

ORGANISÉ PAR :



CERCLE  
CREDO

ACCUEILLI PAR :



BANQUE des  
TERRITOIRES



AVEC NOTRE PARTENAIRE :



ARUFOG

Fiber optic expertise  
since 1986

RENDEZ-VOUS  
DE LA FIBRE



jeudi  
**14**  
nov.

**La fermeture du réseau cuivre**

**Les câbles fibre optique  
avec capteurs répartis**



CERCLE  
CREDO

## Code WIFI

Réseau : **CDC-WIFI-PUBLIC**

Login : **rdvfibre2024**

Mot de passe : **rdvfibre2024**



**Slido.com**

Code : **RDVFibre**

## Slido

Posez vos questions !



ACCUEIL ET ANIMATION DE LA MATINÉE

**Jacques POLÉNI**

Délégué général du **Cercle CREDO**



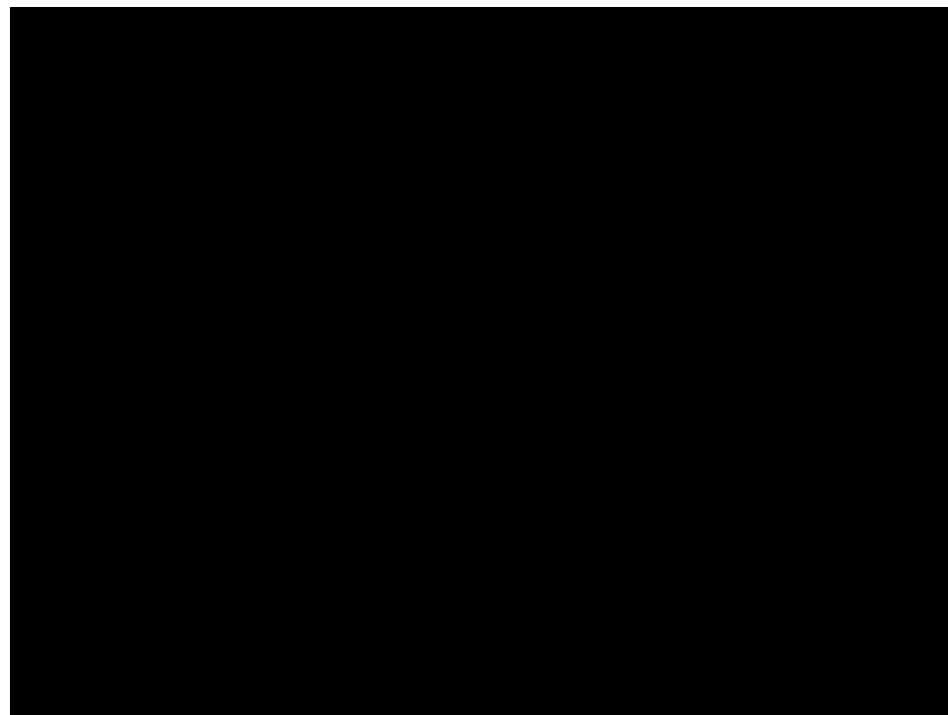
CERCLE  
CREDO



MOT DE BIENVENUE

**Richard TOPER**

Président du **Cercle CREDO**





CERCLE  
CREDO

MOT DE BIENVENUE

**Emmanuel PASSILLY**

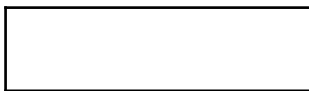
Responsable du Pôle “Infrastructures et données”

**Banque des Territoires** (Groupe Caisse des Dépôts)





CERCLE  
CREDO



## **Antoine DARODES**

Directeur Investissements Transition Numérique,  
**Caisse des Dépôts – Banque des Territoires**





CERCLE  
CREDO

## 1ÈRE PARTIE

**La fermeture du réseau cuivre jusqu'à l'utilisateur :  
une continuité de services garantie.**



CERCLE  
CREDO

## Code WIFI

Réseau : **CDC-WIFI-PUBLIC**

Login : **rdvfibre2024**

Mot de passe : **rdvfibre2024**



**Slido.com**  
Code : **RDVFibre**

## Slido

Posez vos questions !





CERCLE  
CREDO

## KEYNOTE & PRÉSENTATION DU GUIDE

**Didier CAZES**

Chargé de missions

**Cercle CREDO**



TÉLÉCHARGER  
↓↓↓





CERCLE  
CREDO

**Slido.com**  
Code : **RDVFibre**

# **La fermeture du réseau cuivre jusqu'à l'utilisateur final : une continuité de services garantie ?**

# Chaque siècle est marqué par une succession de transformations sociétales en lien avec de grands projets

- Ceux du 20<sup>e</sup> siècle : Mobilité – Energie - Relations dans le cadre **de** vie professionnelle ou personnelle

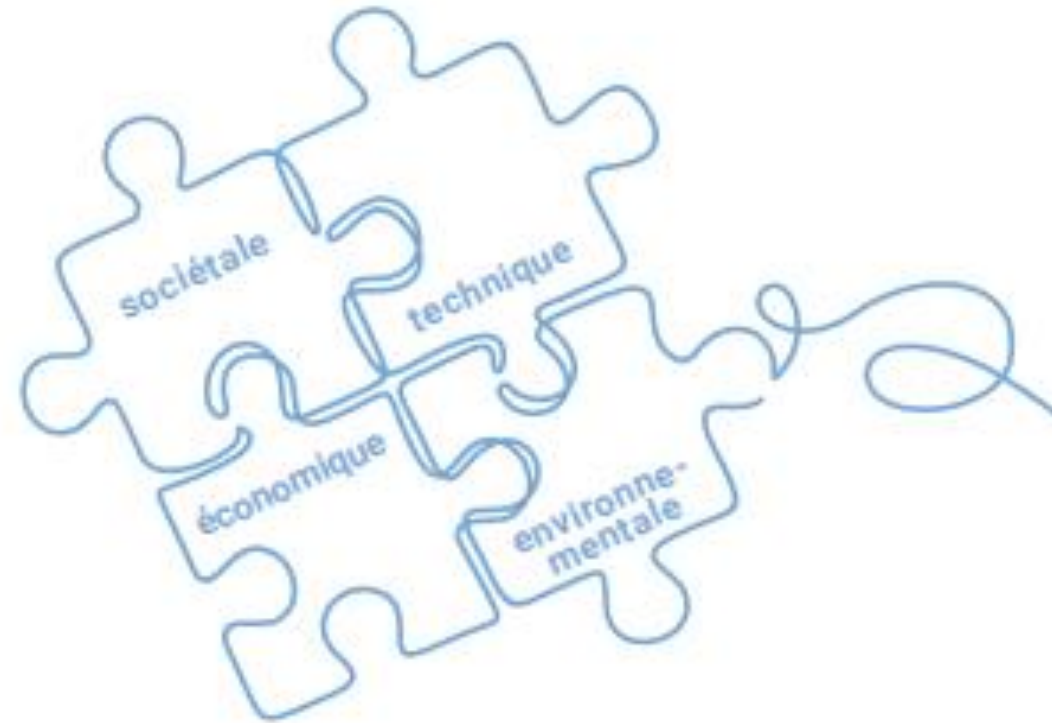


Grand projet d'après-guerre, le réseau téléphonique a tissé sa toile au fil des décennies sur l'ensemble du territoire français. Si jusqu'au milieu des années 1970, seul 1 français sur 7 dispose du téléphone chez lui, c'est sous l'impulsion de l'Etat dès 1974 que la France s'équipe massivement de téléphones sur **un réseau filaire en cuivre**.

- Ce début du 21<sup>e</sup> sera marqué par « **Le Plan Très Haut Débit** » souhaité par l'Etat (avec la Fibre pour TOUS et sur TOUT le territoire), et par **l'arrêt du réseau cuivre** au terme de 50 ans de présence de fonctionnement ou de bons et loyaux services

# Pourquoi abandonne-t-on le cuivre ?

- **Les quatre raisons à la fermeture du cuivre sont d'ordre :**
  - **Sociétal** : les usages sont en évolution et plus nombreux, d'où un **besoin croissant en débits et fiabilité**.
  - **Technique** : le Plan France Très Haut Débit est garant d'un accès pour tous au **réseau le plus performant et résilient**.
  - **Economique** : la volonté de **mettre fin à un empilement de réseaux** qui additionne les coûts d'entretien et de maintenance.
  - **Environnemental** : par la mise en place de réseaux plus performants et moins énergivores (de leur création jusqu'à leur utilisation). Une étude présente **la fibre comme 3 fois moins énergivore que le cuivre** (étude économique 2020, publiée par la Fédération Française des Télécoms).



# Tous concernés par la fermeture du réseau cuivre



- **Ayant atteint aujourd'hui ses limites en termes de débits et de fiabilité, le réseau cuivre s'arrêtera d'ici à 2030 ....**

La fermeture du réseau cuivre (xDSL/RTC) sera progressive, par lots annuels de plusieurs communes et se fera en deux étapes, commerciale et technique, avec la perspective d'une substitution de la BL cuivre par le FttH.

Tous les utilisateurs (Grand Public et Entreprises) qui disposent d'une offre sur support cuivre sont concernés.

- **Les impacts de la fermeture de la Boucle Locale Cuivre interrogent à tort ou à raison encore certains utilisateurs finaux ....**
  - Ces derniers, qui disposent encore d'offres (xDSL/RTC) sur support cuivre (téléphonie RTC [usages voix], services Internet [ADSL, SDSL, Liaisons Louées], usages spéciaux pour la GTB, alarmes, etc.), restent parfois interrogatifs quant au **maintien de leurs services en condition opérationnelle**.
  - Crainte que le rythme annoncé pour l'arrêt des lots et leur taille en vitesse de croisière (10,5 M) puisse occasionner des coupures de services, notamment parmi ceux qui n'auraient pas anticipé la migration cuivre vers FttH par exemple (0,5% = 52 500 incidents).



# PRÉSENTATION DU GUIDE



## **La fermeture du réseau cuivre dans le parc immobilier existant**



# Tout un écosystème concerné par le contenu de ce guide ...



## ▪ A qui s'adresse-t-il ?

- Son **approche vulgarisée** du sujet se veut accessible par **tous les acteurs concernés par la fermeture du réseau cuivre**; y/c les acteurs amenés à réfléchir à la transition du cuivre vers des alternatives en fibre optique;



## ▪ Quelle en est son ambition ?

- Être un outil pédagogique et informel, un **recueil de recommandations technologiques** et de **propositions de solutions garantes du maintien des services existants** via le tout IP sur la fibre;
- Il vise à **décrire la fermeture du réseau cuivre et ses impacts sur le maintien en condition opérationnelle de certains usages et services**, notamment en partie privative et commune;

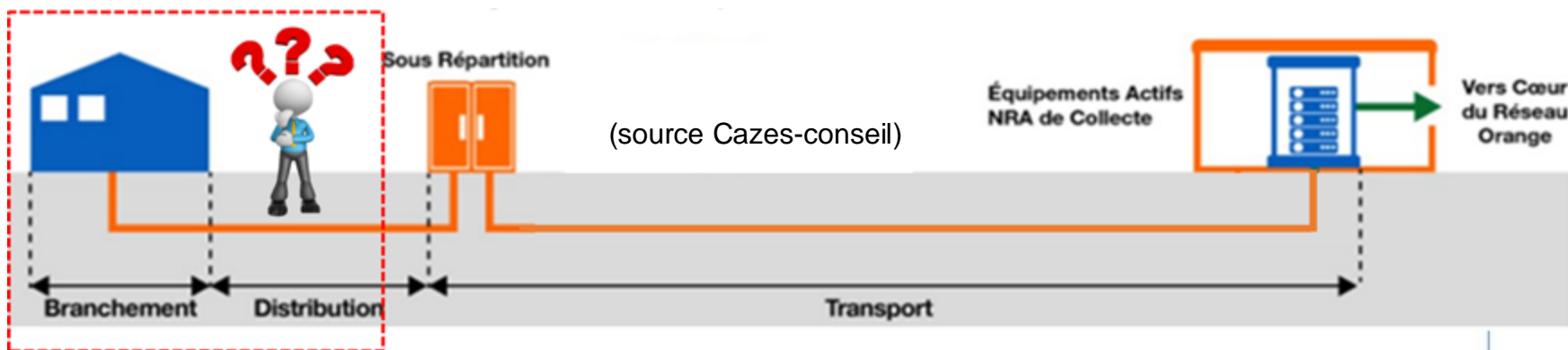


# Acteurs de l'immobilier, préparez-vous à la fermeture du réseau cuivre ...



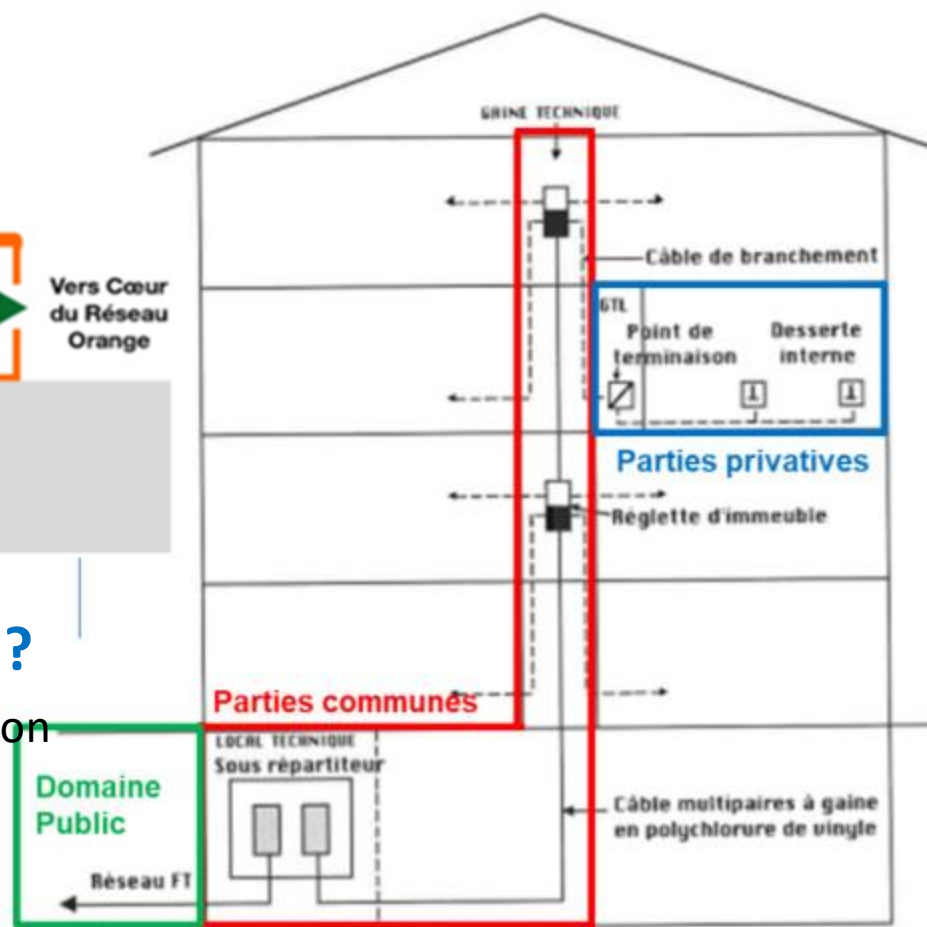
- **Quel est le champ d'application de ce guide ?**

- Il propose une vision « **fin de la chaîne du réseau** » tout en apportant des réponses techniques concrètes aux **clients finaux, propriétaires et gestionnaires du parc immobilier, opérateurs de la GTB**;



