A continuous adjoint formulation for the computation of topological and surface sensitivities of ducted flows.

International Journal for Numerical Methods in Fluids, 58(8):861–877.



TALLET, A. (2013).

Alexandra TALLET Contrôle des écoulements par modèles d'ordre réduit, en vue de l'application à la ventilation naturelle des bâtiments.

Thèse de doctorat.