



**IMT Atlantique**

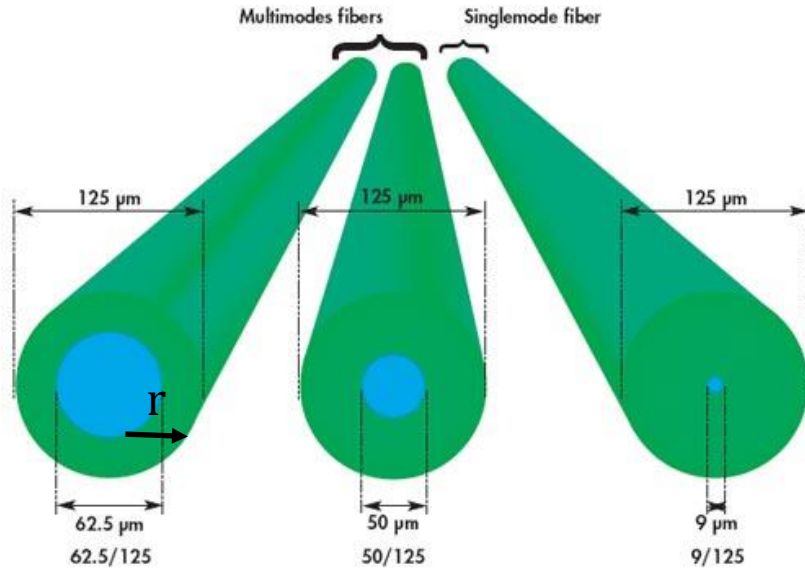
Bretagne-Pays de la Loire  
École Mines-Télécom

# CAPTEURS À FIBRES OPTIQUES

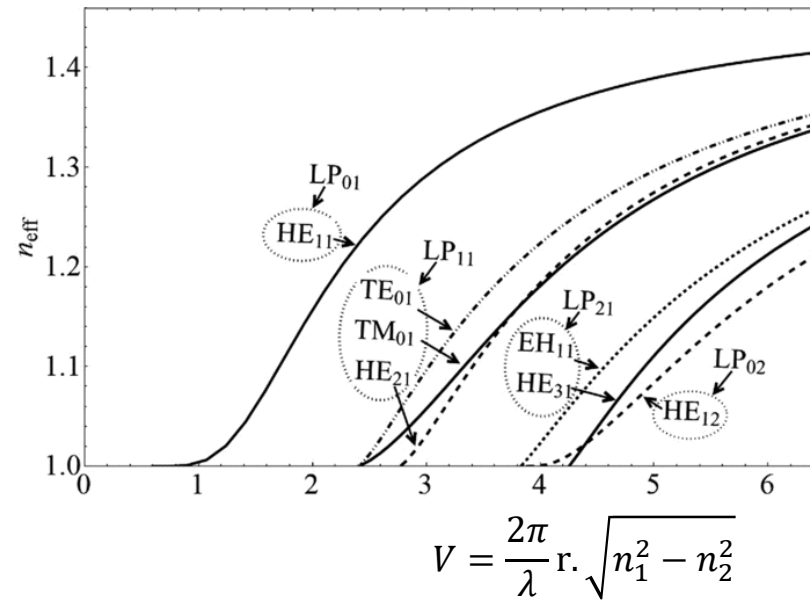
LAURENT DUPONT  
IMT ATLANTIQUE  
DEPT. OPTIQUE

# LA FIBRE OPTIQUE

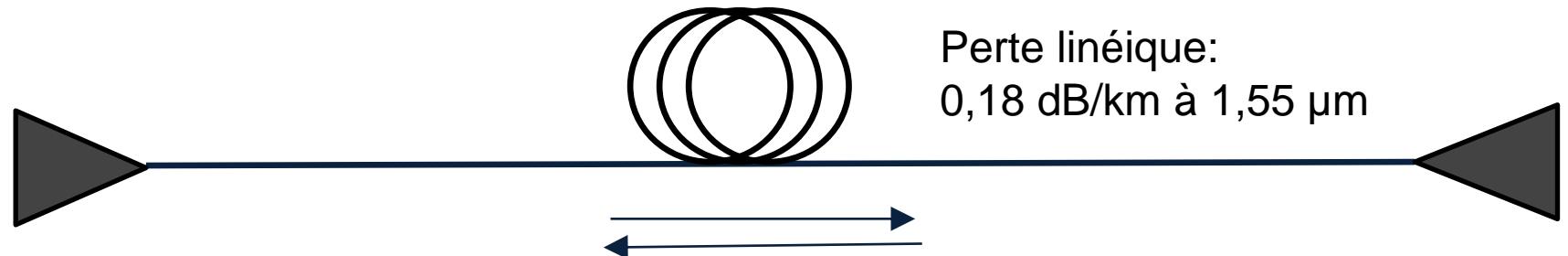
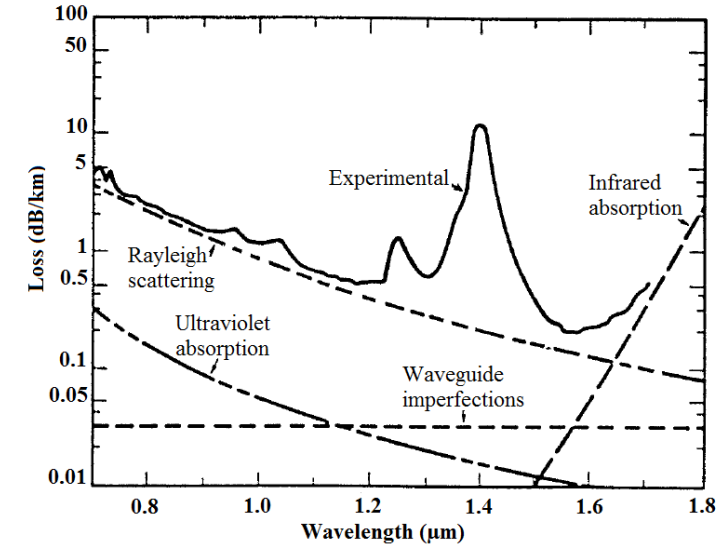
## Les différentes structures



## Diagramme de dispersion des modes



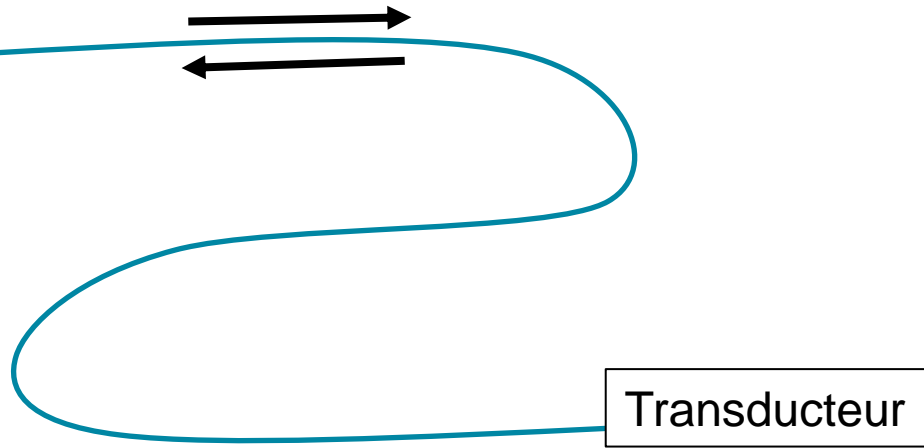
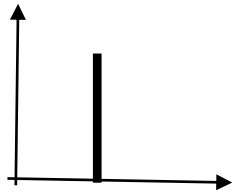
## Absorption fibre optique



Perte linéique:  
0,18 dB/km à 1,55 μm

# ARCHITECTURE DES CAPTEURS À FIBRE OPTIQUE

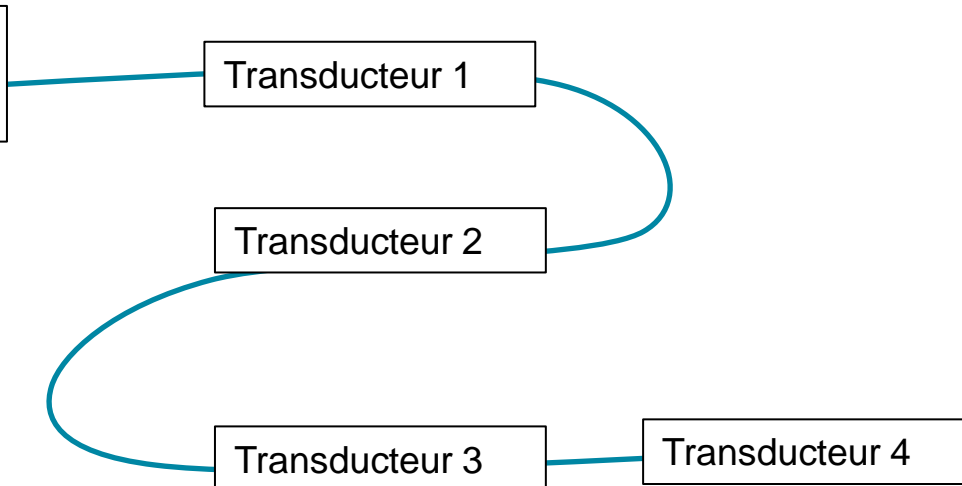
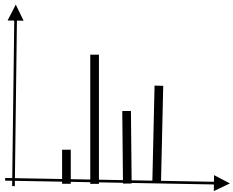
Monitoring Interrogateur



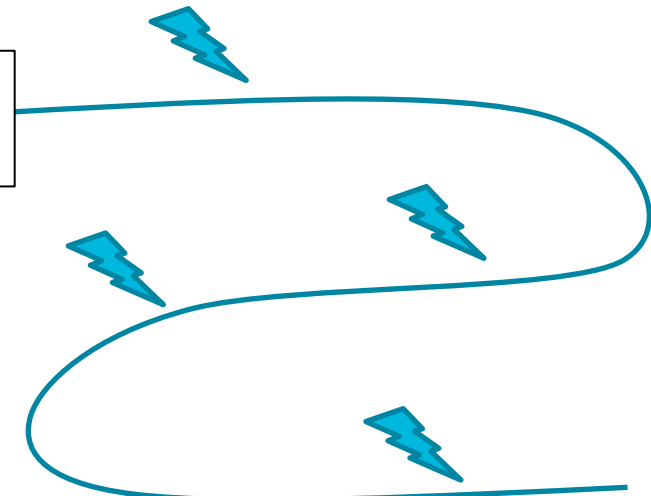
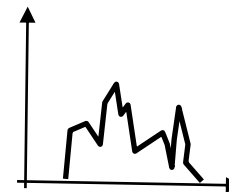
## Fibre optique

- Transmet information issue du transducteur
- Mesure déportée ou délocalisée
- Insensible aux perturbations EM
- Haut débit
- Faible coût / léger
- Bonne tenue dans le temps
- Techno maîtrisée (fibre, connectique, soudure, etc)

Monitoring Interrogateur



Monitoring Interrogateur



# EX: INSPECTION DES FIBRES OPTIQUES

Technologie couramment employée pour caractériser la qualité d'une transmission sur fibre: **OTDR** (Optical Time Domain Reflectometer)

