

PANORAMA SUR LA CONNECTIQUE ET LE CÂBLAGE À FIBRE OPTIQUE POUR APPLICATIONS SPATIALES

JOURNÉE THÉMATIQUE COMET : FIBRES OPTIQUES

28/06/2023

Toulouse

Gianandrea Quadri, Olivier Gilard

CNES, Centre Spatial de Toulouse, 18 Avenue Edouard Belin, 31400 Toulouse

gianandrea.quadri@cnes.fr



Agenda

- ☐ Introduction et contexte
- ☐ Problématiques de base
- ☐ Activités passées et en cours (R&T CNES)
- ☐ Conclusion

Introduction et Contexte

- ❑ **Demande croissante de recours à des architectures à base de fibres optiques dans domaines divers et variés au niveau satellite et même lanceur tels que:**
 - solutions opto-pyrotechniques pour activation boosters
 - harnais de distributions pour transmission numérique pour satellites télécom et autres
 - harnais de distributions de signaux analogiques à haute fréquence
 - fiber sensing
- ❑ **Solutions et choix architecturaux souvent de typologies différentes entre acteurs du spatial (primes, équipementiers et agences)**
- ❑ **Faible niveau de standardisation au niveau spatial pour évaluation et qualification des connecteurs et câbles**
- ❑ **Supply chains potentiellement existantes (voir contexte aéronautique), dont la robustesse pour applications spatiales reste à consolider et à structurer sur la base de besoins avec volumes d'approvisionnements définis**

Qualification et Standardisation spatiale

- ❑ ESCC 2263420 → Evaluation Test Programme for Optical Fibre Cable Assemblies
- ❑ ESCC 3420 → Optical Fibre Cable Assemblies with Single Fibre Ferrules, Generic
- ❑ ESCC 3420/001 → Optical Fibre Cable Assemblies With Single Fibre Ferrules Based on type Mini-Avim
- ❑ ECSS-Q-TM-70-51A → Termination Of Optical Fibres
- ❑ NASA-STD 8739.5A → Workmanship Standard For Fiber Optic Terminations, Cable Assemblies and Installation

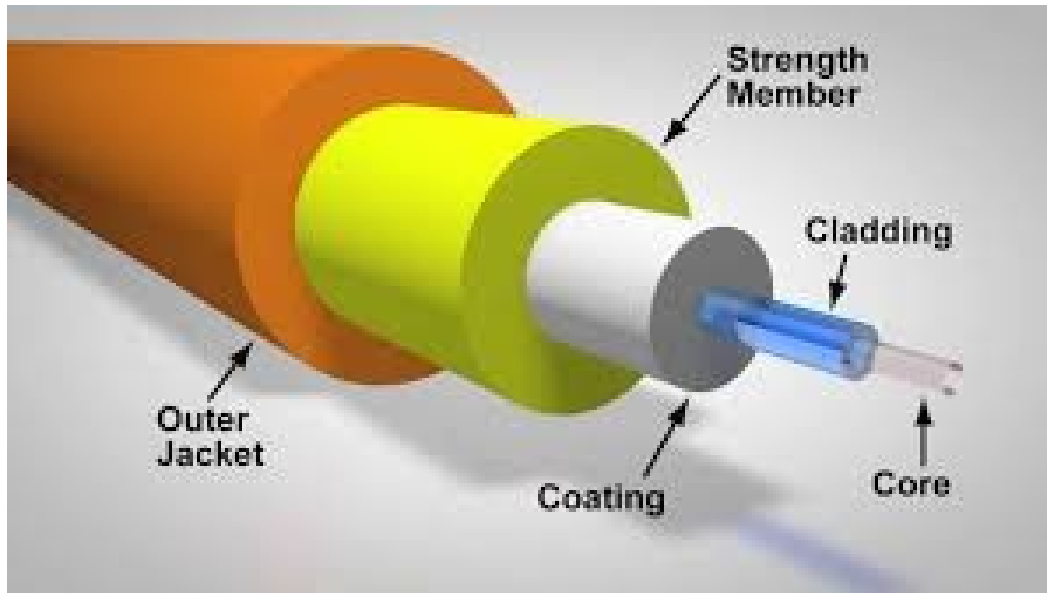
Autres normes utiles:

TELCORDIA:

- Generic Requirements for Singlemode Optical Connectors and Jumper Assemblies, GR-326
- Generic Requirements for Optical Fiber and Optical Fiber Cable, GR-20-CORE

