



Étude et Conception d'un système hybride acousto-thermique de détection distribuée de vibrations et de température par fibre optique pour des applications ferroviaires

Tilleli AYAD*, Aghiad Khadour

Gabriel PAPAIZ GARBINI, Ali KABALAN et Tarik HAMMI

Université Gustave Eiffel COSYS/IMSE Cluster Synapses maintenance

MOTIVATIONS

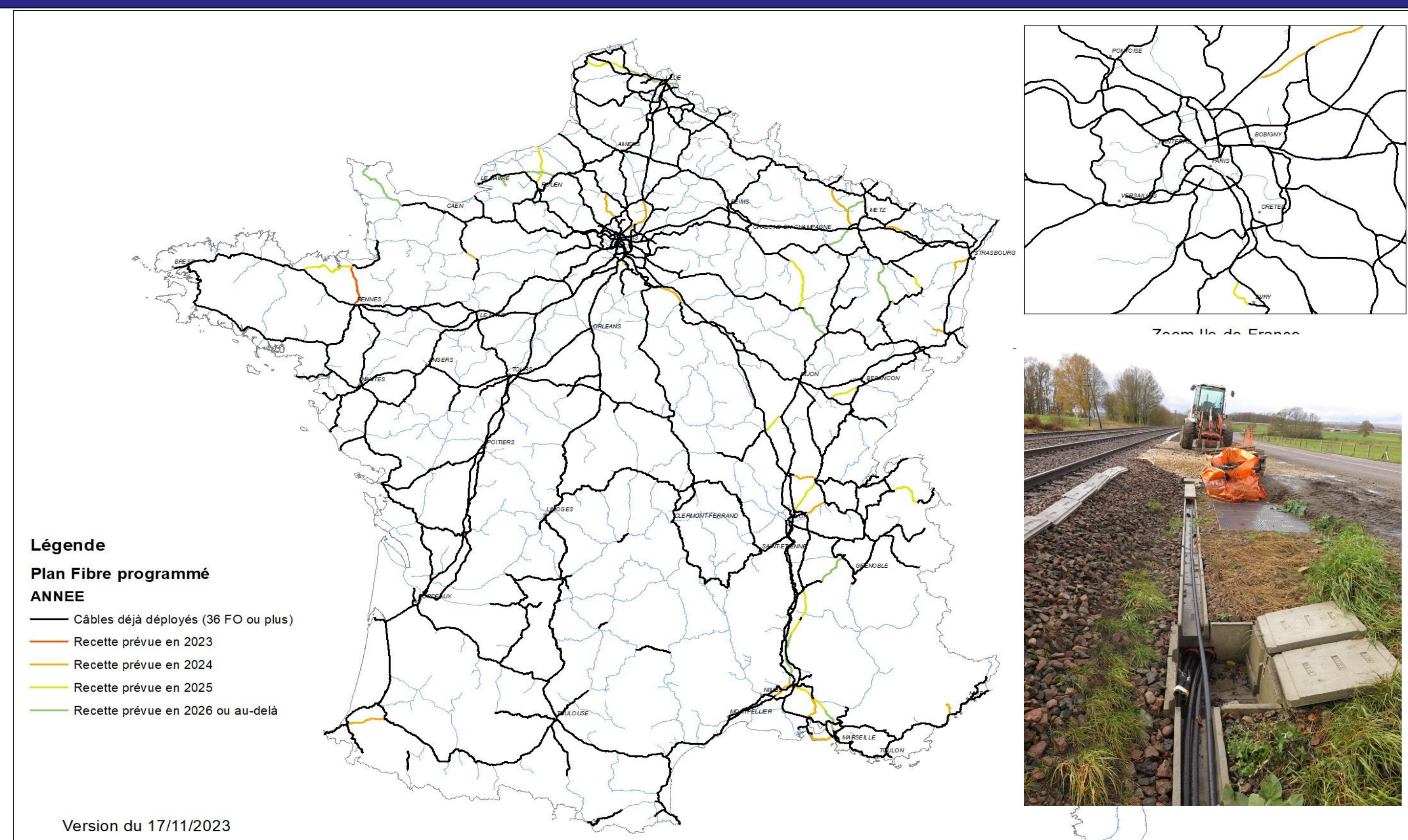
La SNCF surveille son infrastructure pour des besoins d'exploitation et de maintenance, elle déploie ainsi toutes sortes de capteurs afin de détecter les événements d'intérêt.

