



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

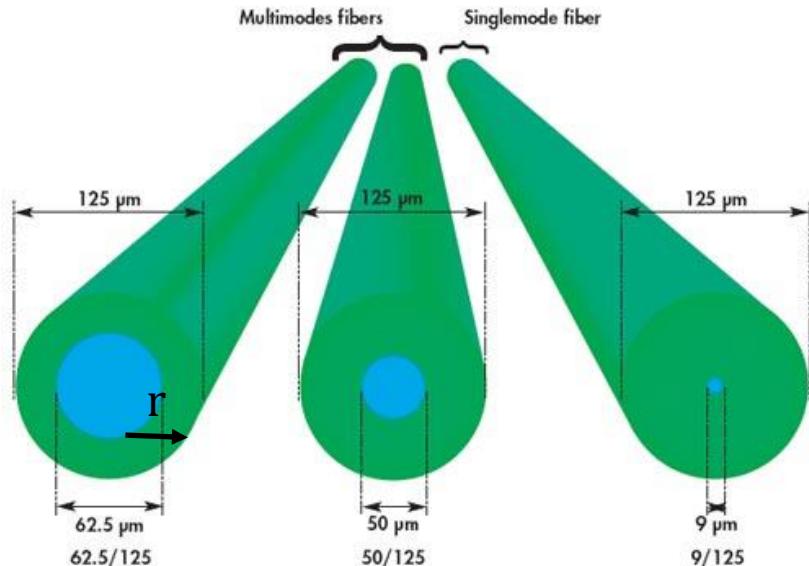
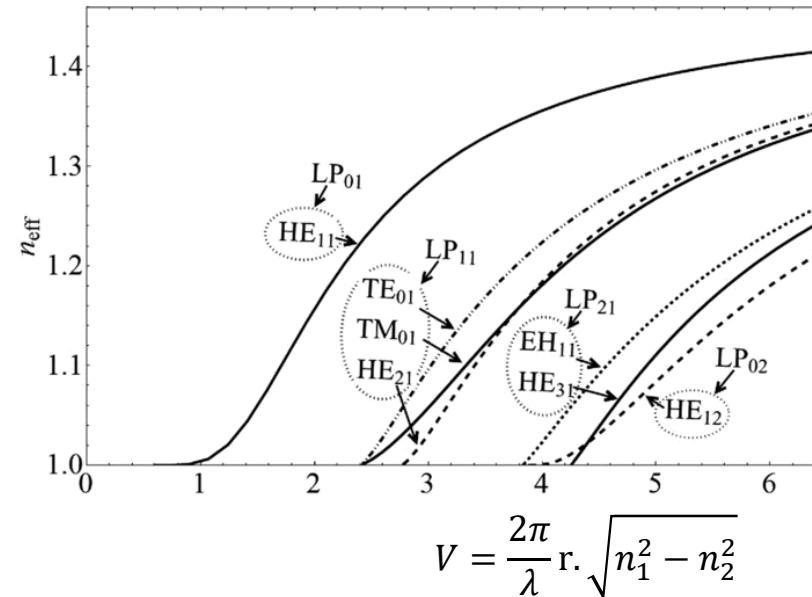
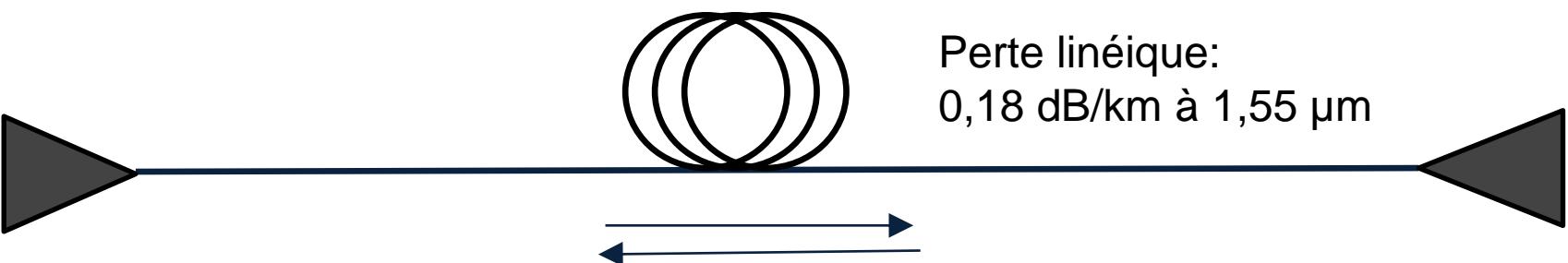
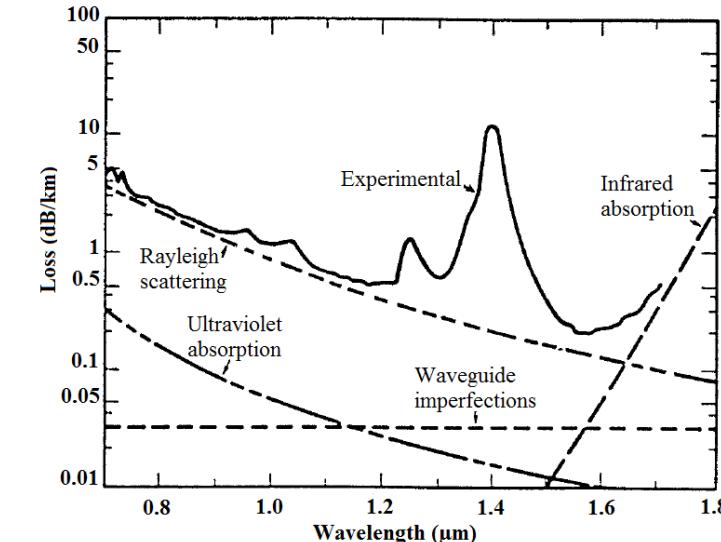