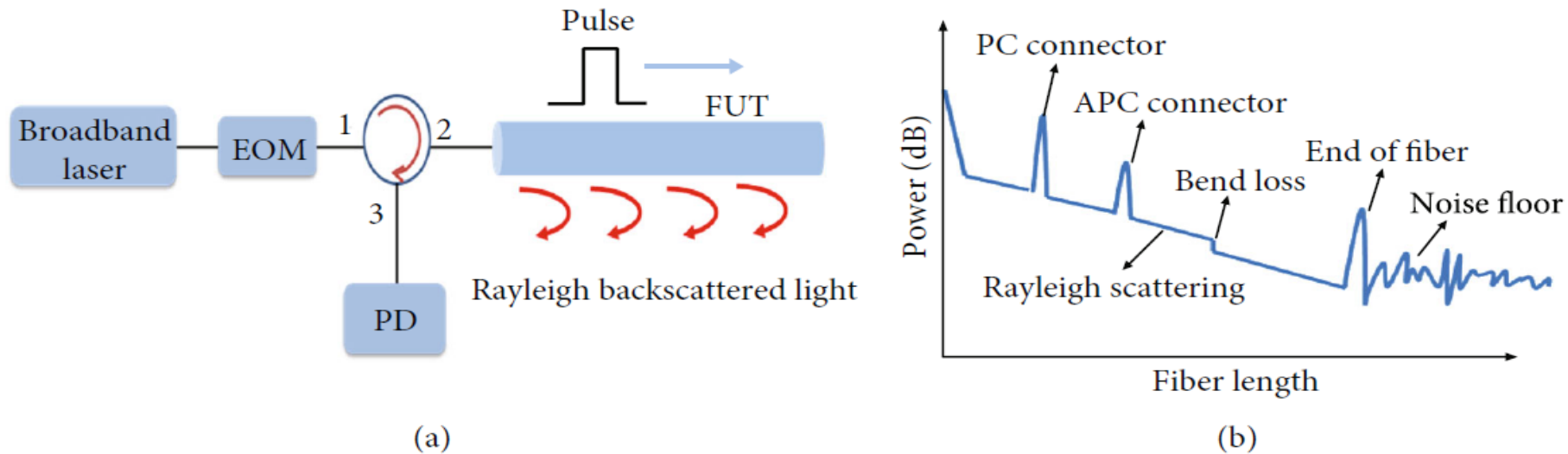
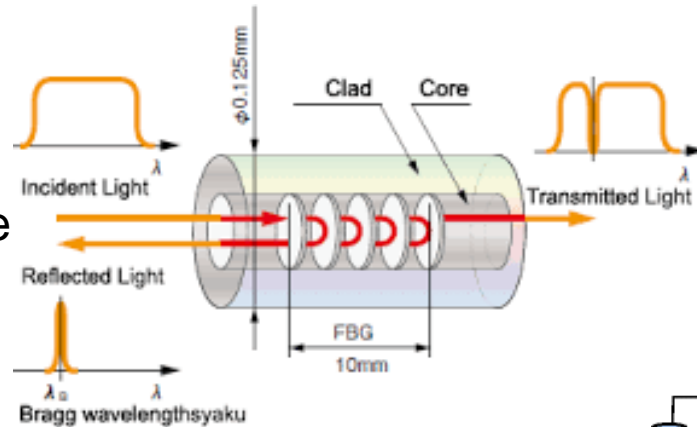


FIGURE 2: (a) Experimental setup of typical OTDR system. (b) Reflected Rayleigh traces.

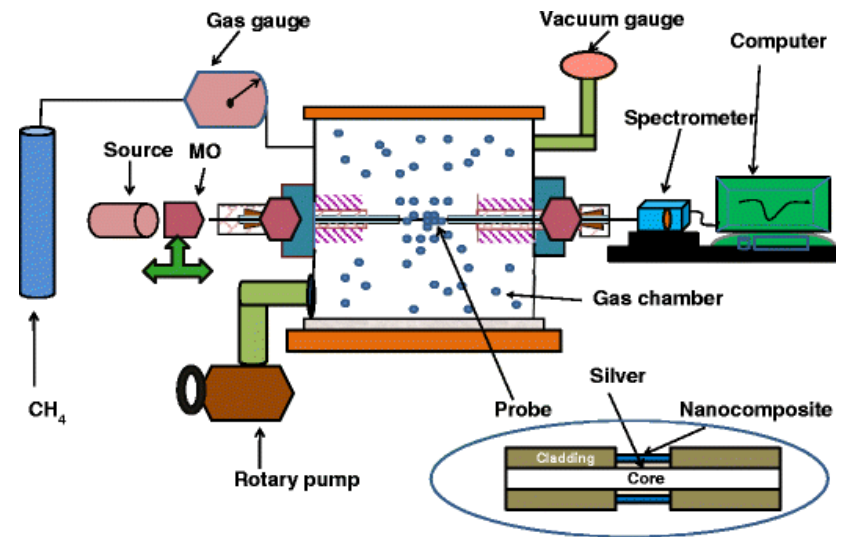
# LES FAMILLES DE CAPTEURS AVEC FIBRE OPTIQUE

Mesure de température

Mesure de contraintes mécaniques

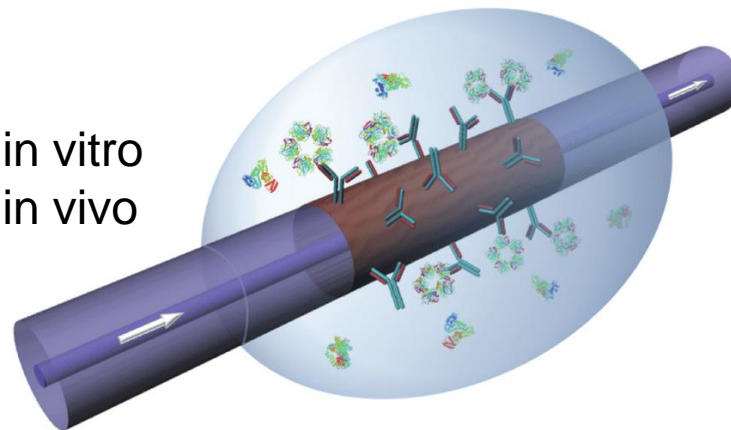


Mesure de concentration en gaz



Mesure biologique in vitro

Mesure biologique in vivo



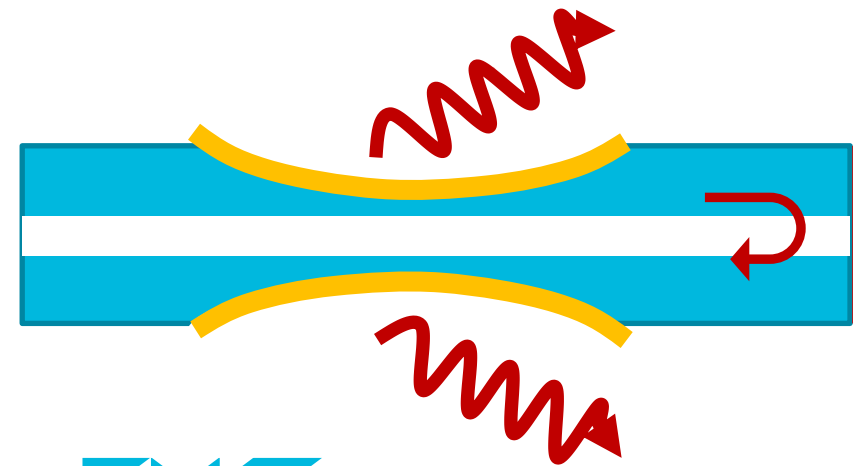
# LES DIFFÉRENTS TYPES DE TRANSDUCTEUR



Section fonctionnalisée  
Modification réflectivité



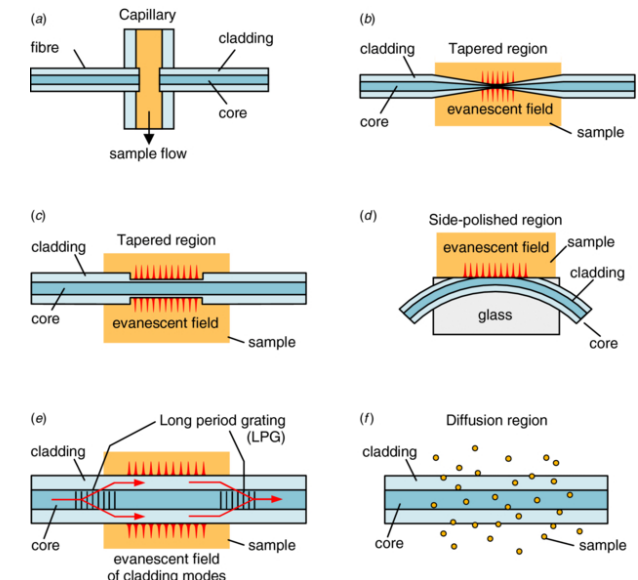
Interféromètre Fabry-Perot  
Modification de l'indice intra-cavité = modification de la réflectivité



Modification de l'indice de gaine = modification de la réflectivité



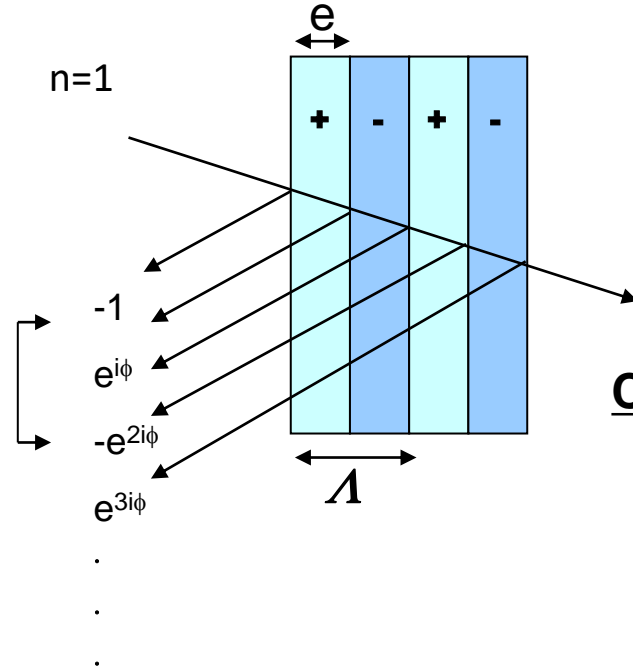
Réseau de Bragg réflectif: modification du pas du réseau = modification de la longueur d'onde réfléchi



# **CAPTEURS DE CONTRAINTES / TEMPÉRATURE**

# RÉFLEXION DE BRAGG

Structure périodique haut / bas indice

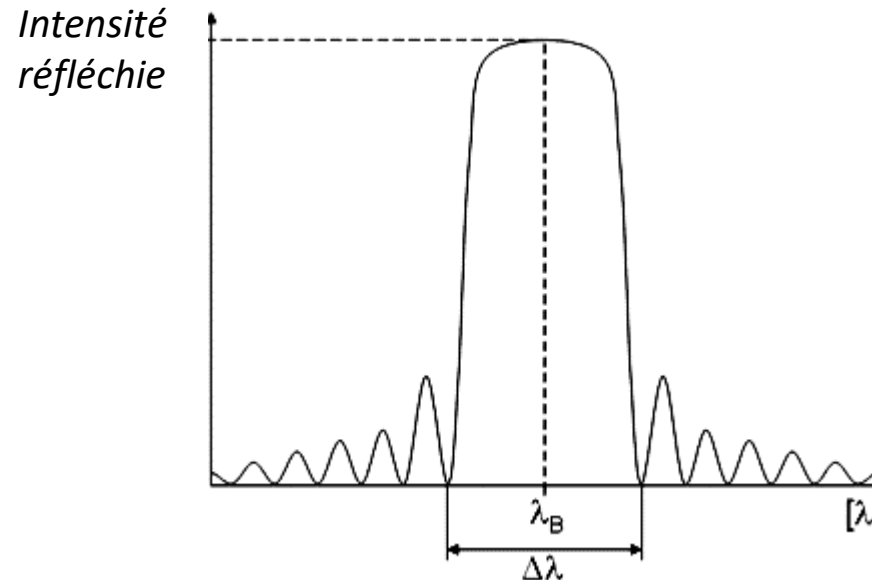


La condition pour que tous les faisceaux réfléchis soient en phase :  $\phi = (2k+1)\pi$

$$\phi = \frac{2\pi}{\lambda} 2\bar{n}e$$

Condition de Bragg  $k = 0$ :