IEC EIA Standards, etcetera

Descriptif des câbles à fibre optique



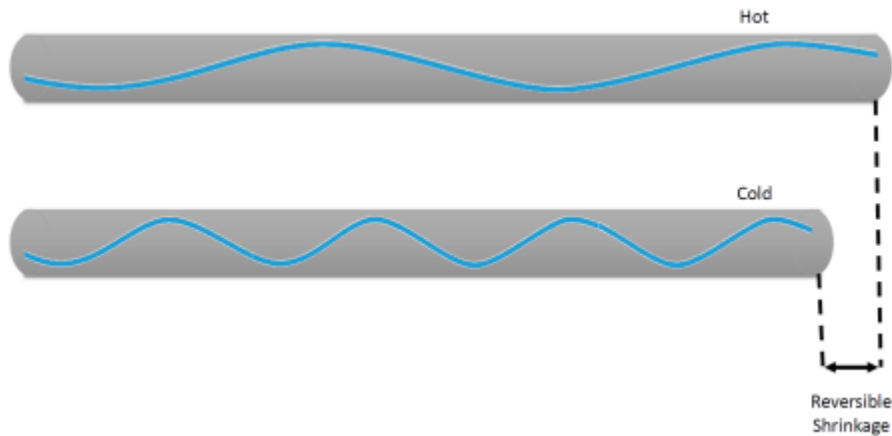
Tight buffered

Versus

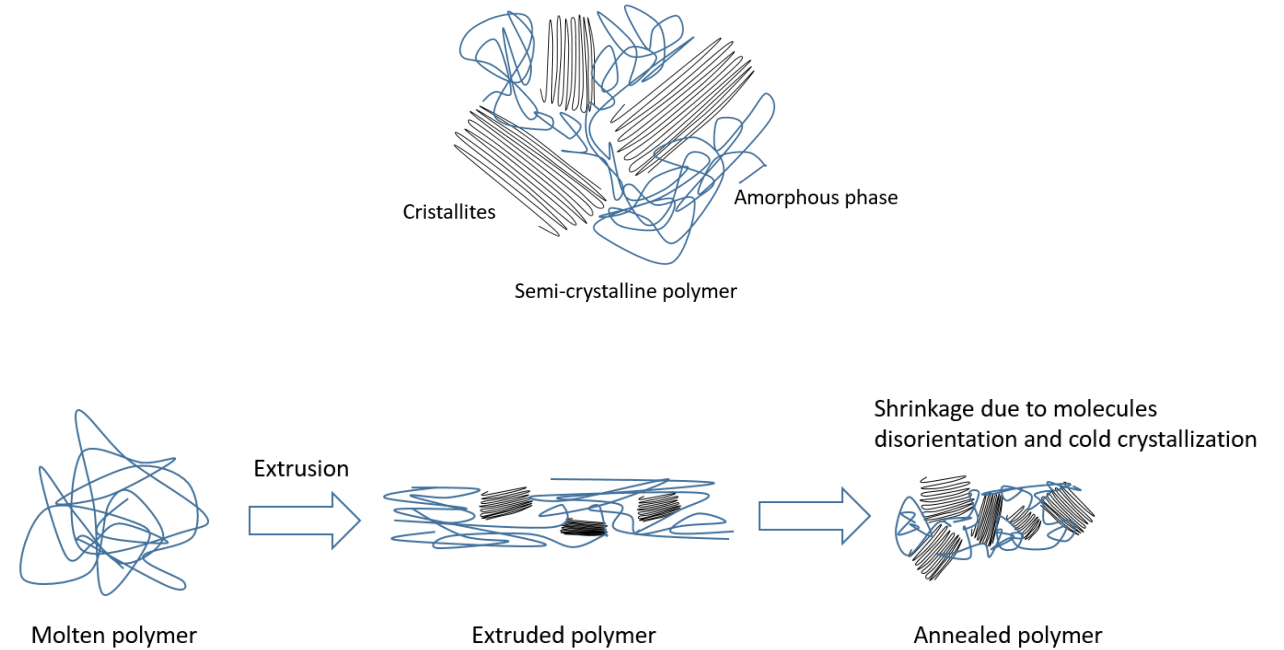
Loose Tube

La différence fondamentale entre les câbles à fibre optique à structure serrée et à structure lâche est la construction du câble à fibre optique. Dans les câbles à structure serrée, il n'y a pas d'espace entre les couches de revêtement et de gaine des cœurs de fibre. Alors que les câbles à fibre à tube lâche ont un espace, soit rempli de gel, soit lâche dans le câble

Problématiques à aborder: câbles (retrait des gaines polymères)

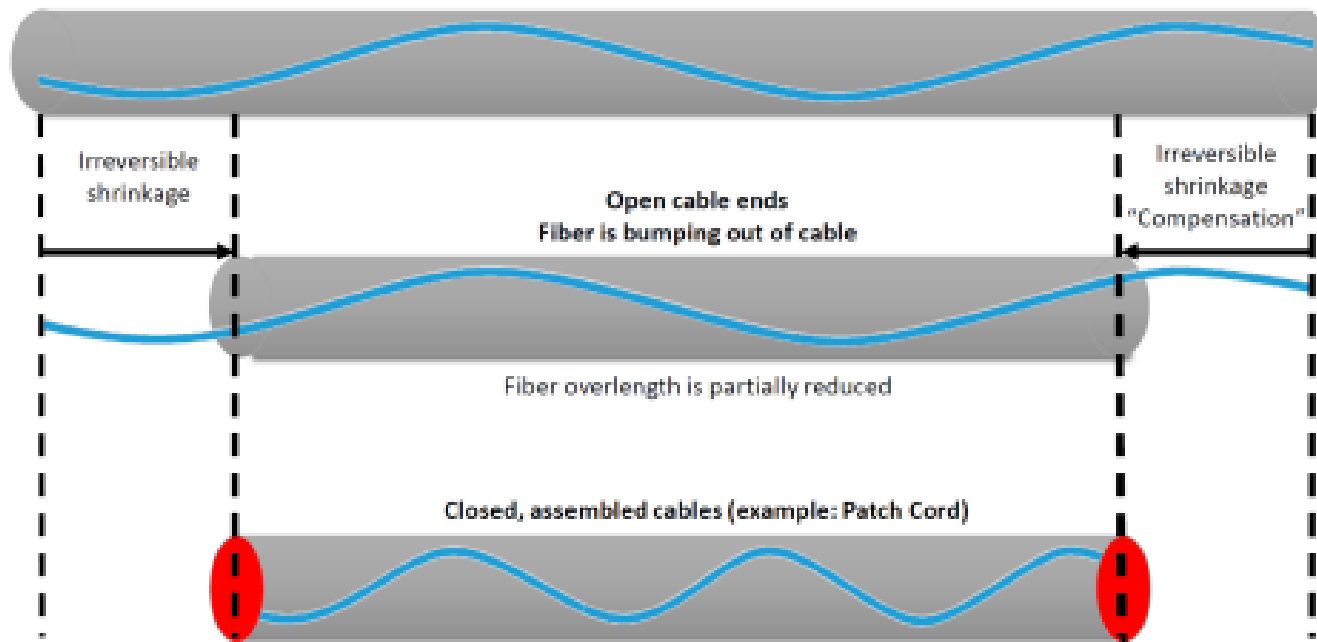


Retrait thermique réversible



Retrait irréversible

Problématiques à aborder: câbles (retrait des gaines polymères)



Augmentation des pertes par micro/macro courbure si le retrait se fait après mise en place des connecteurs.

Problématiques à aborder: pré conditionnement thermique des câbles

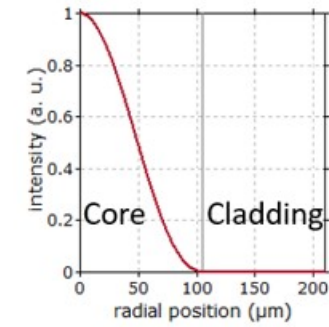
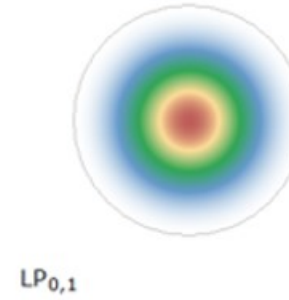
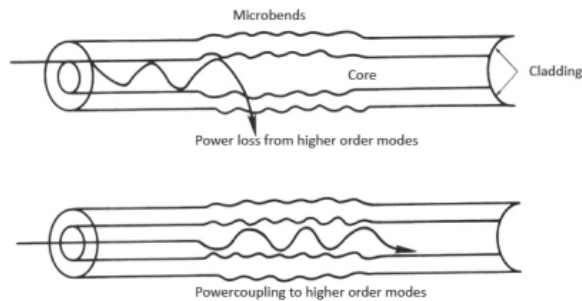
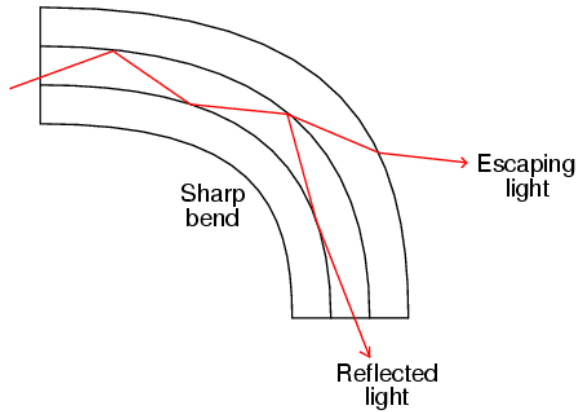
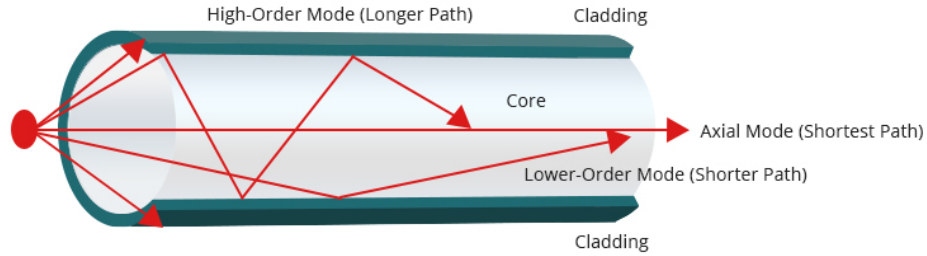
Selon l'ECSS-Q-TM-70-51A, le pré conditionnement doit être réalisé sur tout câble à fibre optique avant inclusion de la fibre dans le câble et ne doit pas être réalisé sur un câble équipé partiellement ou complètement avec connecteurs

