

## JOURNÉES VERRE – NICE & BIOT

### LE POTENTIEL DES CAPTEURS À FIBRE OPTIQUE POUR L'AÉRONAUTIQUE

—  
21/09/2022

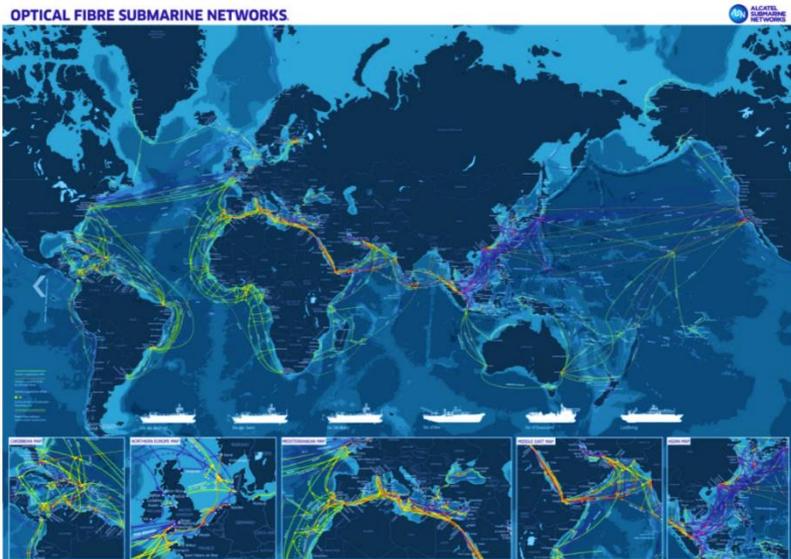
Minh Châu PHAN HUY



# Applications générales des fibres optiques

## ■ Bien connu pour les télécommunications

- Transmission de données à haut débit sur de longues distances



Source : ASN (Alcatel Submarine Networks)

## ■ En parallèle, la fibre optique a trouvé sa place dans le domaine des capteurs pour différentes applications...

- Energie : Oil and Gas, éoliennes, nucléaire, barrage ...
- Génie civil : Pont, surveillance de structures et tunnels ...
- Transport: train...
- D'autres domaines : biomédical ...



# Les besoins en terme de capteurs pour l'aéronautique



Eric Drouin / Safran

Capteur température

Capteur déformation

Capteur rotation

Capteur pression

Capteur déplacement ...



Adrien Daste / Safran



Philippe Stroppa / Safran



Ricardo Funari / CAPA Pictures / Safran

# Pourquoi la fibre optique ?

- **Avantages des Capteurs à Fibre Optique (CFO) :**
  - Masse réduite
  - Encombrement réduit
  - Fonctionnement en environnement sévère
  - Insensibilité aux ondes électromagnétiques
  - Nombre important de points de mesure sur une seule fibre
  - Coût réduit par utilisation de fibre télécom et photonique intégrée

## Et dans quel objectif ?

- Mesures dans des zones difficiles d'accès avec d'autres type de capteurs
- Mesures dans des conditions environnementales sévères

Pierre Soissons / Safran



Christel Sasso / CAPA Pictures / Safran

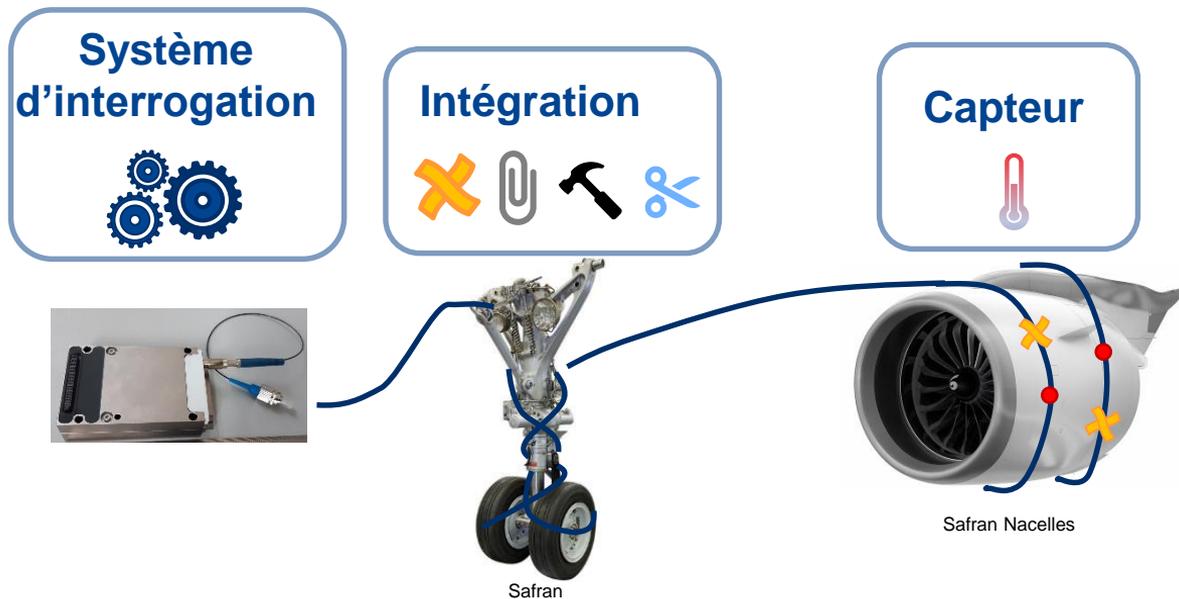
- Augmenter le nombre de capteurs sans pour autant augmenter le nombre de câbles



Ricardo Funari / CAPA Pictures / Safran

- A partir des mesures réalisées en conditions réelles, affiner les modélisations et les réglages/montage
- **Instrumentation / Régulation / Sécuritaire** : Consolider les modèles/simulations par l'instrumentation de zones faiblement ou non instrumentées.