$$\lambda_B = 2\bar{n}\Lambda$$

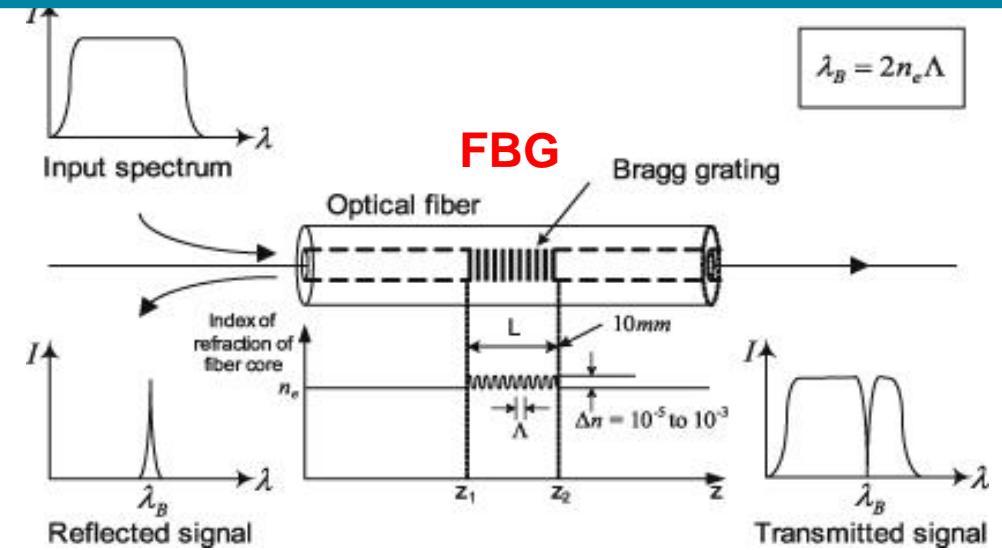




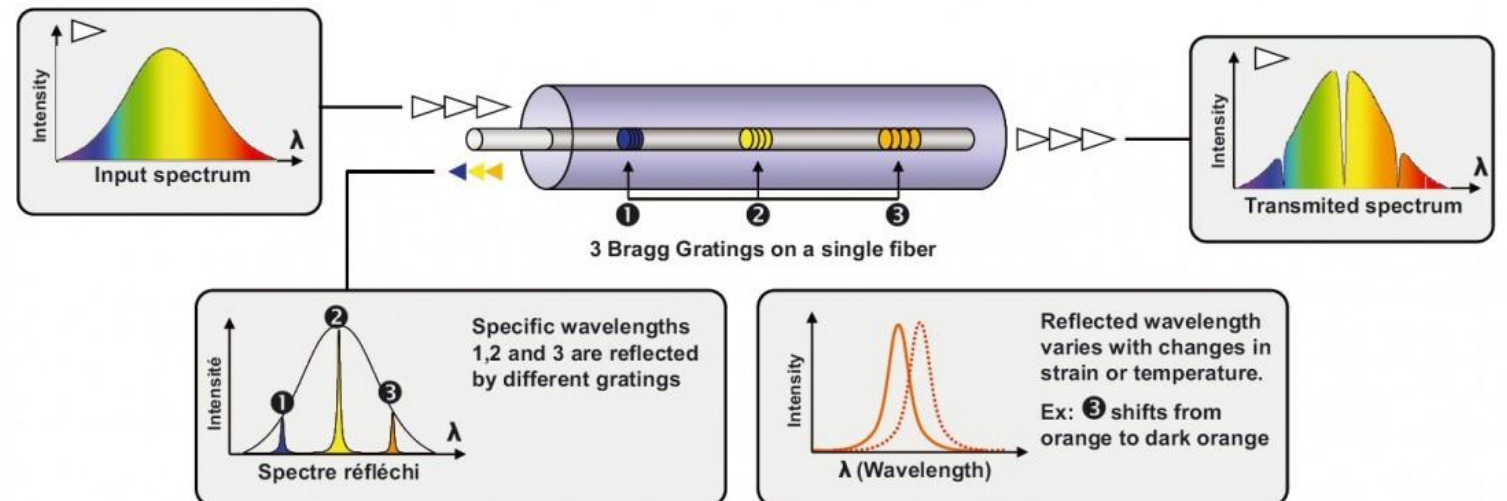
# MESURE CONTRAINTE / TEMPÉRATURE

Technologie:  
**Fiber Bragg Grating**

Réflectivité  
d'un miroir de  
Bragg (**FBG**)



Mise en  
cascade de  
**FBG**

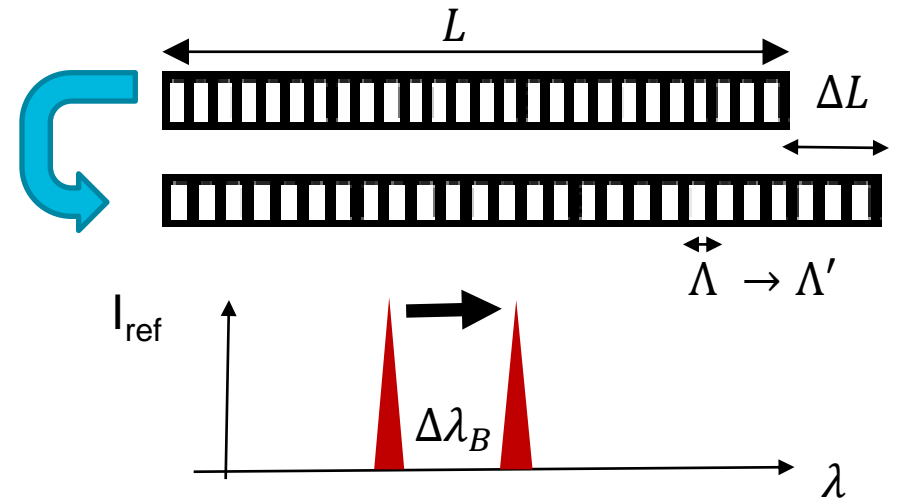


# TRANSDUCTEUR STRESS/ TEMPÉRATURE

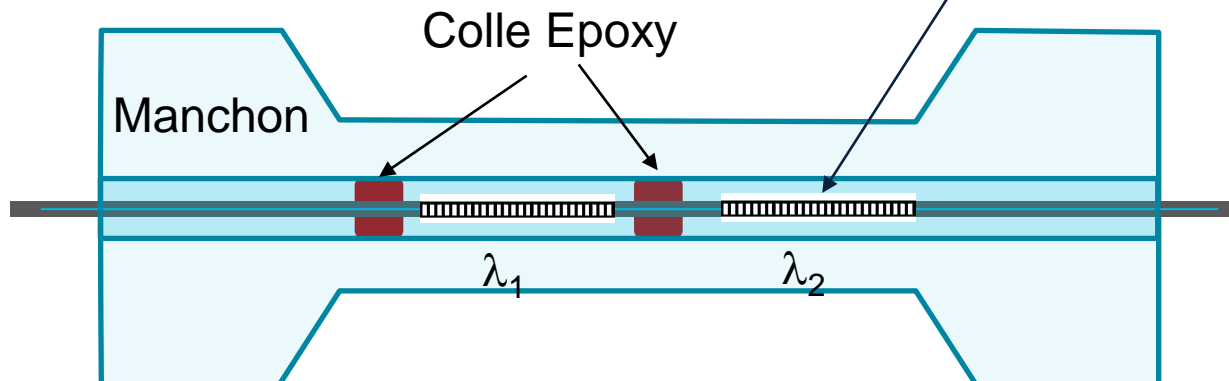
$$\lambda_B = 2\bar{n}\Lambda(\varepsilon, T)$$

$\Lambda$ : période du réseau de Bragg

$$\Rightarrow \Delta\lambda_B = k_\varepsilon \varepsilon + k_T \Delta T$$
$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} \quad \begin{matrix} k_\varepsilon \approx 1,2 \text{ pm}/\mu\varepsilon \\ k_T \approx 10 \text{ pm}/\text{K} \end{matrix}$$



Mesure de contrainte athermalisée: FBG libre



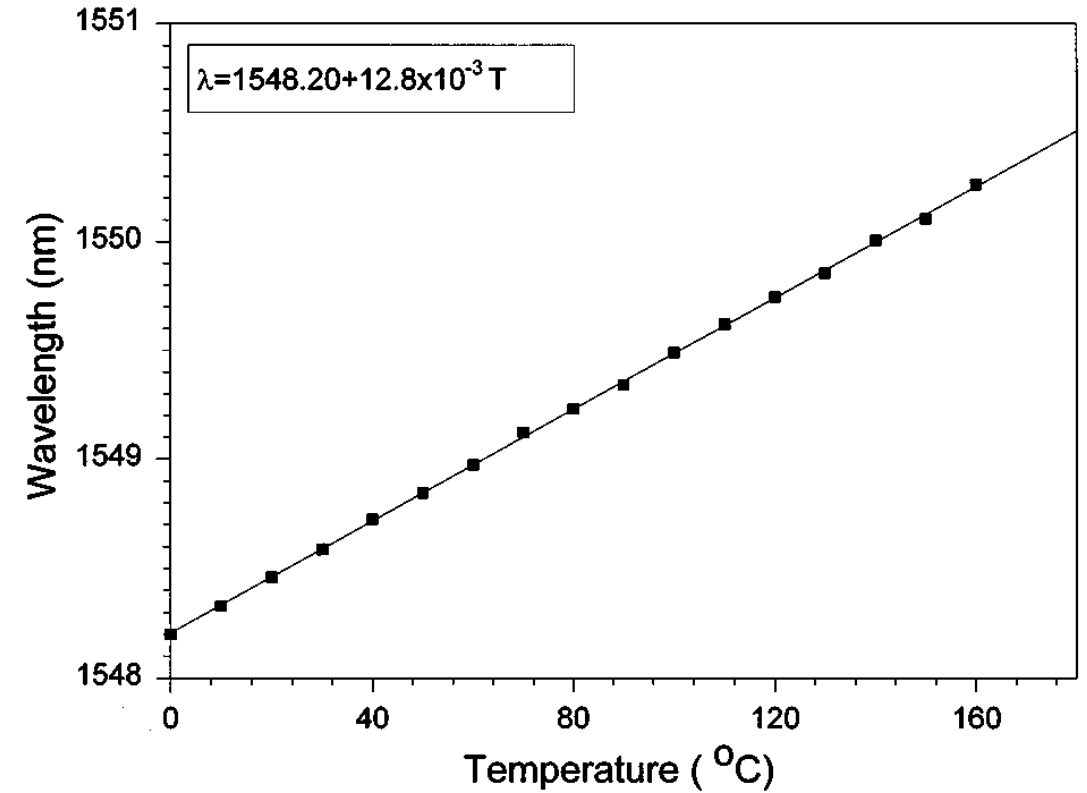
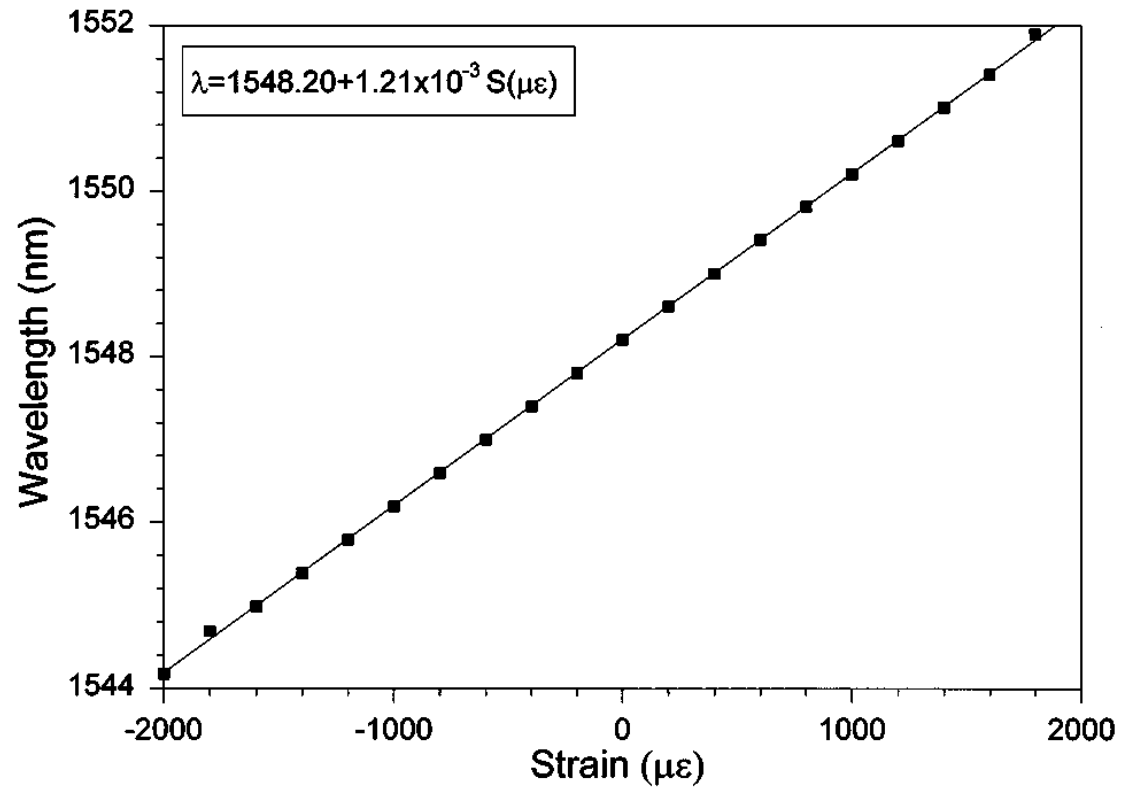
$$\Delta\lambda_1 = k_\varepsilon \varepsilon + k_T \Delta T$$