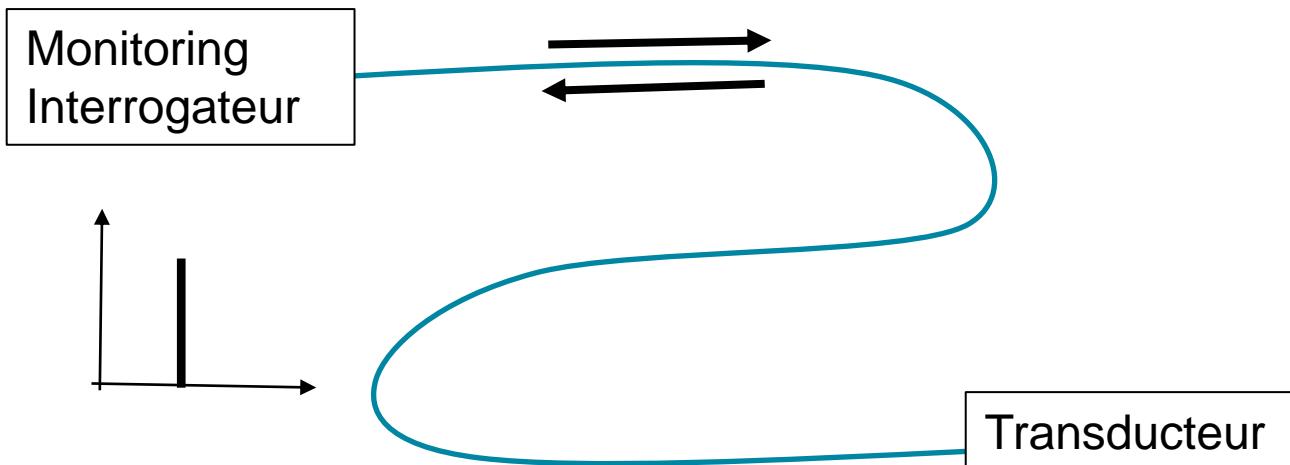
Diagramme de dispersion des modes



Absorption fibre optique

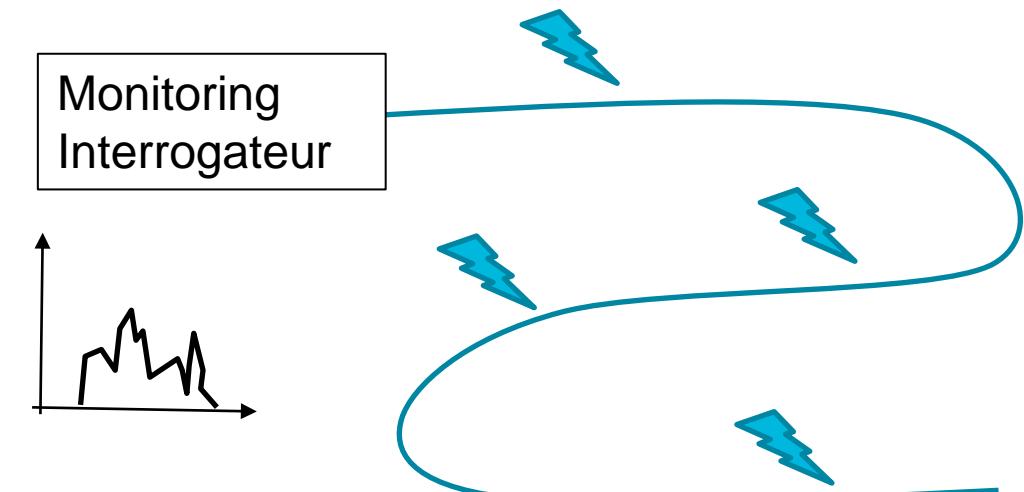
