

Mesure de l'évolution aérothermique de la cavité nacelle d'un turboréacteur au décollage

E. DIVOURON^{2*}, P. REULET¹, P. MILLAN¹, M. BALLAND²

¹ ONERA – centre de Toulouse – 2, Avenue Édouard Belin – 31055 TOULOUSE

² SNECMA VILLAROCHE – Rond-point René Ravaut – 77550 MOISSY-CRAMAYEL

*(auteur correspondant : eric.divouron@onera.fr)

Résumé – Un banc d'essais a été monté afin de réaliser une base de données expérimentales sur le couplage fluide-solide en instationnaire qui soit représentatif des phénomènes aérothermiques existant au sein du compartiment nacelle d'une turbomachine. Sont présentées dans cet article les différentes mesures anémométriques et thermiques effectuées sur le banc.

1. Introduction

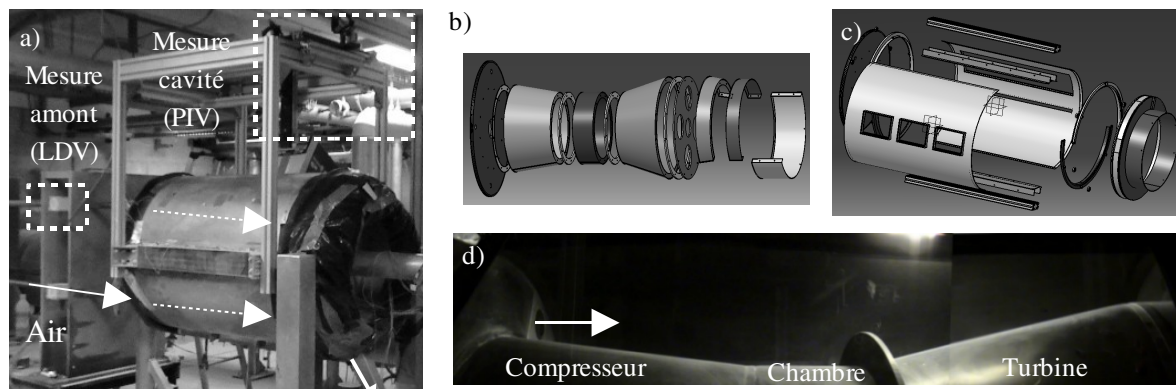


Figure 1 : Banc d'essai : Vue générale(a) - éclaté carter(b) et capot(c) - vue cavité(d)

Par la création d'un banc d'essais représentatif d'une cavité nacelle de turboréacteur (figure1) permettant de réaliser des transitoires aérothermiques entre deux phases stationnaires [1], des mesures en conditions stabilisées et instationnaires ont pu être effectuées afin d'obtenir une base de données nécessaire à la validation du couplage entre les solveurs fluide et solide de la chaîne de calcul CEDRE développée à l'ONERA [2].

Les conditions d'entrée ont été choisies pour être représentatives du roulage d'un avion (condition GI) et du décollage (condition TO).

Conditions	Débit	Flux_Compresseur	Flux_Chambre	Flux_Turbine
GI	60 g/s	100 W/m ²	1500 W/m ²	1200 W/m ²
TO	240 g/s	1500 W/m ²	5000 W/m ²	5000 W/m ²

Tableau 1 : Conditions d'entrée

Afin de connaître les conditions aux limites à imposer pour la simulation, les profils de vitesse de l'air dans les injecteurs sont déterminés par Vélocimétrie Laser à effet Doppler (LDV), tandis que les températures de parois extérieures du banc et de l'air entrant sont données par thermocouples. L'évolution de l'écoulement lors du transitoire est mesurée par Vélocimétrie à Image de Particules (PIV) en effectuant des moyennes de phase et l'évolution de la température du corps central par de la thermographie infrarouge.