- **Quel rôle des acteurs de l'immobilier dans ce projet ?**

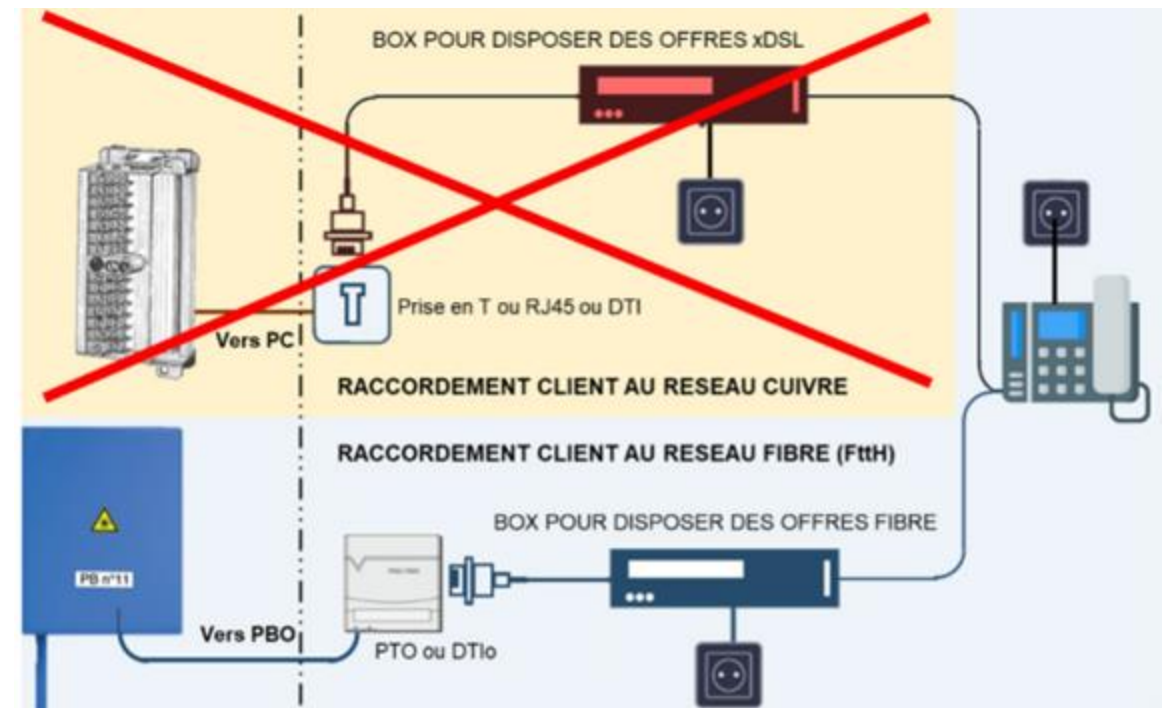
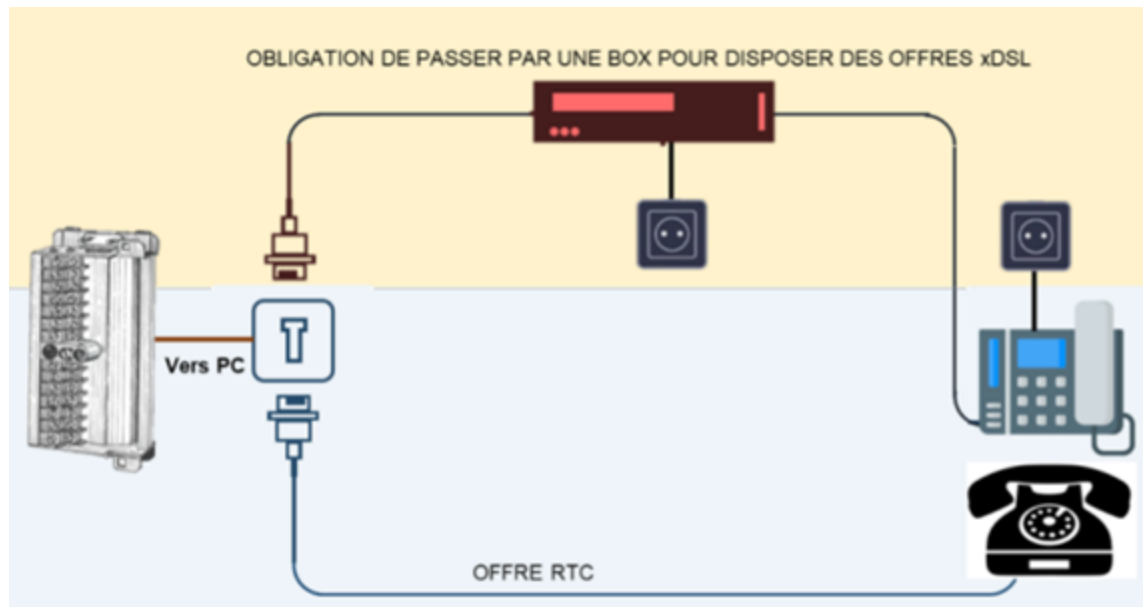
- Anticiper la migration des services de la GTB des immeubles en gestion vers la fibre optique ou autres solutions alternatives
- Encourager les occupants des immeubles gérés à migrer sur le FttH



Une synthèse du guide en 8 pages, avec les bons éléments de langage, est disponible pour les acteurs de l'immobilier qui souhaitent informer et accompagner leurs clients dans la migration cuivre vers fibre.

# Les impacts de la migration des usages dans le parc immobilier

- **Au fil des années et des besoins, la technologie RTC a progressivement laissé sa place à la technologie IP**
  - Avec l'arrêt du cuivre (y/c du RTC) faisant suite au déploiement massif du FttH, une migration vers la fibre, ou une autre technologie (sur réseau mobile ou via satellite pour certains services de la GTB) doit être réalisée pour conserver l'usage des services portés par le réseau cuivre (téléphone et/ou Internet et/ou télévision);
  - Quelques impacts sur l'installation dite "passive" (au niveau des câblages, matériels intermédiaires et d'extrémité)

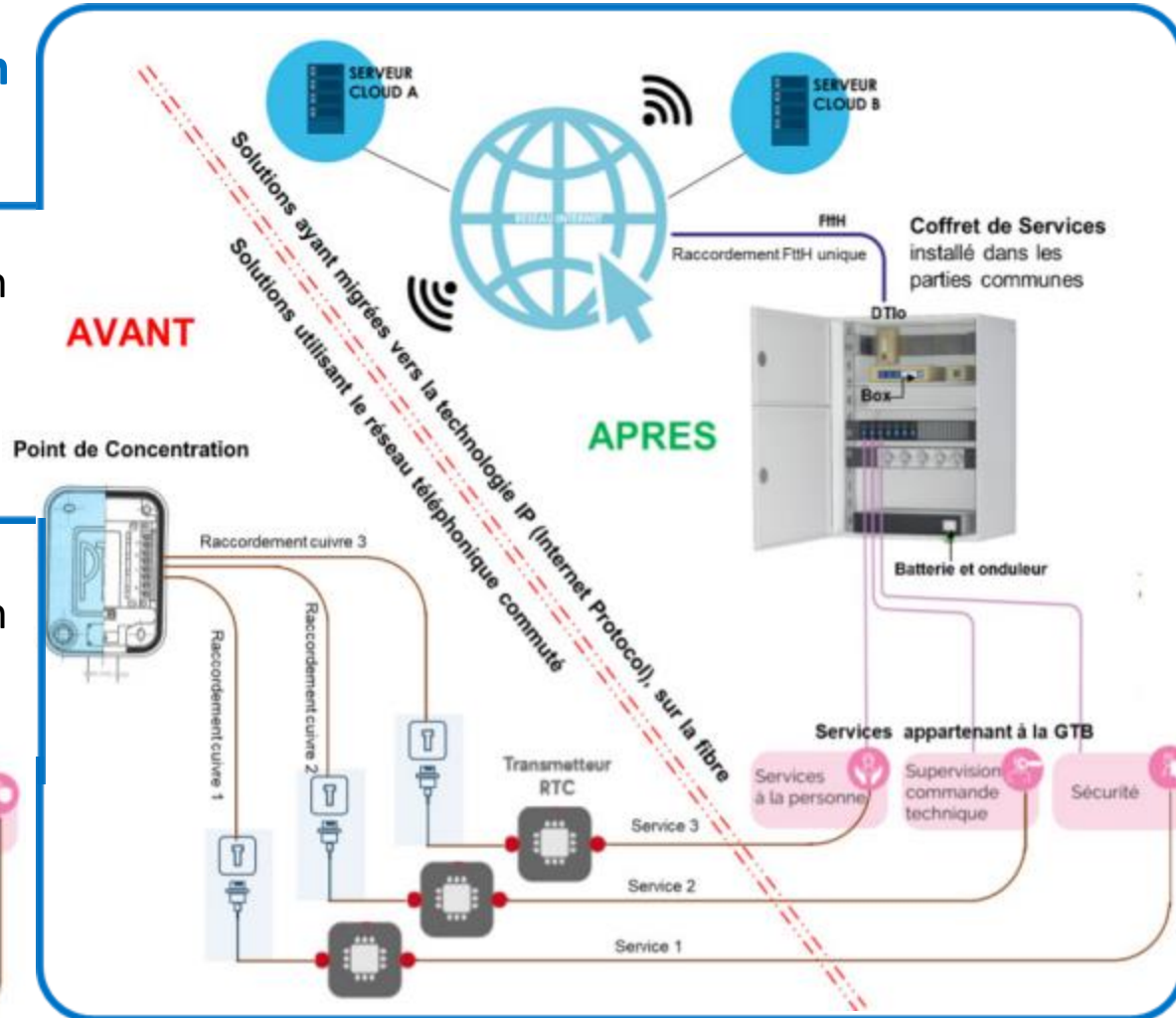
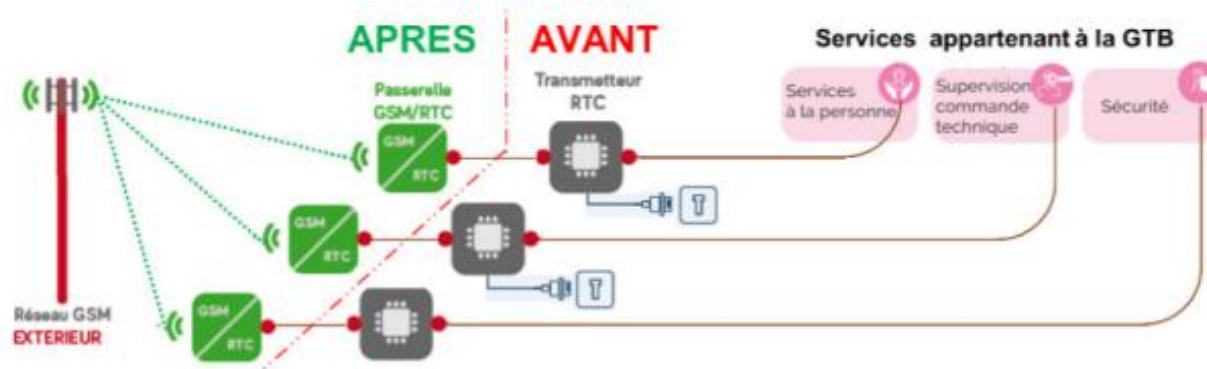


# Les impacts de la migration des usages dans le parc immobilier (suite)

- Prise en compte de différentes options de migration des services dit « généraux » ou de la GTB

➤ passer d'une solution analogique cuivre vers une solution IP fibre

➤ passer d'une solution analogique cuivre vers une solution cellulaire





# Un guide sous la forme d'un parcours immersif dans le chantier de l'arrêt du cuivre



- Lever les freins à la réussite d'un tel projet passe par une connaissance précise du chantier et la maîtrise de chacune des étapes de sa mise en œuvre et ses conséquences

## LA BL CUIVRE, C'EST QUOI ?

Ensemble des câbles aériens et souterrains, des matériels et de la paire de fils arrivant chez l'utilisateur

## LE PLAN DE FERMETURE DU CUIVRE

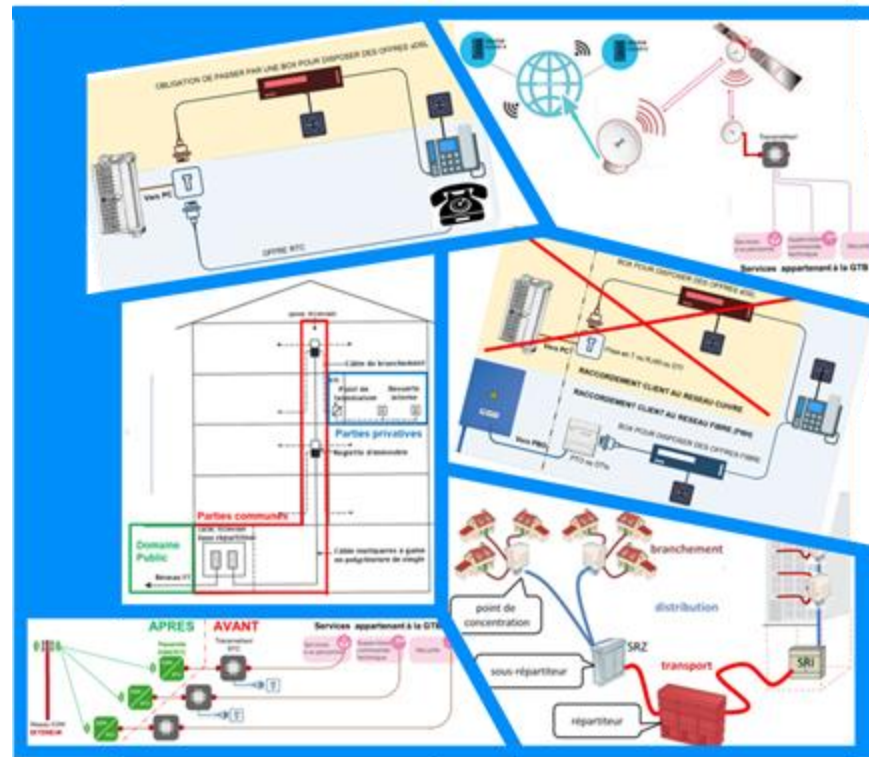
Progressif, par lots annuels de plusieurs communes, se fera en deux étapes : commerciale et technique

## LE POURQUOI D'UNE MIGRATION DU CUIVRE VERS LA FIBRE

Quatre raisons : Sociétale – Technique – Économique – Environnementale

## LE PRÉREQUIS À LA FERMETURE TECHNIQUE DU CUIVRE

L'arrêt du cuivre reste conditionné à la présence d'une offre alternative.



## LES SERVICES SUPPORTÉS PAR LE RÉSEAU CUIVRE CONCERNÉS

Téléphonie RTC [usages voix], services Internet [xDSL, LL], usages spéciaux [GTB]

**QUELS IMPACTS TECHNIQUES DE LA MIGRATION DES USAGES ?** L'arrêt du cuivre implique une migration vers la fibre, ou une autre technologie pour un MCO

**MIGRATION DES SERVICES EN PARTIES PRIVATIVES** Dès lors qu'un câble en fibre optique est installé; une nouvelle box vient compléter l'installation

**MIGRATION DES SERVICES GTB** Passer d'une solution analogique avec un principe de télé-alimentation, impose la mise en place d'équipements complémentaires

Dès aujourd'hui, rendez-vous sur ... [www.cercle-credo.com](http://www.cercle-credo.com)



CERCLE  
CREDO



## DÉBAT PARTICIPATIF

Animé par : **Didier CAZES**

**Slido.com**  
Code : **RDVFibre**



**Christophe LEVREL**

Expert, **ARC Services** (Association des responsables de copropriétés)



**Corinne DI FANT**

Directrice du Pilotage des Infrastructures Cuivre, **Orange France**

## Une discussion en 4 temps ...



I. Quels sont les prérequis auquel l'OI Cuivre s'est attaché pour la garantie d'une conduite sans failles d'un chantier d'envergure comme l'arrêt du réseau cuivre ?



II. A l'annonce de l'arrêt du réseau cuivre, quelles sont les premières réactions constatées sur le terrain ?



III. Quelles seront les garanties du maintien en condition opérationnelle des services dans le parc immobilier ?



IV. Quelles sont les rôles des parties prenantes pour la réussite de cette transformation technologique ?

## Une discussion en 4 temps ...



I. Quels sont les prérequis auquel l'OI Cuivre s'est attaché pour la garantie d'une conduite sans failles d'un chantier d'envergure comme l'arrêt du réseau cuivre ?



II. A l'annonce de l'arrêt du réseau cuivre, quelles sont les premières réactions constatées sur le terrain ?



III. Quelles seront les garanties du maintien en condition opérationnelle des services dans le parc immobilier ?



IV. Quelles sont les rôles des parties prenantes pour la réussite de cette transformation technologique ?



## Une discussion en 4 temps ...



I. Quels sont les prérequis auquel l'OI Cuivre s'est attaché pour la garantie d'une conduite sans failles d'un chantier d'envergure comme l'arrêt du réseau cuivre ?



II. A l'annonce de l'arrêt du réseau cuivre, quelles sont les premières réactions constatées sur le terrain ?



III. Quelles seront les garanties du maintien en condition opérationnelle des services dans le parc immobilier ?



IV. Quelles sont les rôles des parties prenantes pour la réussite de cette transformation technologique ?

## Une discussion en 4 temps ...



I. Quels sont les prérequis auquel l'OI Cuivre s'est attaché pour la garantie d'une conduite sans failles d'un chantier d'envergure comme l'arrêt du réseau cuivre ?



II. A l'annonce de l'arrêt du réseau cuivre, quelles sont les premières réactions constatées sur le terrain ?



III. Quelles seront les garanties du maintien en condition opérationnelle des services dans le parc immobilier ?



IV. Quelles sont les rôles des parties prenantes pour la réussite de cette transformation technologique ?



CERCLE  
CREDO

**PAUSE**

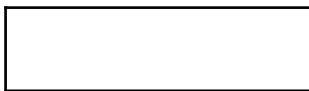
4

membres  
fondateurs





CERCLE  
CREDO



**Patrick CHAIZE**

Sénateur de l'Ain,

Président de l'Avicca, Vice-Président de la FNCCR





CERCLE  
CREDO

AVEC NOTRE PARTENAIRE :



ARUFOG

*Fiber optic expertise  
since 1986*

## 2ÈME PARTIE

**Les câbles fibre optique avec capteurs répartis :  
des capacités nouvelles pour les réseaux télécoms.**



CERCLE  
CREDO

## Code WIFI

Réseau : **CDC-WIFI-PUBLIC**

Login : **rdvfibre2024**

Mot de passe : **rdvfibre2024**



**Slido.com**  
Code : **RDVFibre**

## Slido

Posez vos questions !





