

ANALYSE DES TURBOCOMPRESSEURS & AUTRES TURBINES

NOTE D'APPLICATION – CAPTEURS OPTIQUE OPTEL-TEXYS



1. Introduction

Utilisés sur un large éventail d'applications dans l'industrie automobile, les tachymètres à fibres optiques d'OPTEL-TEXYS couvrent les domaines de la mise au point des moteurs et de leurs accessoires lors des essais sur banc ou embarqué sur véhicule.

Parmi les cas d'usage récurrents, la caractérisation et la qualification des turbocompresseurs ont naturellement fait appel à la technologie optique que nous proposons car elle présente plusieurs avantages. Une autre application bien connue des spécialistes qui développent et testent des turbomachines est le 'Tip-Timing' ou mesure de déformée d'aube

La question légitime que se pose le technicien de mesure lorsque lui est présenté la solution OPTEL-TEXYS est souvent : « Mais quels sont les avantages de cette solution pour mon cas d'usage ? ».

Le but de cette note est de répondre à ces questions au travers d'exemples « clients » à qui nous avons apporté la réponse adaptée à leur besoin. Cependant, certains exemples ne pourront pas être étayés par des photos ou schémas puisque nous devons respecter leur confidentialité.

En préambule, nous souhaitons rappeler que notre solution de mesure se compose de deux éléments principaux qui sont : le capteur (ou amplificateur) et la sonde optique.



Le capteur, élément optoélectronique, est le lieu de l'émission de la lumière proche infrarouge et également de la réception des signaux lumineux renvoyés par le système tournant. La sonde, élément purement optique, achemine la lumière via deux canaux qui correspondent aux deux sens de propagation de la lumière.

2. Pourquoi l'utilisation de sondes à fibres optiques ?

Les réponses sont multiples :

- Pour extraire l'électronique du capteur d'une ambiance contraignante pour son bon fonctionnement : température, CEM, liquide, poussière (Ex : Garrett E-Turbo, sonde HT)
- Pour faciliter la détection dans des espaces confinés avec la conception de sondes sur-mesure (HM4, HM5...) (Ex : Superturbo, IHI, TESTEC)
- Pour créer des produits permettant la détection en présence de liquide (Ex : Turbine CEA), ou avec des optiques additionnelles pour augmenter les distances de détection (Ex : TESTEC)

a. Ambiance contrainte

La première réponse qui revient à n'exposer que la sonde optique aux contraintes de l'environnement de mesure s'applique quel que soit la sonde fabriquée par OPTEL-TEXYS.

La nature même de la fibre optique utilisée lui confère une immunité vis-à-vis des champs électromagnétiques évitant ainsi d'altérer le signal de mesure. Elle est adaptée pour des applications où les champs magnétiques sont élevés comme la génération d'électricité et la mobilité électrique.

Cas client : pour la mesure de la vitesse et surtout de la position du turbo pendant l'équilibrage, un client détecte un top par tour sur un écrou magnétisé. La fibre optique remplace dans ce cas le capteur inductif car celui-ci est perturbé par le champ magnétique environnant et ne peut assurer une détection sans faille. La sonde est mise en lieu et place du capteur.



Les températures d'exposition sont plus élevées que ce que pourrait supporter l'électronique. Elles vont donc couvrir des applications comme les essais sur turbocompresseurs automobiles et les turbomachines aéronautiques même s'il s'avère que les températures maximales atteignent dans certains cas plus de 1000°C.

Cas client : ce cas de figure couple deux besoins qui sont d'avoir un capteur insensible à la CEM dans un environnement soumis à la température. L'interrogation du client était de la tenue de nos sondes à plus de 200°C. Nous lui avons proposé une sonde capable de supporter 200°C en continu et 600°C de manière ponctuelle.



Les capteurs n'étant pas totalement étanches aux liquides et poussières, la solution est de mettre la sonde en présence de ces éléments perturbateurs. Le placement judicieux de la sonde au sein de la turbine propulsant le liquide ou traversé par celui-ci permet la détection des pâles. La vitesse de la turbine peut ainsi être mesurée plus précisément et optimiser les mesures de débit pour notamment la gestion de la consommation d'eau.

Cas client : la difficulté principale est de réaliser une sonde SLIT pouvant détecter sur la tranche de la pale et d'assurer une position et une orientation à une distance adaptée grâce au pas de vis de l'embout.