# Quelle est l'architecture d'un système à fibre optique pour l'aéro ?



Cycle de vie :

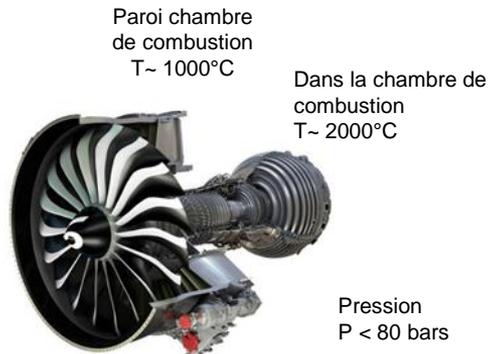


**→ Contraintes pour chacune des briques technologiques**

# Challenges associés au CFO



Contraintes	Interrogateur	Intégration	Capteur
Température	T ~ -50 - +90°C	- Connectique/ Interfaçage - Fibre solidaire surface hôte (Déf.) - Cheminement du CFO - Fixation	T > 500°C
Déformation			$\varepsilon$ (T > 500°C)
Pression			P(T > 500°C)
Vibrations/ Choc	Certifications / Normes (DO160...)		
Encombrement	Réduit		Réduit
Poids			
Consommation	Faible		Faible
Prix			
Fiabilité, Durée de vie, MTBF (taux de panne), MRO (Maintenance, SAV...), Redondance			



Antonio Gomez / Safran

Moteur LEAP 1-A

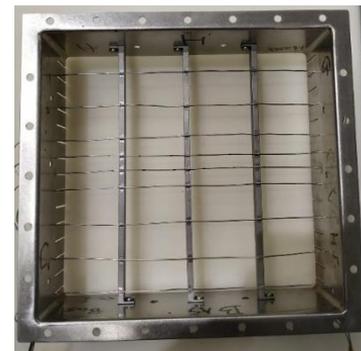
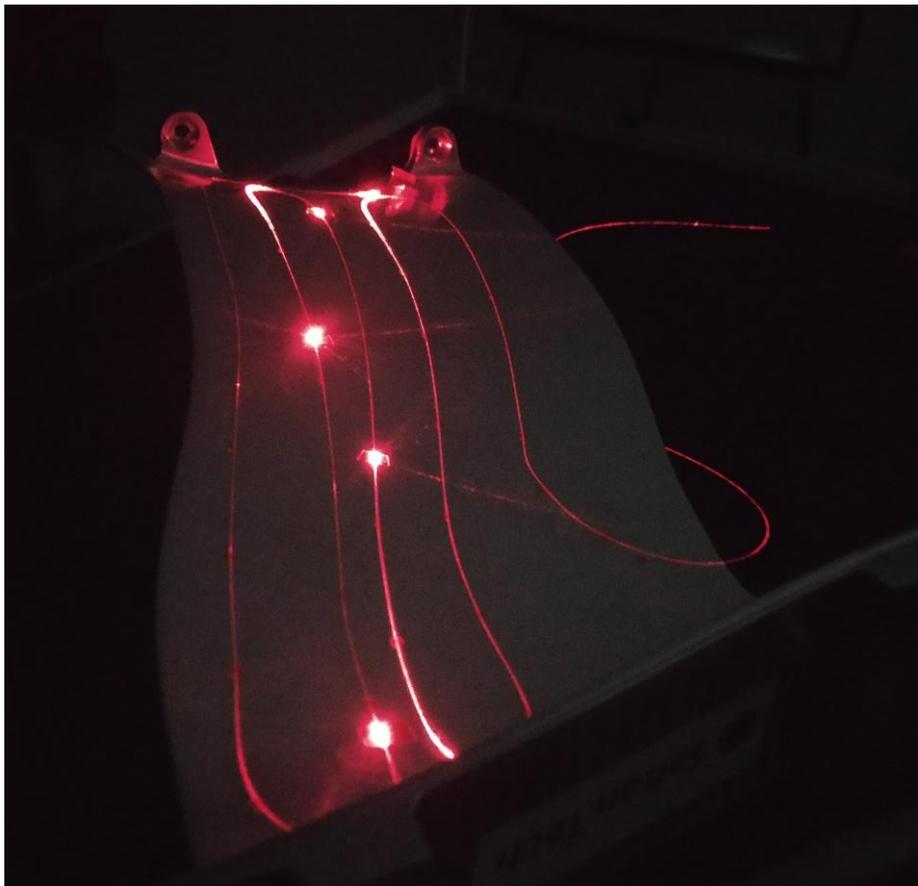