Les mesures sont réalisées sur deux configurations géométriques : dans un premier cas la cavité est vide (figure 2), dans un second cas deux équipements sont placés dans la cavité (figure 3) : un cube est situé face aux entrées d'air basses, une couronne est fixée sur le corps central chauffé afin de générer une zone de convection mixte.

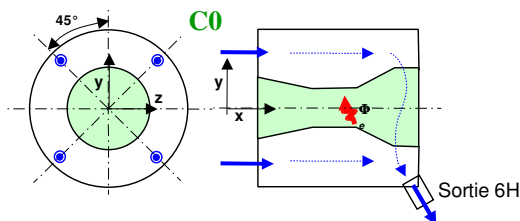


Figure 2 : Configuration Sans Équipement (C0)

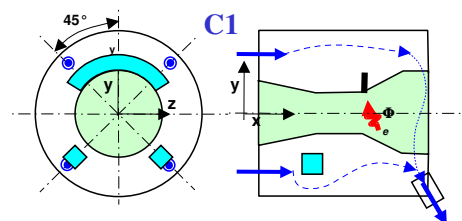


Figure 3 : Configuration Avec Équipements (C1)

2. Mesures Anémométriques

2.1. Mesure de la vitesse amont

Les profils de vitesse de l'écoulement entrant sont déterminés par LDV pour les deux débits choisis suite à l'étude adimensionnelle présentée dans [1]. Les mesures sont effectuées au niveau des tubes d'injection, de diamètre 30mm, à 15 diamètres en amont de l'ajutage, au travers d'une cavité en plexiglas conçue pour éviter les réflexions des faisceaux sur les parois. A l'entrée de chaque conduite, soit 50 diamètres en amont de la mesure, ont été placés des nids d'abeille et une plaque perforée servant à améliorer la symétrie du jet et réduire grandement sa rotation (dissymétrie <2%).

2.2. Mesure de vitesse dans la cavité

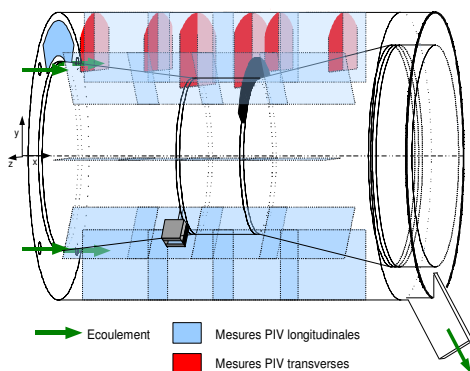


Figure 4 : Les différentes mesures PIV

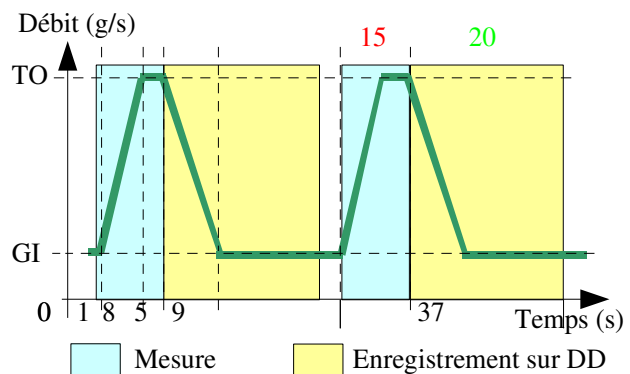


Figure 5 : Cycle transitoire pour la PIV longitudinale

Les champs de vitesse sont mesurés par PIV selon des plans longitudinaux tous les 45° sur une demie circonférence et transversaux sur la partie haute de la cavité (cf figure 4). Dans le cas de la configuration sans équipement (C0) seules des mesures sur les paliers stabilisés (bas et haut débits) sont réalisées. Pour la seconde configuration (C1), les mesures longitudinales sont faites en transitoire toutes les 0,5s (cf figure 5) et les cycles sont réalisés plus de 200 fois. Ainsi l'évolution de l'écoulement est obtenue par moyenne de phase sur l'ensemble des doublets obtenus, avec une erreur inférieure à 2% de la vitesse débitante.

a) Mesures en conditions stabilisées :

Les moyennes sont effectuées sur 800 doublets. Les écarts de recollement entre les champs sont donc essentiellement dus aux fluctuations de débit (<1%), à la position de la nappe et au post-traitement des données.