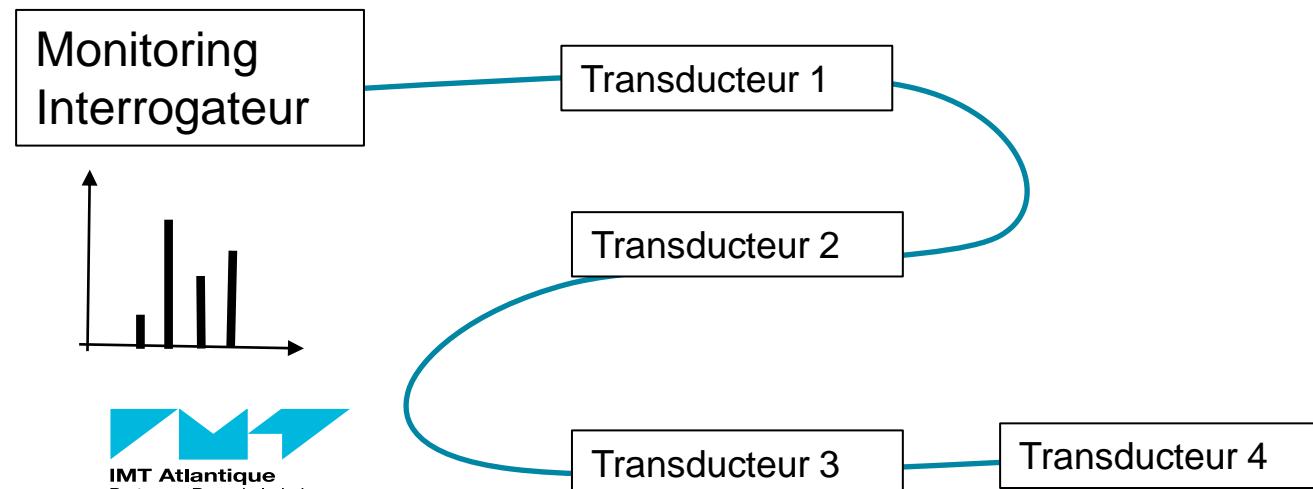


ARCHITECTURE DES CAPTEURS À FIBRE OPTIQUE



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)