NOTE 1 The following preconditioning heat treatment process is most of the time suitable:

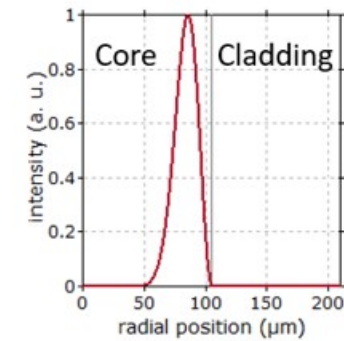
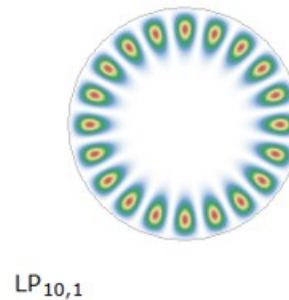
- Upper temperatures: 140 °C
- Lower temperature: -50 °C
- Heating / cooling rate: 5 °C/min maximum
- Dwell time: 1 minute
- Number of cycles: 6

NOTE 2 Some thermal-cycling induced shrinkage can occur in the different concentric layers from which the cable is made of (e.g. extrusion process can leave stresses in the fluoro-polymer materials). On a terminated assembly, the differential shrinkage can induce micro-bending in the optical fibre(s) and lower the signal transmission.

Problématiques à aborder: câbles (pertes par microcourbures)



(a)



(b)

Terminaison et mise en contact: étapes critiques

☐ Dénudage (enlèvement de la gaine et du buffer)

☐ Nettoyage

☐ Cleavage

☐ Inspection extrémités

☐ insertion dans le connecteur

☐ Sertissage ou Crimping

☐ Collage de la fibre au contact

☐ Polissage



Terminaison et mise en contact: étapes critiques

☐ Dénudage (enlèvement de la gaine et du buffer)

☐ Nettoyage

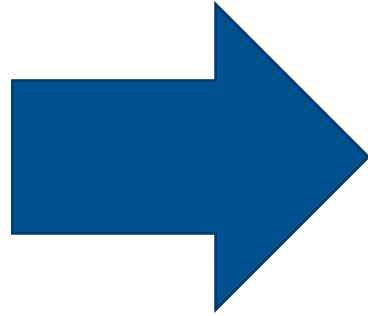
☐ Cleavage

☐ Inspection extrémités

☐ insertion dans le connecteur

☐ Sertissage ou Crimping

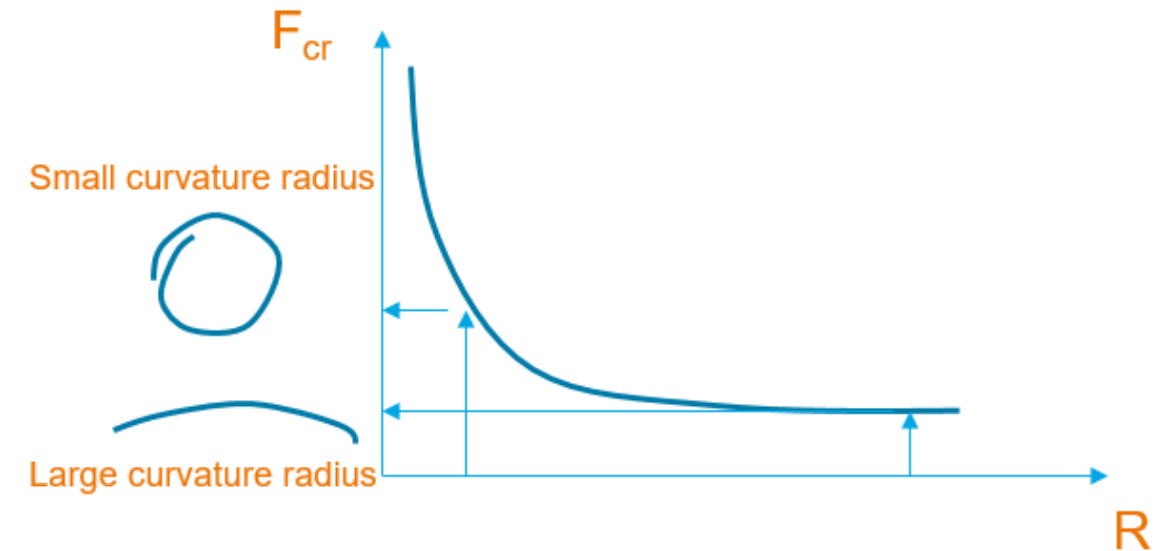
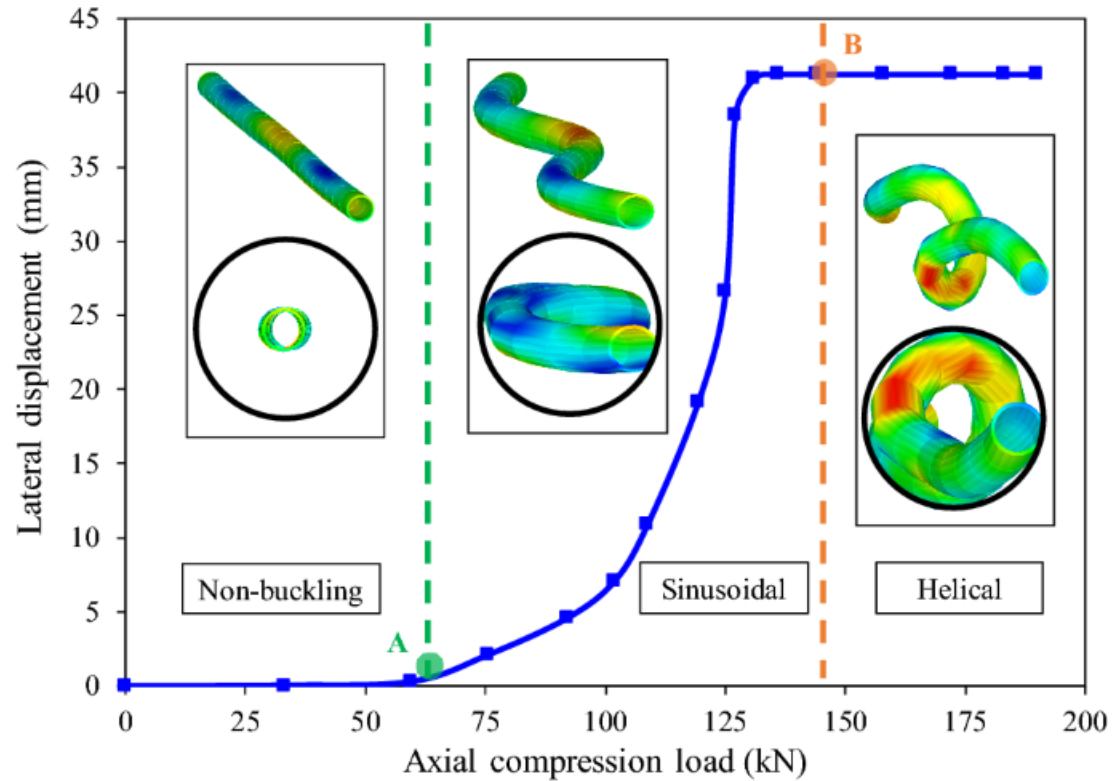
☐ Collage de la fibre au contact