- **Structure de l'écoulement :**

L'air qui sort des quatre injections entraîne l'air situé entre les jets, générant de fortes recirculations entre les jets. Il se mélange et perd peu à peu de son intensité, et en arrivant au fond de la cavité il lèche le carter pour atteindre le canal de sortie à 6h.

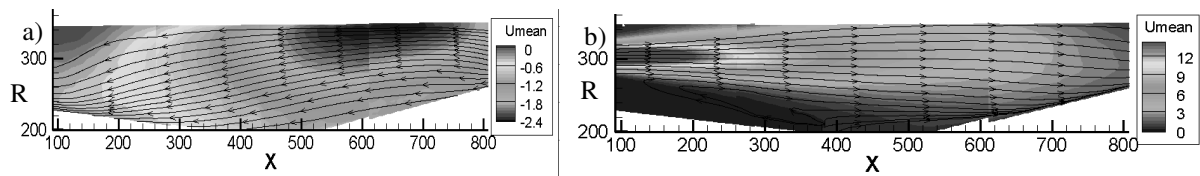


Figure 6 : Champs de vitesse axiale à bas débit sur C0 : entre les jets (a) et dans l'axe des jets (b)

- **Influence de la température :**

Vue la durée du transitoire thermique (supérieur à 2h) incompatible avec le nombre de mesures à effectuer, les mesures sont faites à froid. Une mesure à chaud sur une zone critique (en amont de la plaque entre les jets) a montré un écart non significatif au regard des incertitudes intrinsèques à la mesure.

- **Influence des équipements :**

- **cas de la plaque**

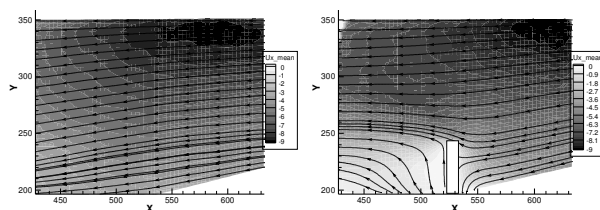


Figure 7 : vitesse axiale pour C0 et C1 à 0°

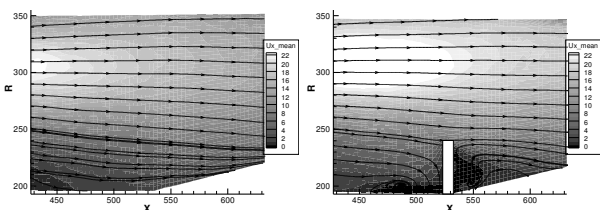


Figure 8 : vitesse axiale pour C0 et C1 à 45°

Comme l'illustrent les figures 7 et 8, la présence de la plaque collée au carter crée une zone de faible vitesse en aval de la plaque et une zone d'impact en amont, le sens de l'écoulement étant inversé selon la position angulaire du plan. Ces modifications locales de l'écoulement se situant près du carter, elles génèrent de fortes modifications au niveau des échanges convectifs.

Au dessus de la plaque, la réduction locale de section entraîne une augmentation de la vitesse du jet et une réduction de la vitesse de retour.

■ cas de l'équipement cubique

La comparaison des figures 9 et 10 met en évidence les modifications générées par la présence du cube dans l'axe des jets, tout d'abord la recirculation qui s'étend sur les parties compresseur et chambre dans le cas sans équipement est considérablement réduite par la présence du cube. Le jet est lui-même scindé en deux et au lieu d'impacter sur toute la zone turbine il impacte en partie au début de la chambre puis en fin de turbine. Les trois zones carter étant différemment ventilées, des modifications notables au niveau des champs de température paroi sont attendues.