Cas client : conception d'une sonde pour installation dans l'emplacement prévu pour une sonde PT1000.



b. Intégration

La confection des sondes est basée sur des fibres optiques souples de petits diamètres que l'on peut aisément façonner : corps de sonde en spirale, embout de longueur et diamètre variés, filetage externe, sortie en ligne ou à 90°.

Pour les applications sur turbocompresseurs, nous avons développé, suivant les spécifications de nos clients, des sondes avec filetage M4 et M5 pour faciliter l'intégration dans la pièce et l'ajustement de la distance.

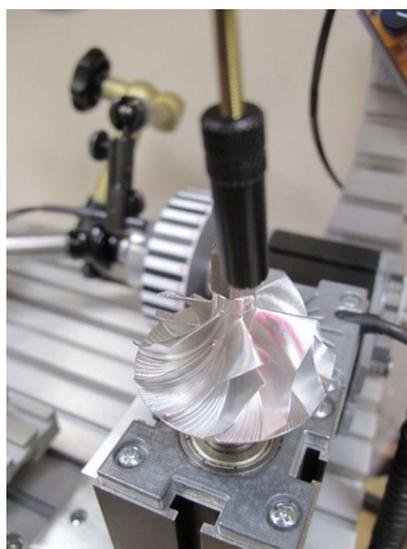
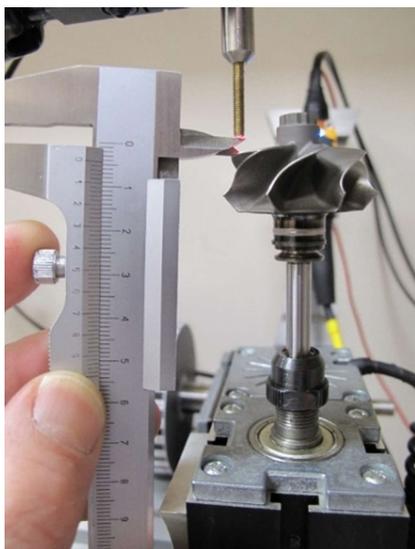
En effet, les longueurs de ces sondes et le filetage (pas standard ou pas fin) donnent un degré de liberté suffisant pour gérer l'approche de l'embout au droit des ailettes ou des splitters.



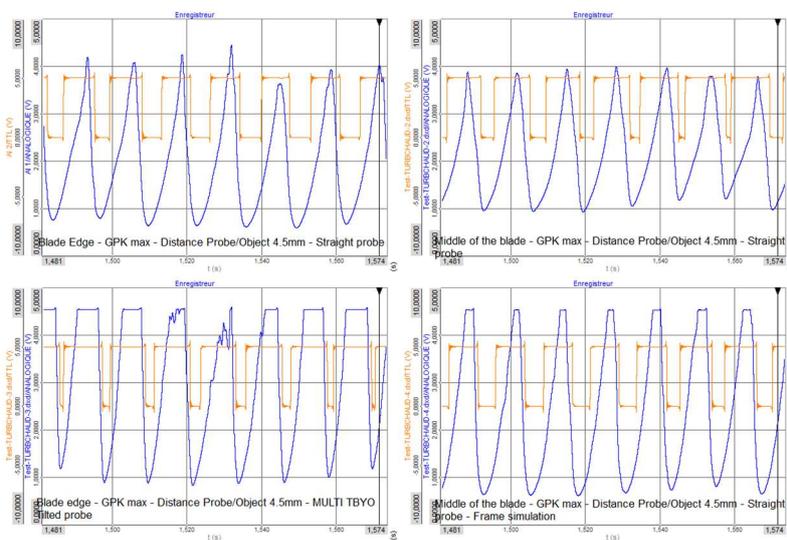
En fonction des environnements et des contraintes des clients, il existe des cas de figure où la sonde n'est pas installée dans le corps du turbocompresseur mais à la sortie ou l'entrée du compresseur.

Pour un centre d'essais basé en Chine et dédié au turbocompresseur, nous avons testé plusieurs distances en utilisant une sonde classique et une sonde avec lentille additionnelle.

L'objectif du client est d'éviter les contacts entre la sonde et les ailettes dû à la problématique des jeux axiaux dans le turbo. Et donc d'éviter l'endommagement de la sonde et du turbo.