❌ Solutions actuelles : utilisation de capteurs ponctuels (géophones), d'équipement de voie (circuit de voie), tournées de maintenance, etc

La SNCF déploie des câbles à Fibres Optiques le long des voies pour les besoins télécoms (plan Fibre).

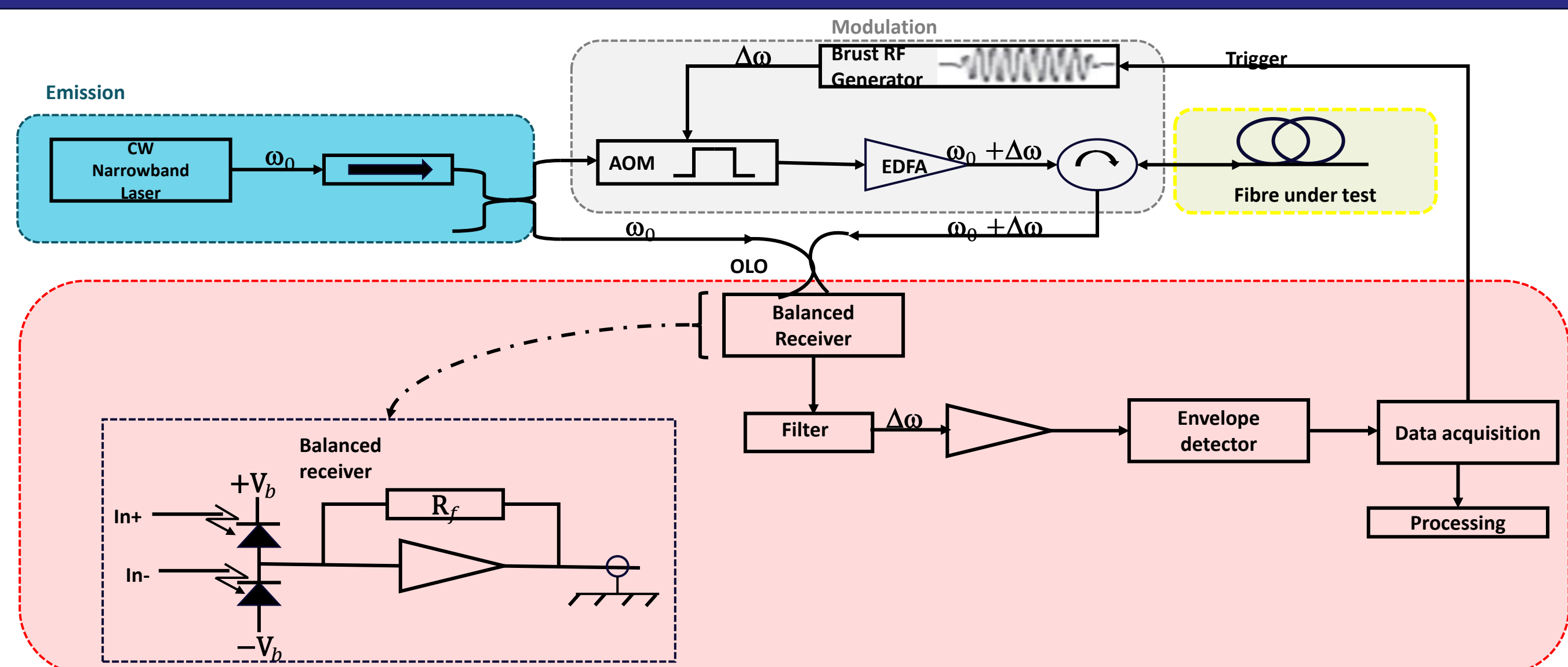
❌ Solution d'avenir : Utilisation de la fibre optique comme capteur distribué