Toutes ces étapes si non maîtrisées sont susceptibles d'engendrer des défauts plus ou moins importants

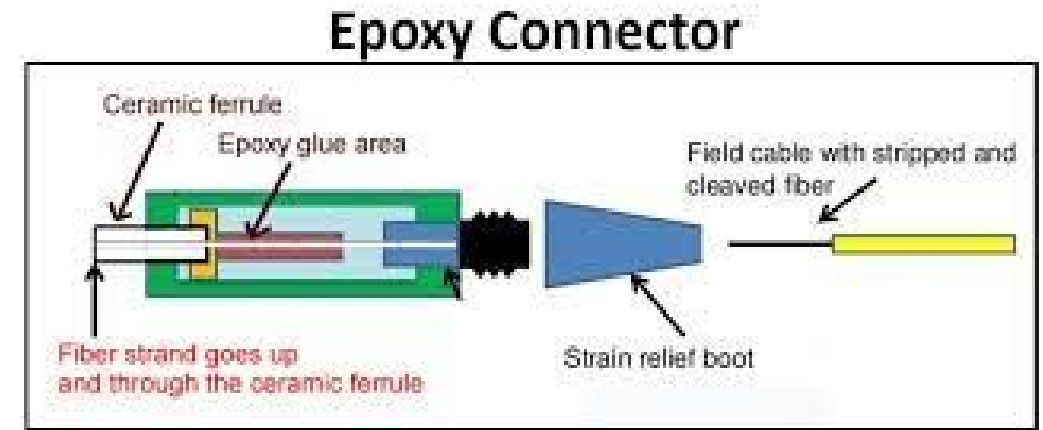
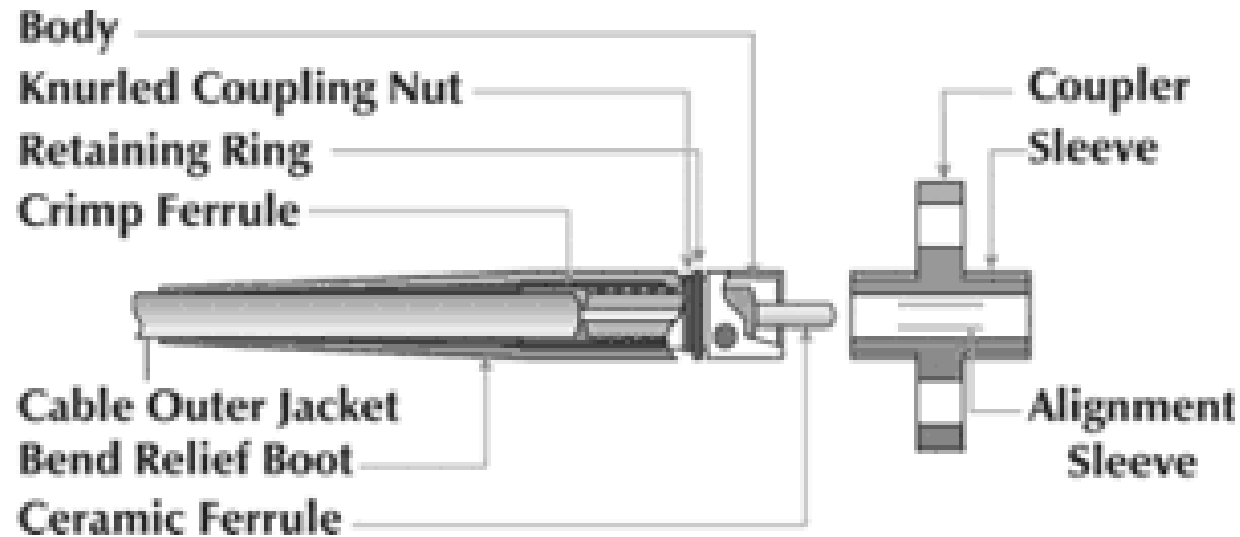
S'il y a de l'**humidité**, le stress nécessaire pour fracturer la fibre peut être considérablement réduit en raison de la croissance de fissures assistée par phénomènes de corrosion

Problématiques à aborder: câbles (flambage de la fibre)

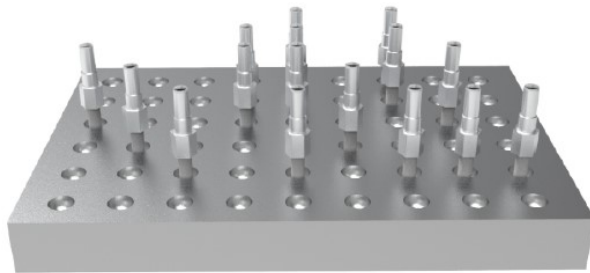
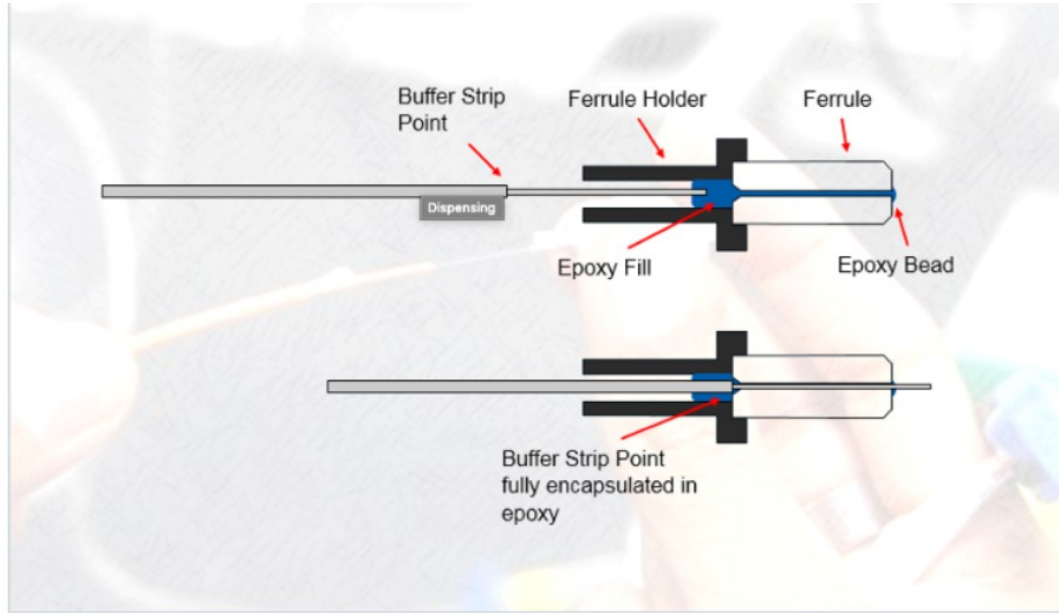