$$\Delta\lambda_2 = k_T \Delta T$$

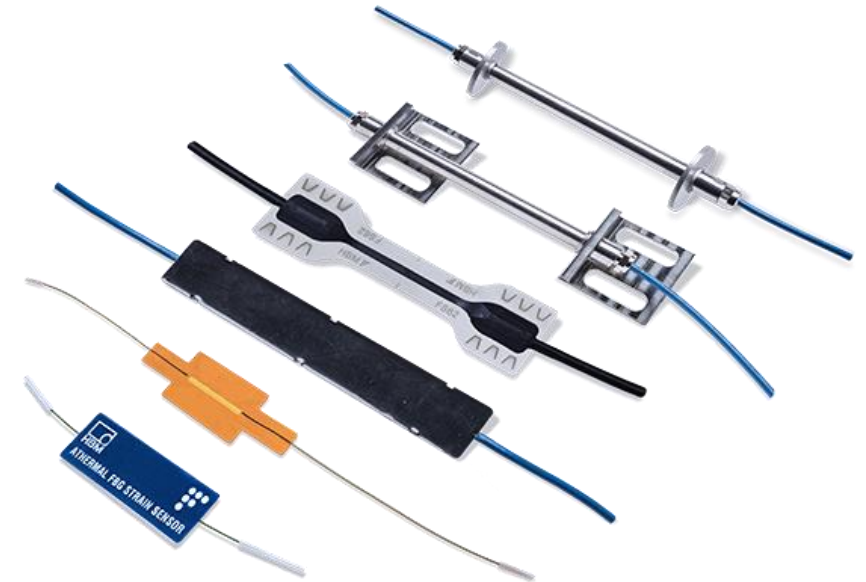
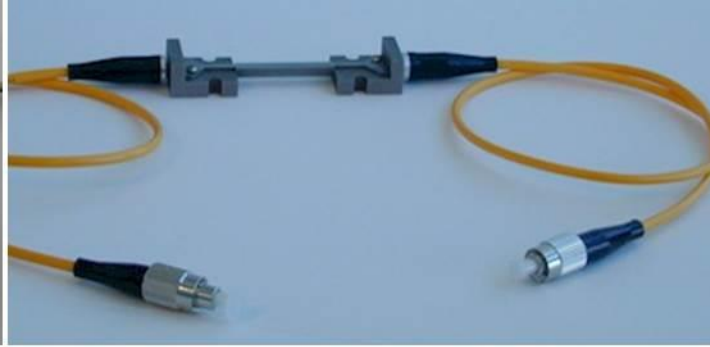
$$\lambda_1 \approx \lambda_2$$

$$\Rightarrow \varepsilon = \frac{\Delta\lambda_1 - \Delta\lambda_2}{k_\varepsilon}$$

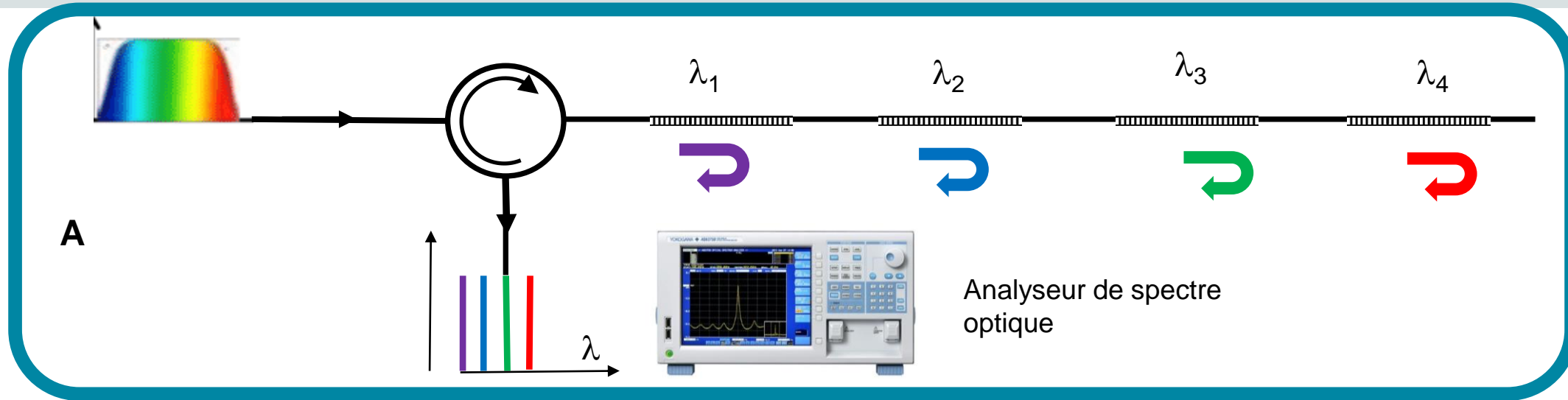
# VARIATIONS VS. CONTRAINTES & TEMPÉRATURE



# TRANSDUCTEURS FBG

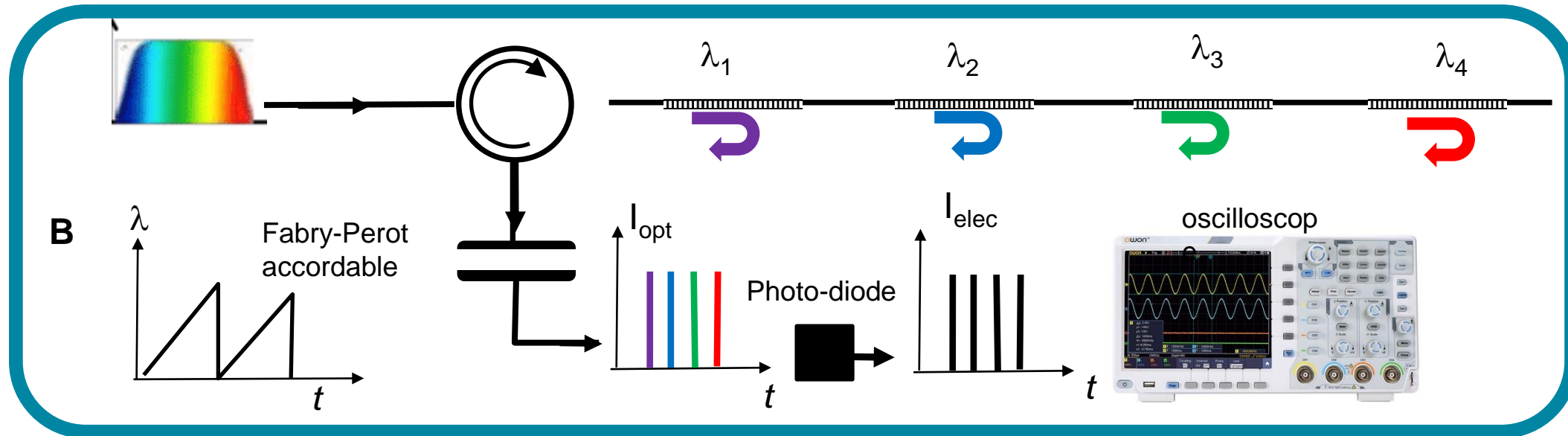


# PRINCIPE DE LA MESURE DE CONTRAINTE & DE TEMPÉRATURE (I)



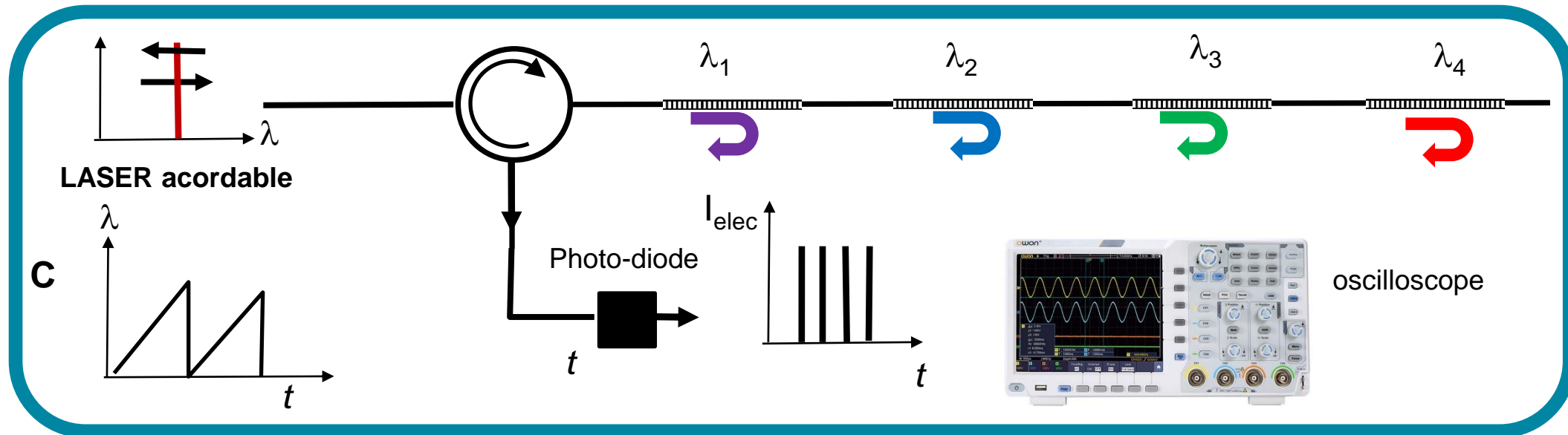
Source large bande  
2 configurations:

- Analyse spectrale
- Analyse temporelle



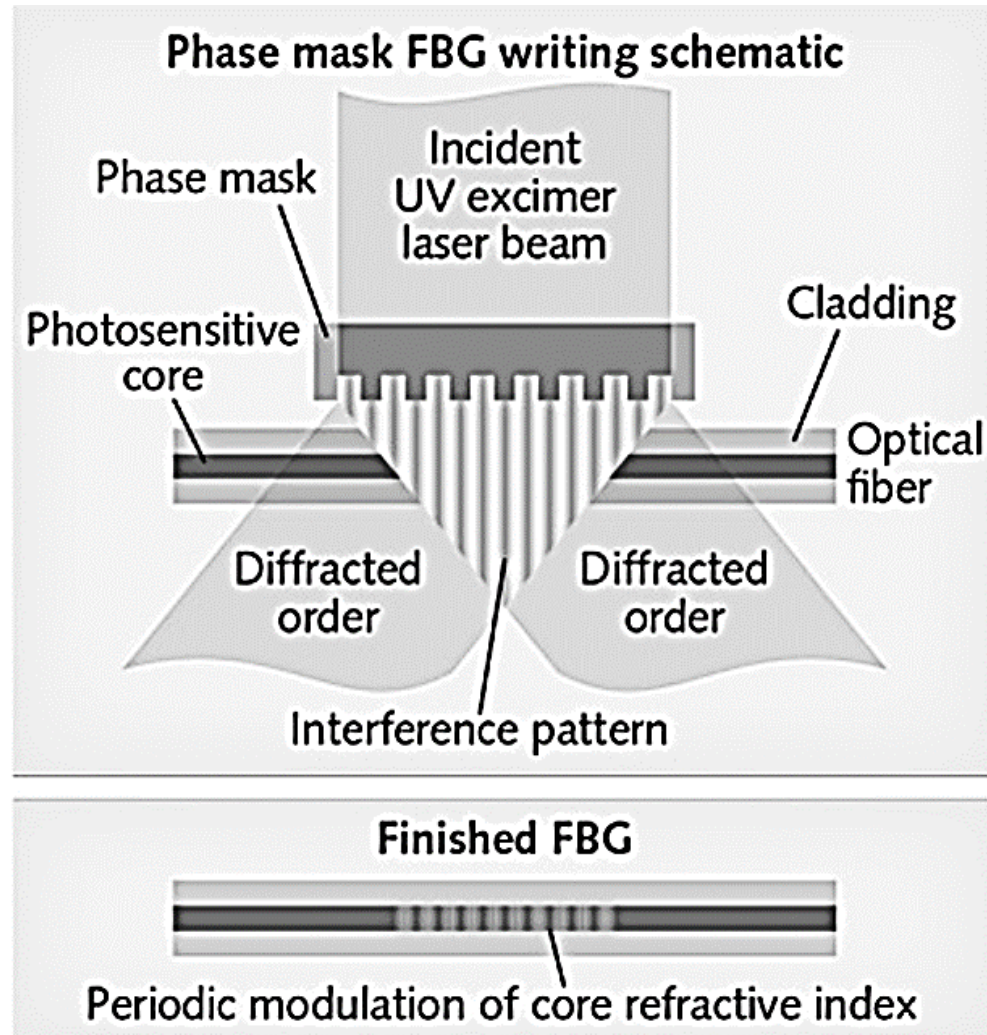
# PRINCIPE DE LA MESURE DE CONTRAINTE & DE TEMPÉRATURE (II)

Source: Laser en mode balayage





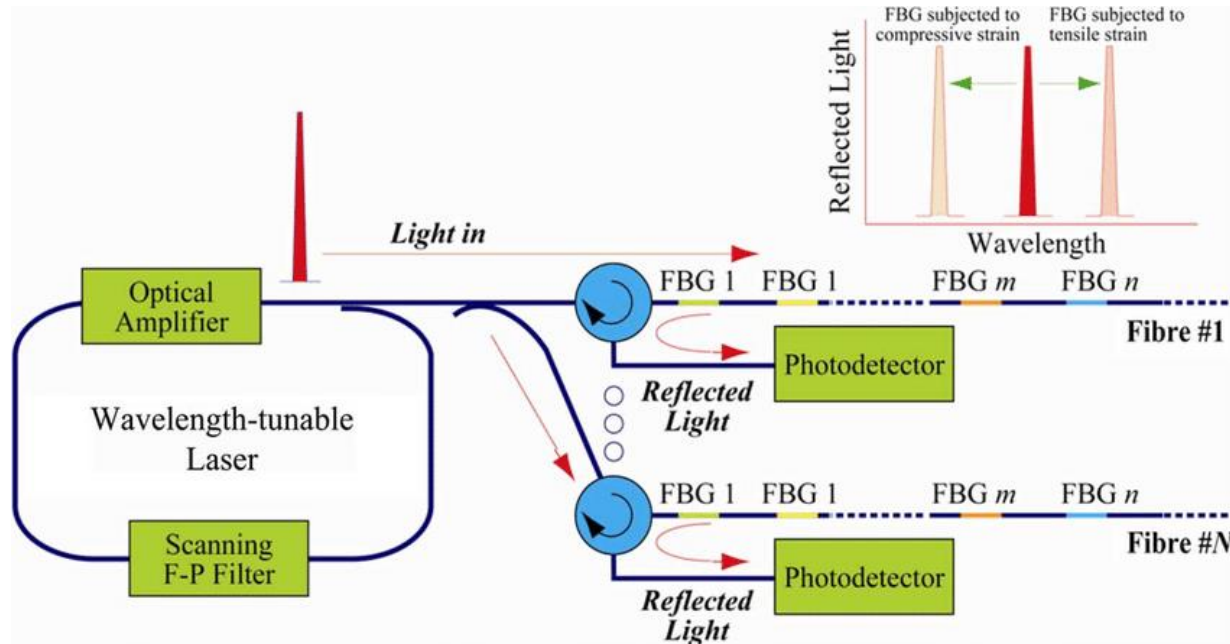
# COMMENT FABRIQUER LES FBG ?



Réseau de diffraction de pas contrôlé: création d'interférence entre deux faisceaux diffractés.

Le pas du réseau est inversement proportionnel à l'angle entre les 2 faisceaux

# INTERROGATEUR DE TRANSDUCTEURS FBG

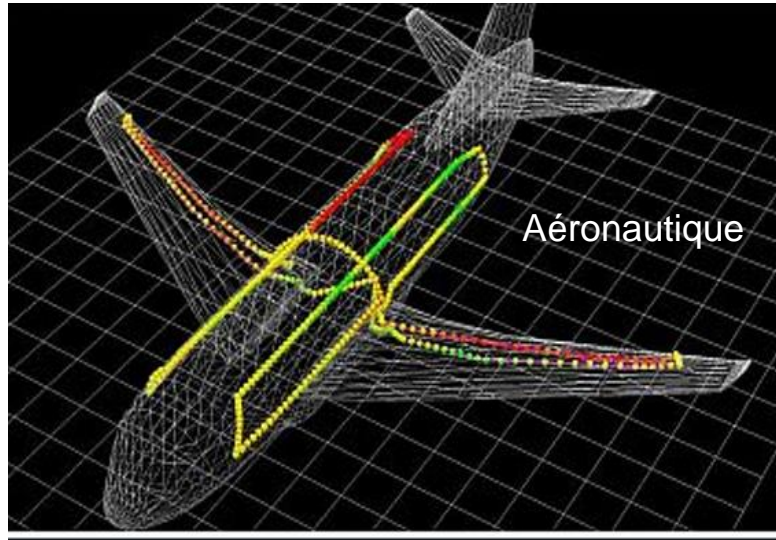


Interrogateur Sm125





# DOMAINES D'APPLICATION



spatial

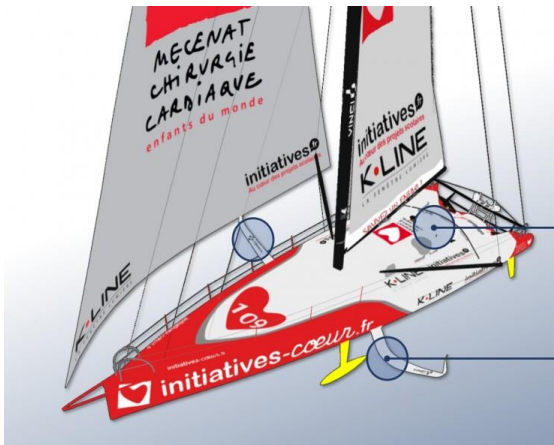
Génie civil / mesure de contraintes



Pression pipe-line



Pression barrage



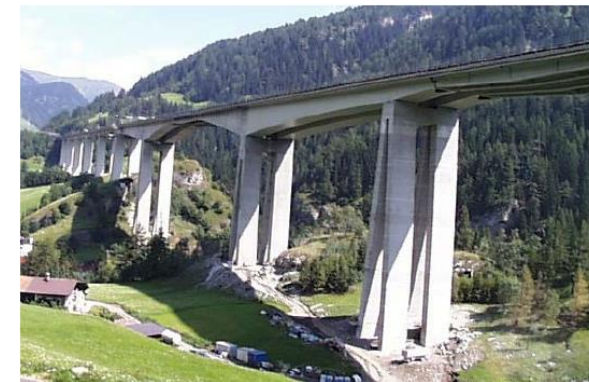
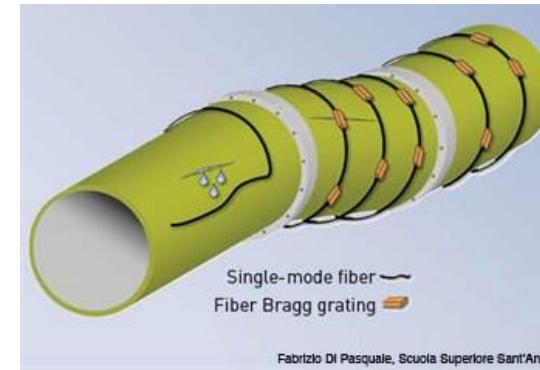
Navigation voile