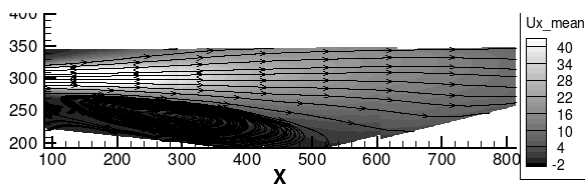


Figure 9 : vitesse axiale pour C0 dans le jet à 135°

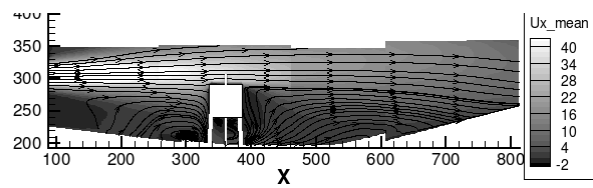


Figure 10 : vitesse axiale pour C1 dans le jet à 135°

b) Mesures en transitoire :

Les mesures présentées sur la figure 11 ont été effectuées sur une montée en débit de 8s aux instants $t=0s$ (a), $t=3s$ (b), $t=6s$ (c) et $t=8s$ (d). Elles illustrent l'évolution quasi linéaire des champs de vitesse vis-à-vis de la vitesse débitante. Seul l'élargissement linéaire du jet amène une diminution de la vitesse maximale adimensionnée dans le jet mais également dans l'écoulement de retour.

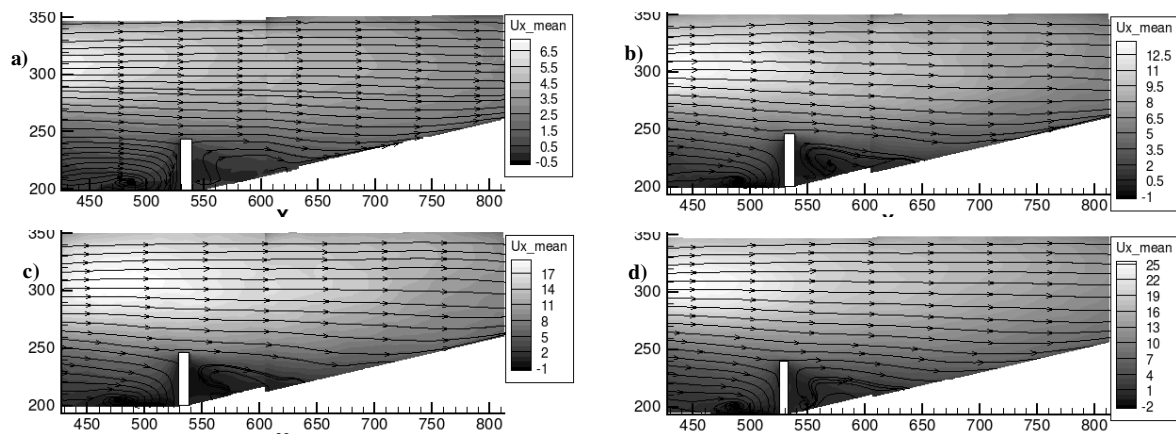


Figure 11 : Évolution de la vitesse axiale sur C1 dans l'axe du jet au niveau de la couronne

3. Mesures thermiques

Des thermocouples ont été placés dans les injections et dans le canal de sortie pour mesurer la température de l'air et des thermocouples sont posés sur les parois externes des pièces amont, aval et capot afin de connaître les températures de paroi, conditions aux limites pour le calcul. Il

est ainsi possible d'effectuer un bilan énergétique sur le banc afin d'estimer les pertes et les erreurs de mesure. Toutes les surfaces de la cavité ont été recouvertes de peinture d'émissivité connue (SacoTherm, $\epsilon = 0,85$) et sur la surface interne de chaque zone du carter a été collée une résistance chauffante pilotée en puissance.