Illustration d'intégration d'une sonde optique pour la mesure de température



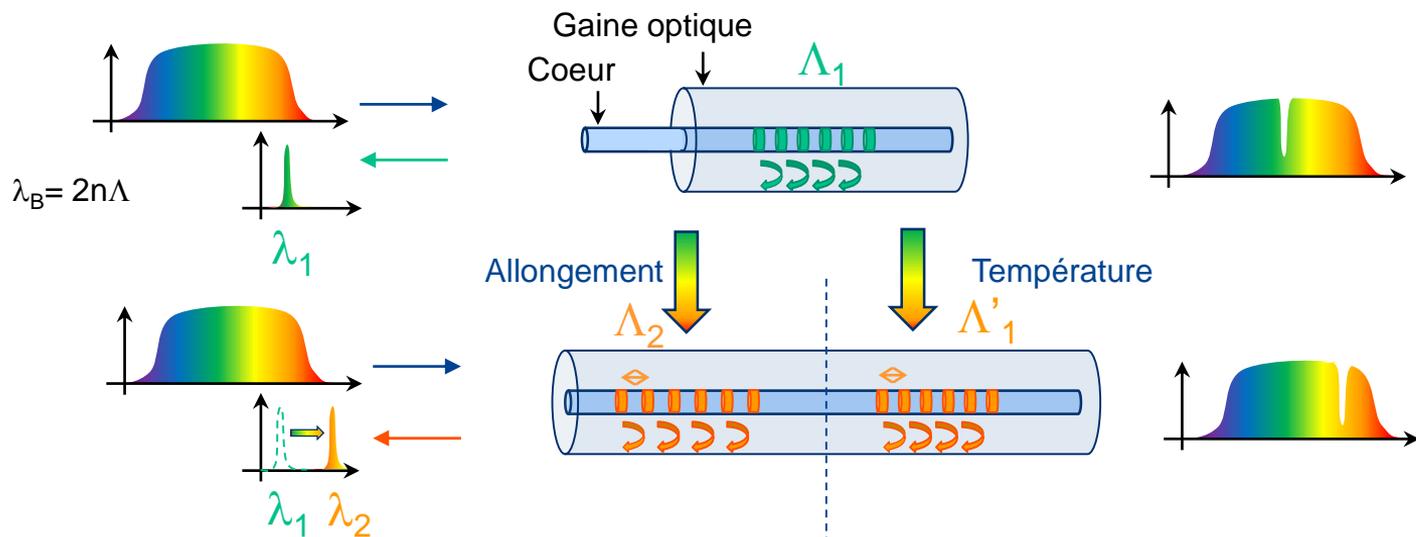
## EXEMPLES D'APPLICATIONS ET DE TRAVAUX

## Banc essai moteur hélicoptère : capteurs à fibre optique à réseaux de Bragg



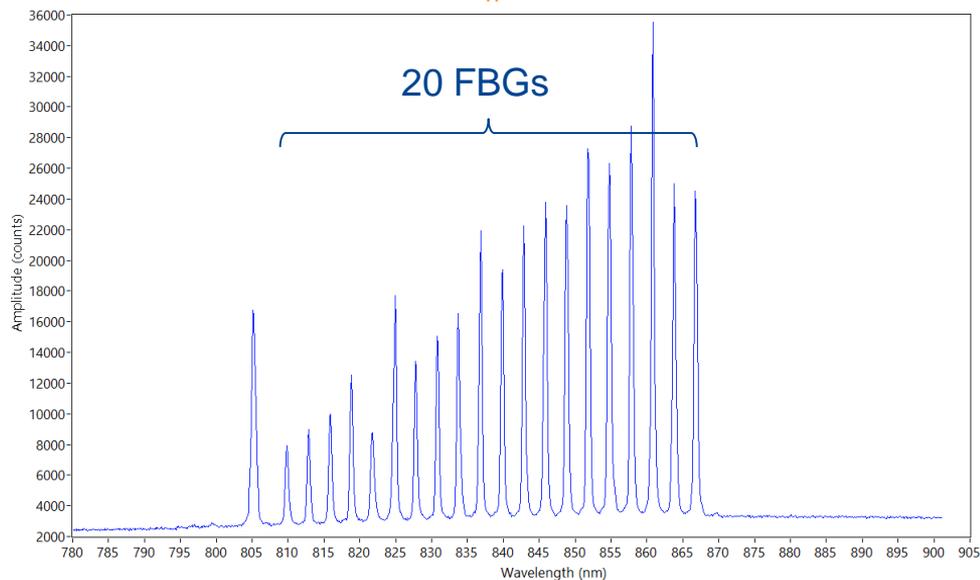
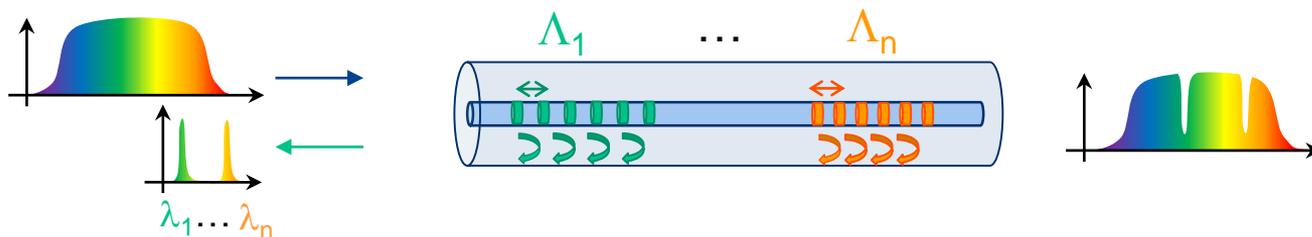
**Mesure de la température par réseaux de Bragg sur différentes pièces mécaniques d'un banc d'essai moteur**

## Principe : réseaux de Bragg (Fiber Bragg Grating – FBG) (1/2)



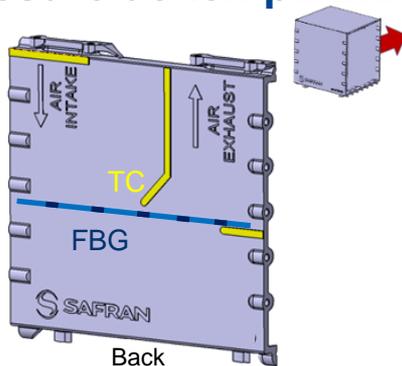
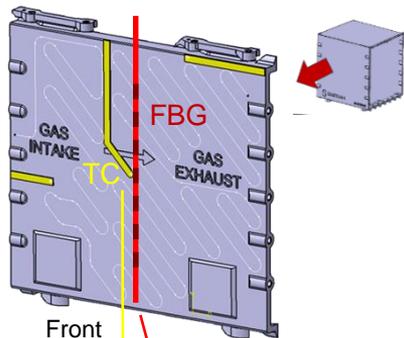
- Fiber Bragg Grating = modulation de l'indice du cœur de la fibre (où  $\Lambda$  est le pas)
- Une partie de la lumière incidente est réfléchi par le FBG, c'est la longueur d'onde de Bragg ( $\lambda_B$ ), tandis que le reste est transmis.
- $\lambda_B$  se décale quand une déformation ou une variation de température est appliquée.
- Cette technique permet d'avoir des mesures localisées de la température et/ou de la déformation le long de la fibre