MDX400-IMOCA

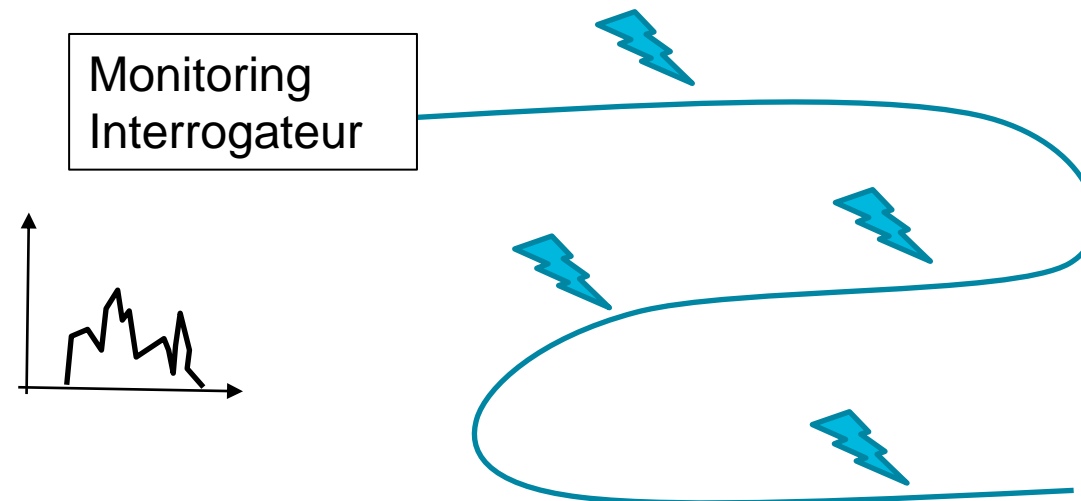


Optical lines



Contraintes pont autoroutier

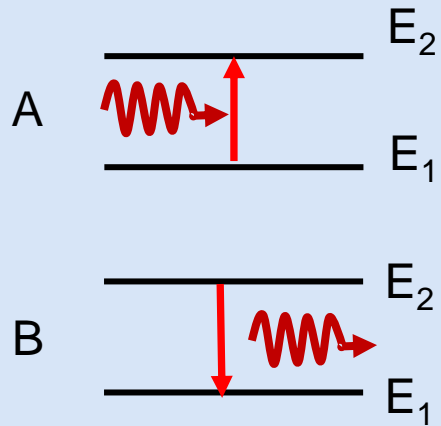
# CAPTEURS DE CONTRAINTES & TEMPÉRATURE DISTRIBUTUÉS



## 2 mécanisme d'interaction:

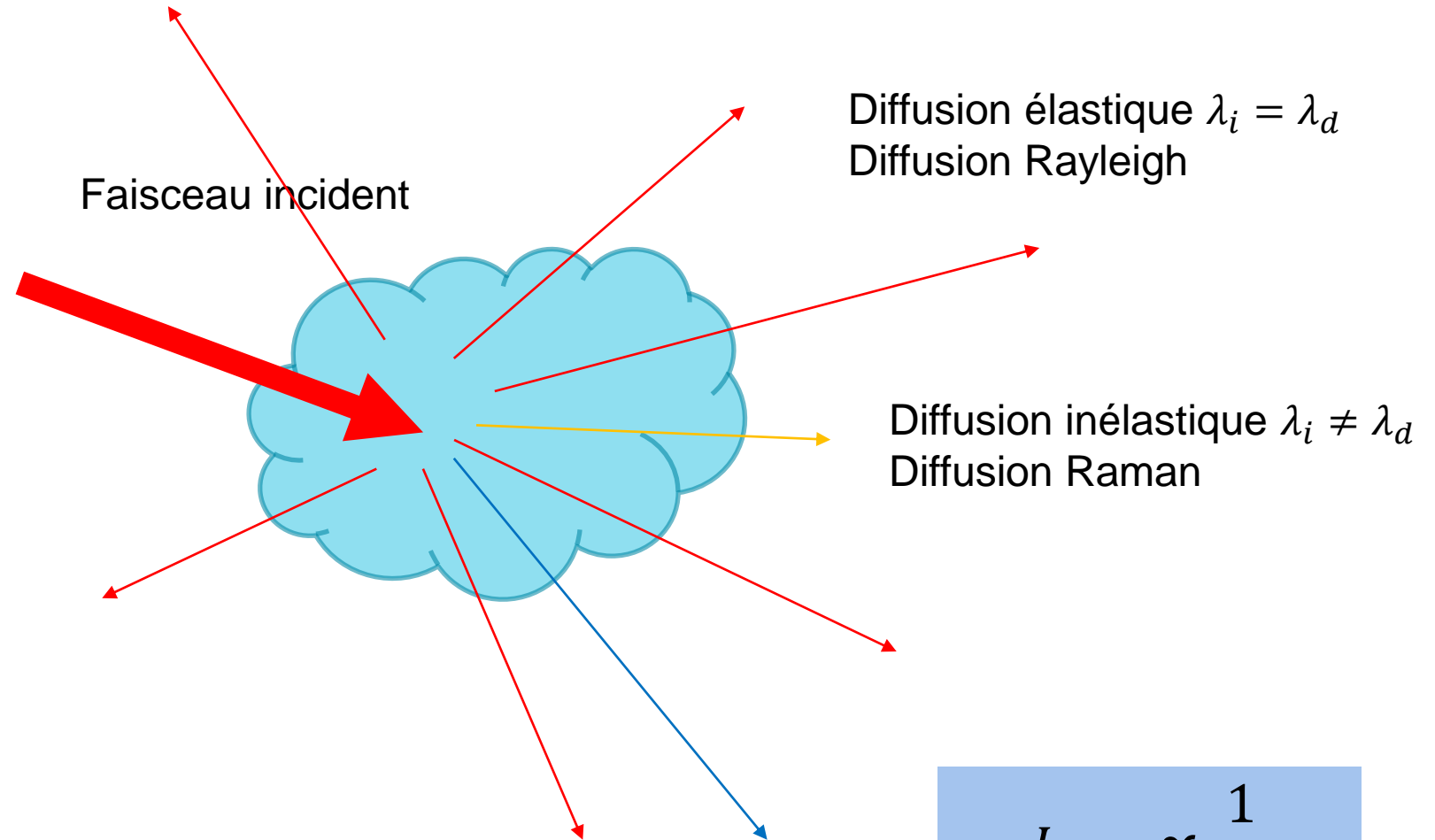
1) Absorption

2) Émission spontanée

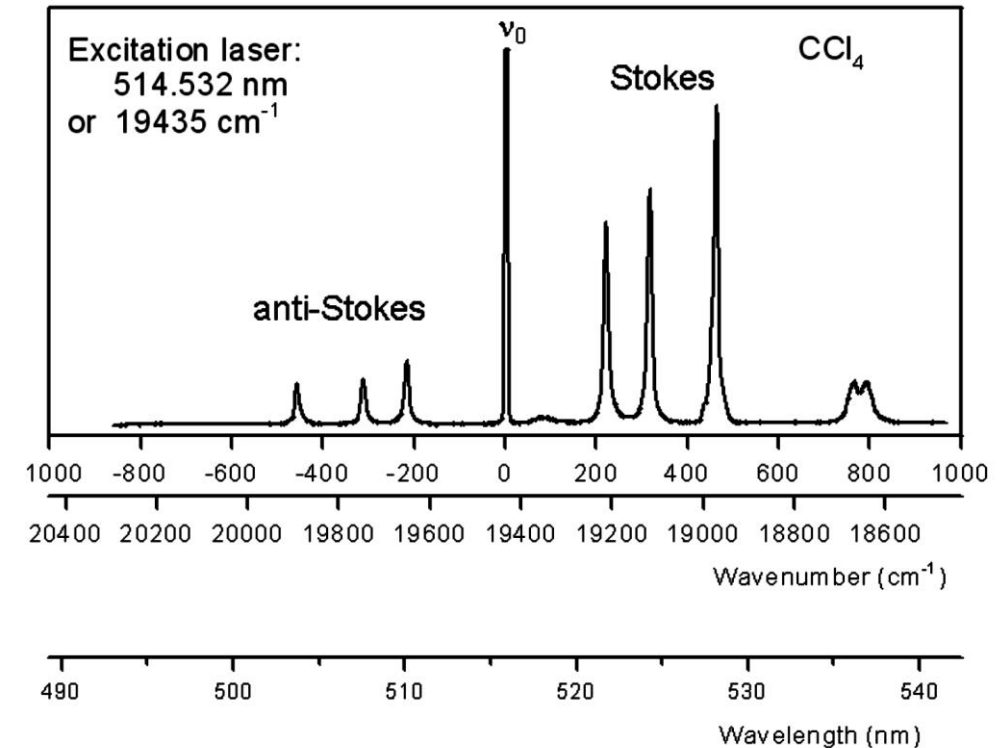
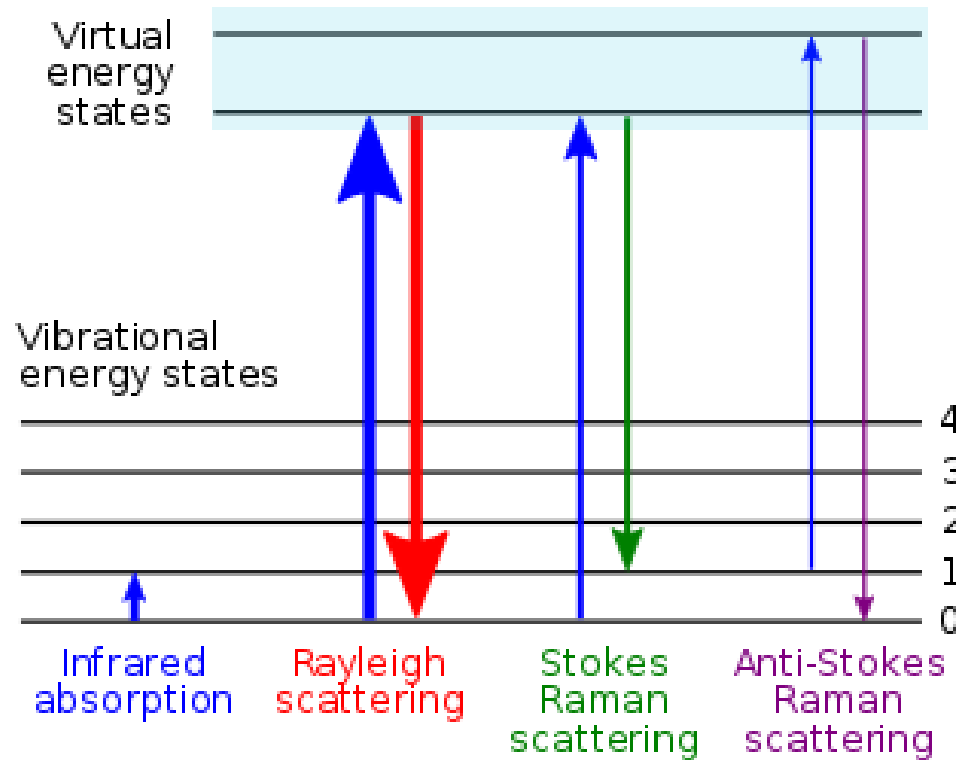


**Fluorescence:** absorption d'un photon de haute énergie suivie d'une réémission spontanée d'un photon avec  $\lambda_i \neq \lambda_d$

## Diffusion et rétrodiffusion

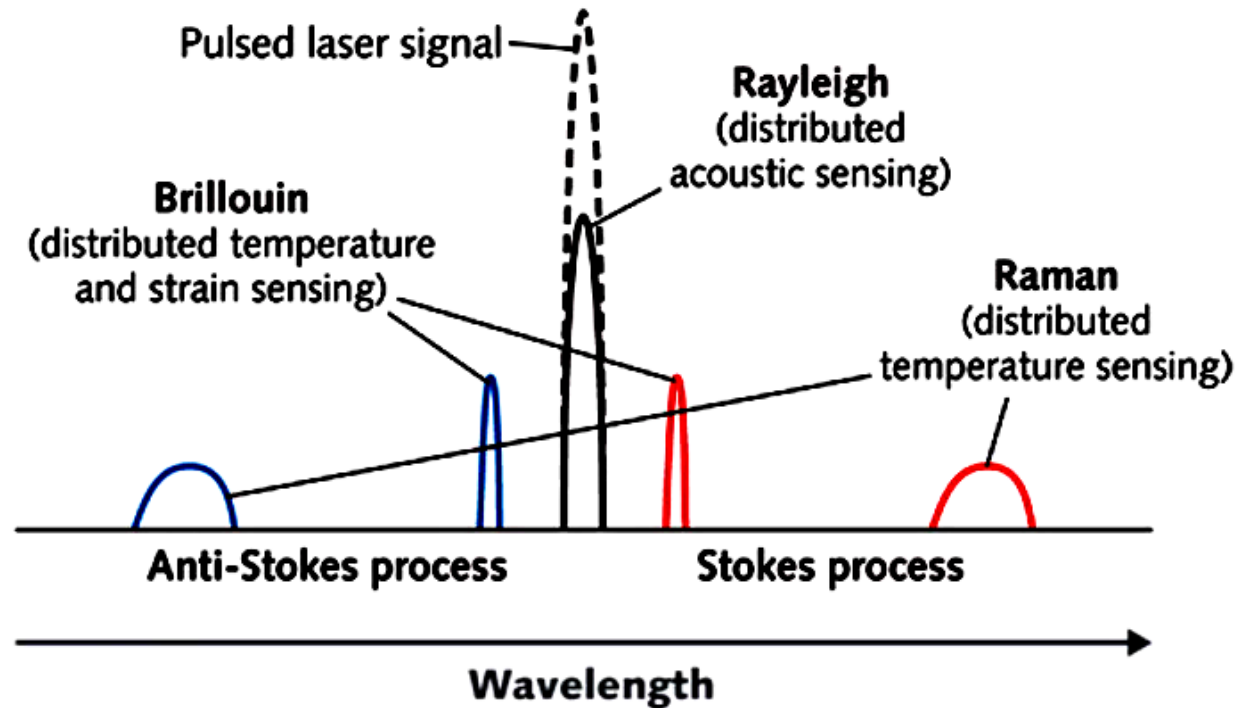
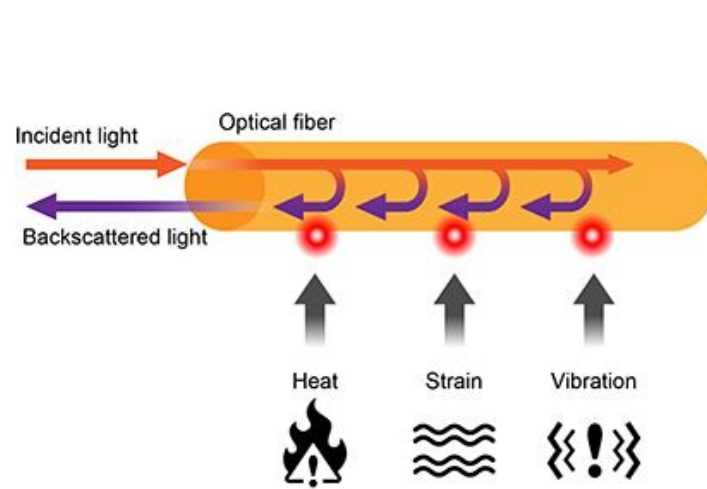