EX: INSPECTION DES FIBRES OPTIQUES

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

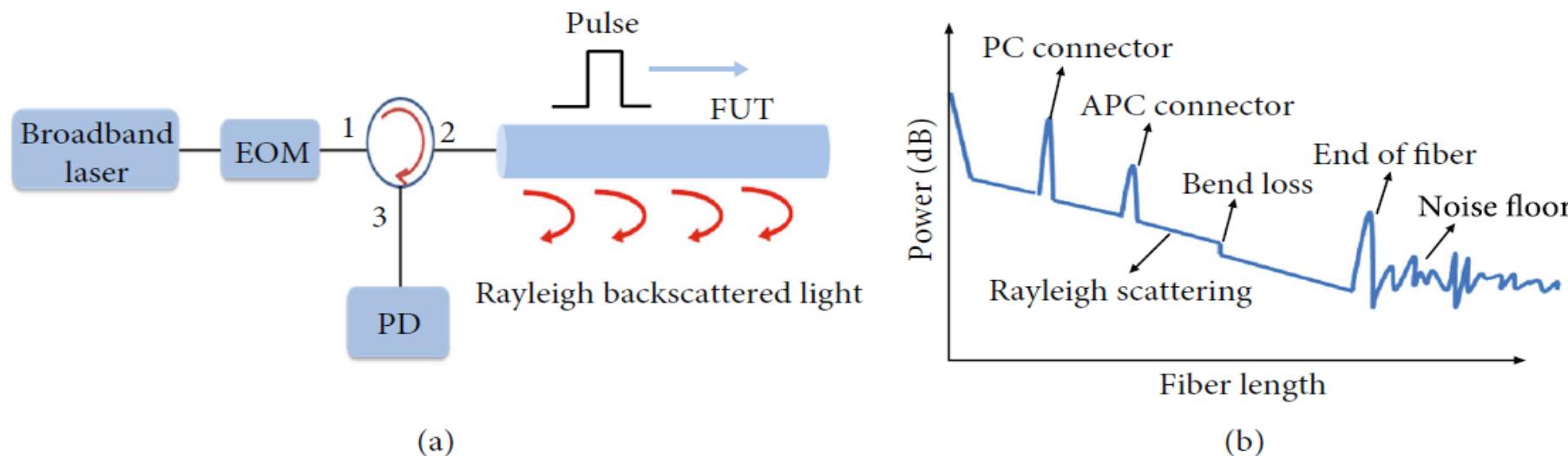
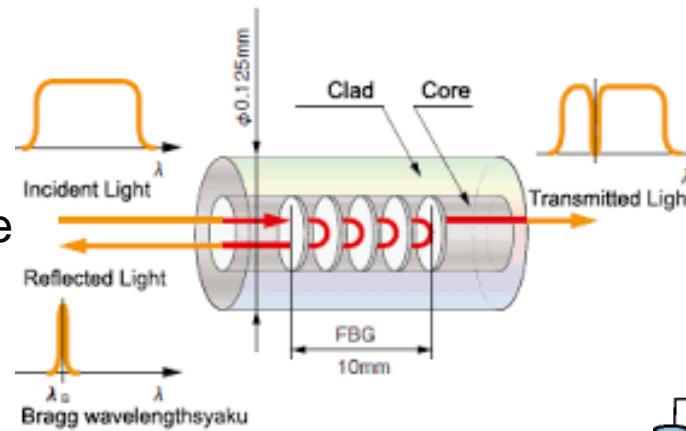


FIGURE 2: (a) Experimental setup of typical OTDR system. (b) Reflected Rayleigh traces.