CERCLE  
CREDO

AVEC NOTRE PARTENAIRE :



**ARUFOG**

*Fiber optic expertise  
since 1986*

## MOT D'INTRODUCTION

**François-Antoine LERICHE**

Président

**ARUFOG**



CERCLE  
CREDO

AVEC NOTRE PARTENAIRE :



**ARUFOG**

*Fiber optic expertise  
since 1986*

## KEYNOTE

**La détection de contraintes intégrée  
dans les câbles télécom à fibre optique**

**“ L’état de l’art en 2024 ”**

**André CHAMPAVERE**

Expert technique et scientifique, Président de **GuidOptiX**  
Créateur de l’initiative **GO2S**, Président d’honneur de **l’Arufog**

**Slido.com**  
Code : **RDVFibre**

# Motivation

**TLC** - Plus de 999 999 999 km de Câbles fibre optique Telecom déployés dans le monde

**FOS** - Plus de 99,99% des Câbles des systèmes de capteurs fibres optiques avec des fibres Telecom

*L'innovation consiste à prendre deux choses qui existent et à les assembler d'une nouvelle manière.*

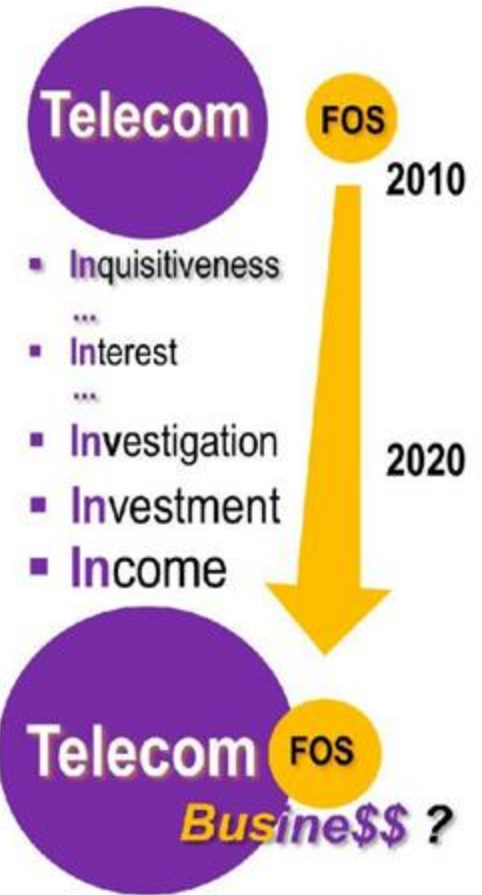
*"Innovation is taking two things that exist and putting them together in a new way" (Tom Freston, Co-founder of MTV)*

**TLC + FOS !** Opportunité d'ajouter des fonctions capteurs aux câbles Telecom.- GO2S 2009

*Dans le domaine de l'innovation, les idées germent et fleurissent mais le succès dépend du fruit de la récolte vendue.*

*"In the field of innovation, ideas germinate and flourish but success depends on the fruit of the harvest sold." (Kenttä ei vihreä, AJMM)*

**Challenges ? Opportunités ? Marché de niche ? Opportunité de diversification ?**





# Sommaire

I- Brève introduction aux capteurs sur fibre optique

II- « Communiquer et Détecter\* »: Capteurs répartis sur câbles Telecom

III- Différentes options

- Option ❶ Câbles Telecom **existants** avec fibre(s) en mode détection
- Option ❷ **Nouveaux** câbles Telecom embarquant une ou des fibres de détection
- Option ❸ **Infrastructure** avec **connexion** entre câbles Telecom et câbles capteurs auxiliaires (Comm.&Sense Node )

IV – Conclusion : Première comparaison

## Attention : Deux usages

- « Telecom » : Résilience du réseau fibre optique par surveillance de la fibre, du câble voire de son environnement
- « Capteurs fibre optique » : Surveillance de l'environnement du câble ( autres réseaux , infrastructures , sites , ....)

\* **COMM**unicate & **SENSE**



Initiative  
by

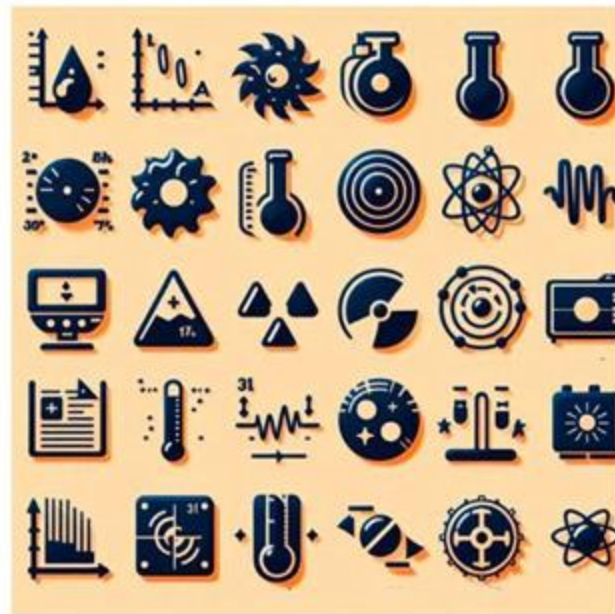


# 1- Principes de base des capteurs fibre optique



# Détection par fibre optique : Que peut-on détecter ou mesurer ?

- Température
  - Contrainte mécanique
  - Vibration
  - Son
  - Pression,
  - Débit
  - Humidité
  - Niveau de liquide
  - Présence de gaz,
  - Radiation
- pH
  - Force
  - Composants chimiques
  - Déplacement
  - Rotation
  - Vitesse
  - Champs magnétiques
  - Accélération
  - ...
  - et autres à venir



Presque tous les mesurandes physiques directement ou indirectement



# Différents types et leurs impacts sur les infrastructures



Capteurs FO  
ponctuels

🚧🚧  
Nécessite des connexions aux  
deux extrémités de la liaison  
fibre optique



Capteurs quasi-  
répartis

🚧🚧🚧🚧  
Nécessite de multiples  
interventions à des endroits  
prédéfinis le long de la fibre.



Capteur FO  
répartis (Un seul  
côté)\*

🚧 **A priori, moins invasif**

Nécessite une connexion à une seule extrémité.  
Flexibilité en termes de localisation des points de  
détection. Moins d'approbations de construction  
indispensables de la part de diverses autorités  
La seule pour l'usage « Résilience du réseau »

- "Duplex single-ended" et "double-ended DFOS" nécessitent deux fibres. Le "Dual-source single-ended DTS", moins invasif car ne nécessitant qu'une seule fibre. Certains DTSS utilisent une fibre supplémentaire pour décorrélérer déformation/température. D'autres DTSS utilise un traitement logiciel pour la décorrélation sur une seule fibre.



# Détection par fibre optique : Quels sont les principaux avantages ?

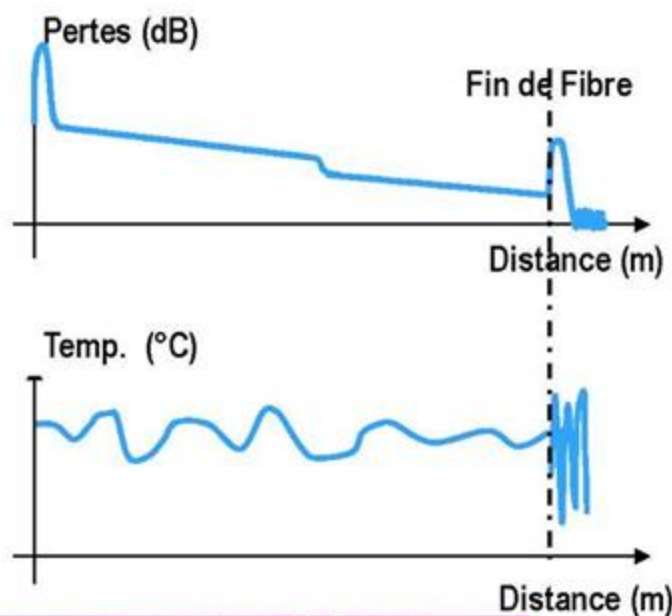
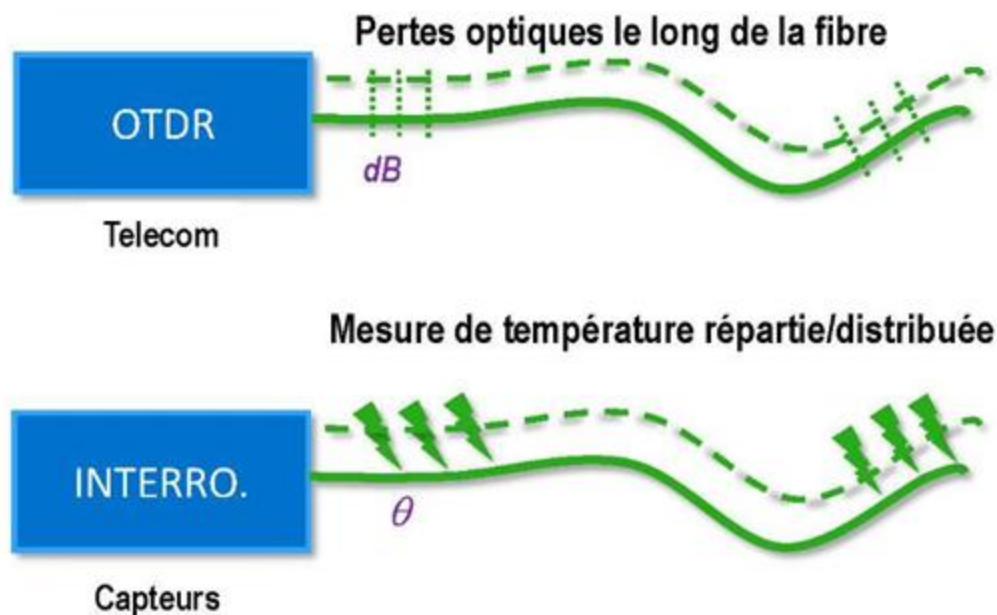
- ✓ Détection distribuée (Un système = 1000..10000+ points de détection le long d'une seule fibre)
- ✓ Détection distribuée en distance ( 100m ..100km+ ) → Infrastructures, sites .., territoires, ...
- ✓ Sûre et adaptée à une utilisation dans des environnements difficiles
  - Capacités de télédétection ( interrogation à distance)
  - Immunité aux EMI (interférences électromagnétiques) et aux RFI (interférences radiofréquences).
  - Tolérance aux températures élevées (capteur passif)
  - Tolérance aux rayonnements ionisants
  - Transmission sécurisée des données de détection ( optique guidée)
- ✓ Bénéficie de l'expérience, de l'infrastructure et des technologies télécoms
- ✓ ...



# Exemple typique de capteurs à fibre optique répartis/distribués

Basé sur le même principe que les OTDR télécom.

- Envoi de signaux de lumière dans une fibre.
- Détection sur la même extrémité et analyse des signaux renvoyés par la fibre.
- Traitement et Affichage des résultats répartis tout au long de la fibre en convertissant le temps de vol en distance





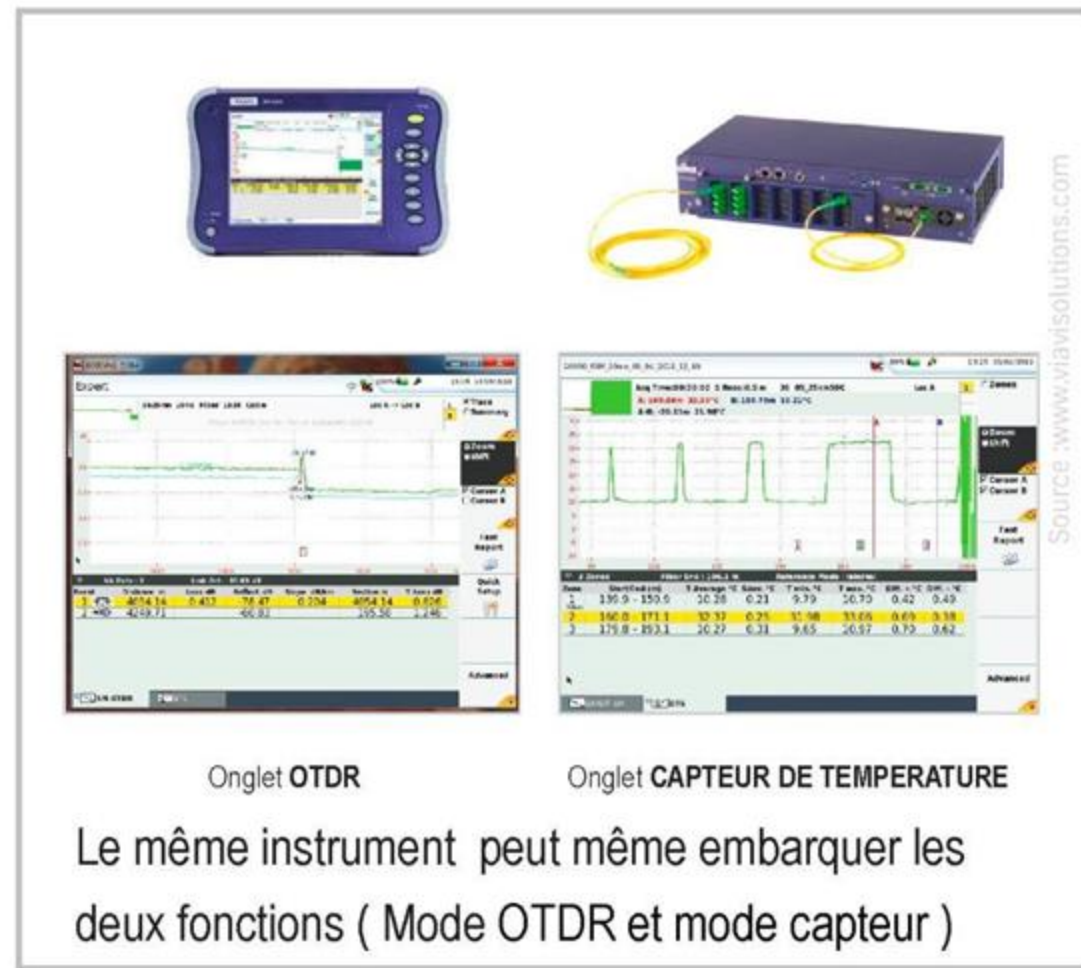
# Détection de température distribuée (DTS), un environnement familier

L'interrogateur (DTS), un OTDR qui analyse l'amplitude des signaux optiques retournés par la fibre à certaines longueurs d'onde\* différentes de la sienne.

L'interrogateur de température est donc très similaire à un OTDR utilisé sur le terrain en Télécom.

Les Interrogeurs DTS existent au format instrument rackable voire sous la forme d'appareils portables autonomes.

Performances sur fibre monomode: Typiquement  $\approx 1\text{m}$  de résolution,  $1^\circ\text{C}$  de précision sur des km, portée jusqu'à 100km.



\* Stokes et Anti-Stokes Raman

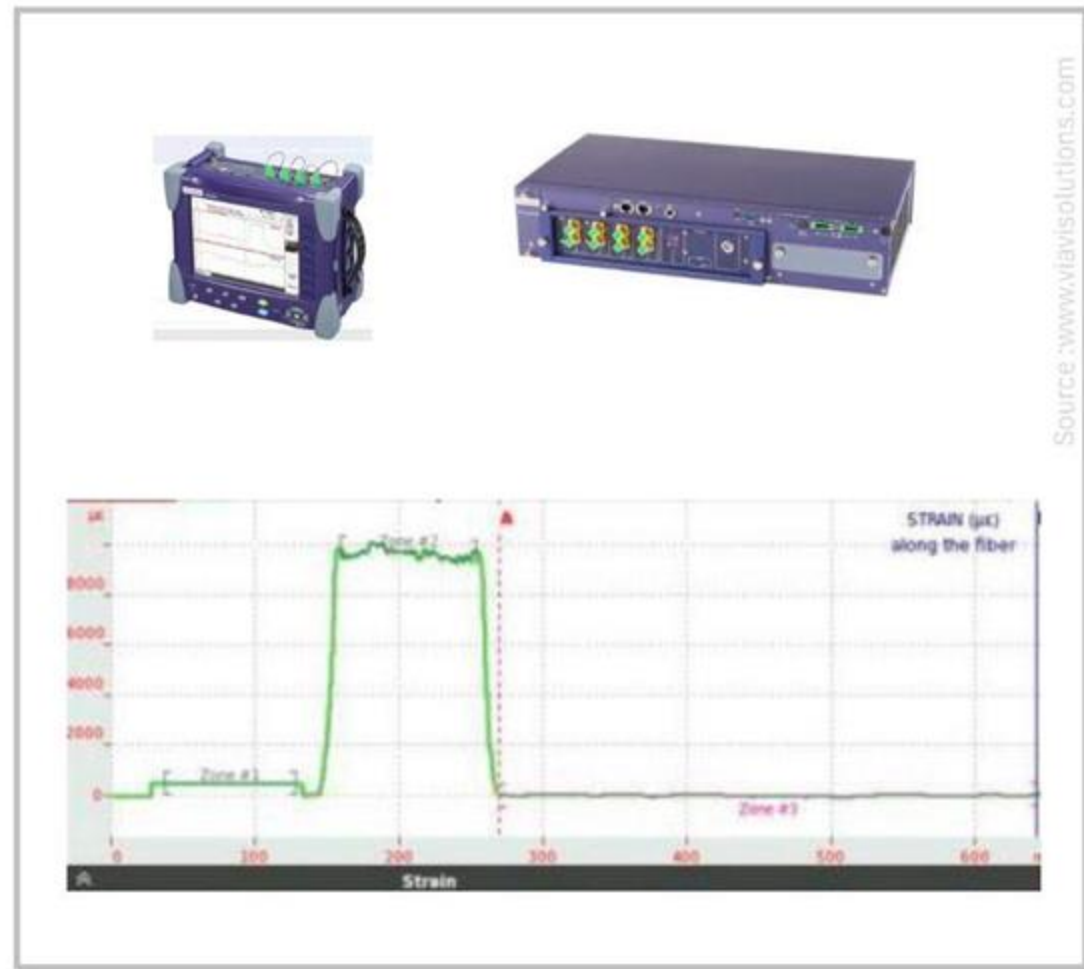
# DTSS: Un instrument plus complexe pour la température et/ou la contrainte

L'interrogateur (DSS), un OTDR qui analyse l'amplitude et la fréquence des signaux optiques renvoyés par la fibre à certaines longueurs d'onde\* différentes de la sienne.

Le DTSS est donc plus complexe qu'un OTDR télécom

La décorrélation température/déformation est obtenue soit par une méthode logicielle, soit par l'utilisation d'une fibre supplémentaire non soumise à la déformation.