Projet SURFO (SURveillance par Fibre Optique)

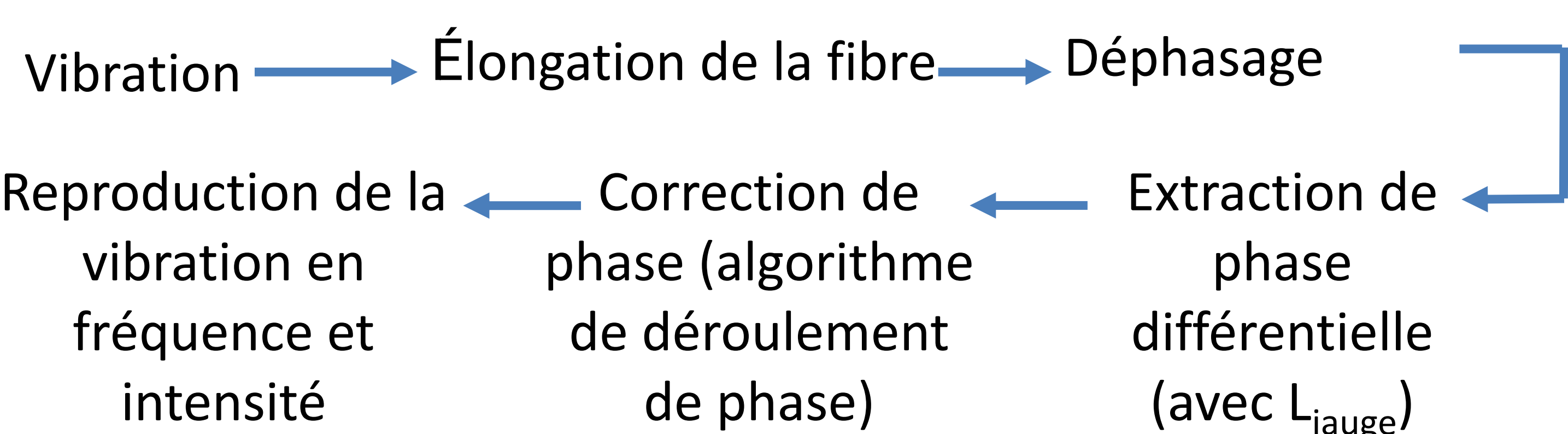
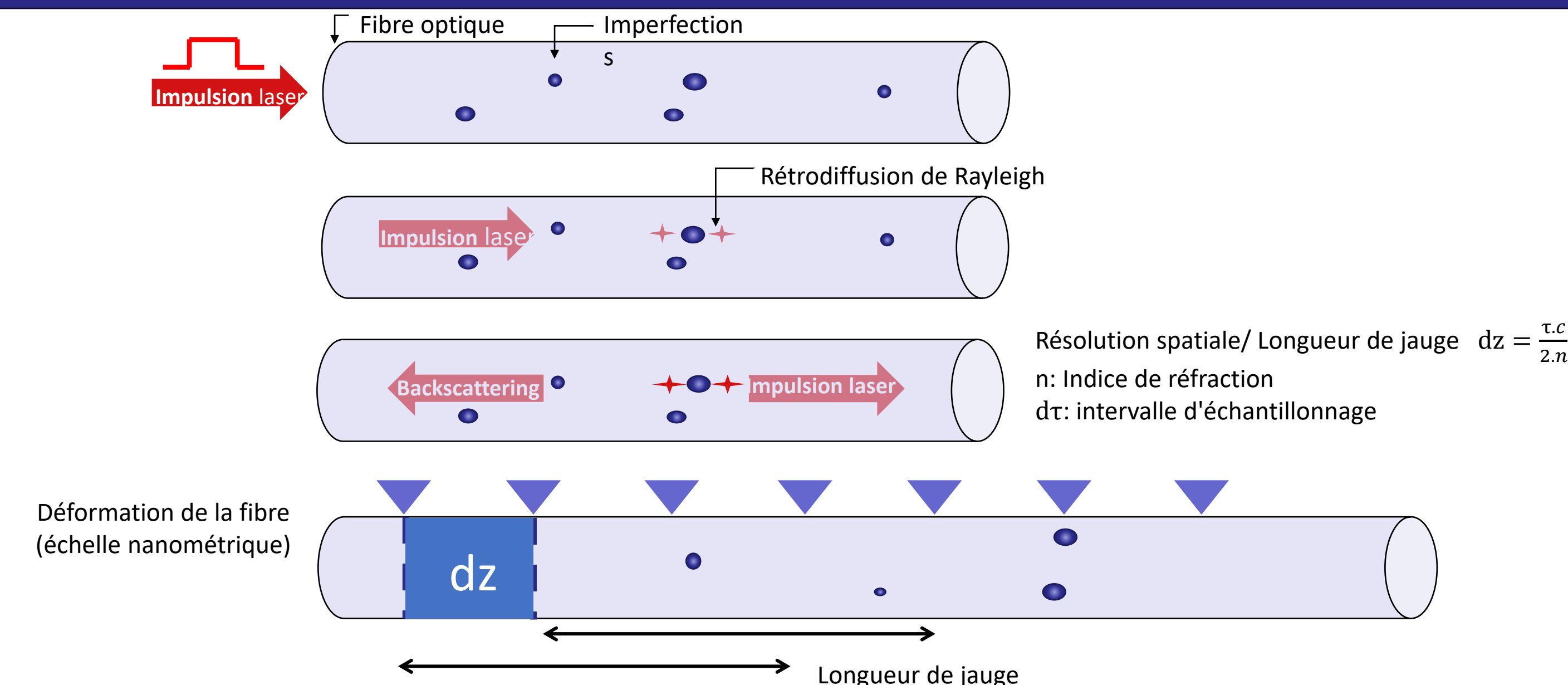