Les résultats présentés dans ce chapitre ont été obtenues par thermographie infrarouge avec une caméra CEDIP MW (3-5 μm), dotée d'une focale de 25mm, montée sur le capot tournant et qui peut viser les trois zones du carter au travers d'un hublot en ZnSe (transmission >99%).

3.1. Répartition globale de la température du carter

La figure 12 met en évidence les gradients de température présents sur le carter, en particulier le gradient circonférentiel important au niveau de la turbine au stabilisé haute température ($\sim 30^\circ\text{C}$). Ces résultats sont cohérents avec les mesures anémométriques sur la configuration C0 (cf figure 6) qui montraient l'impact du jet sur la zone turbine.

Ces mesures montrent aussi les variations importantes de température entre les différentes parties notamment visibles sur la zone chambre avec des valeurs proches des températures déterminées par l'étude adimensionnelle présentée dans [1].

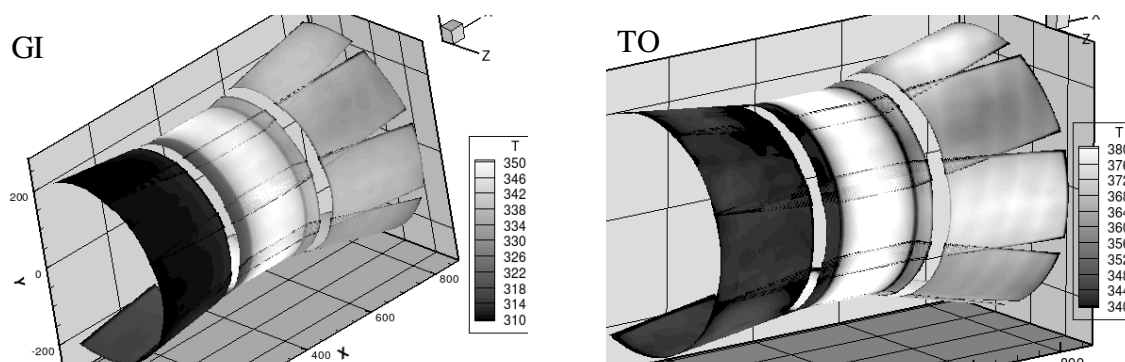


Figure 12 : Champs de température (K) sur les stabilisés GI et TO pour la configuration C0

3.2. Influence des équipements

Les champs de températures présentés sur les figures 13 et 14 illustrent l'influence locale des équipements sur la répartition thermique du carter :

- la couronne crée essentiellement, dans l'axe du jet, un refroidissement de la zone chambre et un réchauffement sur le début de la zone turbine
- la présence des équipements cubiques, situés dans l'axe des injections basses, génère un refroidissement de l'ordre de 10°C sur les zones carter situées au dessous d'eux.

D'un point de vue global, l'ajout d'équipements entraîne une homogénéisation de la température carter, ce qui est à corréliser avec le rôle de déflecteur des équipements qui détruisent les grosses structures de l'écoulement comme les jets et augmentent les échanges thermiques et le mélange au sein du fluide.