Performances : Typiquement  $\approx 1\text{m}$  de résolution, quelques 0,001% de répétabilité sur une gamme de 4% d'élongation sur des km, portée jusqu'à 200km (fibre monomode)



\* Stokes et Anti-Stokes Brillouin

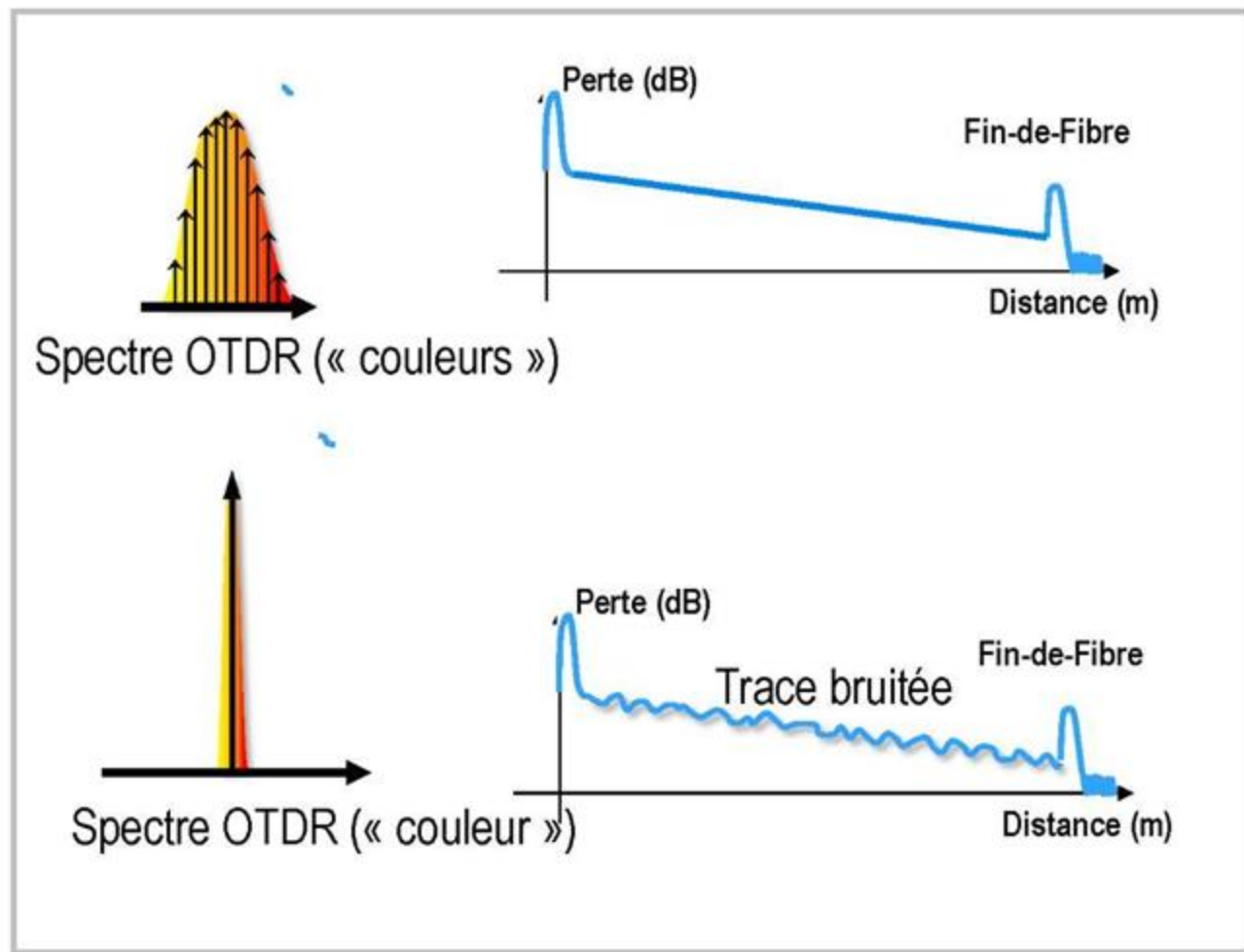


## Détection acoustique distribuée (DAS) : retour à l'OTDR

Le spectre d'un OTDR doit conserver une certaine largeur spectrale sinon du **bruit apparaît sur la trace** et il ne diminue pas avec le temps de mesure.

Avec **un spectre trop étroit**,

- si la fibre n'est pas perturbée par un stimulus extérieur (contrainte, vibration, ...), la **forme (signature) de ce "bruit" n'évolue pas dans le temps**
- Dans le cas contraire, ...

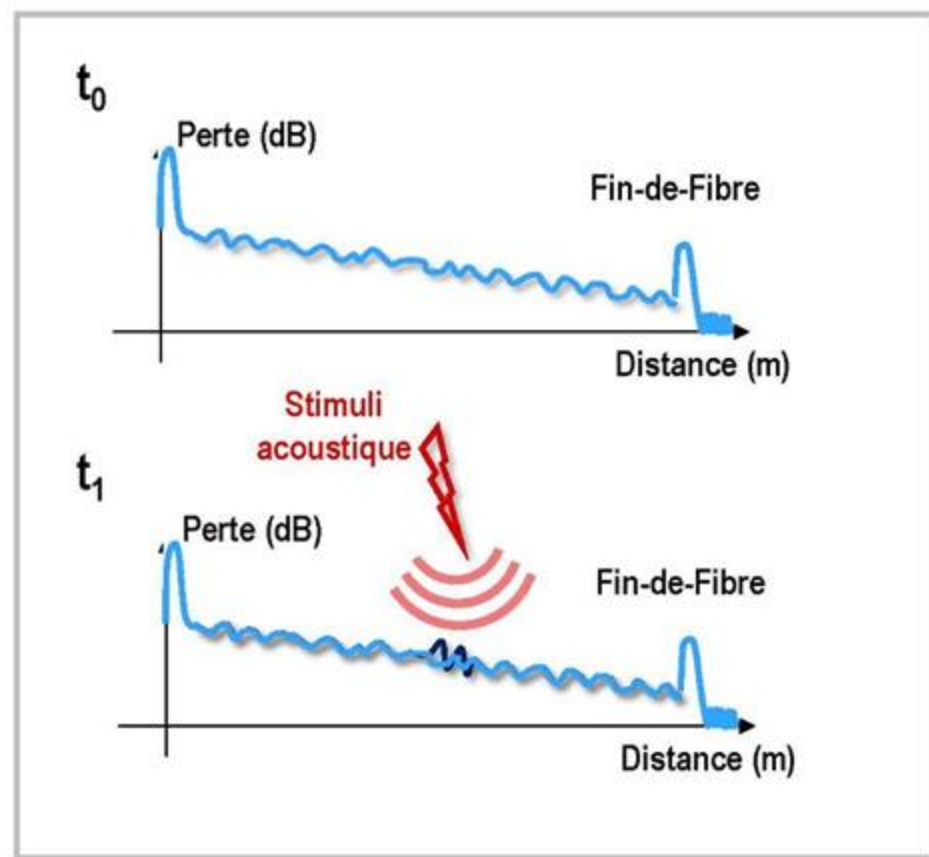


## Retour à la détection acoustique distribuée (DAS)

« *Le signal est en fait contenu dans le bruit* » :  
Ce bruit sur la trace *change de forme en cas de stimuli acoustiques* (signature différente).

La surveillance *des changements dans le temps* (amplitude, fréquence, phase) est le principe de base du DAS (détection acoustique distribuée)

La *bande passante acoustique maximum diminue avec la distance* (Typ.. Quelques centaines de Hz (100Km) à quelques centaines de kHz sur les courtes distances



Remarque : Bruit dû à l'interférence des signaux générés par les centres de rétrodiffusion Rayleigh le long de la fibre



[illegible]

A simple line drawing of a tunnel entrance. The tunnel is arched and has a small car inside. The car is facing away from the viewer, heading into the tunnel. The entrance is flanked by some rough, rocky ground.



# Exploration des infrastructures candidates capteurs FO

## ■ Télécommunications :

- Réseau Long & Ultra Long (Terre, transocéanique, etc.)
- Réseaux de territoires régionaux du Réseau métropolitain (MAN)
- Réseaux locaux (LAN), réseaux d'accès et de campus
- Centres de données
- FTTA, FTTH, FTTX

## ■ Infrastructures critiques

- Réseaux de transports intelligents (routes, voies ferrées, autoroutes, aéroports, ...)
- Smart Energies et réseaux d'eau
- Militaire et Défense
- Réseaux de santé, de sécurité publique (communication d'urgence)
- Réseaux financiers : réseaux de trading haute fréquence
- Réseaux d'entreprise (LAN et WAN d'entreprise)

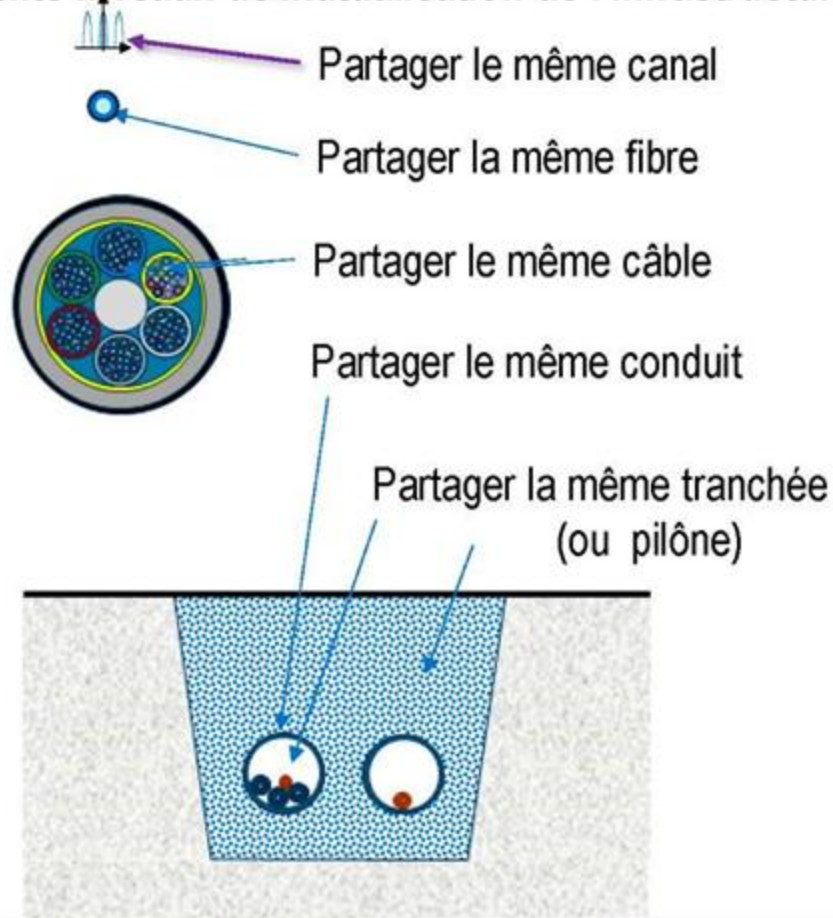
- Réseaux industriels - Systèmes de contrôle de fabrication et de processus
- Villes, Territoires (smart grids, surveillance et gestion du trafic) et Bâtiments
- Industrie pétrolière et gazière : Réseaux de communication sous-marins et terrestres (exploration et production Transport)
- Sites de recherche fondamentale : CERN, ...



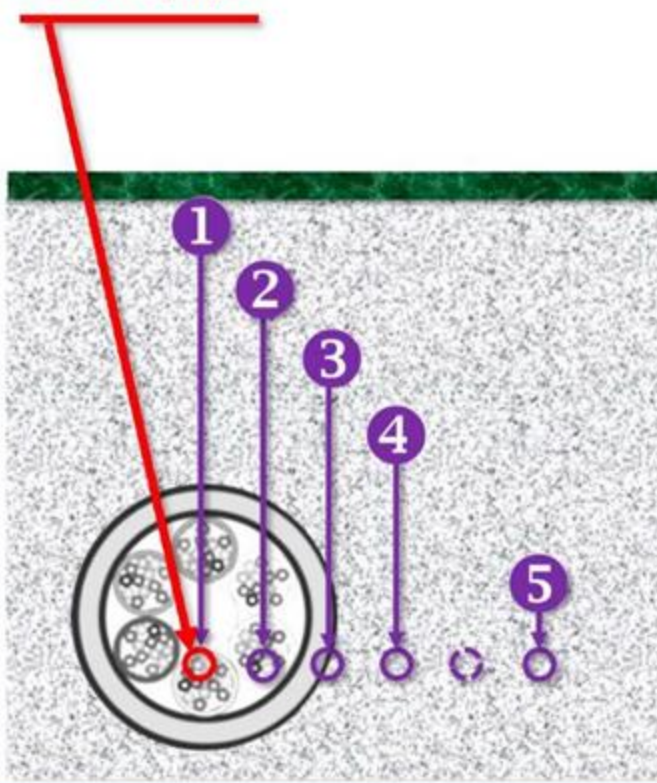
## II- Comm.&Sense: Capteurs répartis ( distribués) sur câbles Telecom



## Différents niveaux de mutualisation de l'infrastructure



L'interaction entre le mesurande ( température, contrainte, pression acoustique, ...) et le **signal optique** s'effectue dans la **fibre optique**



La cible peut être :

- 1 la fibre elle-même
- 2 La structure du câble
- 3 L'interface câble/milieu
- 4 Le milieu environnant
- 5 Voir une source éloignée

Note : Les fibres multicœurs ne sont pas vraiment déployées mais pourraient être de bons candidats pour le Mux. spatiale Télécom & Capteur . Dans le cas de communications cohérentes, de nouvelles techniques permettant de partager le même canal sont proposées