## Principe : réseaux de Bragg (Fiber Bragg Grating – FBG) (2/2)



- Multiplexage spectral des réseaux de Bragg sur une seule fibre optique
- Chaque réseau de Bragg sera un élément sensible

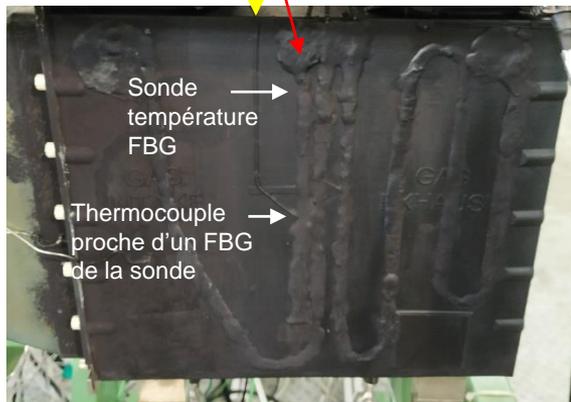
# Banc essai moteur hélicoptère : Mesure de température par réseaux de Bragg



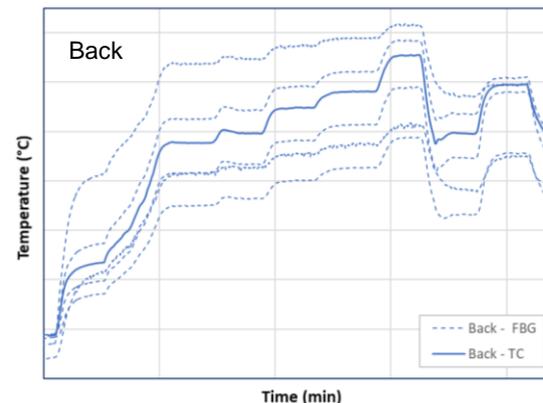
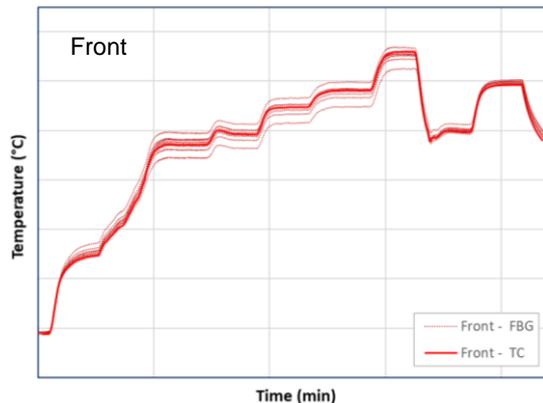
2 sondes optiques :

- Fibre optique insérée dans capillaire
- Intégration des sondes par collage sur les faces de la pièce mécanique

Mesure jusqu'à 600°C - Concordance mesures Thermocouple & FBG

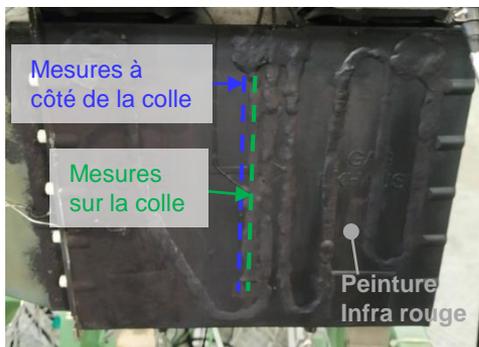


Mesure de la température sur différentes pièces mécaniques lors d'un essai en fonction du temps

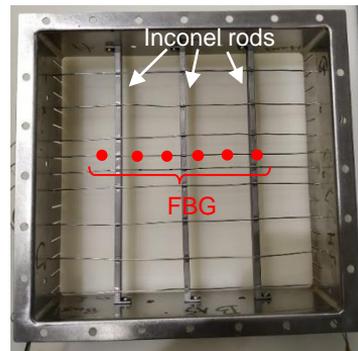
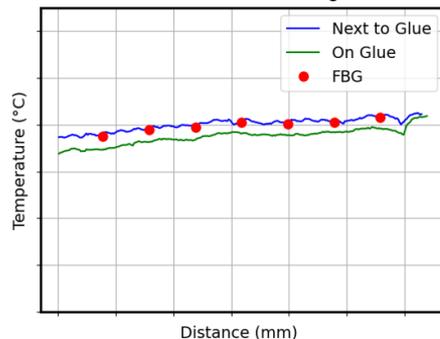


"Fiber Bragg Grating temperature monitoring of helicopter engine mechanical parts on an engine test bench" J. Quéléne et al. OFS, 2022