$$I_{diff} \propto \frac{1}{\lambda^4}$$



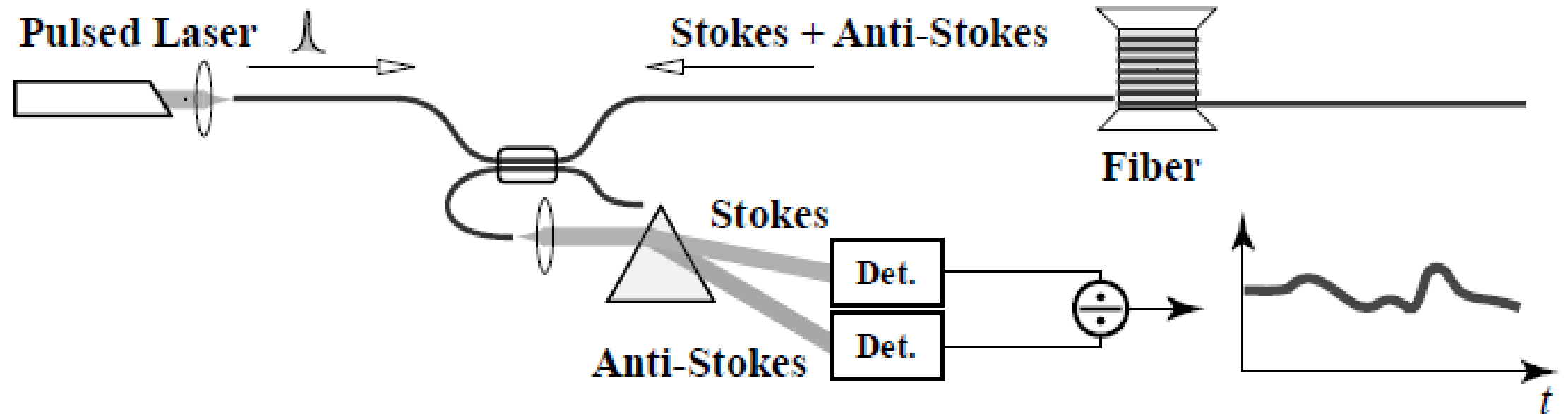
- Effet Raman: très faible:  $10^{-6}$  à  $10^{-9}$  fois l'intensité incidente
- Ce mécanisme est associé à une probabilité de transition très faible

# CAPTEURS À FIBRE PAR RÉTRODIFFUSION RAYLEIGH & RAMAN



**Diffusion Brillouin:** diffusion liée à l'interaction entre un photon et un phonon (onde acoustique de vibration de la matrice de verre)

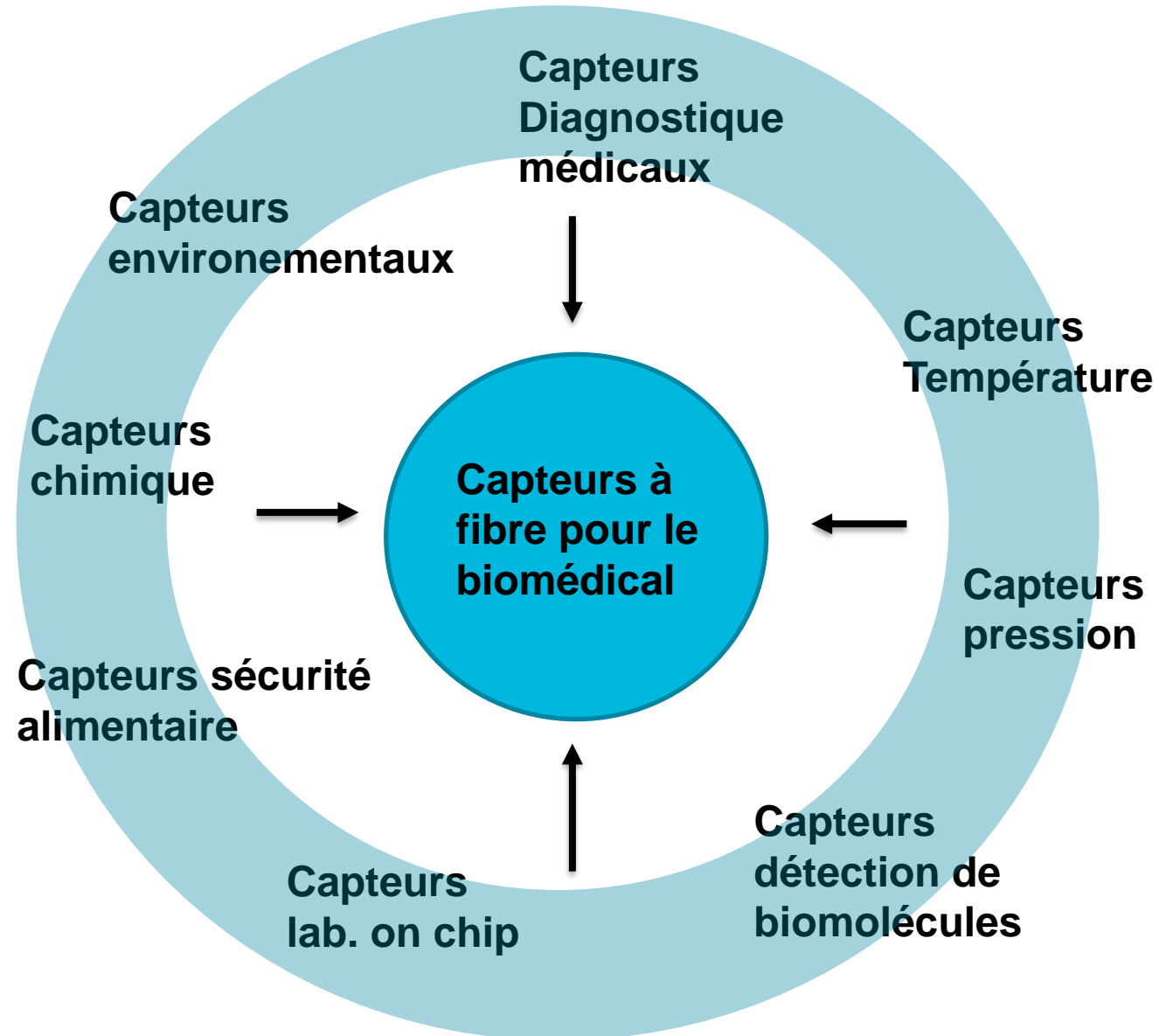
# ARCHITECTURE D'UN CAPTEUR PRESSION TEMPÉRATURE DISTRIBUTUÉ



# **CAPTEURS À FIBRE OPTIQUE POUR LE BIOMÉDICAL**

# LES DIFFÉRENTS TYPES DE TRANSDUCTEURS SPÉCIFIQUES AU BIOMÉDICAL

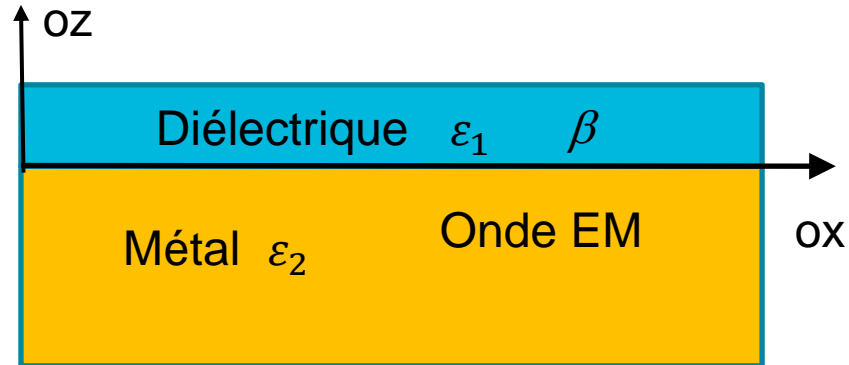
Utilisation de l'effet  
plasmonique sur la fibre



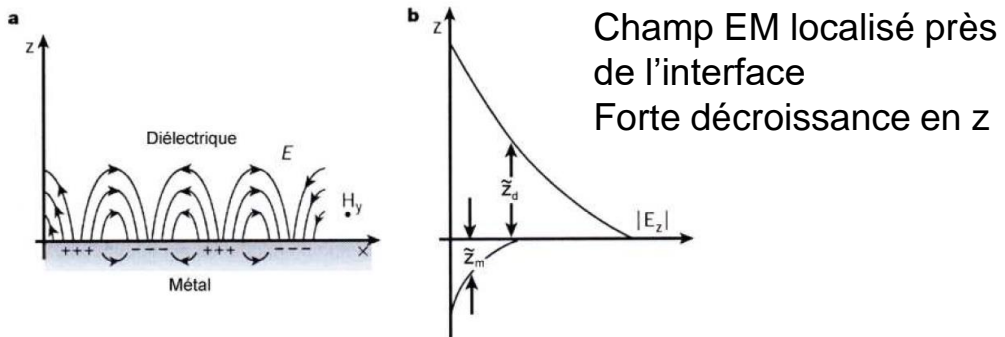


# PLASMON DE SURFACE: ONDE E-M À L'INTERFACE MÉTAL DIÉLECTRIQUE

25



Propagation d'une onde évanescente selon  $ox$   
À l'interface entre un milieu diélectrique et un milieu métallique (conducteur)

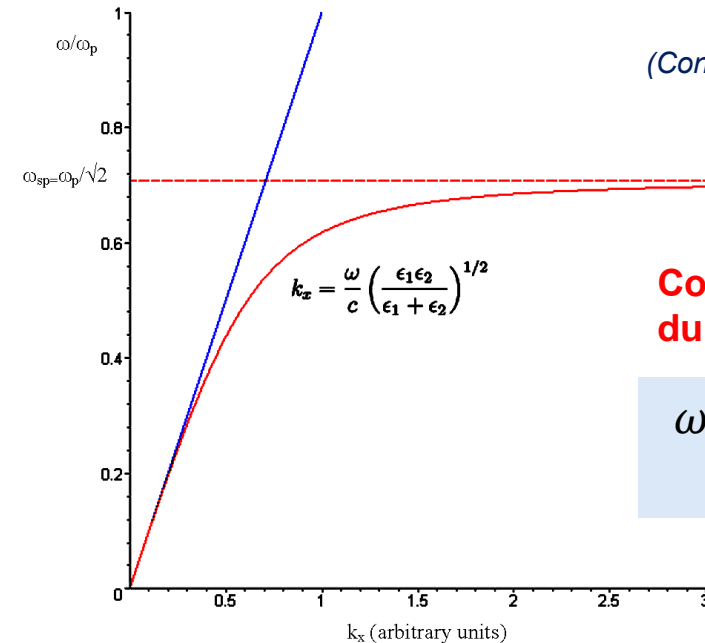


$\epsilon_1$  permittivité du diélectrique

$\epsilon_2(\omega) = 1 - \frac{\omega_p^2}{\omega^2}$  permittivité du métal aux faibles fréquences (*modèle de Drude*)

