

## Modélisation numérique des écoulements externes d'inverseur de poussée. Une aide pour la conception des nacelles.

Grégory Pinon<sup>†</sup>, Jean-Marc Cherfils<sup>†</sup>, Xavier Bouteiller<sup>\*</sup>, Laurent Blin<sup>\*</sup> et Elie Rivoalen<sup>†</sup>

<sup>†</sup> Université du Havre  
Laboratoire de Mécanique, Physique et Géosciences  
25, rue P. Lebon BP 540 - 76058 Le Havre Cedex  
gregory.pinon@univ-lehavre.fr  
<sup>\*</sup> Aircelle Le Havre : Groupe SAFRAN  
Route du pont VIII BP91 - 76700 Gonfreville l'Orcher

### Résumé :

*Lors de la phase d'atterrissage d'un avion de transport civil, une partie de l'écoulement entrant dans les réacteurs est réorientée grâce aux inverseurs de poussée. Ces derniers créent une contre poussée qui participe au freinage de l'avion. L'étude présentée porte sur la modélisation numérique de l'écoulement sortant des inverseurs sous forme de jets, qui peuvent, par exemple, venir heurter des parties sensibles de l'avion. C'est la raison pour laquelle il est important de prévoir et de contrôler leur trajectoire dès la phase de conception des inverseurs.*

### Abstract :

*During landing, civil aircrafts use specific devices to reorient the in-flux entering the engine, the thrust-reversers. They help the aircraft bracke, especially during bad weather conditions. This study deals with numerical simulation of the jet-like flow that comes out from the thrust-reversers. For instance, these jets can impinge some critical parts of the airplane. This is the reason why it is very important to predict and to monitor the jet trajectory as soon as the conception phase of the thrust-reversers.*

### Mots-clefs :

**inverseurs de poussée ; méthode particulière ; simulation numérique**

## 1 Introduction

L'augmentation du trafic aérien oblige les avions à atterrir sur une plus courte distance et par tous les temps. Les avions actuels utilisent pour le freinage des inverseurs de poussée. Ces systèmes permettent d'inverser le flux d'air aspiré par les moteurs en le redirigeant vers l'avant de l'appareil. Le flux sortant est issu d'orifices situés généralement sur les côtés du moteur et se présente sous forme de jets. Ces derniers peuvent rebondir sur le sol et être réingérés par le moteur voisin ou encore venir heurter des parties sensibles de l'avion (aile, fuselage, empenage...). Il est donc important de connaître ou de prévoir au moins la trajectoire des jets dès la phase de conception de l'inverseur.

Les codes numériques, de type eulérien, sont utilisés pour dimensionner les inverseurs mais, du fait de leur coût prohibitif sur des domaines étendus, ils ne peuvent que rarement être utilisés pour la simulation de l'écoulement des jets sur une longue distance. Ils sont donc utilisés pour des calculs de la partie interne de l'inverseur de poussée et une méthode numérique plus adaptée à la partie externe est alors nécessaire.

L'objectif de cette étude est de présenter les résultats obtenus sur le cas d'un avion en phase d'atterrissage, il s'agit en fait de la suite logique des précédents travaux présentés par Pinon *et al.* (2005).

## 2 Les méthodes numériques utilisées

### 2.1 Généralités sur le code de simulation numérique

Le code de simulation numérique utilisé est un code lagrangien utilisant la méthode particulière de type *vortex blob*. Les caractéristiques générales de ce code sont présentées dans Pinon *et al.* (2005) et Pinon (2005). Nous utilisons le noyau de Moore régularisé et un algorithme de *Treecode* a été implémenté d'après les travaux de Lindsay *et al.* (2001) afin d'augmenter la puissance de calcul. Nous utilisons un schéma Runge Kutta d'ordre 2 en temps. En ce qui concerne les aspects diffusifs, la méthode PSE (Particle Strength Exchange) est utilisée pour la diffusion et nous utilisons le modèle de turbulence de type LES-SGE défini par Mansour *et al.* (1978) pour obtenir la viscosité turbulente  $\nu_t$ .