# Banc essai moteur hélicoptère : Mesure de température par réseaux de Bragg

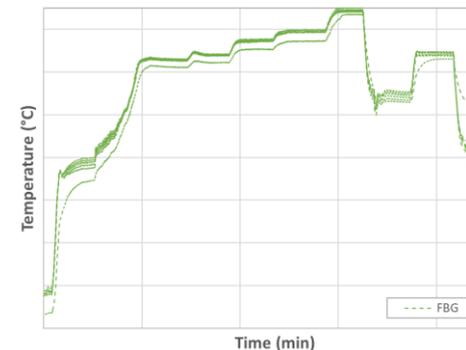


Comparaison entre les mesures de température FBG et avec la caméra IR le long de la fibre



Mesure jusqu'à  
600°C

Mesure de la température en sortie de tuyère lors d'un essai en fonction du temps

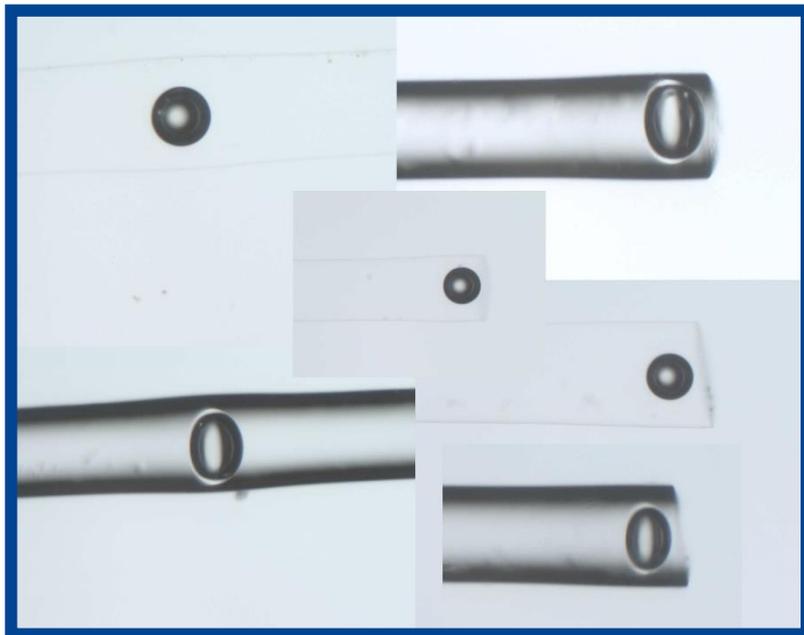


Comparaison de la température mesurée FBG et caméra IR à un instant t :

- Mesure de la température sur/à côté de la colle
- Mesure FBG

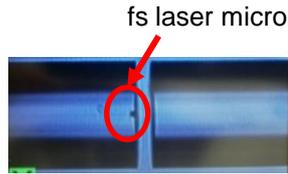
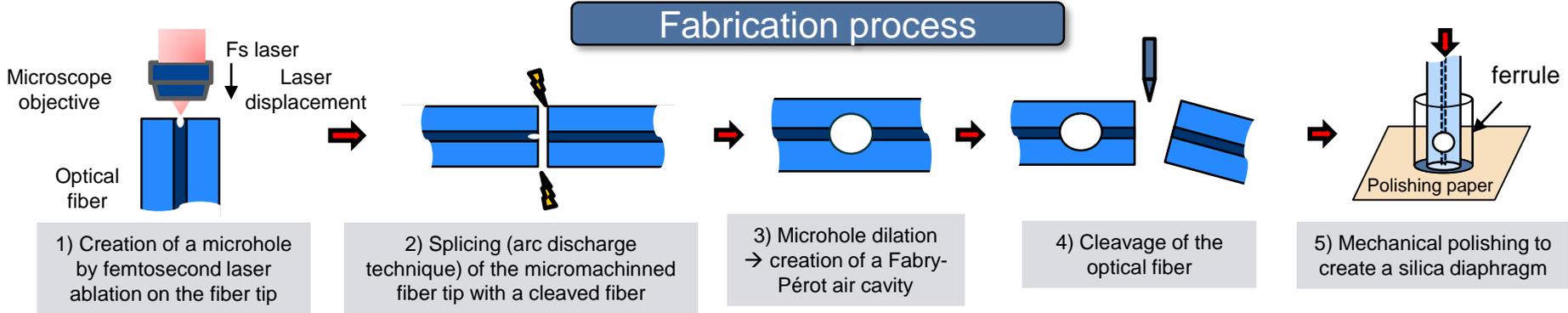
- Concordance entre les mesures de température FBGs, thermocouple, caméra IR.
- Tenue des capteurs FBGs en environnement représentatif : banc d'essai (température, vibration, intégration...)