Vecteur d'onde plasmon:  $k_x = \beta = \frac{\omega}{c} \sqrt{\frac{\epsilon_1 \epsilon_2}{\epsilon_1 + \epsilon_2}}$

(Continuité champs à l'interface)



Cas  $\epsilon_1 = 1$

**Condition de l'existence du plasmon:**

$$\omega < \omega_p : \epsilon_2(\omega) < 0$$

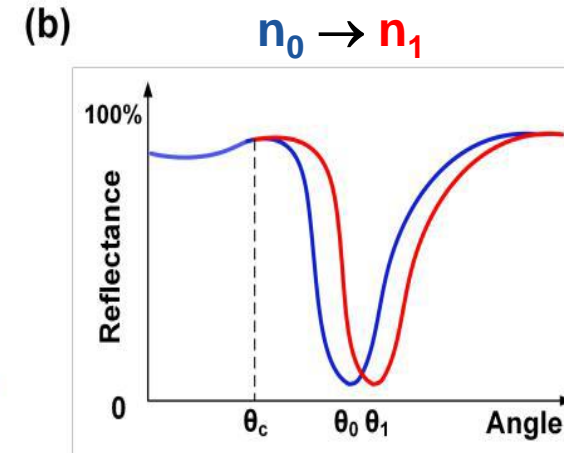
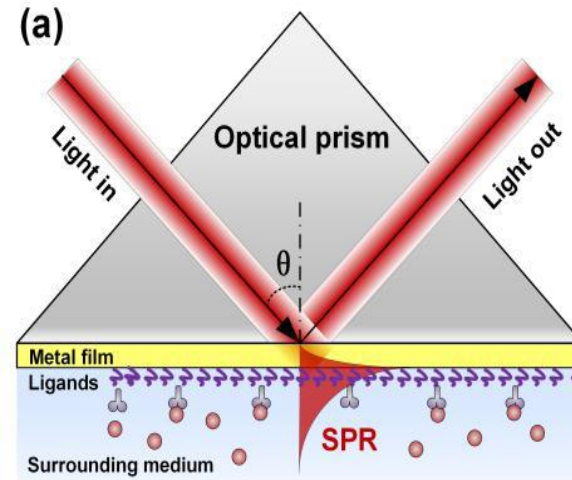
$$\epsilon_1(\omega) < -\epsilon_2(\omega)$$

# BIO-CAPTEUR À FIBRE: UTILISATION DE LA PLASMONIQUE (1)

## Utilisation de l'effet plasmonique

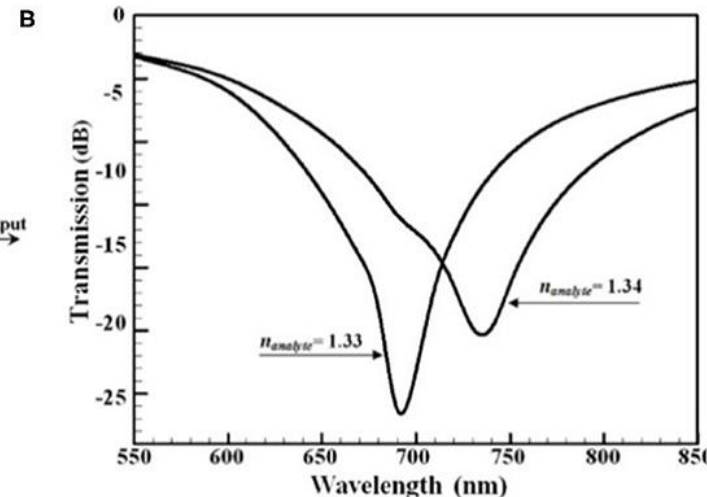
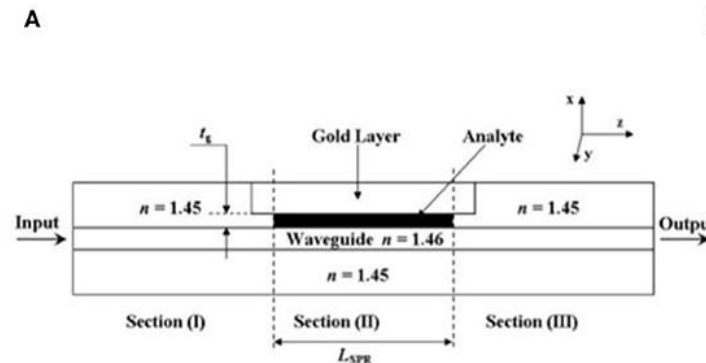
### Plasmon de surface

Surface plasmon resonance (SPR).



Couplage entre faisceau incident et onde plasmonique très sensible au changement d'indice du diélectrique

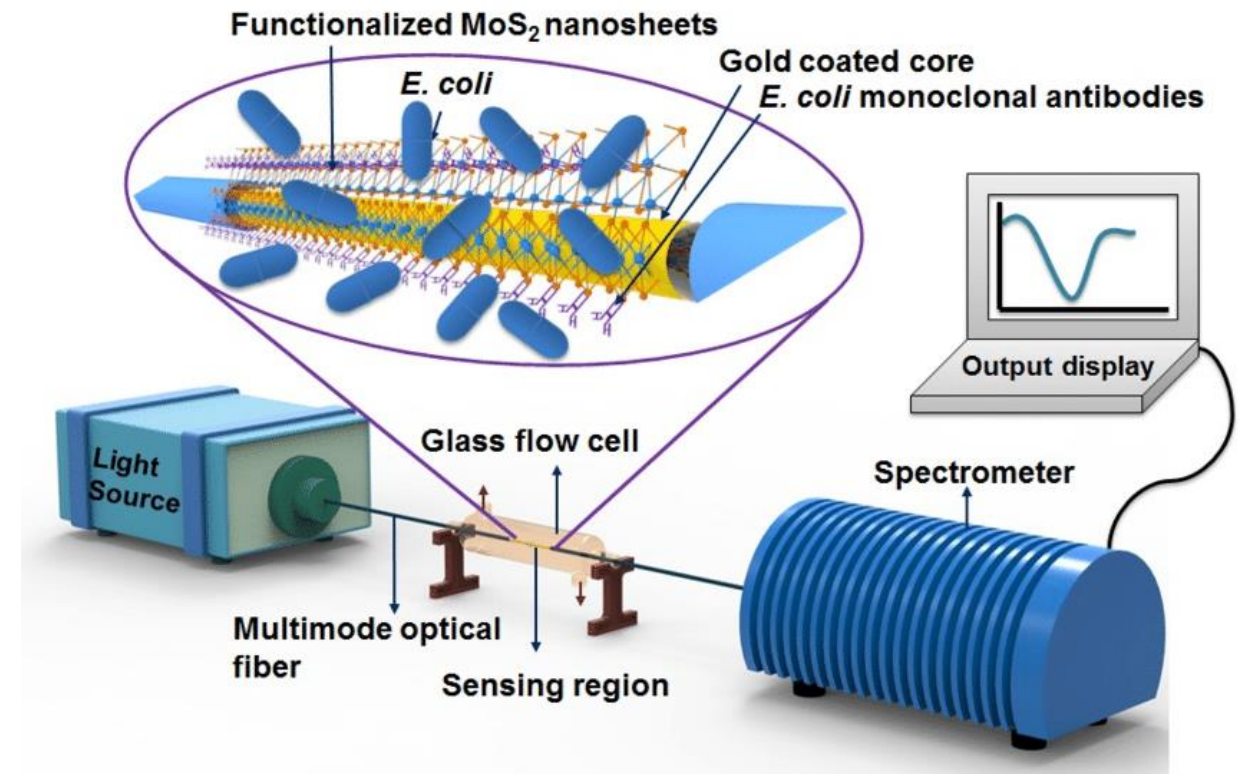
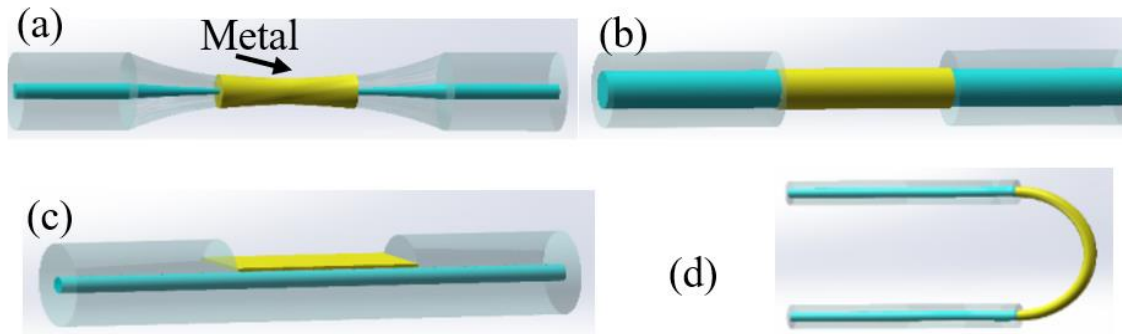
### Plasmon sur fibre optique



Couplage entre le mode guidé et l'onde plasmonique très sensible au changement d'indice du diélectrique

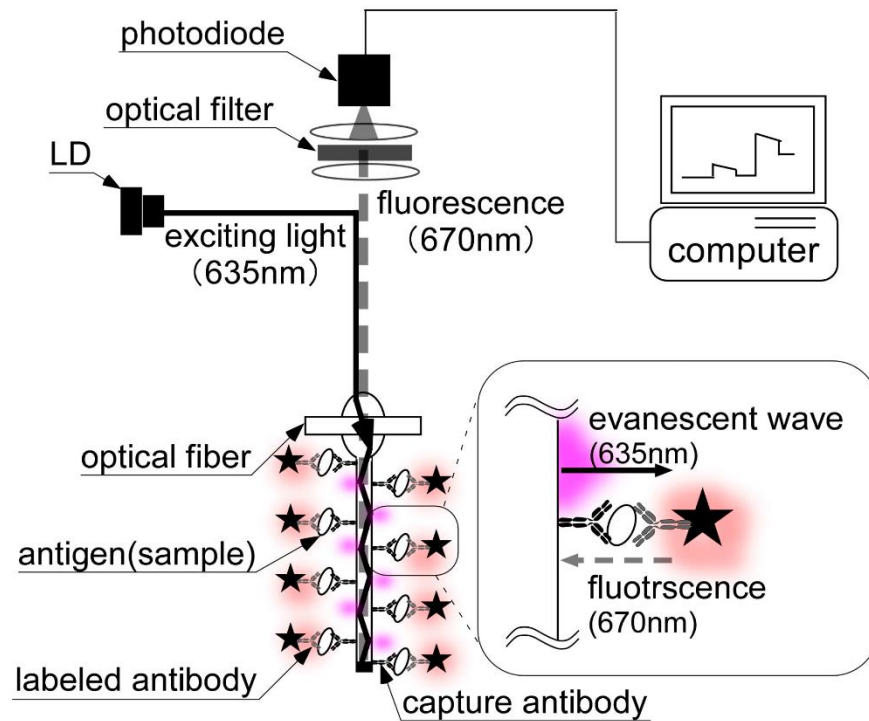
# BIO-CAPTEUR À FIBRE: UTILISATION DE LA PLASMONIQUE (2)

Géométries de fibres avec dépôt d'or pour générer l'effet plasmonique



# BIODÉTECTION (3)

## Utilisation de la fluorescence



Sensors **2017**, 17, 2145; doi:10.3390/s17092145

## Utilisation d'un FBG