Câbles optiques existants et en projet SNCF Réseau (Plan Fibre et projets régionaux)

CAPTEURS ACOUSTIQUES / VIBRATOIRES DISTRIBUÉS À FIBRE OPTIQUE (DAS)



(AOM : Acousto-Optique Modulator, EDFA: Erbium doped fiber amplifier, OLO: optical local oscillator, CW: continuous wave)



❌ La phase ϕ entre deux centres de rétrodiffusion à une distance Δz :

$$\phi = \frac{4\pi\theta\Delta z}{v_g}$$

❌ L'élongation d'une section de fibre optique peut être mesurée en analysant la phase différentielle:

$$\Delta\phi = \frac{4\pi n G \xi \epsilon}{\lambda}$$

❌ Puissance optique rétrodiffusée (Rayleigh):

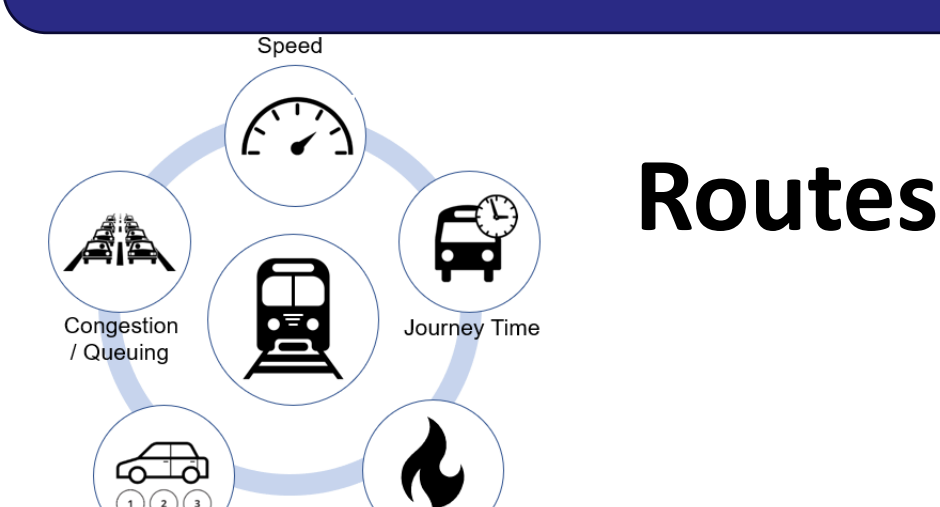
$$P_R(z) = \frac{1}{2} \alpha_R P_0 \alpha V_g T C_b(z) e^{-2\alpha z}$$