# Capteur de pression Fabry Péroth intrinsèque en environnement sévère pour l'aéronautique



**Conception,  
caractérisation en température  
et en pression de cavités  
Fabry – Pérot  
(Thèse CIFRE)**

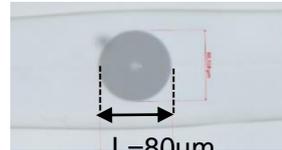
# Capteur de pression : Fabry-Pérot



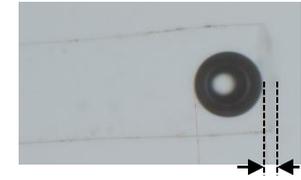
Before splicing



After splicing



Microscope image (by immersion) of the resulting Fabry-Pérot cavity

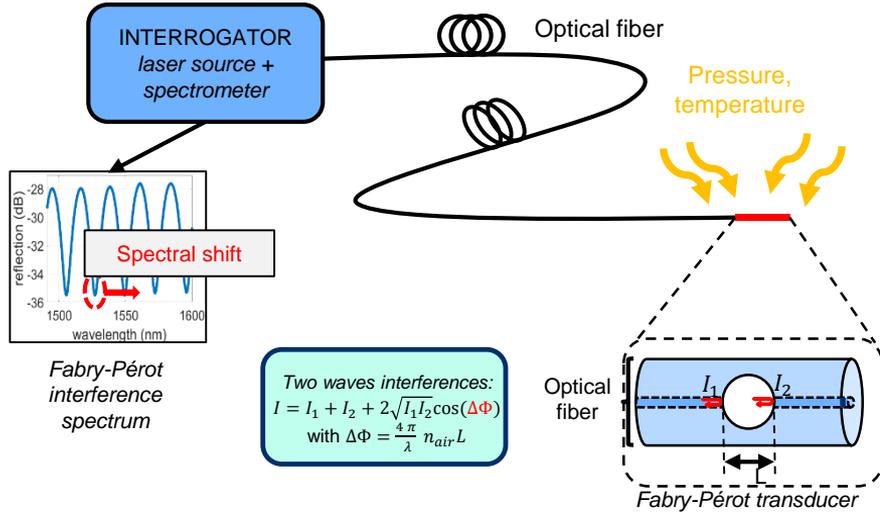


Microscope image (by immersion) of the Fabry-Pérot cavity with silica diaphragm (e=12µm)

“Comparison of fiber in line Fabry-Pérot pressure sensors for harsh environment in aeronautic field” *W. Tomboza et al. OFS, 2022*  
 “Characterization of femtosecond laser micromachined fiber in-line pressure sensor for simultaneous measurement of high temperature and pressure ” *W. Tomboza et al. BGPP, 2022*

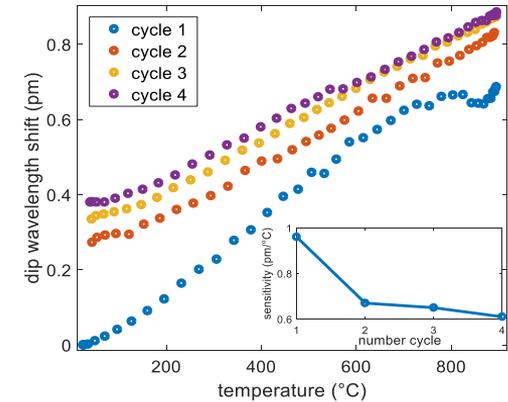
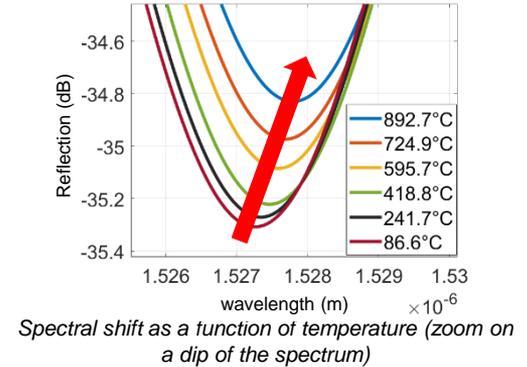
# Capteur de pression : Fabry-Pérot

## Thermal characterization of the Fabry-Pérot transducer



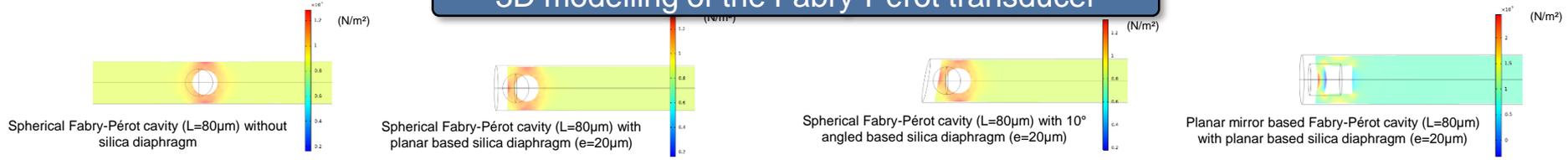
- Four thermal annealing cycles applied on the transducer (spherical Fabry-Pérot without diaphragm) to remove residual stress in the fiber [1]
- Thermal **stabilization** of the sensor up to **900°C**
- **Low thermal sensitivity of 0.61 pm/°C** (thermal sensitivity of 16.4pm/°C in [500 °C-800 °C] temperature range for a Fiber Bragg Grating)

[1] Q. Tian *et al.*, "Temperature and strain response of in-fiber air-cavity Fabry-Perot interferometer under extreme temperature condition," *Optik (Stuttg.)*, vol. 220, no. June, p. 165034, 2020.



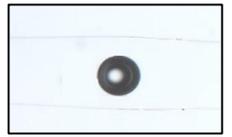
# Capteur de pression : Fabry-Pérot

## 3D modelling of the Fabry-Pérot transducer

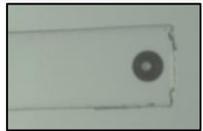


Simulation of the stress induced by applied pressure of 85 bar (2D slice, in color). The resulted deformation under pressure is amplified by factor of 400 for sake of visibility