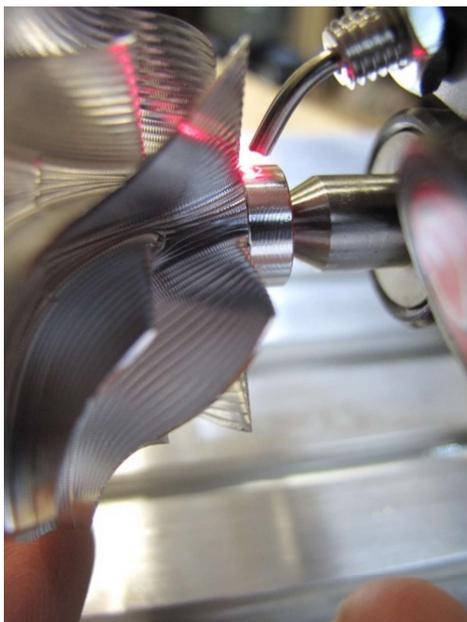


Nous avons géré le réglage du capteur à l'aide du potentiomètre en même temps que la distance entre les ailettes et la sonde. Nos essais se faisant à basses vitesses, nous devons obtenir des pulses au passage des ailettes avec une largeur suffisante pour avoir un rapport cyclique d'environ 80/20 (Figure ci-dessous). Ce qui permettrait aux opérateurs travaillant à plus hautes vitesses d'obtenir un rapport cyclique plus proche des 50/50 voire des 20/80 afin de fournir au système d'acquisition des signaux entrants plus faciles à traiter.



Dans le même esprit, une autre adaptation avec une sonde coudée pour la détection sur un point spécifique du turbo a été réalisée pour un constructeur automobile Japonais. Des tests d'inclinaison ont permis de proposer au client la définition souhaitée.

Celui-ci utilise depuis plus de 10 ans une sonde customisée munie d'un coude d'environ 45° et un filetage pour la fixation sur le banc d'équilibrage.

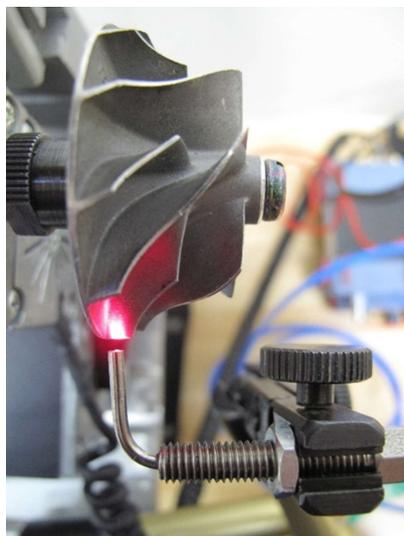


Pour compléter sur le sujet des sondes, le savoir-faire d'OPTEL-TEXYS permet de façonner les embouts et la forme globale de la sonde en fonction de l'installation et du point de détection.



L'exemple ci-dessus montre une sonde dite « SLIT », capable de détecter sur la tranche des pâles ou des splitters dont l'épaisseur est de l'ordre de 1mm.

La sonde coudée à 90° et munie d'un filetage, dénommée MULTI TBYO 52, permet de s'insérer dans un espace où le reste de la sonde doit être installé perpendiculairement aux éléments rotatifs



3. Ai-je besoin de performances aussi élevées pour ma mesure ?

Tout va dépendre de vos objectifs en termes de précision sur la détection, de fiabilité et de mise en œuvre. La qualité première de nos capteurs est de fournir des signaux aux caractéristiques métrologiques adaptées à la mesure plus qu'au contrôle.

La forme des signaux TTL ne vaut que par leurs fronts montants et descendants très raides, quelques dizaines de nanosecondes pour les plus rapides : 152G8 et 152M.

Et le faible déphasage de quelques microsecondes assure un positionnement temporel que seuls les encodeurs peuvent fournir mais au prix de la détection de centaines de tops, peut-être moins aisé à réaliser et à installer.