Les paramètres associés au lovage du câble ont un impact important qui doit être pris en compte par rapport au dimensionnement de toute logique de qualification

Descriptif des connecteurs à fibre optique

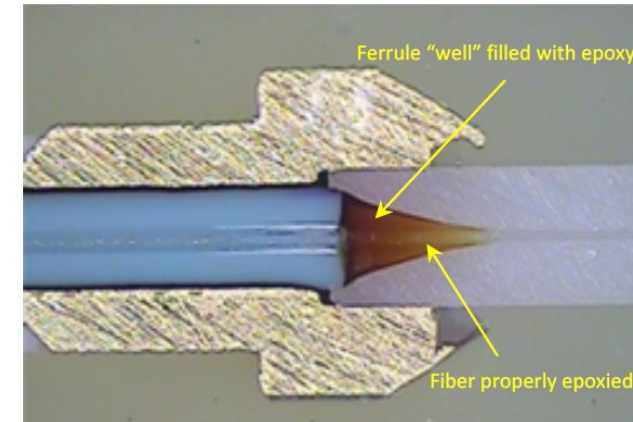


Montage de la terminaison du contact fibre/ferrule

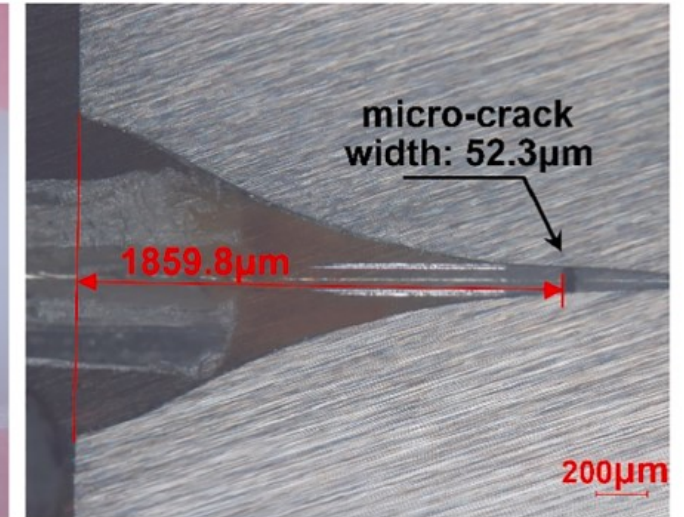
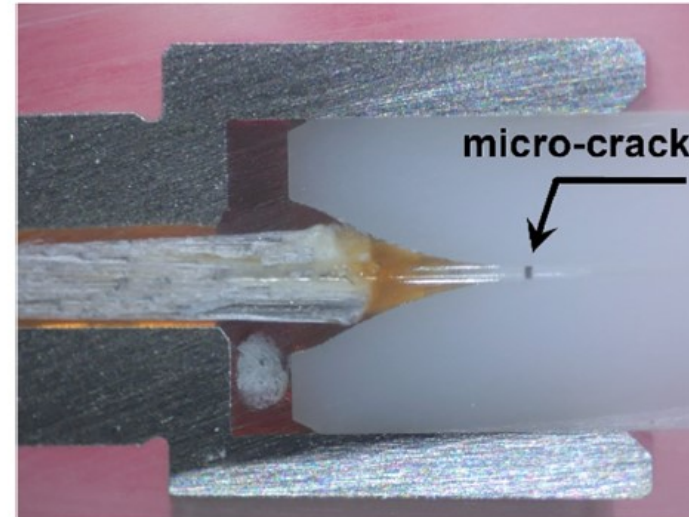
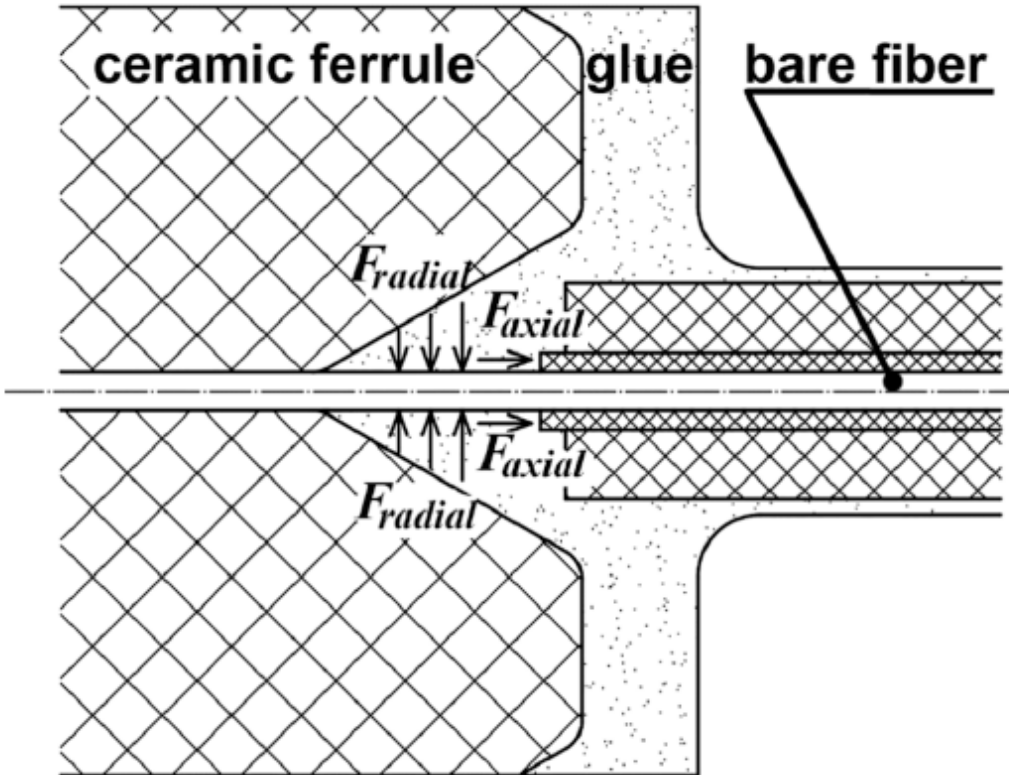


Sélection de la colle, paramètres à surveiller:

- CTE
- Viscosité
- Température de réticulation et process de polymérisation
- Température de transition vitreuse T_g
- Retrait chimique et thermique
- Dégazage
- Caractéristiques optiques



Montage de la terminaison du contact fibre/ferrule: déclenchement de cracks



Pistoning de la fibre

Pistoning: mouvement axial d'une fibre optique dans un connecteur ou une férule de connecteur

