Dynamique non linéaire du contact inter-aubes de turbine : caractérisation expérimentale et simulation numérique

Dans la perspective d’une amélioration des performances et de l’efficacité de la génération future des turboréacteurs, et afin de respecter les réglementations environnementales évolutives concernant les pollutions diverses émises par ces machines, les industriels du secteur de l’aéronautique cherchent des solutions technologiques adaptées. Parmi l’ensemble des pistes étudiées par les fabricants, l’augmentation de la vitesse de rotation de la turbine basse pression au sein du turboréacteur est envisagée pour augmenter le rendement global, en contrepartie du renforcement des phénomènes vibratoires complexes, dont il est nécessaire de maîtriser en phase de conception. En effet, la turbine basse pression qui compose les turboréacteurs de la génération LEAP a la particularité d’être constituée d’un assemblage d’aubes dont la géométrie intègre un talon à l’extrémité supérieure de celles-ci. L’ensemble des talons vient alors s’emboîter les uns avec les autres lors du montage des aubes sur le disque, appliquant de ce fait une précharge statique sur celles-ci, grâce à un angle de prétorsion prévu dès la phase de conception. La fonctionnalité de ce talon est double : d’une part il sert à garantir l’étanchéité de la veine aérodynamique en limitant les pertes fluides du flux d’air traversant les aubes, et d’autre part il introduit un amortissement par frottement par le biais du contact entre les talons des aubes fixées sur le disque, permettant ainsi de réduire l’amplitude de vibration de celles-ci. L’objectif de cette thèse est alors de pouvoir reproduire le comportement dynamique non-linéaire d’une aube de turbine basse pression sur un modèle numérique, et de valider les résultats obtenus à l’aide d’un banc d’essai expérimental académique. Pour ce faire, une étude bibliographique est menée afin d’établir un état de l’art des bancs d’essai expérimentaux existant, leurs spécificités, les observations réalisées, le matériel employé, etc., afin de positionner par rapport à la littérature le banc d’essai académique conçu dans le cadre de cette thèse, compte-tenu des spécifications souhaitées. Une fois la conception et la fabrication du banc d’essai abouties, des essais préliminaires nécessaires au déverminage de celui-ci sont réalisés, notamment des analyses modales des aubes ainsi que des essais de torsion pour la calibration de jauges de déformation afin de mesurer la précharge statique lors de l’assemblage des aubes sur le banc d’essai. Des réponses forcées sur la plage de fréquence du premier mode de flexion de la structure ont été réalisées à l’aide d’une excitation par un sinus pas à pas pour différence configurations de précharge statique. De même, la construction du modèle numérique ainsi que la réalisation de calculs de réponses fréquentielles non-linéaires implique la compréhension et le maniement de méthodologies spécifiques, notamment pour traiter les forces non-linéaires liées au contact avec frottement entre les talons des aubes. Par ailleurs, une problématique supplémentaire, intrinsèque à la construction du modèle éléments finis reproduisant la précharge statique par prétorsion des aubes, est la non-coïncidence des maillages des interfaces de contact, nécessitant dans un premier temps de les contraindre pour les rendre suffisamment réguliers afin de conserver la construction d’éléments de contact nœud à nœud. Dans un second temps, une méthode permettant de traiter cette problématique est proposée, à partir d’une courte bibliographie et en prenant en compte les différentes méthodologies de calcul, des réponses fréquentielles supplémentaires sont alors calculées.

**Mots clés :** aube à talon, modèle de contact avec frottement, amortissement non-linéaire, méthode de l’équilibrage harmonique, maillages non-coïncidents, banc d’essai expérimental, analyses modales

With a view of improving the performance and efficiency of the future generation of turbojet engines, and in order to comply with evolving environmental regulations concerning the various pollutants emitted by these machines, aerospace manufacturers are looking for suitable technological solutions. Among all the avenues studied by the manufacturers, increasing the rotational speed of the low-pressure turbine within the turbojet engine is envisaged to increase overall efficiency, in return for the reinforcement of complex vibratory phenomena which need to be taken into account during the design phase. In fact, the low-pressure turbine used in the LEAP generation of jet engines has the particularity of being made up of an assembly of blades whose geometry incorporates a shroud at the upper end of them. All the shrouds interlock with each other when the blades are mounted on the disc, thereby applying a static pre-load to the blades, thanks to a pre-twist angle provided for at the design stage. The function of this shroud is twofold: on the one hand, it serves to guarantee the tightness of the airfoil by limiting the fluid losses of th airflow passing through the blades, and on the other hand, it introduces frictional damping through contact between each blade fixed on the disc, thus reducing their vibration amplitude. The aim of this thesis is to reproduce the non-linear dynamic behavior of a low-pressure turbine blade on a numerical model, and to validate the results obtained using an academic experimental test bench. To this end, a bibliographical study is carried out to establish the state of the art of existing experimental test benches, their specific features, the observations made, the equipment used, etc., in order to position the academic test bench designed as part of this thesis in relation to the literature, taking into account the desired specifications. Once the design and manufacture of the test bench have been completed, the preliminary tests required for its debugging are carried out, including modal analysis of the blades and torsion tests for the calibration of strain gauges to measure the static pre-load when the blades are assembled on the test bench. Forced responses over the frequency range of the structure’s first bending mode have been achieved using step sinus excitation for different static pre-load configurations. Similarly, building the numerical model and calculating non-linear frequency responses requires an understanding and handling of specific methodologies, particularly for dealing with the non-linear forces associated with the frictional contact between the blades shrouds. An additional problem, intrinsic to the construction of the finite element model reproducing the static pre-loading by blade pre-twisting, is the non-coincidence of the meshes of the contact interfaces, necessitating firstly to constrain them to make them sufficiently regular in order to preserve the construction of node-to-node contact elements. Secondly, a method for dealing with this problem is proposed, based on a short bibliography, and taking into account the various calculation methodologies, additional frequency responses are then calculated.

**Keywords:** shrouded blade, frictional contact model, nonlinear damping, harmonic balance method, non-coincident meshes, experimental test bench, modal analysis