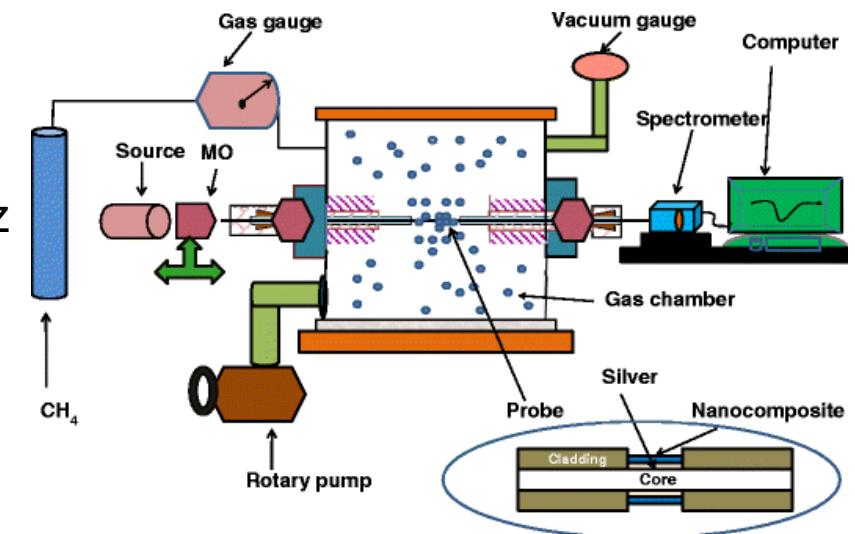
LES FAMILLES DE CAPTEURS AVEC FIBRE OPTIQUE

Mesure de température

Mesure de contraintes mécanique

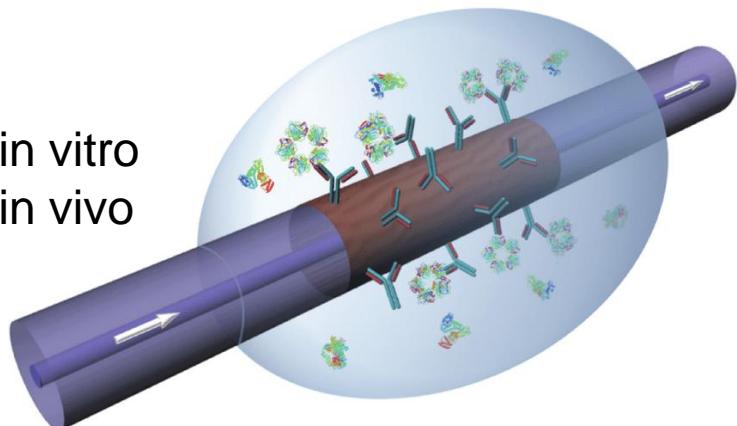


Mesure de concentration en gaz

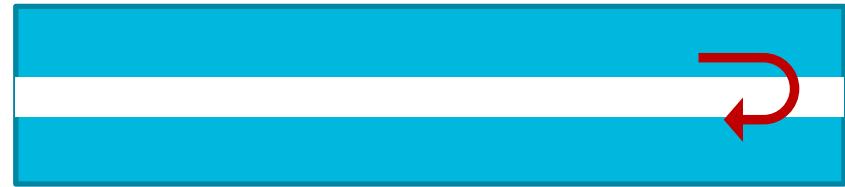


Mesure biologique in vitro

Mesure biologique in vivo



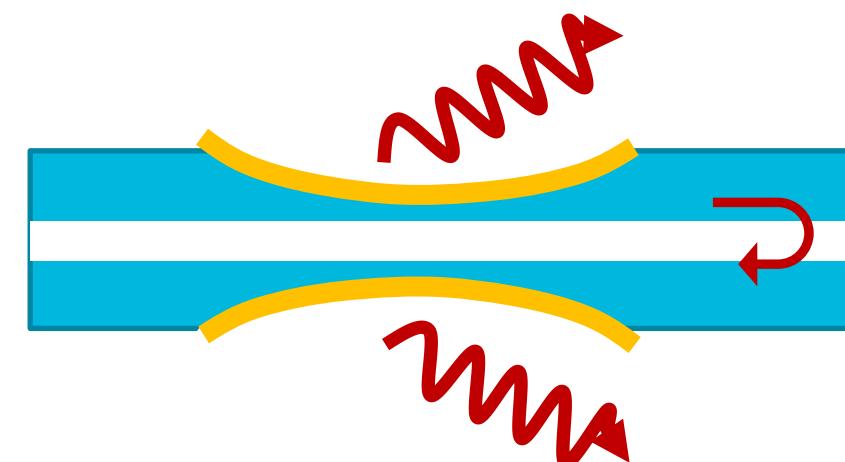
LES DIFFÉRENTS TYPES DE TRANSDUCTEUR



Section fonctionnalisée
Modification réflectivité



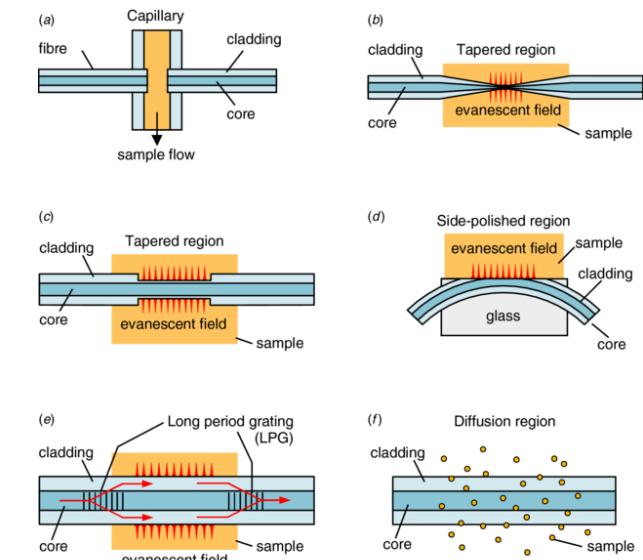
Interféromètre Fabry-Perot
Modification de l'indice intra-