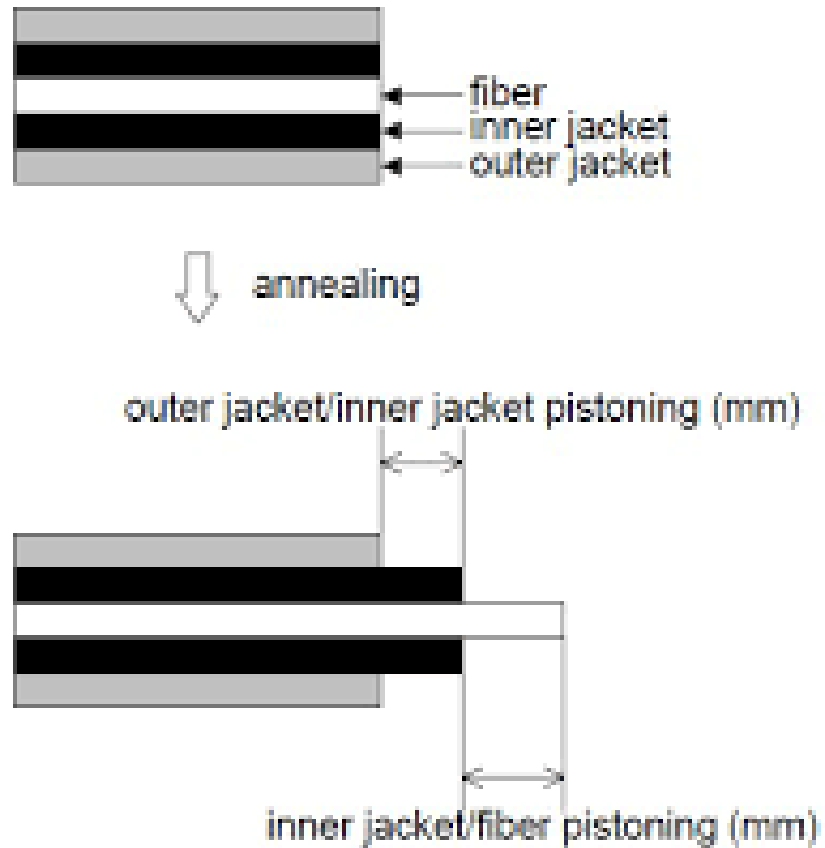
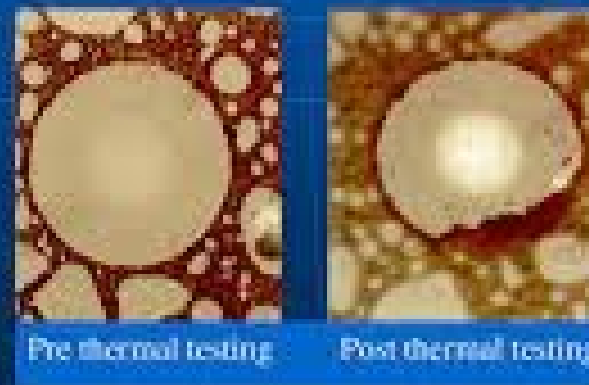


Fig. Pistoning of samples

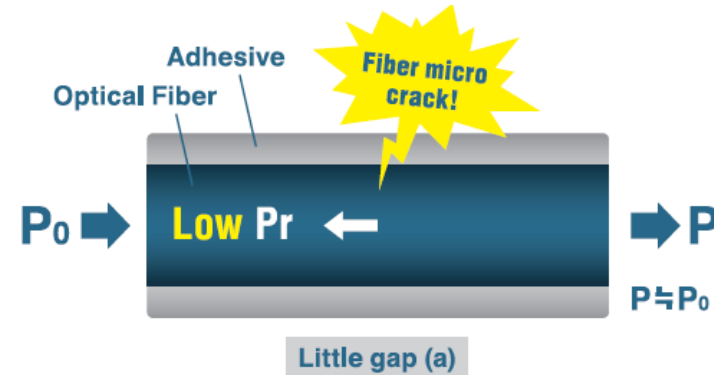
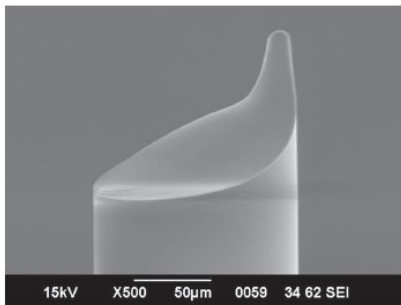
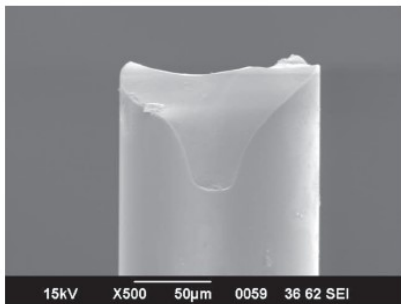
Pistoning Damage

- Pistoning causes cracking on optical fiber endface
 - Image from nasa.gov (link Ch 9a)

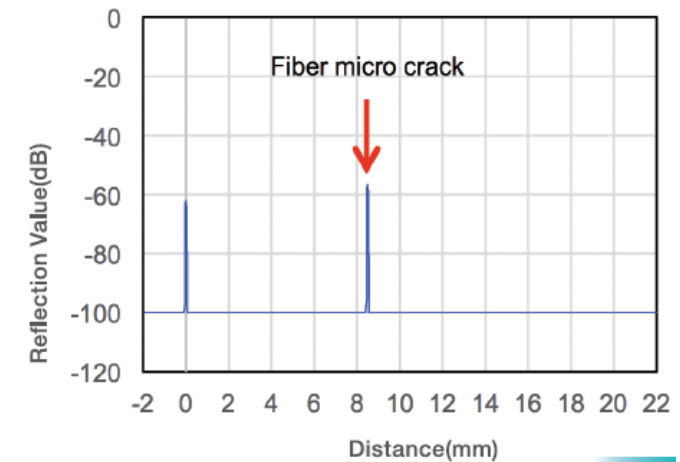


Méthodologies de surveillance de fractures dans la fibre: réflectométrie

La mesure par des techniques de réflectométrie cohérente avec utilisation d'un interféromètre de Michelson est recommandée là où les mesures de pertes de réflexion (R_L) ou d'insertion (I_L) ne permettent pas de révéler un défaut liée à la fissuration de la fibre.



