

---

**Master thesis and internship[BR]- Master's thesis : Design, realization, development and validation of an acoustic excitation system for a monobloc bladed wheel with dynamic measurement using a laser vibrometer placed on a robotic arm[BR]- Integration internship**

**Auteur :** Otte, Tom

**Promoteur(s) :** Collette, Christophe

**Faculté :** Faculté des Sciences appliquées

**Diplôme :** Master en ingénieur civil en aérospatiale, à finalité spécialisée en "aerospace engineering"

**Année académique :** 2020-2021

**URI/URL :** <http://hdl.handle.net/2268.2/11651>

---

*Avertissement à l'attention des usagers :*

*Tous les documents placés en accès ouvert sur le site le site MatheO sont protégés par le droit d'auteur. Conformément aux principes énoncés par la "Budapest Open Access Initiative"(BOAI, 2002), l'utilisateur du site peut lire, télécharger, copier, transmettre, imprimer, chercher ou faire un lien vers le texte intégral de ces documents, les disséquer pour les indexer, s'en servir de données pour un logiciel, ou s'en servir à toute autre fin légale (ou prévue par la réglementation relative au droit d'auteur). Toute utilisation du document à des fins commerciales est strictement interdite.*

*Par ailleurs, l'utilisateur s'engage à respecter les droits moraux de l'auteur, principalement le droit à l'intégrité de l'oeuvre et le droit de paternité et ce dans toute utilisation que l'utilisateur entreprend. Ainsi, à titre d'exemple, lorsqu'il reproduira un document par extrait ou dans son intégralité, l'utilisateur citera de manière complète les sources telles que mentionnées ci-dessus. Toute utilisation non explicitement autorisée ci-avant (telle que par exemple, la modification du document ou son résumé) nécessite l'autorisation préalable et expresse des auteurs ou de leurs ayants droit.*

---

# Design, realization, development and validation of an acoustic excitation system for a monobloc bladed wheel with dynamic measurement using a laser vibrometer placed on a robotic arm.

---

## Abstract

In turbomachinery, the expected new generation of rotors consists of a monobloc bladed disk, called *blisk*, with better performances and allowing to achieve higher pressure ratios. These structures have a cyclic symmetry and well-defined modes, characterized by a sinusoidal deformation along the circumference of the blisk, which allocate the deformation amplitude uniformly over the blades. In reality, blades have small randomly distributed variations, known as *mistuning*. In operation, these deviations can cause a localized forced response, leading to unexpected failures due to high cycle fatigue. Moreover, under nominal conditions, the air flow encounters some obstacles, periodically distributed in the turbomachinery, which leads to a periodic pressure variation along the blisk. Due to the rotating structure, the rotor is submitted to a traveling wave excitation of a certain order, whose shape coincides with the eigenmodes of the blisk, then likely to be excited. In addition to this, industrial blisks often have a high spectral density, which makes the identification of individual modes extremely complex with a classical base excitation.

To simulate engine order excitation, to perform modal appropriation, and to determine experimentally the mistuning, this work aims to design and implement a test bench that generates standing and traveling wave excitation of the desired order, on a compressor blisk. The solution proposed consists of an acoustic excitation system, exciting the structure in a non-intrusive way. This test bench is made up of multiple speakers driven by a voltage module, controlled by a software developed at V2i. One speaker is placed under each blade, which allows exciting the dedicated blade with a desired amplitude and phase. Then, the response of the blisk is measured with a laser Doppler vibrometer, placed on a robot arm.

In a first instance, a numerical study of the blisk is performed to identify its modal properties. In parallel with this, an experimental mistuning identification method, named the Component Mode Mistuning method, is presented and implemented. This method allows both to compute the mistuned modal properties of the investigated blisk for a given mistuning pattern and inversely, to identify the mistuning from experimental measures. Thirdly, the excitation system is developed, from the choice of the tools to the assembly. Thereafter, to excite each blade with the same amplitude, an accurate process of calibration is conducted. Finally, some tests are performed with the developed test bench: a classical modal analysis by acoustic excitation is made first, and then traveling and standing wave excitations are applied.

**Keywords:** Blisk, Vibration analysis, Traveling wave excitation, Mistuning.

# Conception, réalisation, développement et validation d'un système d'excitation acoustique d'une roue aubagée monobloc avec mesure dynamique à l'aide d'un vibromètre laser placé sur un bras robotisé.

---

## Résumé

Dans les turbomachines, la génération de rotors attendue consiste en un disque à pales monobloc, appelé *blisk*, offrant de meilleures performances et permettant d'atteindre des rapports de pression plus élevés. Ces structures présentent une symétrie cyclique et des modes bien définis, caractérisés par une déformation sinusoïdale le long de la circonférence du blisk, qui répartit l'amplitude de la déformation uniformément sur les pales. En réalité, les pales présentent de petites variations réparties aléatoirement, ce qui est appelé *mistuning*. En fonctionnement, ces écarts peuvent provoquer une réponse forcée localisée, conduisant à des défaillances inattendues dues à la fatigue. De plus, dans les conditions nominales, le flux d'air rencontre des obstacles répartis périodiquement dans la turbomachine, ce qui entraîne une variation périodique de la pression le long du blisk. Du fait de sa structure en rotation, le rotor est soumis à une excitation par onde tournante d'un certain ordre, dont la forme coïncide avec les modes propres du blisk, alors susceptibles d'être excités. De plus, les blisks industriels ont souvent une densité spectrale élevée, ce qui rend l'identification des modes individuels extrêmement complexe avec une excitation par la base.

Afin de simuler l'excitation du blisk en fonctionnement, de réaliser une appropriation modale, et de déterminer expérimentalement le mistuning, ce travail vise à concevoir et à mettre en œuvre un banc d'essai qui génère une excitation par onde stationnaire et tournante de l'ordre souhaité, sur un blisk de compresseur. La solution proposée consiste en un système d'excitation acoustique, excitant la structure de manière non intrusive. Ce banc d'essai est constitué de plusieurs haut-parleurs pilotés par un module de tension, contrôlé par un logiciel développé chez V2i. Un haut-parleur est placé sous chaque pale, ce qui permet d'exciter la pale dédiée avec une amplitude et une phase souhaitées. Ensuite, la réponse de la pale est mesurée à l'aide d'un vibromètre laser à effet Doppler, placé sur un bras de robot.

Premièrement, une étude numérique du blisk est réalisée pour identifier ses propriétés modales. En parallèle, une méthode expérimentale d'identification du mistuning, appelée Component Mode Mistuning method, est présentée et mise en œuvre. Cette méthode permet à la fois de calculer les propriétés modales du blisk étudié pour un modèle de mistuning donné et, inversement, d'identifier le mistuning à partir de mesures expérimentales. Troisièmement, le système d'excitation est développé, du choix du matériel à l'assemblage. Ensuite, pour exciter chaque pale avec la même amplitude, un processus précis de calibration est mené. Enfin, des tests sont réalisés avec le banc d'essai développé : d'abord une analyse modale classique par excitation acoustique, et ensuite des excitations par onde tournante et stationnaire sont appliquées.

**Mots-clés:** Blisk, Analyse vibratoire, Excitation par onde tournante, Mistuning.