## Pressure characterization of the Fabry-Pérot transducers



Transducteur A



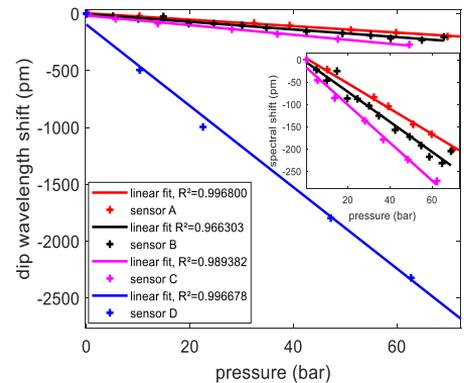
Transducteur B



Transducteur C



Transducteur D

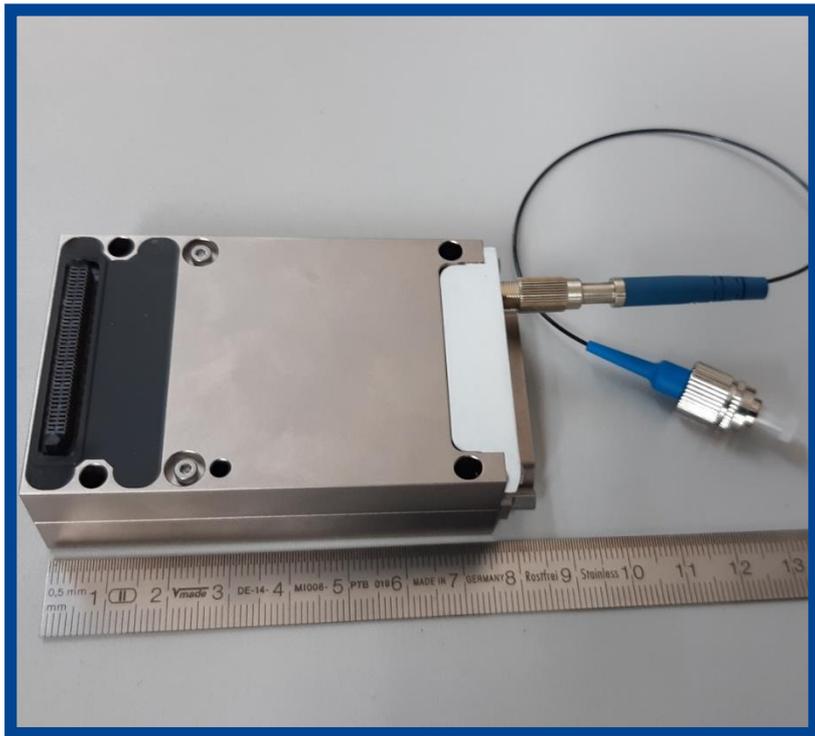


Transducer	A	B	C	D
Cavity length(µm)	75.6	55.6	57.8	22.6
Diaphragm thickness(µm)	-	20	12 (10° angled polished)	12
Pressure sensitivity (experimental value) (pm/bar)	-2.8	-3	-3.7	-34
Pressure sensitivity-COMSOL (pm/bar)*	3	3	3.65	28.2

\* Absolute value

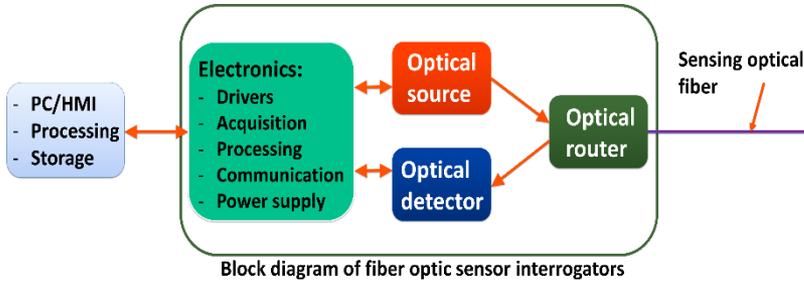
- Pressure sensitivity increases with the decrease of the diaphragm thickness
- **Highest pressure sensitivity (-34pm/bar) obtained with the planar mirrors cavity based Fabry-Pérot (transducer D).** As a comparison, pressure sensitivity of Fiber Bragg Grating is much lower (0.44pm/bar).
- Experimental results in accordance with COMSOL modelling

## Interrogateur : Module pour l'instrumentation de test en vol

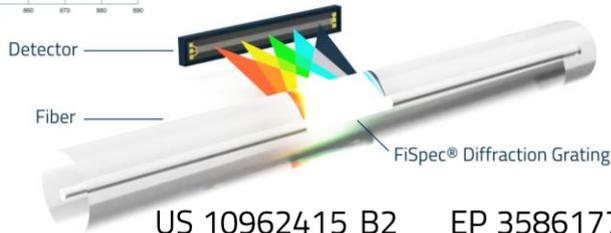
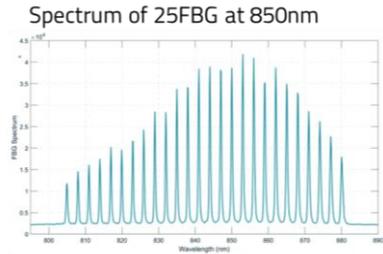
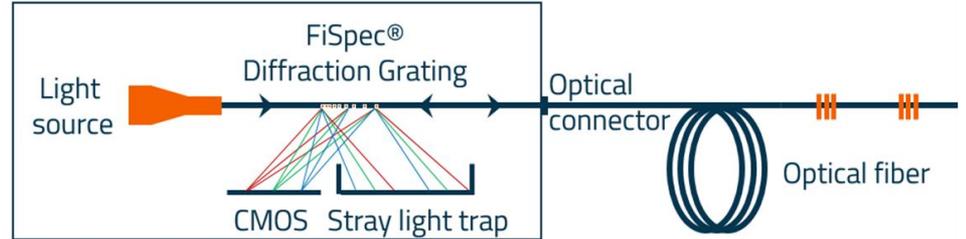


**Miniaturisation, durcissement et  
intégration d'un module optique pour de  
l'instrumentation de test en vol**

# Ultra-compact FBG interrogator



## Bi-Directional Build-Up



US 10962415 B2 EP 3586177 B1. Simplified design for manufacturability and robustness

- Unique in-core grating for outcoupling and directly focusing onto image sensor with ultra-high diffraction efficiencies and light intensities
- Spectral resolutions from 50pm to 2nm directly encodable
- Bi-directional approach: light is guided through fiber-integrated diffraction grating two times
- No coupler and minimal routing required for extra tight space