### 2.2 Implémentations spécifiques pour les simulations industrielles

#### 2.2.1 Le couplage Euler-Lagrange

Le code de simulation présenté ci-dessus est utilisé pour des simulations académiques sur des anneaux tourbillonnaires (Pinon *et al.* (2007)) mais aussi pour les applications industrielles d'aide à la conception des nouveaux inverseurs de poussée. Pour ce faire, nous avons implémenté dans le code un module de couplage entre les résultats des simulations euleriennes et nos simulations lagrangiennes. Les simulations euleriennes sont réalisées pour concevoir et dimensionner les inverseurs, il s'agit de la partie *interne* des inverseurs. Aircelle utilise le logiciel Fluent pour ces simulations. Les simulations lagrangiennes sont, quant à elles, utilisées pour les écoulements de jets issus de ces inverseurs, c'est à dire la partie *externe*. Le module de couplage consiste en un couplage "faible", dans le sens où il n'y a pas de rétroaction des simulations lagrangiennes sur les simulations euleriennes (utilisation d'une surface de couplage et d'une zone tampon). Cette méthode de couplage a été bien détaillée notamment dans Pinon *et al.* (2005) et Pinon (2005). De manière générale, la méthode de couplage montre une grande capacité de conservation des débits, notamment due au fait qu'il s'agit d'une méthode intégrale de frontière mais présente une faiblesse au niveau de la prise en compte du Reynolds. Il ressort des études précédentes que le calage en Reynolds peut-être notablement amélioré, notamment par la mise en place d'un modèle de turbulence de type LES-SGE de meilleure qualité, ce qui est envisagé à terme.

#### 2.2.2 La prise en compte du fuselage, des ailes, de la nacelle et du sol

La méthode de couplage Euler-Lagrange présentée ci-dessus est utilisée pour faire le lien entre les simulations *internes* et *externes* de l'inverseur de poussée. Pour ces dernières, il est indispensable de prendre en compte le fuselage, les ailes, la nacelle et enfin le sol pour définir le domaine de simulation qui *a priori* est non borné ou infini. Dans un premier temps, pour ne pas rendre les simulations trop complexes, nous ne souhaitons pas prendre en compte la condition d'adhérence sur ces parois. Nous avons en réalité implémenté une méthode de vitesse normale nulle grâce à une distribution surfacique de sources d'après Bousquet (1990). L'image de gauche de la figure 1 représente la configuration initiale des simulations, la figure de droite présente un zoom sur la partie avant de la nacelle avec l'entrée d'air. Sur cette dernière image, nous pouvons observer la surface de couplage de forme annulaire autour de la nacelle. Les particules de la zone tampon sont représentées par des cercles proportionnels au module de vorticité que elles transportent. On observe très nettement les zones de jet d'inverseur (couleur rouge sur la surface de couplage) et les couches de cisaillement des jets (particules plus grosses

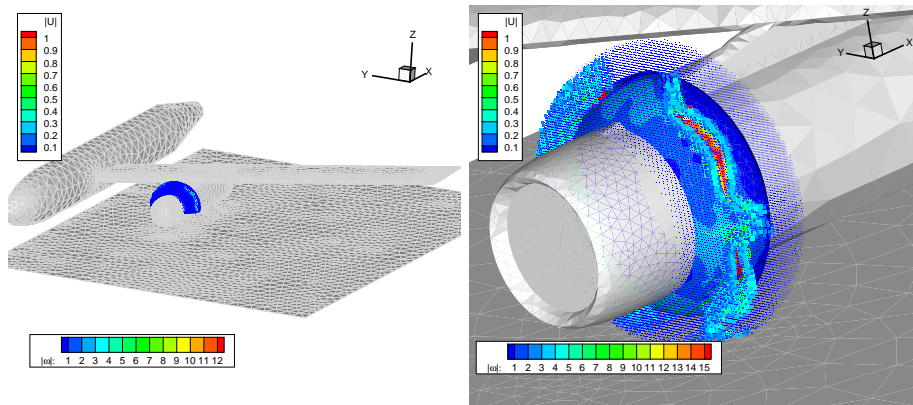


FIG. 1 – Gauche : Configuration initiale de la simulation de type industriel. Droite : Zoom sur la partie avant de la nacelle pour un inverseur à quatre portes. Les mailles grises représentent le maillage surfacique pour la méthode de vitesse normale nulle (Bousquet (1990)),  $|U|$  représente la vitesse adimensionnée sur la surface de couplage et  $|\omega|$  représente la vorticité des particules de la zone tampon sous forme de cercle proportionnels à  $|\omega|$ .

autour des zones de jet). Les vitesses entrantes au niveau de l'entrée d'air de la nacelle sont elles aussi prises en compte par la méthode de distribution surfacique de sources, où nous imposons alors une vitesse normale prescrite par Aircelle.