### III- Comm.&Sense :

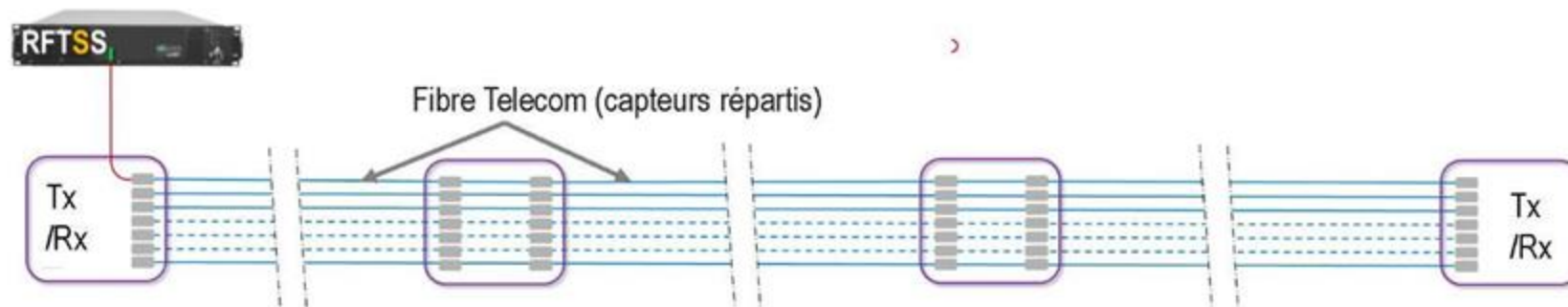
Analyse de trois options possibles



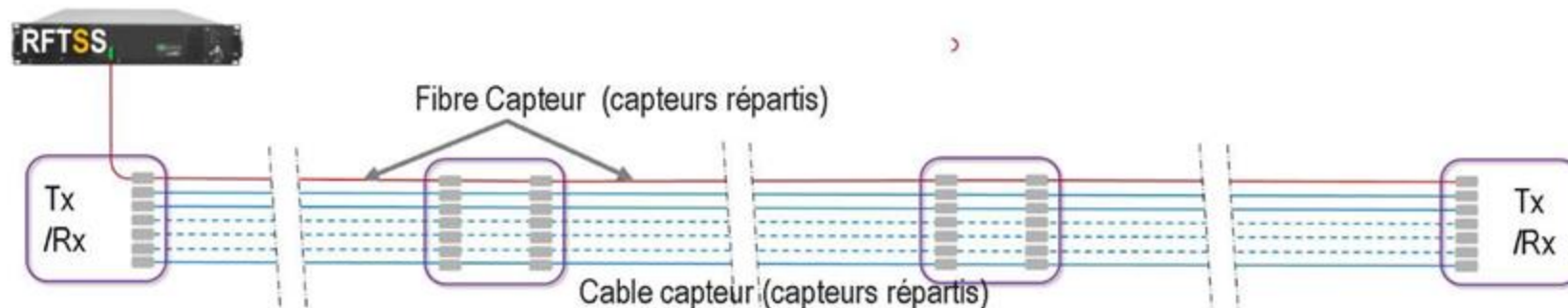


# Les options Comm.&Sense présentées

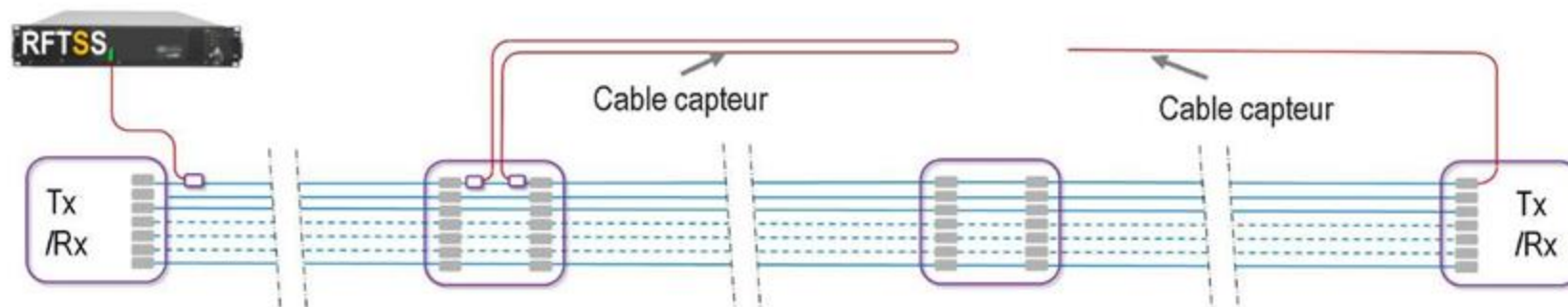
**1** C&S avec câbles Telecom existants



**2** C&S avec nouveaux câbles Telecom C.&S.



**3** Option C&S avec combinaison câbles Telecom existants et câbles capteurs existants ( ou futurs ) ”

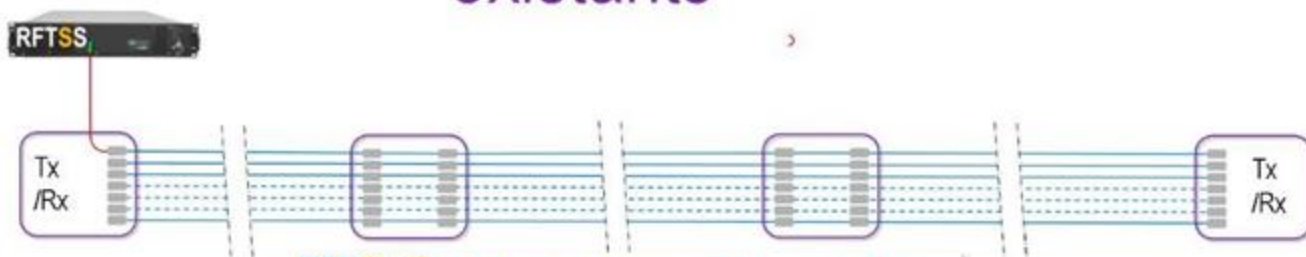


© 2024 – Andre Champavere GuidOptiX

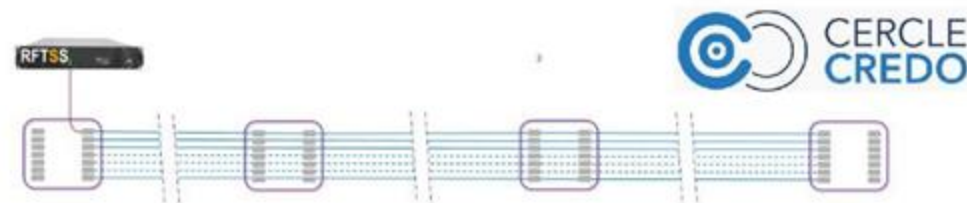




## Option ① Comm.&Sense avec câbles Telecom existants



## Option ❶ - FOS sur câbles déployés :



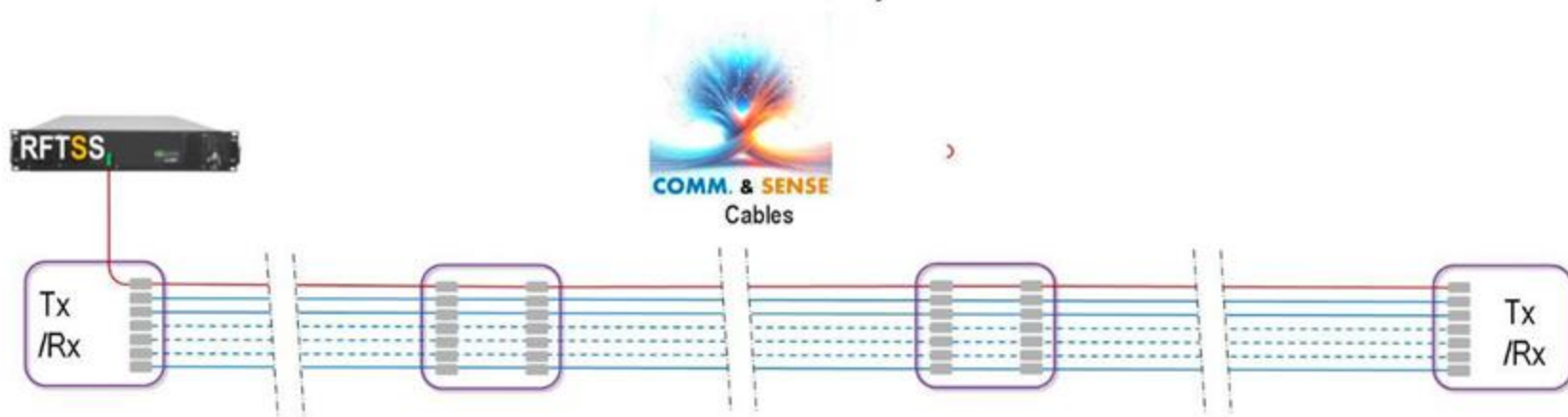
### Commentaires de base :

- Idéal si on ne s'intéresse qu'à ce qui se passe dans la fibre optique ( caractérisation)
- Infrastructures non conçues pour FOS, les performances en mode capteur peuvent ne pas être optimales ( structure et tracé du câble)
- Le couplage à l'environnement du câble, un paramètre important ( ex.: contrainte).
- Les solutions réparties semblent les moins intrusives pour l'infrastructure réseau
- Voir au-delà des spécifications : testez avant d'investir
- Des interrogateurs commerciaux sont disponibles et vous avez la fibre.
- Privilégier d'abord les applications FOS identiques ou proches de celles qui fonctionnent déjà (NIH)
- Surveillance des câbles fibre au delà des pertes optiques pour sécuriser les réseaux de données sensibles (ex.: RFTSS\*)

\* RFTSS : Remote Fiber Test & Sensing Systems



## Option ② Comm.&Sense avec nouveaux câbles Telecom ( cas d'application mesure de contrainte)





## LA TENSION ÉLEVÉE, UN DANGER SILENCIEUX

- La bonne santé de votre réseau est vitale pour vous et vos clients
- Vous redoutez les problèmes de circulation du flux de données dans les artères Telecom
- Vous craignez des interventions lourdes, longues, coûteuses voire le pire
- Prenez et contrôlez la tension des câbles



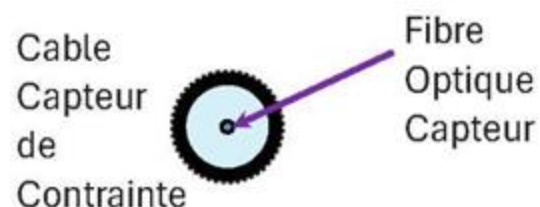
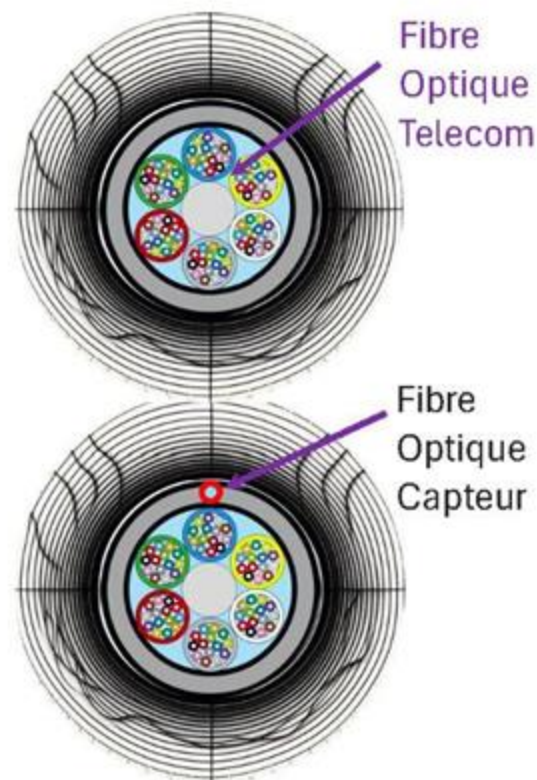
Campagne de « dépistage »



## Option ② Câble fibre optique utilisé pour les applications capteurs

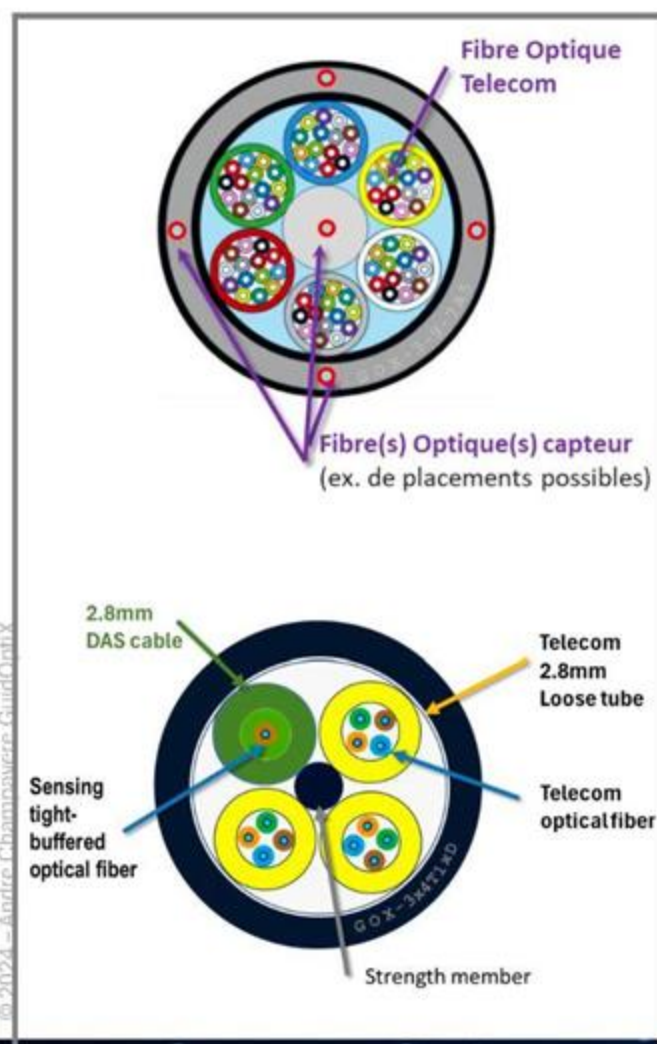
« Ce qui compte dans ce cas , c'est l'environnement du câble, pas le câble lui-même »

- ❑ Basé sur les câbles FO télécom conventionnels : (Option ①)
  - Une fibre existante dans un câble de télécommunication pour détecter les changements dans l'environnement du câble.
- ❑ Basé sur un nouveau câble Comm.&Sense: (Option ②)
  - Une fibre de détection dédiée intégrée dans la structure du câble pour surveiller l'environnement externe autour du câble.
- ❑ Basé sur un câble capteur *Sense Only*:
  - Un câble de détection avec uniquement une ou quelques fibres spécialement développé pour surveiller l'environnement externe (sévère) autour du câble.





## Option ② Câbles Comm.&Sense (Compromis entre deux technologies)



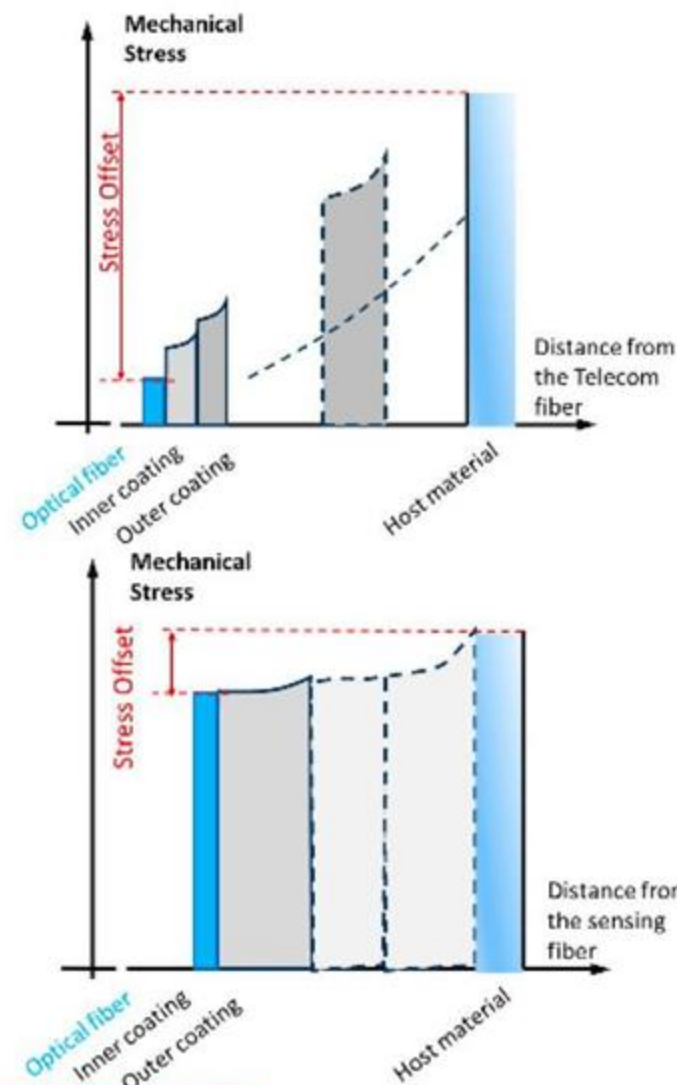
### Câbles Telecom

Structurés pour garantir à la fois, une faible perte optique et pour isoler les fibres optiques des contraintes extérieures



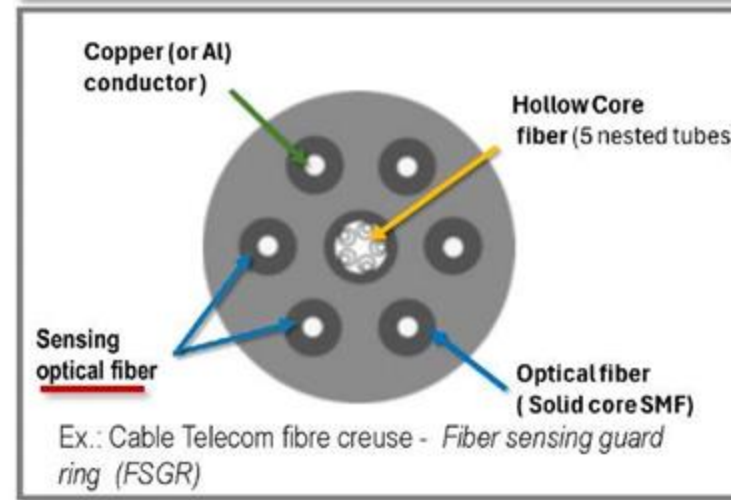
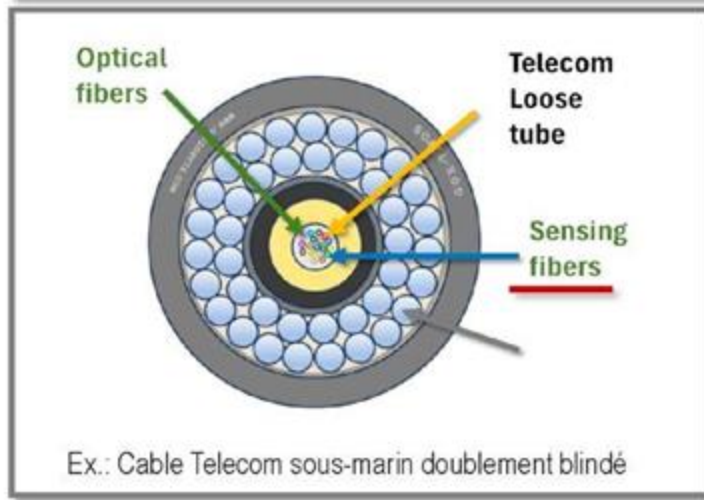
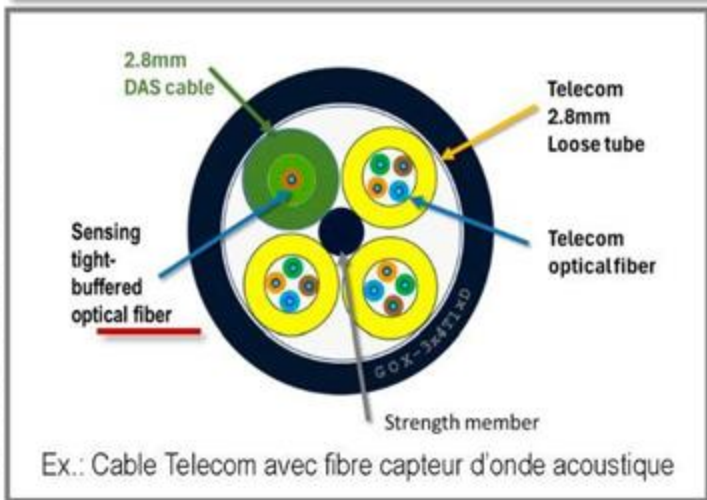
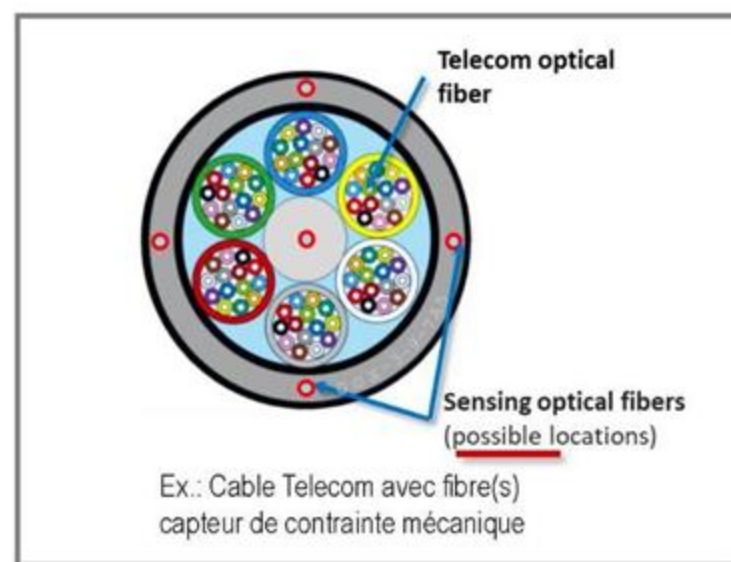
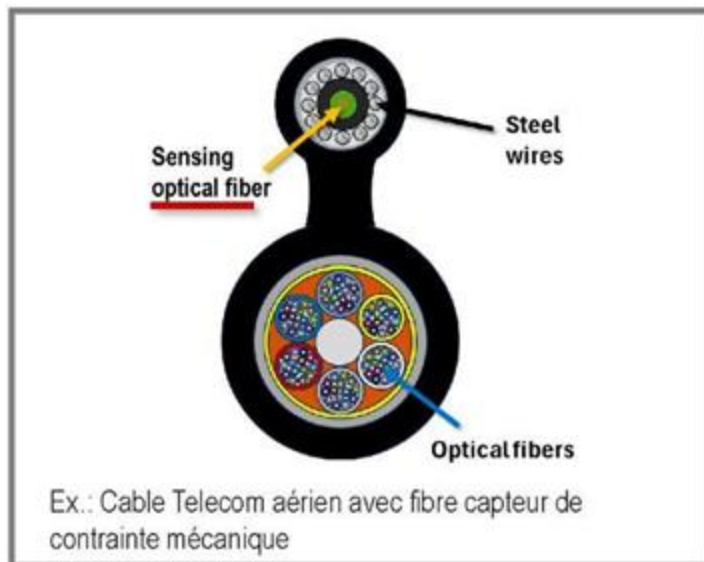
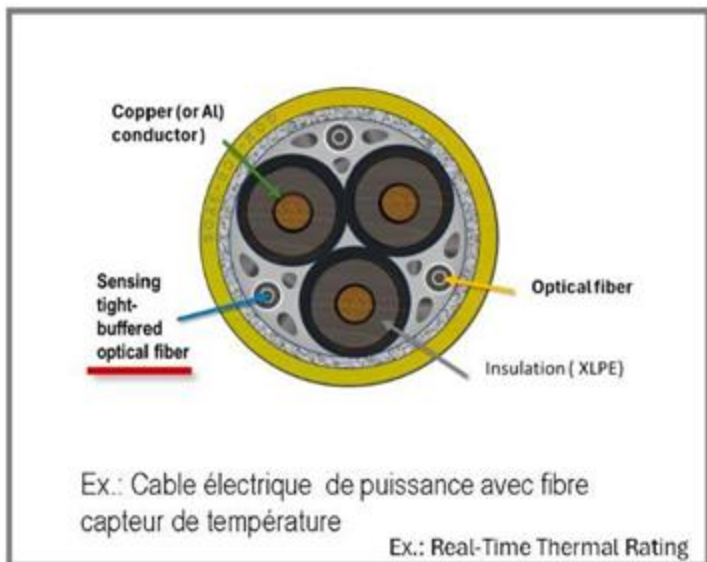
### Câbles capteurs répartis

Structurés pour garantir à la fois, une faible perte optique et un transfert optimal des paramètres mesurés pendant une longue période et dans des conditions difficiles.