"Fiber Optic Sensing: the challenges of miniaturization, ruggedization and integration to enhance flight test instrumentation capabilities" G. Guerrero et al. ETTTC, 2022

# Integration in XMA stacks

## Leveraging XMA « COTS » customization features

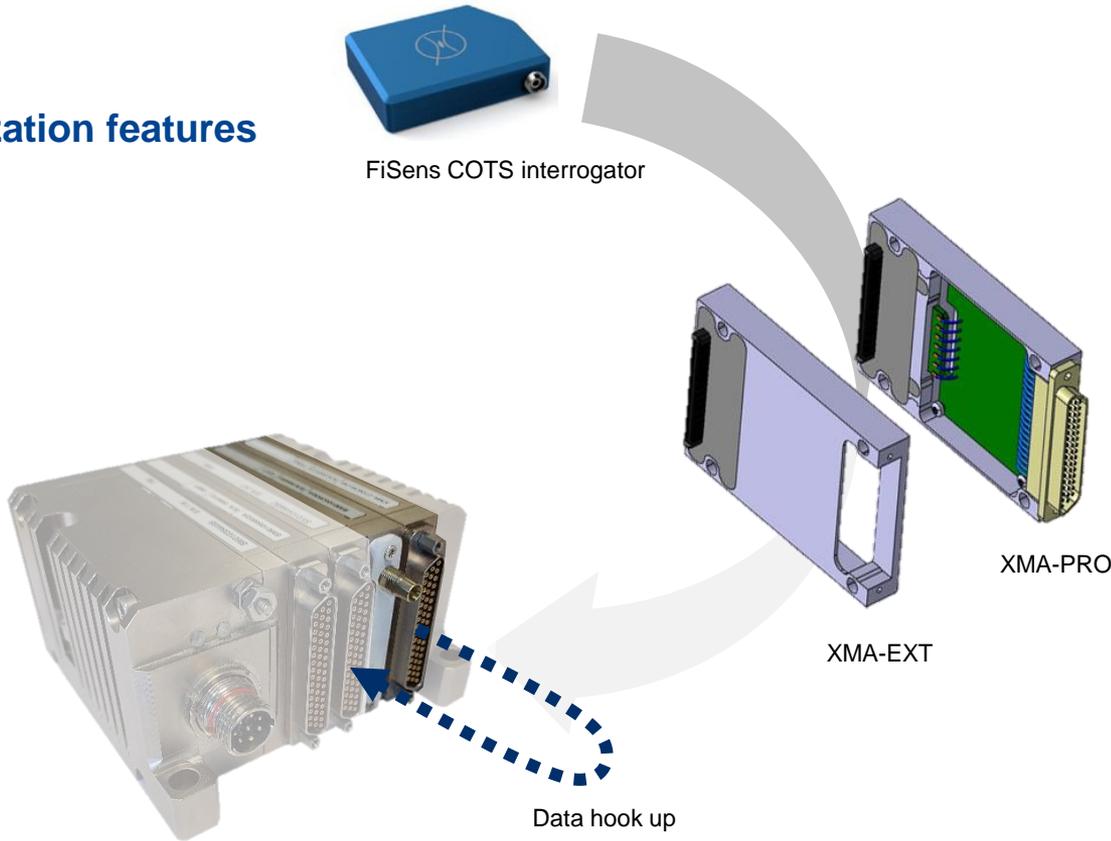
- XMA-PRO & EXT modules
- Electrical and mechanical XMA ICD compliance
- Electrical powering

## Connector/front panel adaptation

- Fiber optic connector

## XMA-FBG prototype module

- 50 x 80 x 20mm
- Additional module required to acquire digitalized measurements



## Benefits of modularity

- XMA-FBG module stackable with other module types :  
Resistive, piezoelectric, capacitive, inductive, digital, video, ...  
acquisitions in addition to FBG measurements
- Multiple XMA-FBG modules capability in a single stack :  
Scalable solution
- Different form factor :  
XMA-CORE8, XMA-CORE16, XMA-ROTOR, ...

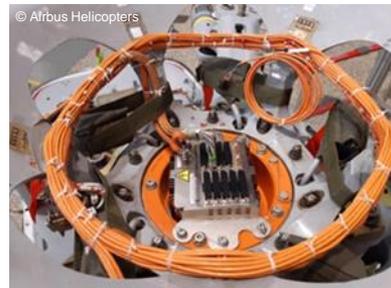


XMA-CORE8 with  
- 4 FBG interrogators  
- 2 other modules



XMA-ROTOR with  
- 2 FBG interrogators  
- 1 wireless module  
- 6 other modules

## Outlook : Upgrade wireless helicopter rotorhead instrumentation to offer fiber sensing blade monitoring



"Operational wireless FTI data transfer from ROTOR's up to fuselage", *M. Seznec et al., Vertical Flight Society's 78th Annual Forum & Technology Display, May 10-12, 2022*

"Paving the way to wireless fiber optic sensing applied to helicopter rotor blade instrumentation and monitoring" *M. Seznec et al., ITC October 24-27, 2022*

## Conclusion

- Les premiers tests des capteurs à fibre optique en conditions représentatives sont positifs et prometteurs, ils confirment la faisabilité et le potentiel des CFO dans les applications aéronautiques.
- Nécessité de continuer le travail de durcissement de l'interrogateur afin de pouvoir l'intégrer dans des environnements sévères (température, vibrations, faible encombrement).
- Nécessité de caractériser la métrologie du système « interrogateur + capteur » afin de quantifier les performances en termes de précision, résolution, fréquence d'acquisition et dérives dans le temps.



**POWERED  
BY TRUST**