### 3 Les résultats des simulations numériques

#### 3.1 Les inverseurs à portes *avec* et *sans* becquet

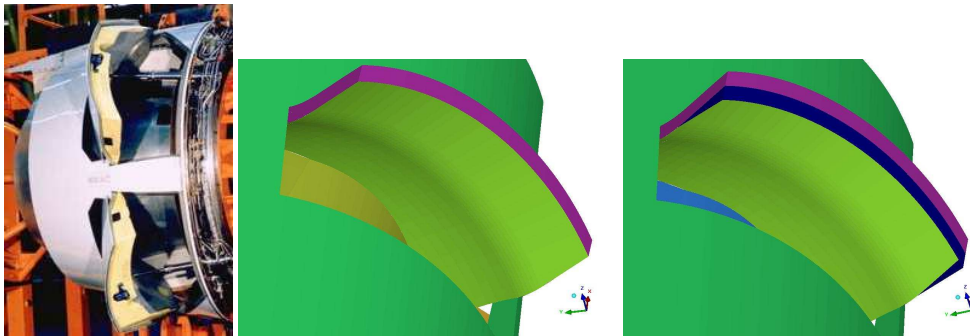


FIG. 2 – Gauche : Photographie d'un inverseur de poussée à porte conçue par l'entreprise Aircelle Centre : Zoom d'une géométrie d'un quart d'inverseur de poussée à porte, inverseur *sans* becquet. Droite : Zoom d'une géométrie d'un quart d'inverseur de poussée à porte, inverseur *avec* becquet. Pour les images du centre et de droite, il s'agit des géométries utilisées pour les simulations euleriennes.

Il existe plusieurs configurations d'inverseurs, les inverseurs à portes (Cf. figure 2), les inverseurs à grilles et les inverseurs à obstacle aval... Pour cette étude, nous nous sommes focalisés sur l'étude d'un inverseur à porte qui avait été préalablement étudié expérimentalement par l'entreprise Valttec (Zoppellari (2000)). Sur cet inverseur à porte, deux configurations sont possibles, *avec* et *sans* becquet comme le montre les images de la figure 2. De manière schématique, l'utilisation de becquet donne une contre-poussée plus importante pour un débit identique car les jets issus des inverseurs sont ré-orientés plus vers l'avant de l'appareil. Toutefois, il y a plus de risque de ré-ingestion avec des inverseurs possédant des becquets car les jets, remontant

plus vers l'amont, sont à proximité de l'entrée d'air. Etant donné que cette étude n'en est encore qu'à une phase de pré-industrialisation, nous avons voulu, grâce à l'utilisation ou non de becquet, comparer de manière qualitative les résultats avant une étude quantitative plus approfondie. De plus, dans les essais réalisés par Zoppellari (2000) pour Valttec, il avait été observé que pour une certaine gamme de paramètres, il y avait ré-ingestion avec la présence de becquet ce qui n'était pas le cas sans les becquets.

### 3.2 Détermination des cas de ré-ingestion

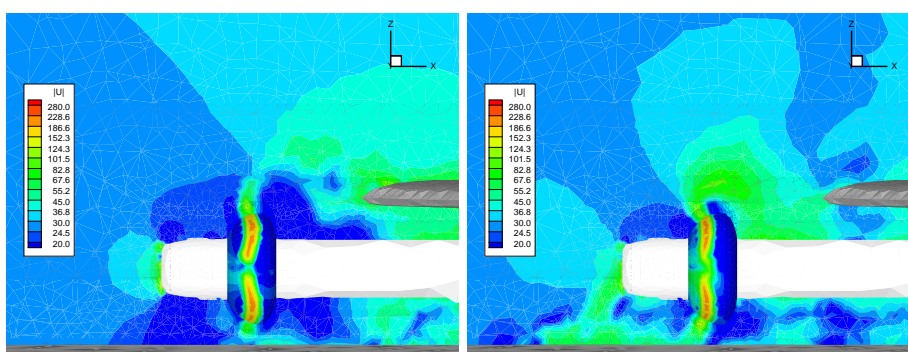


FIG. 3 – Coupes verticales de l'écoulement réalisées de manière excentrées par rapport à l'axe de la nacelle. Comparaison des simulations sans (gauche) et avec becquet (droite) pour une simulation de type industriel pour un inverseur à 4 portes. Le cas avec becquet met en évidence la présence de ré-ingestion dans ces conditions.  $|U|$  représente le module de vitesse adimensionné.

