Sujet de thèse : Modélisation rapide et précise des effets « système » pour l'analyse de l'évolution de la limite de pompage d'un compresseur

Améliorer la prédiction d'apparition de l'instabilité de pompage lors du fonctionnement à faibles débits de compresseurs reste un enjeu majeur dans les applications industrielles qui les utilisent. En effet, les conséquences du pompage sur le compresseur en particulier et le système auquel il appartient en général, peuvent lorsqu'il s'agit de pompage profond, devenir rapidement destructrices. Ceci oblige à définir lors de l'adaptation du compresseur à son environnement système, une marge de sécurité en fonctionnement importante afin d'éviter de le faire travailler trop près de la limite d'apparition de l'instabilité. Cette marge réduit la plage d'opérabilité à faibles débits. Une prédiction précise de la limite de stabilité serait moins pénalisante pour la largeur de plage exploitable qui, dans le cas de certaines machines centrifuges haute vitesse est déjà étroite. Il est aujourd'hui établi que la limite de fonctionnement stable du compresseur vers les faibles débits est sensible à son environnement d'opération. Une bonne compréhension de son fonctionnement dynamique est donc nécessaire pour une meilleure adaptation du compresseur de turbocompresseur à son environnement moteur. La caractérisation classique du compresseur en fonctionnement stabilisé utilisée pour définir la plage stable, n'est plus fiable vers les faibles débits dès lors que le compresseur intégré dans son système est soumis par exemple à des conditions de fonctionnement instationnaires comme celles rencontrées dans un moteur automobile. Connaître et comprendre les mécanismes physiques sur lesquels agir pour améliorer l'adaptation du compresseur à ses conditions d'opération est donc primordial.

Il existe dans la littérature plusieurs études récentes menées pour la plupart par voie expérimentale, sur l'étude de l'effet sur la limite de stabilité, de l'environnement de fonctionnement du compresseur centrifuge de turbocompresseur. Ainsi, le potentiel effet favorable sur la marge au pompage d'une uniformisation de l'écoulement d'entrée obtenue en générant une pré-giration contraire à la rotation de la roue, a été explorée par Galindo [1]. Dans le même objectif de gain de marge au pompage, Galindo [2], Marelli [3] et Medrano [4] ont montré à travers des mesures sur banc d'essais que la plage de stabilité est étendue lorsque le compresseur est soumis à des pulsations de pression dont la fréquence est très faible par rapport à la fréquence de défilement des aubes du rotor. C'est le cas dans un environnement moteur avec les pulsations émises vers le compresseur par le mouvement des soupapes. Le gain de marge en conditions pulsées s'accompagne cependant d'une réduction du rapport de pression moyen mesuré. D'autres paramètres systèmes comme le niveau de pression en entrée, la distribution de l'écoulement amont lié à la géométrie du système amont ou la taille des volumes en aval, peuvent également modifier la limite de stabilité. Medrano et al [4] montrent par exemple à bas régime compresseur, qu'une augmentation significative de la limite de stabilité de l'ordre de 5% et à taux de pression constant, peut être obtenue en fonctionnement stabilisé avec un plenum aval de grande taille. Sous l'effet combiné du plenum aval et de pulsations de pression, le gain de marge qui semble persister, se fait cependant au détriment du rapport de pression.

Ces travaux illustrent bien la nécessité pour chaque installation, de trouver le meilleur compromis entre la performance du compresseur et celle attendue du moteur. Une méthode numérique rapide (faible coût CPU) et précise (solution faiblement « dégradée ») ouvrirait la possibilité de balayer avec un

délai de restitution raisonnable un espace de paramètres « système » définis en fonction de l'objectif visé.

Une approche numérique de simulation de la déstabilisation puis du fonctionnement post-pompage de compresseurs a été mise au point au LMFA dans le cadre de deux thèses dont celle de G. Despés [5]. Elle utilise le couplage d'une modélisation 3D du compresseur et une modélisation 1D du système dans lequel opère le compresseur. Cette approche pertinente a pu être évaluée sur différentes configurations de système de compression de type banc d'essais dans le cadre du projet « Pompage de compresseurs » soutenu par le Consortium CIRT. La capacité à étudier avec une telle approche les effets de l'environnement système, en particulier les effets dynamiques, a été démontrée. Toutefois dans les configurations centrifuges de type turbocompresseurs, les meilleurs résultats ont été obtenus lorsque le compresseur a été pris en compte intégralement sur 360°. En conséquence, les calculs sont très lourds avec des temps de restitution très longs et donc très limitants pour une étude complète de l'effet système. Dans l'idée d'explorer un espace large de paramètres « système », dont l'influence sur le comportement et donc la limite de stabilité du compresseur pourrait s'avérer significatif, en particulier lorsque des effets couplés pourraient devenir très favorables ou l'inverse, raccourcir significativement les temps de restitution est un prérequis.

Financement : bourse CIFRE Renault

Cette thèse s'inscrira dans un projet de collaboration industrielle (Safran HE, Liebherr Aerospace) dans le cadre du CIRT (Consortium Industrie-Recherche en Turbomachine, http://cirt.ec-lyon.fr/).

Lieu : principalement au Laboratoire de Mécanique des Fluides et d'Acoustique à Ecole Centrale de Lyon avec des séjours courts prévus chez les partenaires industriels.

Direction de thèse : Gh. NGO BOUM, I.TREBINJAC

Contact : 04 72 18 61 59, ghislaine.ngo-boum@ec-lyon.fr

[1] Galindo, J. et al (2007). Potential of flow pre-whirl at the compressor inlet of automotive engine turbochargers to enlarge surge margin and overcome packaging limitations, Int. J. Heat and Fluid Flow, 28.

[2] Galindo J. et al (2009). On the effect of pulsating flow on surge margin of small centrifugal compressors for automotive engines, Experimental Thermal anf Fluid Science, 33.

[3] Marelli S. et al, (2014). Pulsating flow performance of turbocharger compressor for automotive application, Int. J. of Heat and Fluid Flow, 45.

[4] Barrera-Medrano M. E. et al, (2017). Effect of exit pressure pulsation on the performance and stability limit of a turbocharger centrifugal compressor, J. of Turbomachinery, 139.

[5] G. Després. Etude du déclenchement des instabilités dans un turbocompresseur de suralimentation automobile : entrée en pompage du compresseur par une approche système. Thèse de doctorat, ECL 2013.