En complément, nous avons pris le parti de dissocier l'émission de la réception de la lumière proche infrarouge. Cela évite au capteur d'avoir un moment pendant lequel il sera aveugle, c'est-à-dire qu'il ne pourra pas voir les informations lumineuses arriver parce qu'il est en train d'émettre. Ce cas ne se présentera jamais avec notre solution, ce qui est primordial à très hautes vitesses pour éviter les pertes de signaux.

a. Equilibrage de Turbocompresseur

Il n'est donc pas surprenant de retrouver nos capteurs pour l'équilibrage des turbocompresseurs où la précision temporelle est décisive dans l'ajustement de la masse de la turbine. Également, la bande passante est un atout pour pouvoir traiter la quantité de points de détection entrant dans le capteur.

En prenant l'exemple d'un turbo équipé de 6 « full blades » et de 6 « splitter blades » et tournant à 200 000 rpm, le nombre de pulses entrant dans le capteur peut atteindre 40 000 par seconde. Si l'on

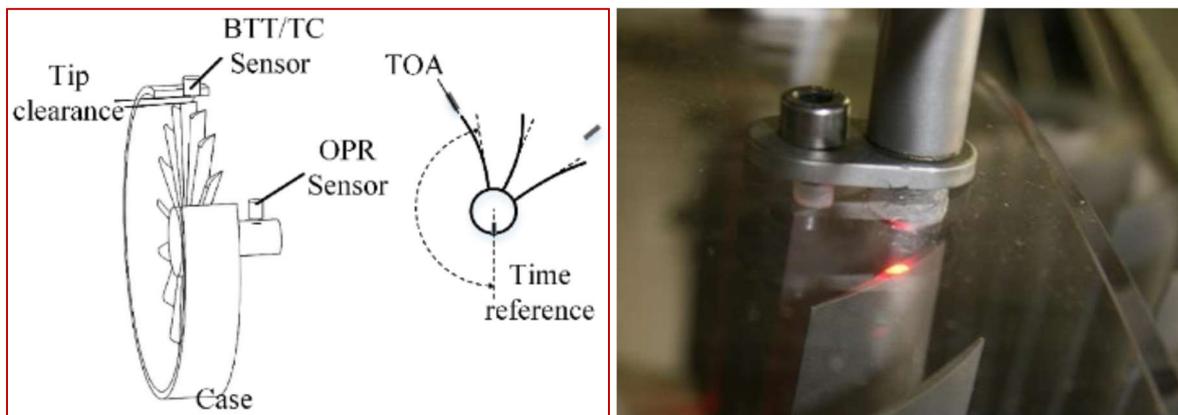
veut suffisamment de points pour décrire la courbe mesurée, un coefficient minimum entre 2 et 3 est à appliquer. Une bande passante comprise entre 80 KHz et 120 KHz est donc nécessaire pour ne pas perdre les informations de détection. Avec le capteur 152 G7 doté d'une BP de 260 KHz, l'utilisateur aura une marge suffisante pour ses mesures.

Il faut également considérer le temps de passage des pâles devant la sonde en fonction de la vitesse de rotation. En prenant par exemple une épaisseur à détecter de 1 mm, le temps de passage sera de 5 microsecondes à 200 000 rpm. Dans ce laps de temps, 152G7 est capable de transférer environ 15 pulses ; au système de mesure ensuite de pouvoir « digérer » rapidement les pulses entrants.

b. Blade Tip-Timing

Cette méthode de caractérisation de la vibration des pâles dans les turbomachines est une application spécifique aux turbines et donne lieu à de nombreuses études et sujets de recherche. En effet, ces vibrations peuvent engendrer des ruptures d'aubes et l'on imagine bien les conséquences pour le moteur et l'aéronef.

Le principe le plus couramment utilisé met en œuvre un capteur de référence « top tour » et un ou plusieurs capteurs au droit des bouts de pâles comme le montrent les figures suivantes.



BTT/TC sensor : capteur de passage des pâles

OPR sensor : Once Per Revolution sensor; time reference

TOA : time of arrival

On comprend bien le niveau de précision temporelle qui est demandé et également le souhait de de générer un grand nombre d'informations sans perte.

4. D'autres avantages ?

Pour compléter ce tour d'horizon, nous pouvons également citer les avantages suivants :

- Un capteur optique à lumière proche IR non dangereuse pour les utilisateurs
- Intérêt dans les zones ATEX en éloignant l'électronique par l'utilisation d'une sonde optique de longueur adaptée.