La figure 3 présente deux coupes verticales de l'écoulement réalisées le long de l'axe de symétrie de la nacelle de manière excentrées. L'image de gauche ne présente pas de cas de ré-ingestion et l'écoulement issu des portes inférieures et supérieures est advecté vers l'arrière (Cf. Pinon (2005)) suite à l'action de la vitesse d'avance de l'avion lorsqu'il atterrit. Néanmoins, on observe sur ce graphe la présence du cône d'aspiration dû à l'entrée d'air de la nacelle. Pour ce qui est du cas d'inverseur avec becquet (Cf. figure 3 à droite), on observe clairement que l'on est en présence d'un cas de ré-ingestion. Si on se focalise sur la partie inférieure de cette figure, on observe que le jet issu du quart inférieur de la nacelle sort et heurte directement le sol. Il remonte alors le long de la nacelle pour finalement arriver au niveau de l'entrée d'air. Il est alors aspiré par le cône d'aspiration de celle-ci. Nous avons donc pu discriminer de manière qualitative un cas de ré-ingestion dans une gamme de paramètres où les deux configurations d'inverseur ne donnent pas les mêmes résultats expérimentalement. Avec la présence de becquet, nous avons déterminé qu'il y avait ré-ingestion comme l'avait observé l'entreprise Valttec (Zoppellari (2000)) ; ce qui n'est pas le cas sans les becquets comme nous l'avons obtenu. Au niveau de la chaîne de calcul mise en place pour la phase de conception d'un inverseur, les simulations Fluent ont été réalisées sur 2 noeuds d'un serveur de calcul chez Aircelle en 24 h approximativement. En ce qui concerne les simulations couplées, elles ont été réalisées sur 8 noeuds du calculateur du CRIHAN<sup>1</sup> en 6 jours environ. L'ensemble de la chaîne de simulation se fait actuellement en une semaine environ ce qui est encore trop long pour une réelle utilisation durant la conception des nouveaux inverseurs. Néanmoins, de nombreuses améliorations sont encore possibles.

<sup>1</sup>Il s'agit du cluster IBM Power4 P690 ayant une performance crête théorique de 5.2 GFlops par processeur.

## 4 Conclusion

Ce papier, qui fait suite aux précédents papiers soumis au CFM (Cf. Bratec *et al.* (2003); Pinon *et al.* (2005)) présente les dernières évolutions d'un travail dont le but final est la simulation complète des jets issus des inverseurs de poussée pour un avion en phase d'atterrissage. Pour la première fois, nous sommes passés sur des configurations de simulation proches des configurations réelles avec la prise en compte du fuselage, des ailes, de la nacelle et du sol. De plus, nous avons mis en évidence de manière numérique des cas de ré-ingestion comme l'avaient déterminé les expériences réalisées sur ces configurations ce qui est de très bonne augure pour l'aide à la conception des futurs inverseurs de poussée. En effet, nous espérons pouvoir déterminer de manière précise des cas de ré-ingestion avant même les phases expérimentales et ainsi éviter des passages coûteux en soufflerie. Nous travaillons actuellement à la diminution des temps de simulation sur un nouvel inverseur que Aircelle doit concevoir, celui-ci de la motorisation SaM146 du Superjet 100, un avion régional russe.

## Références

- Bousquet J. 1990 Méthode des singularités. Cépaduès-Éditions, Toulouse.
- Bratec H., Rivoalen E., Huberson S. 2003 Modélisation numérique d'un jet issu d'un inverseur de poussée plan. *16<sup>ème</sup> Congrès Français de Mécanique*
- Lindsay K., Krasny, R. 2001 A particle method and adaptive treecode for vortex sheet motion in three-dimensional flow. *J. Comput. Phys.* **172** 879-907
- Mansour N.N., Ferziger J.H., Reynolds W.C. 1978 Large-eddy simulation of a turbulent mixing layer *Report TF-11, Thermosciences Div. Dept. of Mech. Eng., Stanford University.*
- Pinon, G. 2005 Modélisation numérique de jets transverses : Application au cas des inverseurs de poussée d'un avion en phase d'atterrissage. *PhD thesis* Université du Havre, Le Havre.
- Pinon G., Bratec H., Huberson S., Pignot G., Rivoalen E. 2005 Vortex method for the simulation of a 3D round jet a cross-stream. *J. Turbulence* **Vol 6 - n 18** 1-25
- Pinon G., Pignot G., Bendaoud M., Blin L. 2005 Modélisation numérique des écoulements externes d'inverseur de poussée. *17<sup>ème</sup> Congrès Français de Mécanique*
- Pinon G., Delbende I., Rivoalen E., Rossi M. 2007 Instabilité secondaire sur un anneau de vorticité. *Soumis au 18<sup>ème</sup> Congrès Français de Mécanique*
- Zoppellari, E. 2000 Détermination expérimentale de la structure et de la trajectoire des jets issus d'un inverseur de poussée. *Rapport d'essai* Valttec, Poitiers.