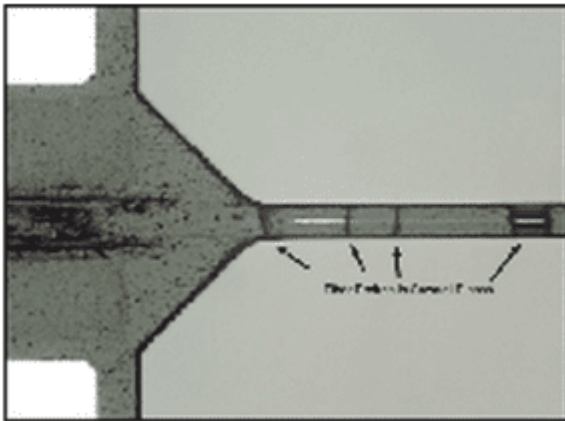
The condition of optical fiber after the Fiber micro crack
After a long period



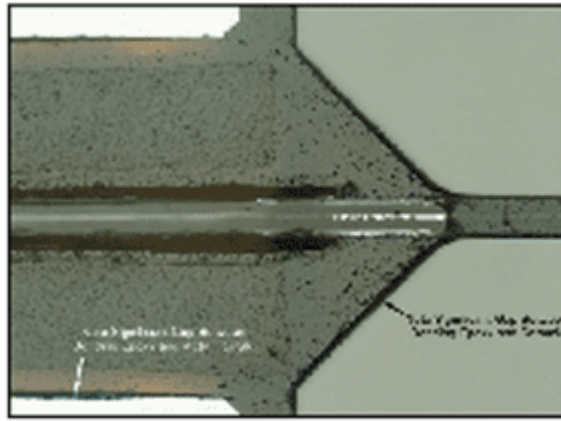
Ces techniques de mesures permettent de contrôler chaque cable/termination sans désassemblage ou cross-section!!!

Méthodologies de surveillance de fractures dans la fibre: cross-section dans la terminaison du contact

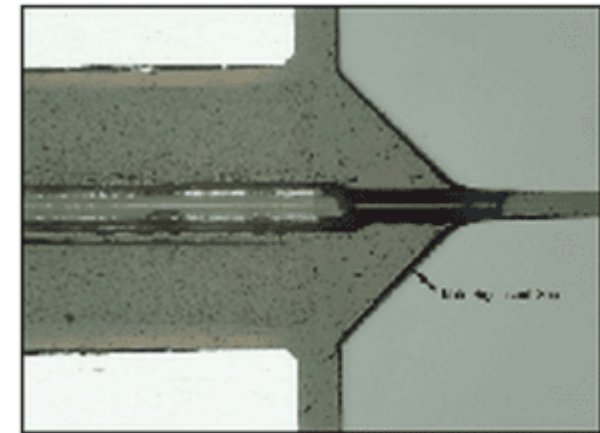
- Contrôle destructif par échantillonnage pour surveillance lot de production, évaluation et qualification produits
- Cela nécessite une interprétation attentive, en raison des risques de déclenchement de fractures induites par le polissage lui-même même si conduit de façon très attentive



Impacts avant polymérisation de la colle lors du montage.



Retrait de la colle facilitant la séparation de la fibre par rapport au point d'ancrage à l'intérieur de la férule.



Le retrait rapide de l'époxy a tout tiré et «séparé» la fibre ancrée à l'intérieur de la férule.

Evolution REACH: proposition restriction PFA

ECHA publishes PFAS restriction proposal

ECHA/NR/23/04

The details of the proposed restriction of around 10 000 per- and polyfluoroalkyl substances (PFASs) are now available on ECHA's website. ECHA's scientific committees will now start evaluating the proposal in terms of the risks to people and the environment, and the impacts on society.

Helsinki, 7 February 2023 – The proposal was prepared by authorities in Denmark, Germany, the Netherlands, Norway and Sweden and submitted to ECHA on 13 January 2023. It aims to reduce PFAS emissions into the environment and make products and processes safer for people.

All PFASs in the scope of the proposal are very persistent in the environment. If their releases are not minimised, people, plants and animals will be increasingly exposed, and without a restriction, such levels will be reached that have negative effects on people's health and the environment. The authorities estimate that around 4.4 million tonnes of PFASs would end up in the environment over the next 30 years unless action is taken. *Peter van der Zandt*, ECHA's Director for Risk Assessment said: "This landmark proposal by the five authorities supports the ambitions of the EU's Chemicals Strategy and the Zero Pollution action plan. Now, our scientific committees will start their evaluation and opinion forming. While the evaluation of such a broad proposal with thousands of substances, and many uses, will be challenging, we are ready."

Next steps

ECHA's scientific committees for Risk Assessment (RAC) and for Socio-Economic Analysis (SEAC) will check that the proposal meets the legal requirements of REACH in their meetings in March 2023. If it does, the committees will begin their scientific evaluation of the proposal. A six-month consultation is planned to start on 22 March 2023.

RAC will form an opinion on whether the proposed restriction is appropriate in reducing the risks to people's health and the environment, while SEAC's opinion will be on the socio-economic impacts, i.e. benefits and costs to society, associated with the proposal. Both committees form their opinions based on the information in the restriction proposal and the comments received during consultations. The committees also consider advice from the Enforcement Forum on the enforceability of the proposed restriction. Once the opinions are adopted, they will be sent to the European Commission who, together with the EU Member States, will then decide on the potential restriction.

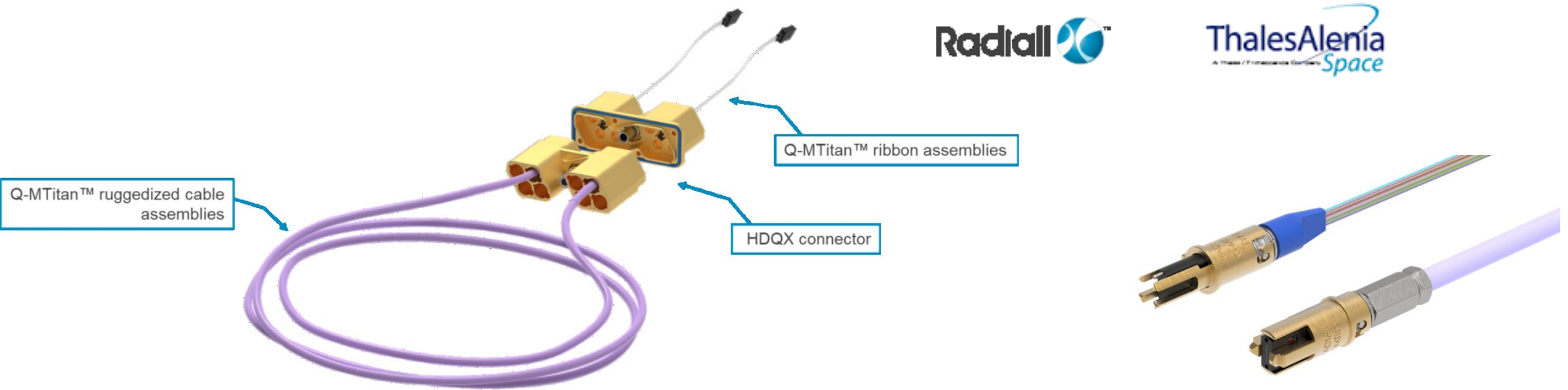
R&T CNES

- 1) Développement et évaluation de solutions d'interconnexions multifibres pour data processing → CLOS
- 2) Développement et Evaluation préliminaire d'un connecteur monopoint optique pour fibres à maintien de polarisation et monomode APC pour application spatiales → EN COURS
- 3) Développement et évaluation préliminaire d'une connectique multipoint pour fibres à maintien de polarisation et monomode APC pour applications spatiales → EN COURS
- 4) Evaluations préliminaires de câbles à fibre optique pour application spatiale → SOUS CONTRACTUALISATION