cavité = modification de la
réflectivité



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



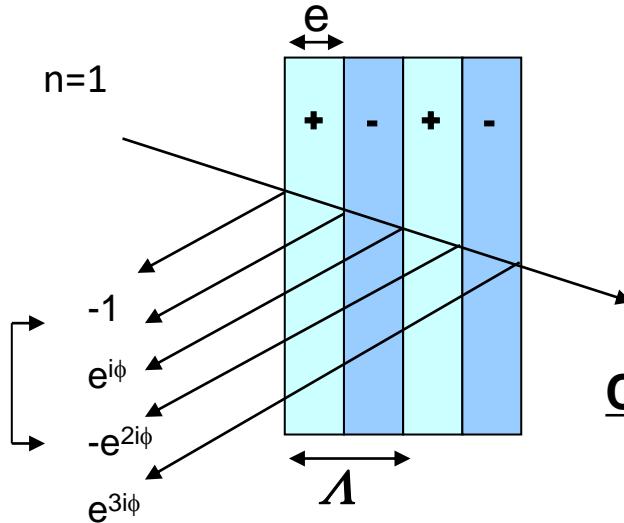
Réseau de Bragg réfléctif: modification
du pas du réseau =modification de la
longueur d'onde réfléchie



CAPTEURS DE CONTRAINTES / TEMPÉRATURE

RÉFLEXION DE BRAGG

Structure périodique haut / bas indice

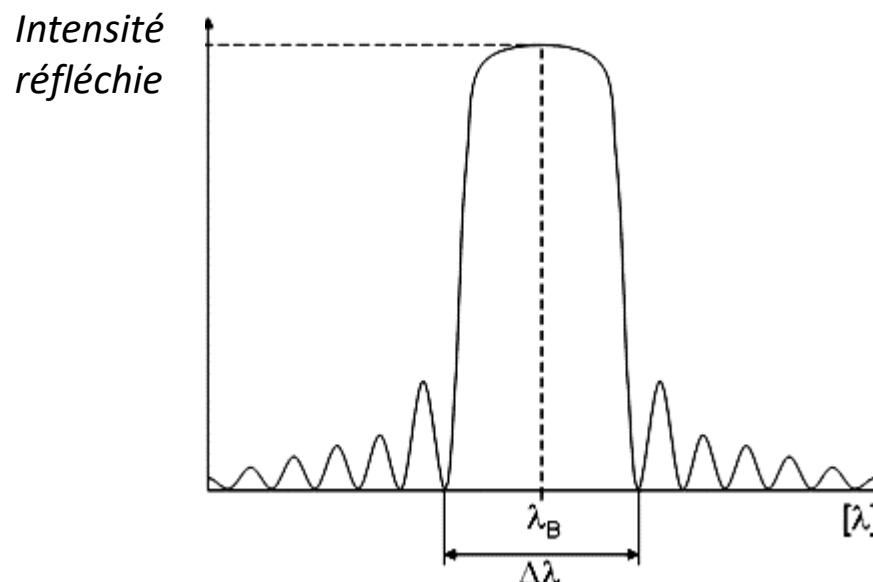


La condition pour que tous les faisceaux réfléchis soient en phase : $\phi = (2k+1)\pi$

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

Condition de Bragg $k = 0$:

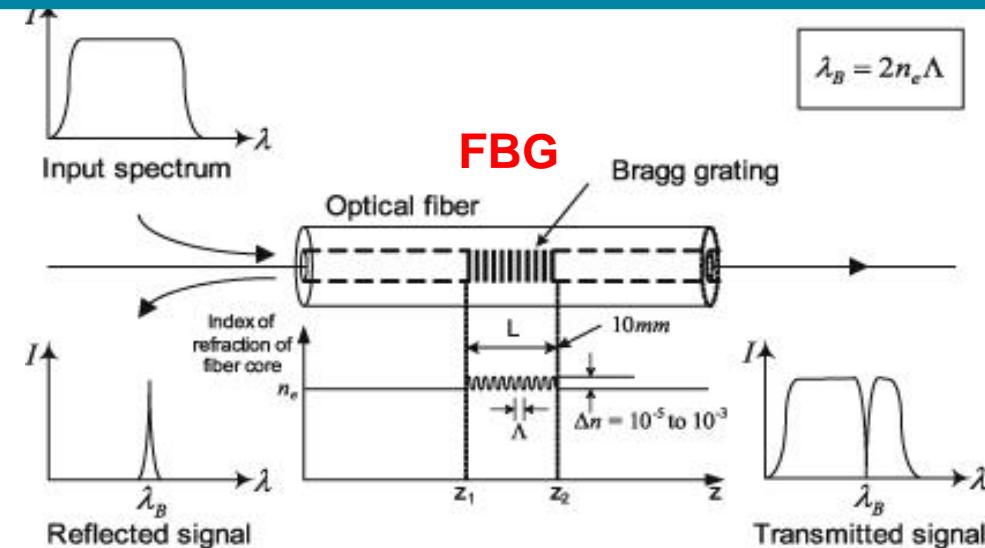
$$\lambda_B = 2\bar{n}\Lambda$$



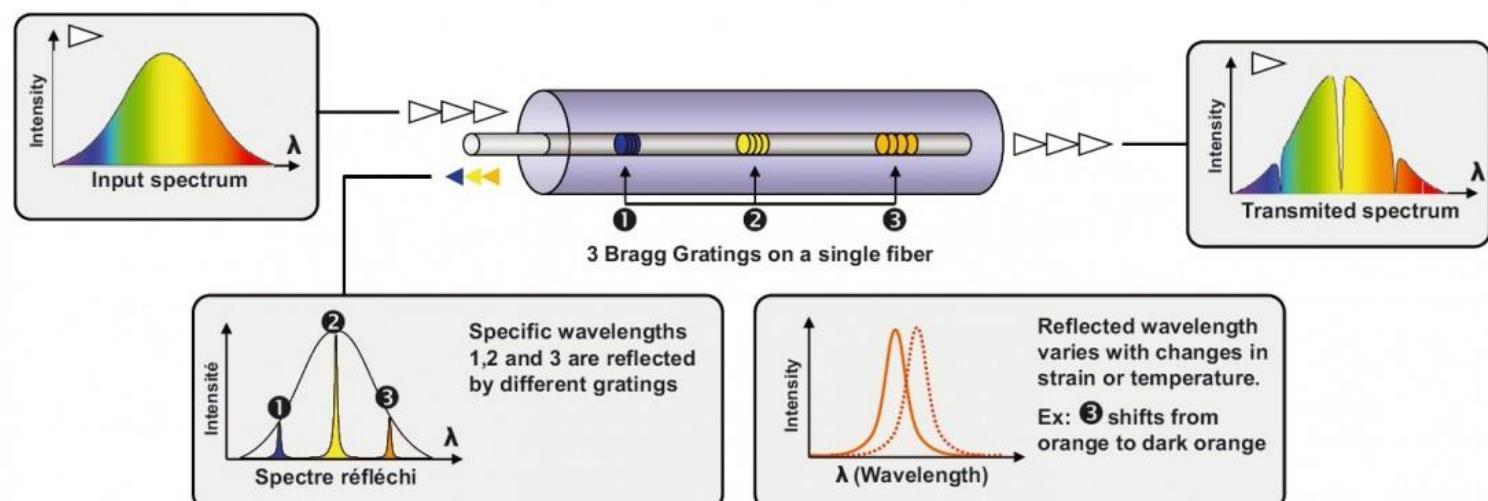
MESURE CONTRAINTE / TEMPÉRATURE

Technologie:
Fiber Bragg Grating

Réflectivité d'un miroir de Bragg (FBG)