# Option ② Capteur réparti/distribué intégré (Aujourd'hui et peut-être demain)



## Option ② : Premiers éléments techniques du Challenge

- Intégration dans la **structure** du câble et dans son **processus de fabrication**:
  - Sans affecter les performances et la **fiabilité** du câble en transmission
  - Avec le minimum d'impact sur le coût de fabrication
  - Qualification du câble , normalisation

Plus particulièrement dans le cas de **capteurs répartis de contrainte**

- Structure du câble pour des fibres capteurs
  - avec un bon **transfert des contraintes extérieures**
  - Mais auxquelles **elles doivent résister**
- Coût de fabrication
- Accessibilité/facilité du raccordement optique

Et toujours , le challenge du **volume et de l'analyse** des données



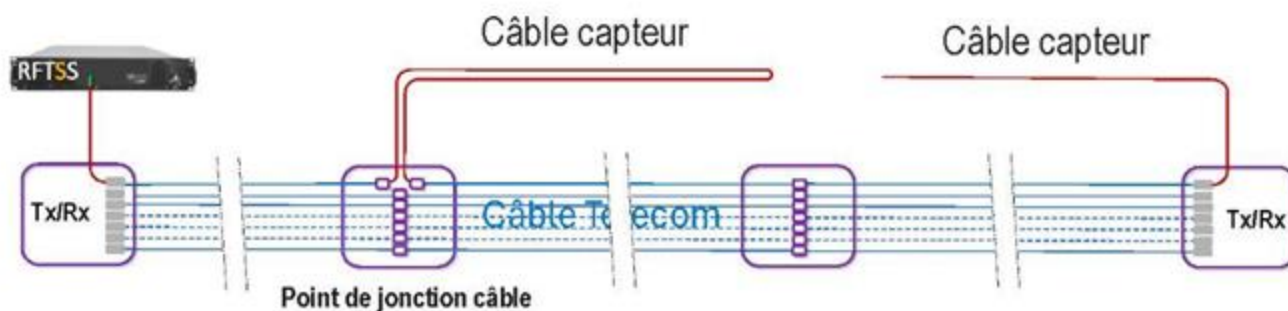
**BUSINESS\$  
CASE**

[1] : **Importance du type, du revêtement, des matériaux et de la géométrie des composants** du câble à fibre optique

« Optical Fiber Sensing Cables for Brillouin-Based Distributed Measurements Sensors » : By Filippo Bastianini and Al . Sensors 2019



## Proposition ③ : *Comm.&Sense* *Combinaison de câbles Telecom et de câbles capteur*



*Communication Infrastructure with Built-in FOS Node and Network's Auxiliary Fiber Optic Sensors by GuidOptiX*

## Option ③ Combinaison des deux , la complémentarité sans compromis

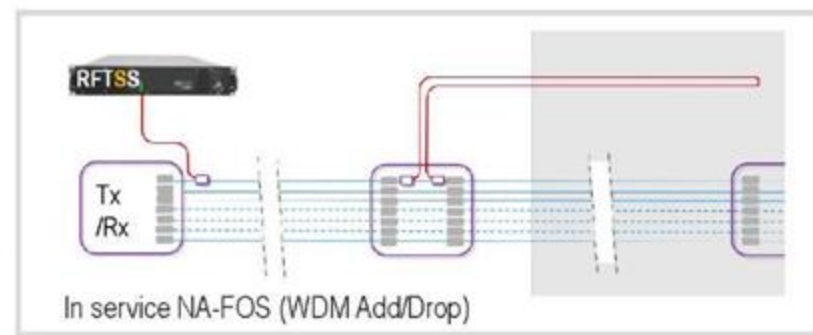
### Câbles Telecom :

- déployés existants ou futurs
- utilisés ou non en mode capteur (intrinsèque)
- Servant de déport de câbles capteurs

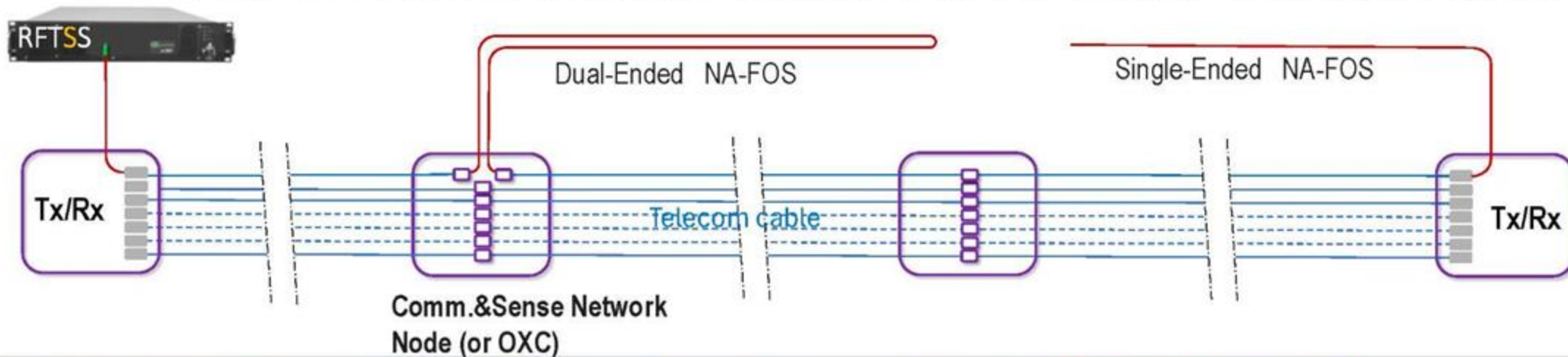
### Câbles capteurs déportés connectés aux points d'accès au réseau Telecom

- disponibles commercialement ou futurs
- positionnés uniquement sur les zones d'intérêt ( température , contraintes, vibration, ...)

*Note : Installation possible par étapes et évolution possible*



### Comm.&Sense Infra : Communication Infrastructure with Built-in FOS Node and Network's Auxiliary Fiber Optic Sensors





## Option ③ Combinaison de câbles Telecom et de câbles capteur”

- Compatible avec l'infrastructure Telecom déployée (Utilisation des câbles existants et des points de connexion optique existants, normes Telecom )
- Compatible avec les câbles capteurs existants ( plus de câbles mais uniquement sur les zones d'intérêt)
- Compatible avec les systèmes de monitoring de réseau fibre (RFTS) pour étendre le monitoring aux câbles capteurs
- Performances optimales des deux cotés (câbles Telecom et câbles capteurs)
- Monitoring des câbles ( In situ sensing) et monitoring de l'environnement
- Evolutivité : Possibilité de débiter par une 1<sup>ère</sup> étape surveillance du câble Telecom par une de ses fibres ( Option 1) puis une 2<sup>ème</sup> avec l'ajout de câbles capteurs
  - Possibilité d'utiliser de nouveaux câbles Telecom intégrant des fibres capteurs (Option 2)
  - Extension des systèmes de monitoring de câble optique avec intégration des interrogateurs ( RFTSS )
- Temps de mise sur le marché ( TTM) réduit car tout existe
- MAIS les câbles capteurs devront être déployés – Démarcation des responsabilités

*Preliminaire, analyse en cours ...*



### ③ Ex.: Usages Résilience des réseaux et surveillance de l'environnement (risques naturels ou d'origine anthropique)

Détection incendie (tunnel)

1

Surveillance intégrité structurelle (SHM) des ouvrages ( tunnel, mur de soutènement,, écrans pare-avalanche)

2

Détection chutes de matériaux (rochers)

3

Détection, comptage de Traffic

4

Détection dégradation bande de roulement

5

Surveillance structurelle du sol (température)

Détection de présence anormale d'eau ( fuite de canalisation , érosion interne ( boulangue, phénomène de renard, ...), (signes précurseurs d'instabilité)

6

Surveillance structurelle du sol (contrainte)

Contrainte, mouvement de sol, charge anormale , dégradation)

7

Surveillance câble fibre optique enterré

8





# Analyse (très) préliminaire des différentes options *Comm.&Sense*



Option ①  
Câbles Telecom  
existants

EFFORT	COMMENTAIRES
<ul style="list-style-type: none"> <li>✘ Intégration de l'application C.&amp;S.</li> <li>✘✘ ? Caractérisation des performances</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>👉 Résilience : Bien adapté pour la surveillance de la fibre Telecom (In-situ dans le câble)</li> <li>👎 Performances réduites en mode capteur par le couplage lâche avec le milieu environnant et le trajet du câble</li> </ul>

Option ②  
Nouveaux câble  
Telecom

<ul style="list-style-type: none"> <li>✘ Intégration de l'application C.&amp;S.</li> <li>✘✘ Caractérisation des performances</li> <li>✘✘✘ Développement et qualification de nouveaux câbles C.&amp;S.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>👉 Performances améliorées en mode capteur</li> <li>👉 Bien adapté pour la surveillance de la fibre Telecom (In-situ dans le câble) – Résilience du réseau par surveillance de la fibre et de son environnement</li> <li>👎 Gestion de l'équilibre entre sensibilité capteur et protection fibre Telecom.</li> <li>👎 Disponibilité nouvelles normes</li> <li>👎 Surcoût / Câbles Telecom</li> <li>👎 Temps de mise sur le marché (TTM/ROI)</li> </ul>
--	---

SUPPORT EVENTUEL DE  
DISCUSSION TABLE RONDE

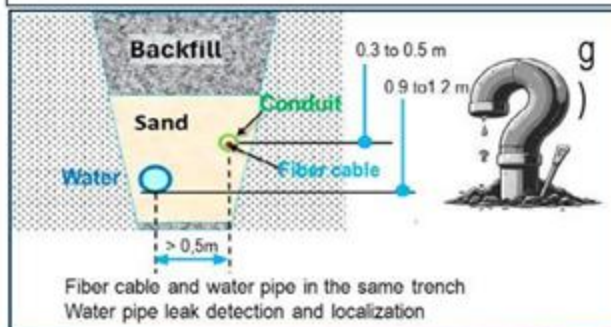
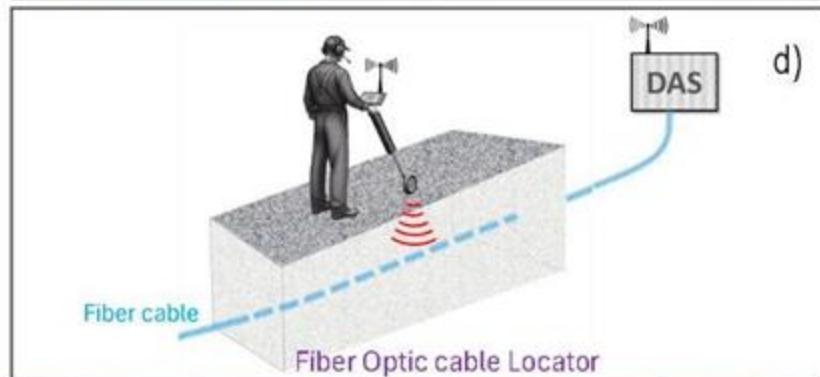
Option ③  
Câbles Capteurs  
auxiliaires  
connectés sur  
câbles Telecom  
(existants ou  
nouveaux)

<ul style="list-style-type: none"> <li>✘ Intégration de l'application C.&amp;S.</li> <li>✘✘ Caractérisation des performances</li> <li>✘ Différentes sensibilités à gérer en fonction des câbles.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>👉 Evolutif et compatible avec les autres options</li> <li>👉 Pas de développement de câbles - Introduction rapide sur le marché</li> <li>👉 Performances optimales en mode capteurs et en mode Telecom</li> <li>👎 Nécessite déploiement de câbles capteurs</li> <li>👎 Nécessite connexion entre câbles Comm. et câble Sense</li> </ul>
---	---

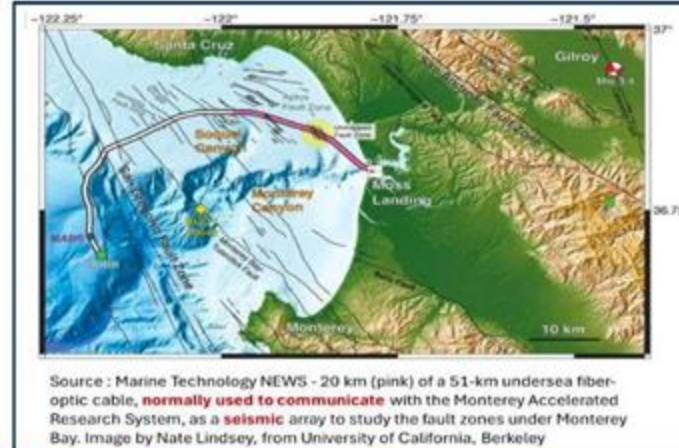
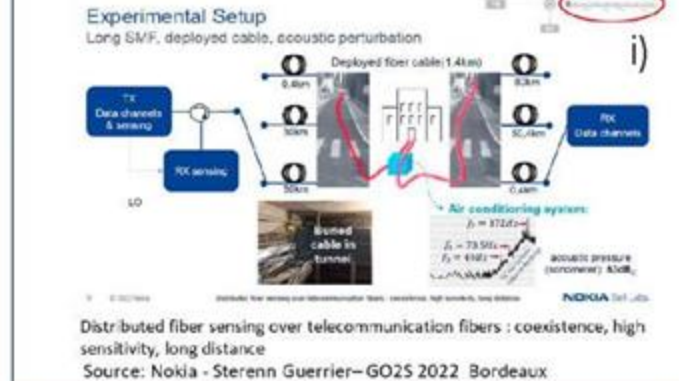
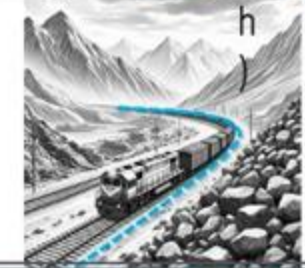


# Exemples de capteurs à fibre optique : Aujourd'hui, demain, ...

Sourcè: GO2S 2024 Lyon



Railways  
Location of trains on the tracks, detection of exceptional events (rock fall, landslide), fault on the wheels ("square wheels")



# Merci pour votre attention et au CREDO pour cette invitation

Plus d'info.