R&T CNES

- 1) **Développement et évaluation de solutions d'interconnexions multifibres pour data processing → CLOS**
- 2) Développement et Evaluation préliminaire d'un connecteur monopoint optique pour fibres à maintien de polarisation et monomode APC pour application spatiales → EN COURS
- 3) Développement et évaluation préliminaire d'une connectique multipoint pour fibres à maintien de polarisation et monomode APC pour applications spatiales → EN COURS
- 4) Evaluations préliminaires de câbles à fibre optique pour application spatiale → SOUS CONTRACTUALISATION

R&T CNES: Développement et évaluation de solutions d'interconnexions multifibres pour data processing



Développement et de définition du plan de test et qualification (CNES/RADIALL/TAS)

On flight on SES17

R&T CNES: Développement et évaluation de solutions d'interconnexions multifibres pour data processing

Test	Standard	Condition & Sanctions	Result
Radiation		On optical fibers	Pass
Visual Inspection	EN2591-101	@ x200: No damaging neither on the fibers not sleeves. No contamination.	Pass
Insertion Loss IL	IEC 61300-3-4 (B)	IL max <2,2dB (Q-MTitan™: 0,5dB, FC: 0,2dB, MT: 0,4dB) IL variation after test: <1dB for a full line (1 Q-MTitan™: 0,5dB)	Pass
Return Loss RL	IEC 61300-3-6	RL > 20dB	Pass
EMI		SE ≥ 75 dBi up to 15 GHz, -70 dBi from 15 to 18 GHz	Pass
Maintenance aging		15 cycles: insert/extract Q-MTitan™ on both sides of the connection while unmated	Pass
Mating durability	IEC 61300-2-2 (A)	50 cycles. Measurement every 10 cycles with cleaning authorized.	Pass
Random Vibration		Acceleration: 40Grms. Frequency: 10Hz to 2000Hz. 3min per axis on 3 axis.	Pass
Sine Vibration		Level 20G for 21-100Hz. Frequency: 5Hz to 100Hz. 1 cycle in each axis on 3 axis. Rate: 2 octave/min	Pass
Mechanical shocks		2000G. Duration: 3ms. 3 shocks per axis	Pass
RCT	IEC 61300-2-22	-55/+125°C , 50 cycles, 5°C/ min, dwell time: 1 h	Pass
High Temperature storage	IEC 61300-2-18	1000h @125°C	Pass
EMI		SE ≥ 75 dBi up to 15 GHz, -70 dBi from 15 to 18 GHz 3 connections validated before changing the interfacial EMI gasket 2 mounting validated before changing the receptacle EMI gasket	Pass
DPA: contact retention	IEC 61300-2-4	Plug side only (female contact) – 68N for 1min. Then up to breakage	Pass
Damp heat	IEC 61300-2-46	+25°C / +55°C , dwell time: 9h, number of cycles: 6 , 10°C/h- RH:95% (on ribbon)	Pass

R&T CNES

- 1) Développement et évaluation de solutions d'interconnexions multifibres pour data processing → CLOS
- 2) Développement et Evaluation préliminaire d'un connecteur monopoint optique pour fibres à maintien de polarisation et monomode APC pour application spatiales → EN COURS**
- 3) Développement et évaluation préliminaire d'une connectique multipoint pour fibres à maintien de polarisation et monomode APC pour applications spatiales → EN COURS
- 4) Evaluations préliminaires de câbles à fibre optique pour application spatiale → SOUS CONTRACTUALISATION

R&T CNES: Développement et Evaluation préliminaire d'une connecteur monopoint optique pour fibres à maintien de polarisation et monomode APC pour application spatiales

SEDI•ATI
fibres optiques



Démarrage: Automne 2022 → Fin prévue printemps 2024

- ✓ Consolidation spécification de besoin
- ✓ Revue préliminaire de conception et définition flow chart préliminaire

Reste à faire:

- Production prototypes de tests
- Revue Métrologique
- Définition plan d'essais d'évaluation
- Conduite des essais et analyse des résultats

R&T CNES

- 1) Développement et évaluation de solutions d'interconnexions multifibres pour data processing → CLOS
- 2) Développement et Evaluation préliminaire d'un connecteur monopoint optique pour fibres à maintien de polarisation et monomode APC pour application spatiales → EN COURS
- 3) Développement et évaluation préliminaire d'une connectique multipoint pour fibres à maintien de polarisation et monomode APC pour applications spatiales → EN COURS**
- 4) Evaluations préliminaires de câbles à fibre optique pour application spatiale → SOUS CONTRACTUALISATION

R&T CNES: Développement et Evaluation préliminaire d'une connecteur multipoint optique pour fibres à maintien de polarisation et monomode APC pour application spatiales



Démarrage: Mai 2022 → Fin début 2025

- Consolidation spécification de besoin encours
- Revue préliminaire de conception et définition flow chart préliminaire
- Production prototypes de tests
- Revue Métrologique
- Définition plan d'essais d'évaluation
- Conduite des essais et analyse des résultats

R&T CNES

- 1) Développement et évaluation de solutions d'interconnexions multifibres pour data processing → CLOS
- 2) Développement et Evaluation préliminaire d'un connecteur monopoint optique pour fibres à maintien de polarisation et monomode APC pour application spatiales → EN COURS
- 3) Développement et évaluation préliminaire d'une connectique multipoint pour fibres à maintien de polarisation et monomode APC pour applications spatiales → EN COURS
- 4) Evaluations préliminaires de câbles à fibre optique pour application spatiale → SOUS CONTRACTUALISATION**

R&T CNES: Evaluations préliminaires de câbles à fibre optique pour application spatiale



Démarrage prévu: octobre 2023 → durée: 18 mois

- Sélection des options les plus pertinentes parmi les fabricants existants
- Approvisionnement des câbles
- Conduite éventuelle d'une phase de preconditionnement thermique
- Mise en contact des câbles avec une ou deux options de connecteurisation
- Validation et mise au point de la métrologie des bancs de caractérisation (pertes d'insertion et réflexion au minimum, réflectométrie en résolution temporelle et fréquentielle...)
- Définition du plan d'essai d'évaluation et dérisking préliminaire
- Conduite des essais
- Collecte des résultats et analyse des points de force et faiblesse

Conclusion

- ❑ **Besoin avéré et inéluctable de recours à des architectures utilisant des harnais à fibre optique pour plateforme ou charge utile pour applications diverses et variées**
- ❑ **Besoin de consolidation de solutions communes entre opérateurs du spatial (fabricants , primes, agences) afin de structurer des supply chain robustes répondant aux exigences des projets en cours et à venir**
- ❑ **Nécessité d'élargir l'éventail des standards existants**
- ❑ **Panorama industriel à niveau français et européen apte à répondre au défi de spatialisation**
- ❑ **Problématiques techniques connues (la fibre c'est du verre! A manipuler avec attention!!!!) mais exposées à des risques nécessitant des logiques ad hoc d'évaluation, de contrôles de production, de screening afin de faire face sereinement à la conduite d'une qualification spatiale correspondant à l'application visée.**
- ❑ **Attention aux impacts PFAs! Si pas maintenant ce sera à prendre en compte à l'avenir**
- ❑ **R&T CNES prête à élargir l'éventail d'opportunité d'études et test**

Merci pour votre attention!!!!