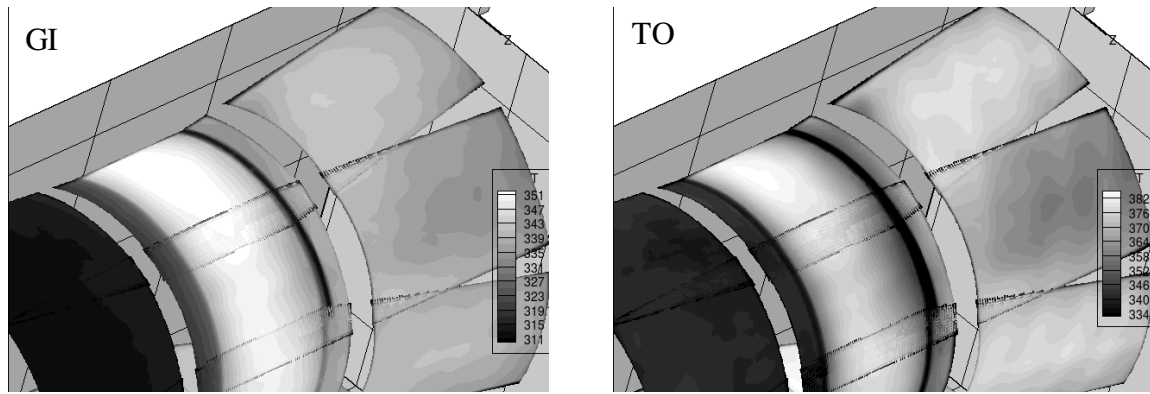


Figure 13 : Champs de température (K) sur le stabilisés GI et TO pour la configuration C1 (partie haute)

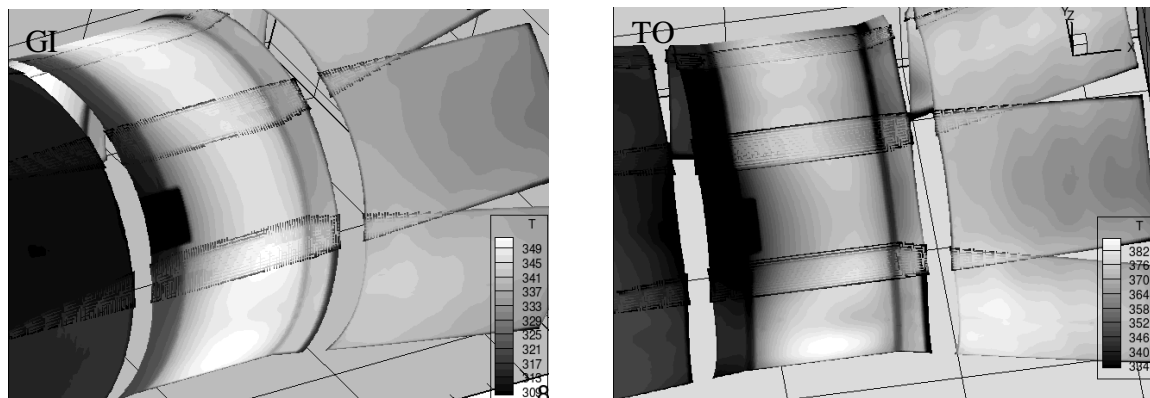


Figure 14 : Champs de température (K) sur le stabilisés GI et TO pour la configuration C1 (partie basse)

4. Conclusions

Les mesures anémométriques stabilisées permettent de visualiser la structure globale de l'écoulement, de mettre en évidence l'influence locale des équipements et de la température mais ces mesures dépendent fortement de la position de la nappe et de la géométrie du banc. Les mesures en transitoire montrent l'évolution quasilineaire des vitesses par rapport au débit et donc une conservation de la structure de l'écoulement.

Les mesures thermiques, en montrant des gradients thermiques circonférentiels illustrent l'influence forte de l'écoulement sur les niveaux de température du carter.

Pour conclure l'ensemble des mesures réalisées sur ce banc d'essais constitue une base de données **unique** pour la validation d'un code de calcul aérothermique transitoire tel que le code CEDRE [3] de l'ONERA.

Références

- [1] E. Divouron, *Préliminaires à l'étude de l'évolution aérothermique transitoire de la cavité nacelle d'un turboréacteur*, Congrès SFT (2007)
- [2] E. Radenac, *Développement et validation d'une méthode numérique pour le couplage fluide / structure en aérothermique instationnaire*, Rapport de Thèse ENSAE (2006)
- [3] P. Chevalier, B. Courbet, D. Dutoya, E. Ruiz, *TITAN 1 : développement du code CEDRE*, 2000