Download **Basic Principles  
for Telecom Tech..**



Download **Principes de base  
pour Telecom Tech.**



Beyond Data Transfer: Fiber Optic  
**Sensing** Transforms Networks into  
Resilient & Smart Systems



Download **Technical Paper**

**Next to come :**  
Advanced Network Designed  
for **Resilience** and **Evolutions**





Back-up



André Champavère

## Expert Scientifique et Technique indépendant : Test & Mesure FO – Capteurs Fibre Optique

- Prestation de Consultant R&D - Innovation & Nouvelles Technologies
- Collaborations avec industriels et centres de recherche CNRS-LHC , CNES , CERN, autres
- Prestation intellectuelle uniquement - avec le luxe d'être sélectif dans les projets
- Agréé au titre du Crédit Impôt Recherche [www.guidoptix.com](http://www.guidoptix.com) [andre.champavere@guidoptix.com](mailto:andre.champavere@guidoptix.com)



Schlumberger

WAVETEK



## Expérience professionnelle de R&D Test & Mesure Telecom et Capteurs FO

- Fiber Optic Product R&D Group Manager - Produits développés : OTDRs , ONMS OTDR unit , eOTDR , DTS, DTSS, ...
- Brevets dans les domaines T&M Telecom , Capteurs distribués (DTS, DAS) , Capteurs Batteries VE
- Publications techniques et conférences ( OFC invited paper, ...)
- Innovation & IP Protection Center of Excellence R&D Manager ( Innovation Engine in all R&D sites)

## Activité associative

- Président Honoraire de l'ARUFOG
- Créateur de l'Initiative **GO2S** (Guided Optic & Sensor Systems) en 2008
- Conf. GO2S: ..., Paris Bercy 2019, Lyon 2020, Bordeaux 2022, Lyon 2024

Sous le Parrainage du Département Ministériel de Monsieur Bruno Le Maire, Ministre de l'Economie et des Finances



11 et 12 Février à Paris  
Centre de conférences Pierre Mendès France au  
Ministère de l'Economie, des Finances, de l'Action  
et des Comptes Publics, 139, rue de Bercy - PARIS



## Option ② Mesures réparties de contraintes



Interrogateurs basés sur la rétrodiffusion **Brillouin** (Contrainte et/ou température)  
*DTSS (Distributed Temperature & Strain Sensing)*

- Utilisent la réflectométrie temporelle (OTDR)
- **permettent des mesures sur des dizaines de kilomètres**, ce avec en contrepartie des limitations de la résolution spatiale (entre 0,1 et 10 m, selon la portée de détection)

Interrogateurs basés sur la rétrodiffusion **Rayleigh** (Contrainte et/ou température)

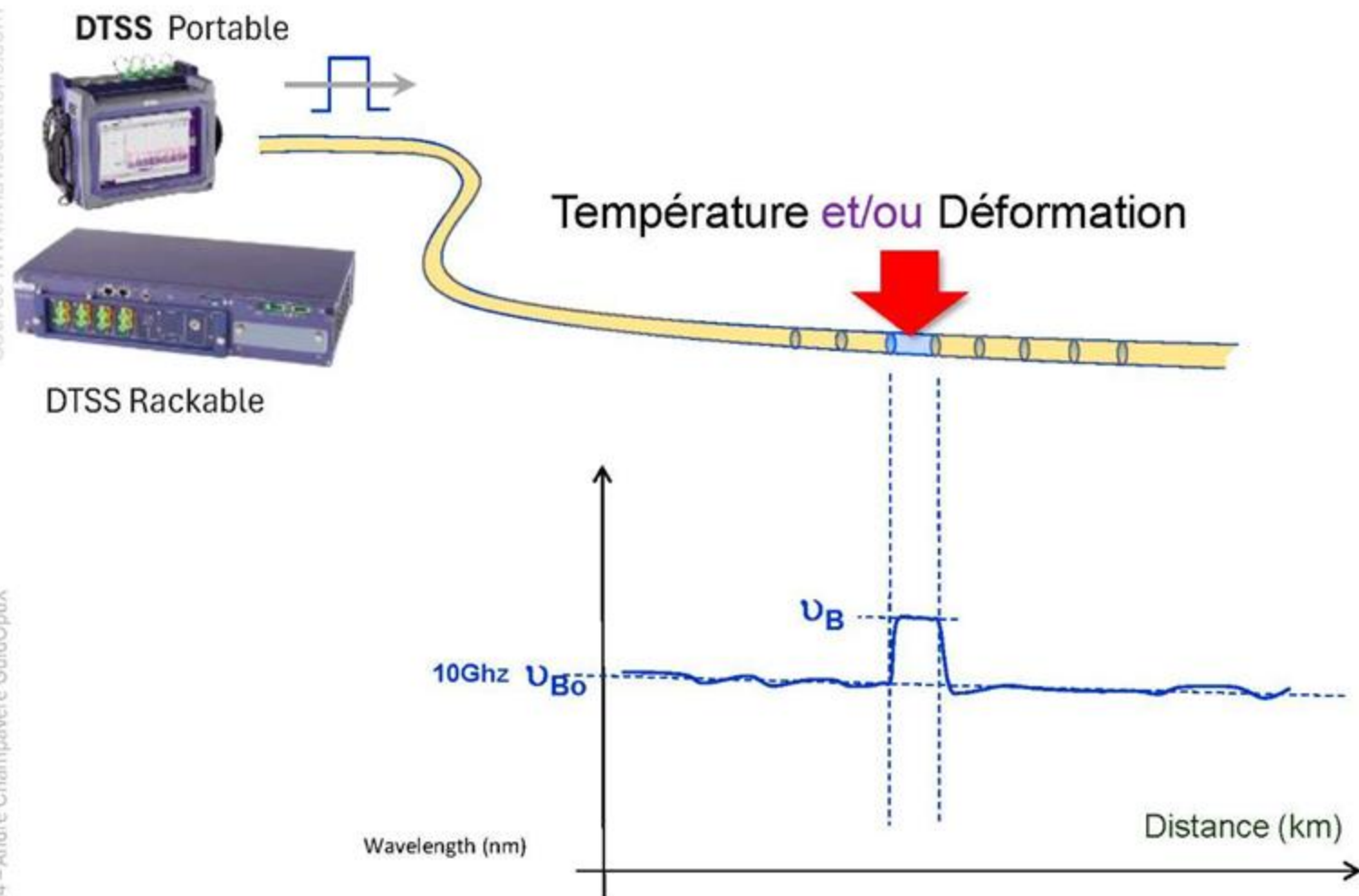
- Utilise la réflectométrie fréquentielle (OFDR)
- Offrent **une résolution spatiale très élevée** mais sont généralement limités à des portées de détection.

Interrogateurs basés sur la rétrodiffusion **Raman** (Température)

- Utilisent principalement la réflectométrie temporelle
- Peuvent être utilisés **pour décorréler température et contraintes** en les associant aux précédents



# Réflectomètre Brillouin ( Température et/ou Contrainte)



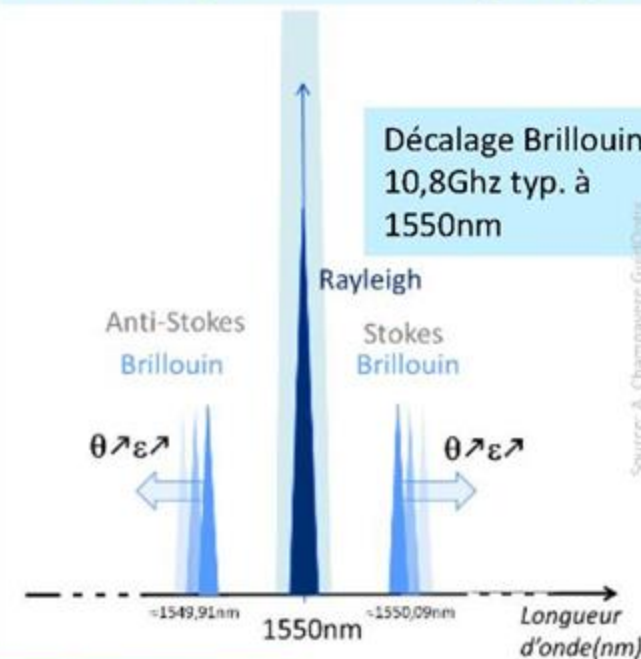
Décorrélation possible entre température et contrainte sur une même fibre

## Décalage fréquence Brillouin

$$\nu_{B(T,\epsilon)} = C_\epsilon \cdot \Delta\epsilon + C_T \cdot \Delta T + \nu_{B(T_0,\epsilon_0)}$$

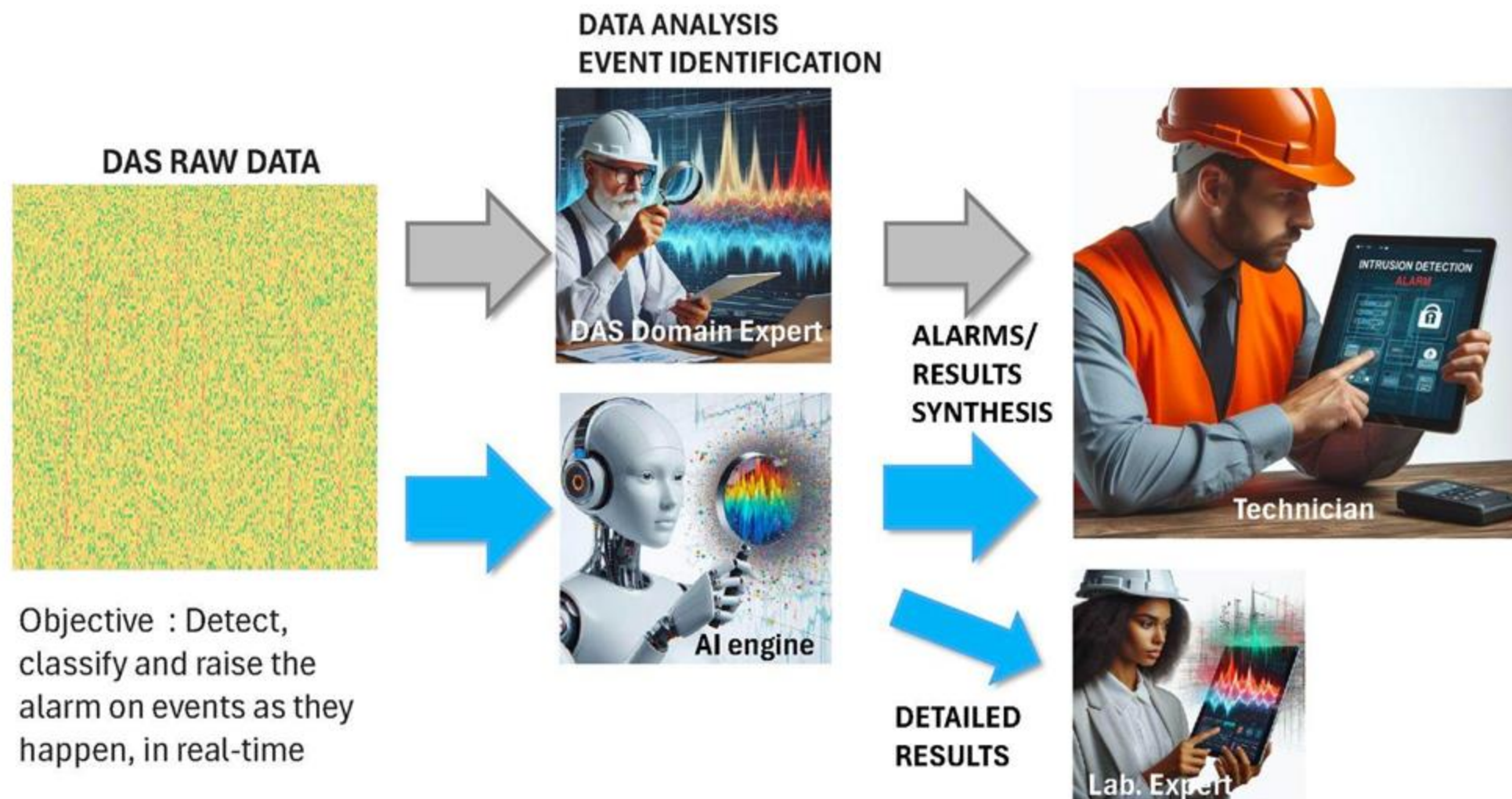
$C_\epsilon$  Strain coefficient (MHz/ $\mu\epsilon$ )  $\approx$   
42.93 kHz/ $\mu\epsilon$

$C_T$  Temperature coefficient (MHz/ $^\circ\text{C}$ )  
 $\approx$  1.081 MHz/ $^\circ\text{C}$  (typ. SMF)





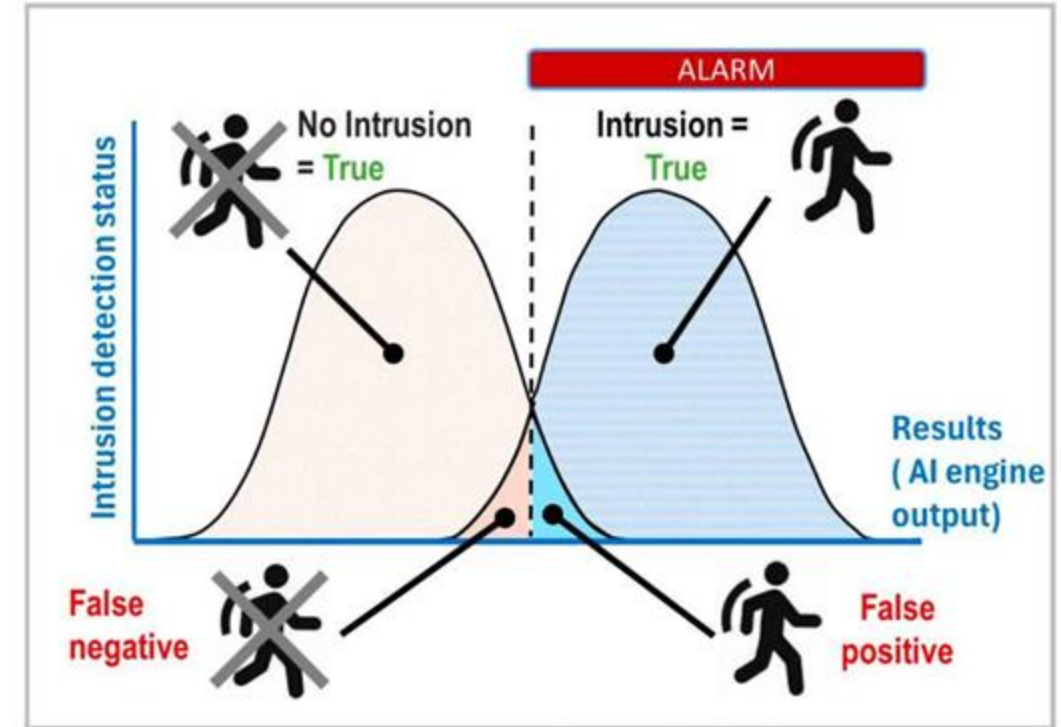
# Customer satisfactions with the help of AI based Smart sensing



# "Meeting Telecom Needs: The Importance of Robust AI in Fiber Sensing Trust"

## ❑ Challenge:

- AI even more crucial for networks not specifically designed for sensing due to inherent noise, data variability and the need for ease of use."
- Finding the right balance between sensitivity ( focus on true positive rate) and specificity (driven by the true negative rate)
- Involving trade-offs that depend on the applications ( context and cost of errors) .
- Ensuring AI Confidence Matches Decision Importance"



A powerful tool not a magic wand





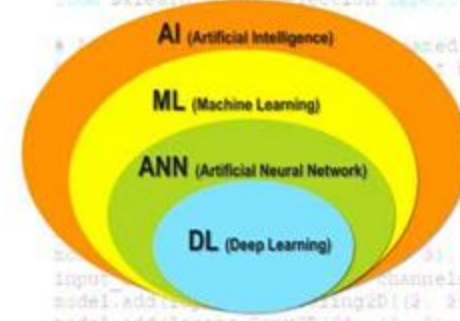
# Choice of the optimal tool from within an already well-furnished toolbox

## ML Tool Box :

- Each architecture with its unique applications and characteristics in the field of machine learning and deep learning

## Applications examples :

- Raman DTS (denoising), Brillouin DTSS (speed , cross-sensitivity , accuracy) , DAS (denoising , pattern detection and classification), ...
- DFOS ( especially with DAS) :
- Complex tasks and large data set like DAS (eg. 650 GB/day), (classification) in a noisy environment ( anthropic and environmental, static or moving) .
- Uncertainties about the diversity and availability of labeled data sets (especially on unintended Infrastructure)



```
import tensorflow as tf
from tensorflow.keras import layers, models
from sklearn.model_selection import train_test_split
```

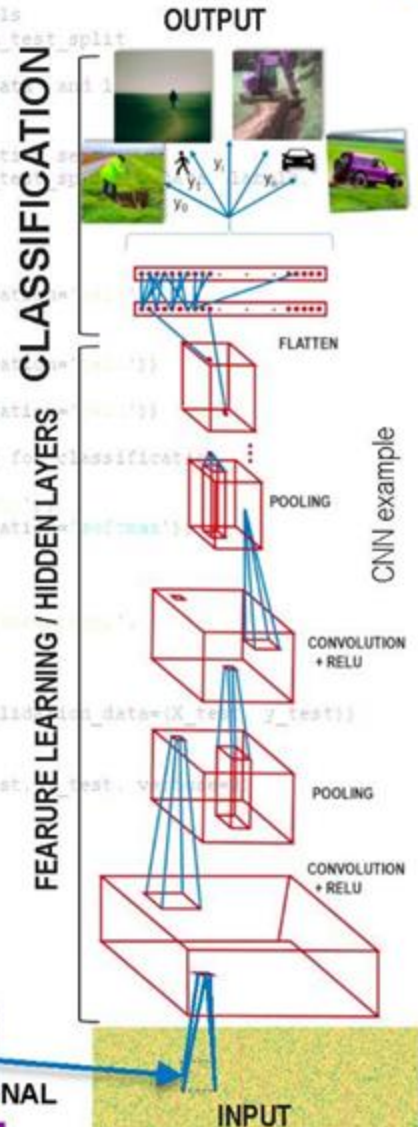
```
* Load the data and split it into training and testing sets
X_train, X_test, y_train, y_test = train_test_split(X, y, test_size=0.2, random_state=42)
```

```
# Build the model
model = models.Sequential([
    layers.Conv2D(32, (3, 3), activation='relu', input_shape=(X_train.shape[1], X_train.shape[2], 1)),
    layers.MaxPooling2D((2, 2)),
    layers.Conv2D(64, (3, 3), activation='relu'),
    layers.MaxPooling2D((2, 2)),
    layers.Conv2D(128, (3, 3), activation='relu'),
    layers.MaxPooling2D((2, 2)),
    layers.Flatten(),
    layers.Dense(1000, activation='relu'),
    layers.Dense(num_classes, activation='softmax')
])
```

```
# Compile the model
model.compile(optimizer='adam',
              loss='sparse_categorical_crossentropy',
              metrics=['accuracy'])
```

```
# Train the model
model.fit(X_train, y_train, epochs=10, validation_data=(X_test, y_test))
```

```
# Evaluate the model
test_acc = model.evaluate(X_test, y_test, verbose=0)
print('Test Accuracy: ', test_acc)
```







CERCLE  
CREDO

AVEC NOTRE PARTENAIRE :



ARUFOG

*Fiber optic expertise  
since 1986*

## KEYNOTE

La détection de contraintes intégrée  
dans les câbles télécom à fibre optique

“ Les innovations à venir ”

**Jean-Claude DA ROCHA**

Président d'**Happy Industrie** / Directeur Technique **JENOPTEC NT**

Membre de **l'Arufog** et du **Cercle CREDO**

**Slido.com**

Code : **RDVFibre**

# Sommaire

**Slido.com**

Code : **RDVFibre**

- Introduction
- Les enjeux du capteur à fibre optique
- Exemples de structures de câble
- HI-ESS1000, un capteur élémentaire de mesure de contrainte
  - Structure
  - Les premières caractérisations
  - Éléments économiques
- Perspectives / Conclusions



# Introduction



- Deux postulats fondamentaux
  - Un câble de télécommunication à fibre optique est conçu de telle manière à ce que l'environnement pendant ses différentes phases de vie ne perturbent pas les transmissions optiques.
    - Objectif : **désolidariser**, générer de la **surlongueur** de fibre, empiler successivement les **couches molles et dures**
  - Par définition, le capteur est un organe de saisie d'information, qui perturbe par nature le milieu dont il cherche à mesurer les grandeurs.
    - Objectif : le rendre **le moins intrusif / perturbateur** possible