DÉMARCHE SCIENTIFIQUE & CHALLENGES

- ❌ Modélisation, calcul numérique et simulation des architectures identifiées.
- ❌ Développement du système d'interrogation basé sur les rétrodiffusions Rayleigh et Raman.
- ❌ Validation des performances du système DAS Hybride sous plusieurs conditions environnementales dans le cadre de la surveillance des infrastructures et des activités ferroviaires.

- ❌ Optimiser les paramètres de l'interrogateur pour réaliser des mesures de vibrations mécaniques et de variations thermiques en temps réel sur de grandes distances.
- ❌ Détecter la température et améliorer la détection de la vibration en réduisant l'impact de la variation de température
- ❌ Étendre l'usage de l'interrogateur à de nouveaux cas d'usage ferroviaires

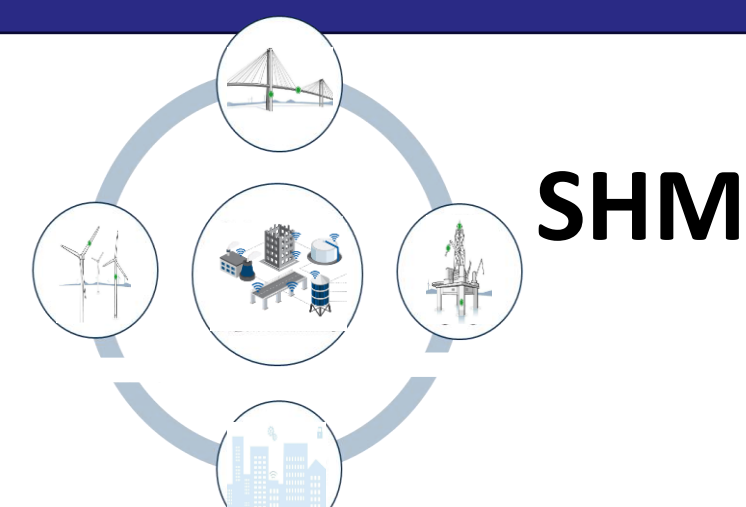
EXEMPLES D'APPLICATIONS DU DAS



- Accidents de véhicules
- Embouteillages
- Entrée/sortie en sens inverse
- Limitation de vitesse



- Chute de rochers
- Rail cassé
- Suivi de train
- Intrusion et vol



- Barrages, digues, ponts
- Installations de stockage de gaz
- Puits de forage et de production
- Installations nucléaires (réservoirs)



- Surchauffe dans les câbles
- Fluctuations du vent sur la fibre
- Anticipation des défaillances de câbles

BIBLIOGRAPHIE

- *T. AYAD, A. KABALAN et al. Over 193 km sensing range by optical fiber distributed sensor with mixed amplification repeaters for railway field applications, Optica Sensing Congress, July 2023
- *A. KABALAN, G. PAPAIZ GARBINI et al. Detection of road vehicles at a railway level crossing by means of optical fiber distributed sensor. Transportation Research Procedia January 2023.
- *A. KABALAN, G. PAPAIZ GARBINI et al. Long-Distance High-Speed Railway Monitoring Using Distributed Optical Fiber Sensing sensor. Conference: World Congress on Railway Research 2022
- *J. Nedoma et al, Analysis of the use of fiber-optic sensors in the road traffic, IFAC (International Federation of Automatic Control), 2018.