# Les enjeux du capteur à fibre optique



Le rendre solidaire de la structure



Conserver les propriétés de transmission optique



Accès à la fibre facile



Universel et Intégrable facilement dans les câbles de télécommunication et/ou d'énergie



# Les câbles mixtes (sensing & com)

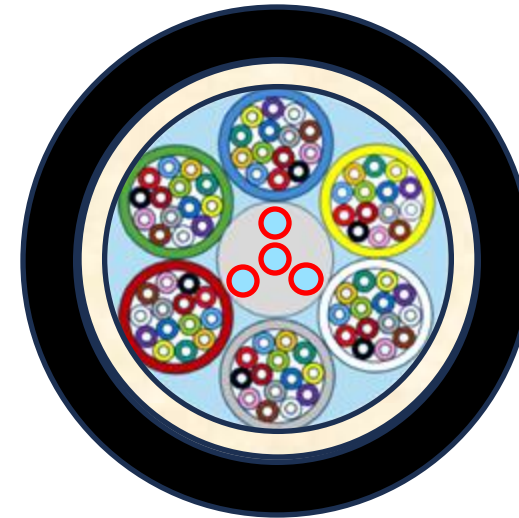


Loose tube ou  $\mu$ module

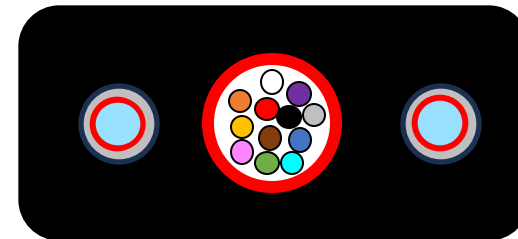
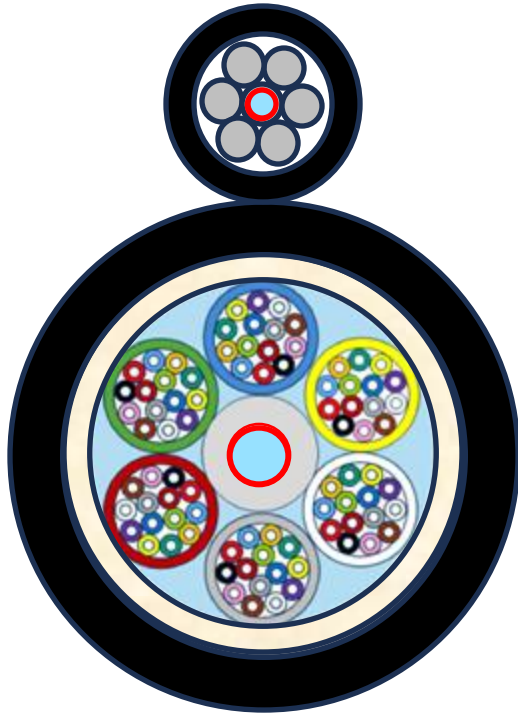
Renforcement central (facultatif)

Renforcement périphérique

Gaine extérieure

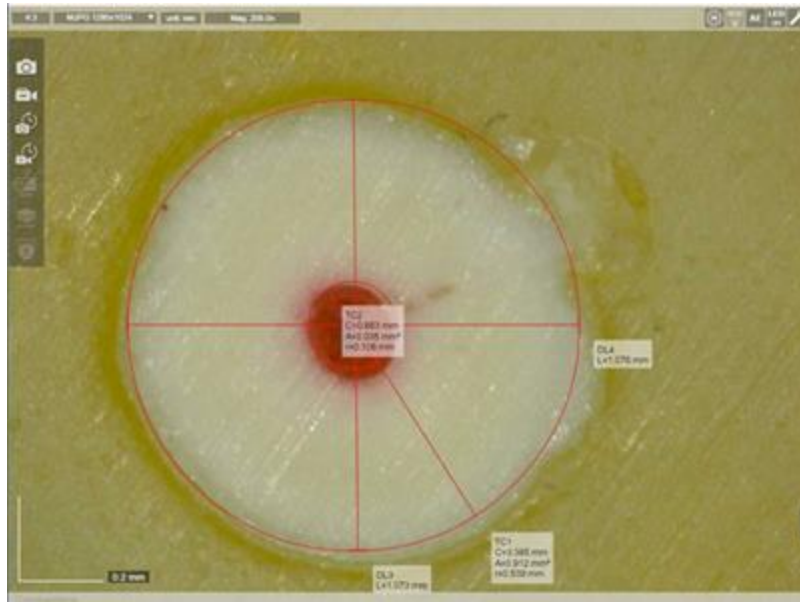


# Les câbles mixtes (sensing & com)





# HI-ESS1000 – Le renfort capteur



Fibre 250 um au centre d'une structure composite de 1mm de diamètre

Exploitation d'un brevet ACOME - EP2049931B1

**Slido.com**  
Code : **RDVFibre**



# HI-ESS1000 – Le renfort capteur



- PRINCIPALES CARACTERISTIQUES TECHNIQUES MESUREES
  - Optiquement, la fabrication ne génère pas de changement sur les atténuations standards

$\alpha@1310\text{nm} < 0,35 \text{ dB/km}$

$\alpha@1550\text{nm} < 0,24 \text{ dB/km}$

$\alpha@1625\text{nm} < 0,25 \text{ dB/km}$



# HI-ESS1000 – Le renfort capteur

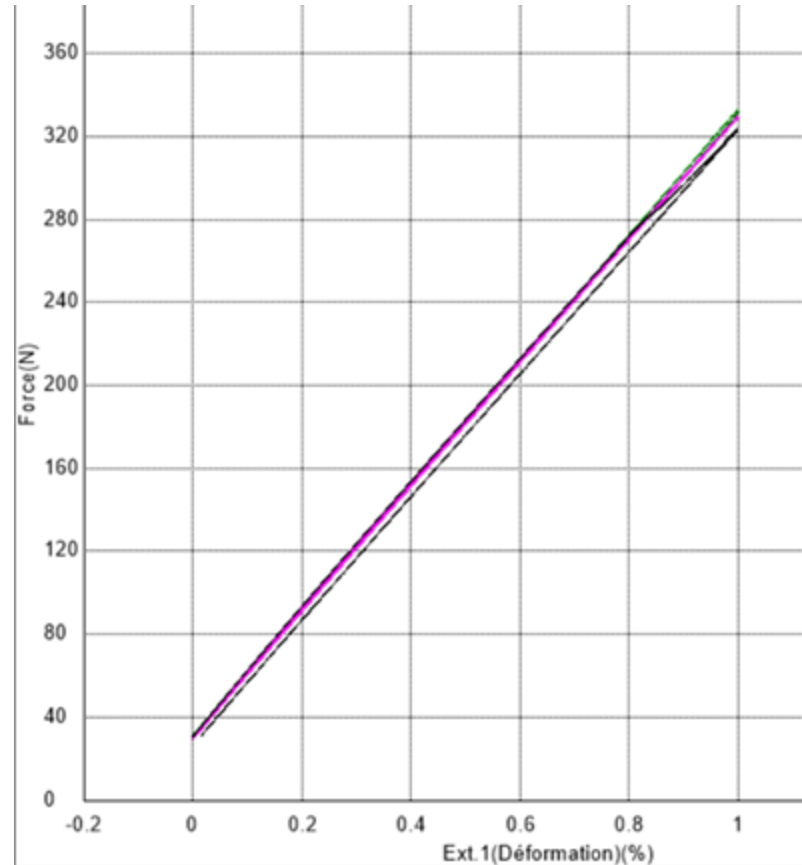


- PRINCIPALES CARACTERISTIQUES TECHNIQUES MESUREES
  - Resistance au kink (pliage) :  $R = 20 \text{ mm}$ ,  $\Delta\alpha < 0,05 \text{ dB}$ , réversible
  - Résistance à la courbure statique :  $R = 40 \text{ mm}$ ,  $\Delta\alpha < 0,05 \text{ dB}$ , réversible
  - Résistance au poinçonnement :  $F = 10 \text{ kg}$ ,  $5 \text{ mm}$ ,  $\Delta\alpha < 0,05 \text{ dB}$ , réversible





# HI-ESS1000 – Le renfort capteur



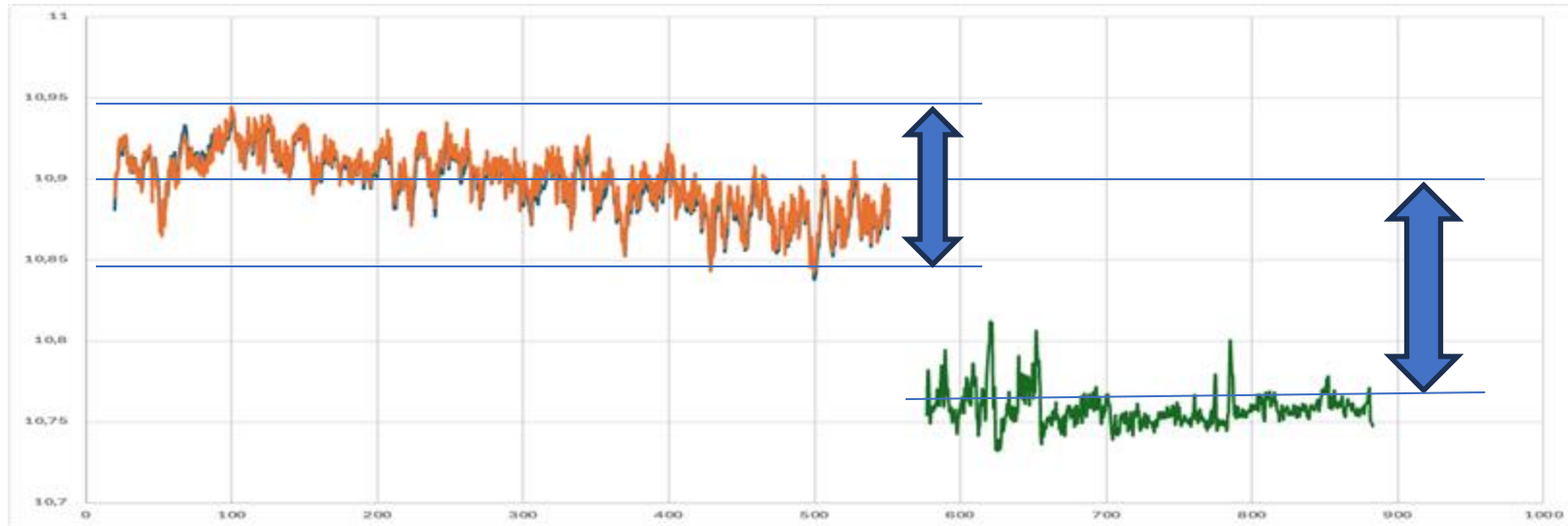
- PRINCIPALES CARACTERISTIQUES TECHNIQUES MESUREES

- Plage de traction : 0-1% d'allongement
  - Bonne répétabilité (9 échantillons), Pas d'hystérésis
  - Module de 41 GPa,
  - Dimensionnable

# HI-ESS1000 – Le renfort capteur



- PRINCIPALES CARACTERISTIQUES TECHNIQUES MESUREES  
LA FREQUENCE BRILLOUIN



- Minimiser les écarts entre le capteur et la fibre de référence
- La mesure Brillouin, recherche de stabilité sur la longueur :  $2\sigma < 50 \text{ MHz}$  (0,1%)



# HI-ESS1000 – Le renfort capteur



- ACCESSIBILITE A LA FIBRE
  - 50 cm en moins d'une minute





# HI-ESS1000 – Le renfort capteur



- ACCESSIBILITE A LA FIBRE
  - Sur le terrain



Installation multifibre pour instrumentation poutre béton - EDF

# HI-ESS1000 – Le renfort capteur



- D'un point de vue économique

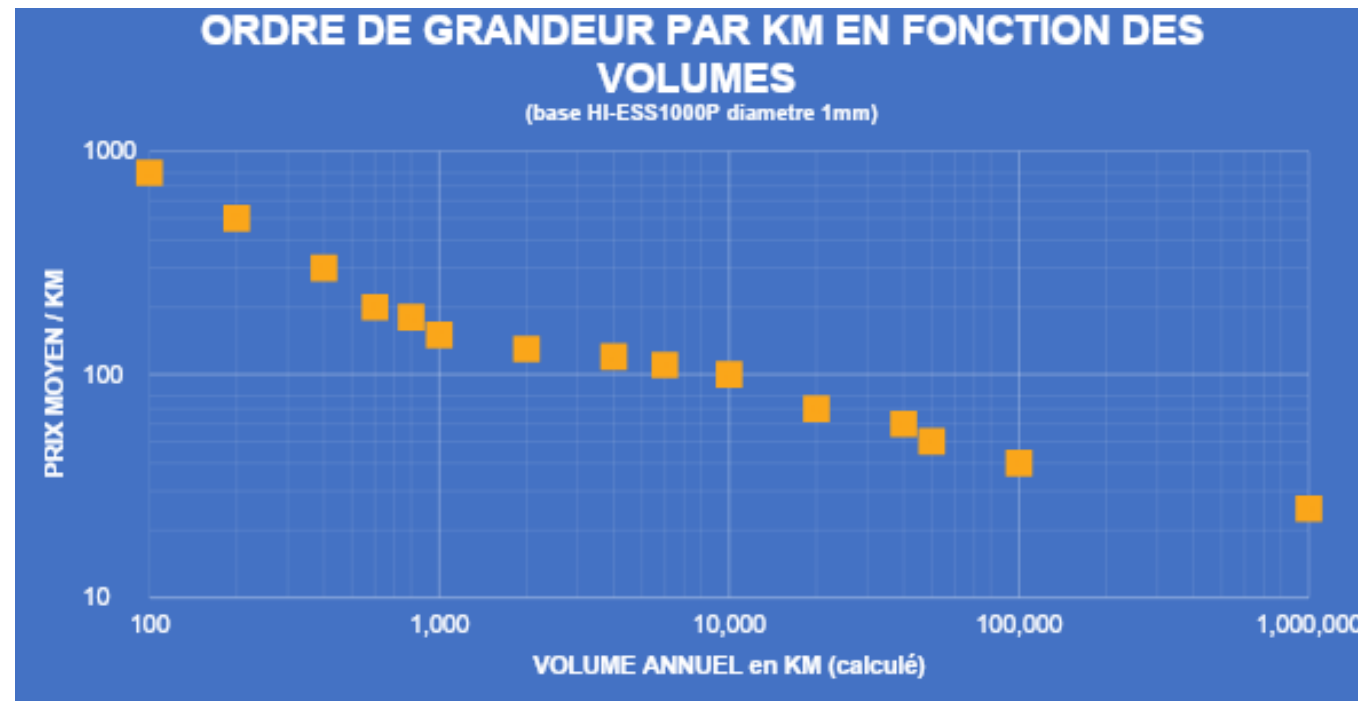
## Early adopters :

Dans les télécoms,

- surveillance des tronçons critiques
- Maintenance prédictive

**Allongement des campagnes de production**

**Investissement continu dans la capacité de production**



**OBJECTIF:**  
~ cout d'intégration  
d'un renfort 1 mm



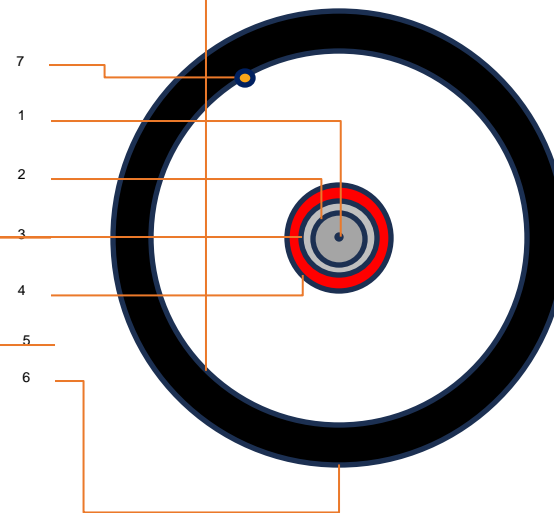
# Perspectives / Conclusions



- A date :

- HI-ESS1000

- Préséries / Caractérisation complète
    - Échantillonnages
    - Tests d'intégrations



1. Optical core
2. Optical clad
3. Primary UV coating
4. Colored secondary UV coating
5. Composite sheathing
6. EVA-based sheathing
7. Ripcord





CERCLE  
CREDO

AVEC NOTRE PARTENAIRE :



**ARUFOG**

*Fiber optic expertise  
since 1986*

**Slido.com**

Code : **RDVFibre**

# Merci pour votre attention

Pour me contacter :

jcdarocho @ happyindustrie.fr  
jean-claude.darocho@jenoptec.com



CERCLE  
CREDO

Slido.com  
Code : **RDVFibre**

## TABLE-RONDE



Animée par : **André CHAMPAVERE**



**Philippe CHAPON** - Solution Consultant EMEA, Fibre Optic Solutions, **VIAVI**



**Jean-Claude DA ROCHA** - Président d'**Happy Industrie**, membre de l'**Arufog**  
et du **Cercle CREDO**



**Loïc DIDIER** - Ingénieur réseau (câbles et composants), **RTE**



**Laurent GASCA** - Responsable secteurs datacom et télécommunications, **SYCABEL**



**Guillaume LENOIR D'ESPINASSE** - Chef de projets, **ANCT**

(Agence nationale de la cohésion des territoires)



CERCLE  
CREDO

# CONCLUSIONS



# ATELIER

[ OUVERT À TOUS ]

jeudi  
**5**  
dec.



CERCLE  
CREDO



AVEC LES PRÉSENTATIONS DE

NOKIA



Terralpha  
SNCF  
RESEAU



ORGANISÉ PAR :



ACCUEILLI PAR :



AVEC NOTRE PARTENAIRE :



**MERCI À TOUS !**

[WWW.CERCLE-CREDO.COM](http://WWW.CERCLE-CREDO.COM)