Mise en cascade de FBG



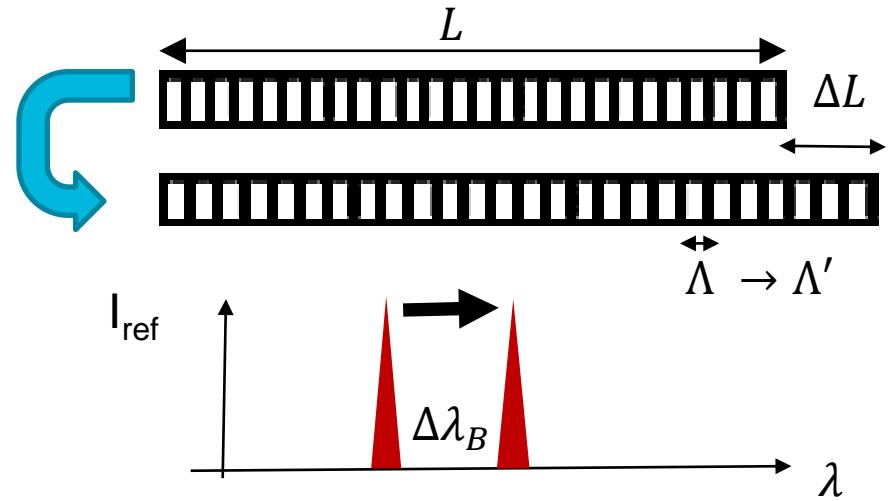
TRANSDUCTEUR STRESS/ TEMPÉRATURE

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

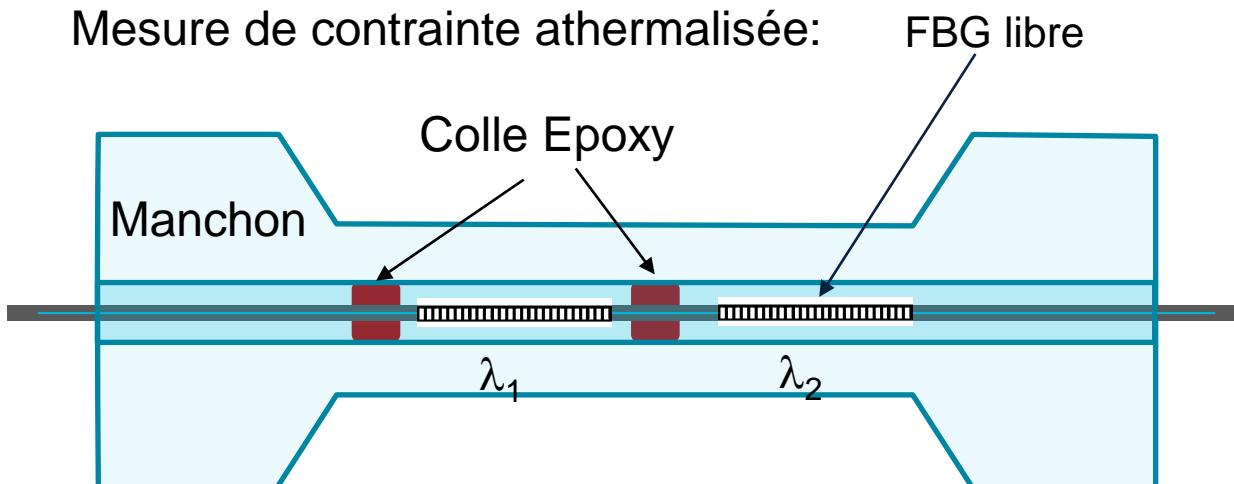
Λ : période du réseau de Bragg

$$\Rightarrow \Delta\lambda_B = k_\varepsilon\varepsilon + k_T\Delta T$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} \quad k_\varepsilon \approx 1,2 \text{ pm}/\mu\varepsilon$$



Mesure de contrainte athermalisée:



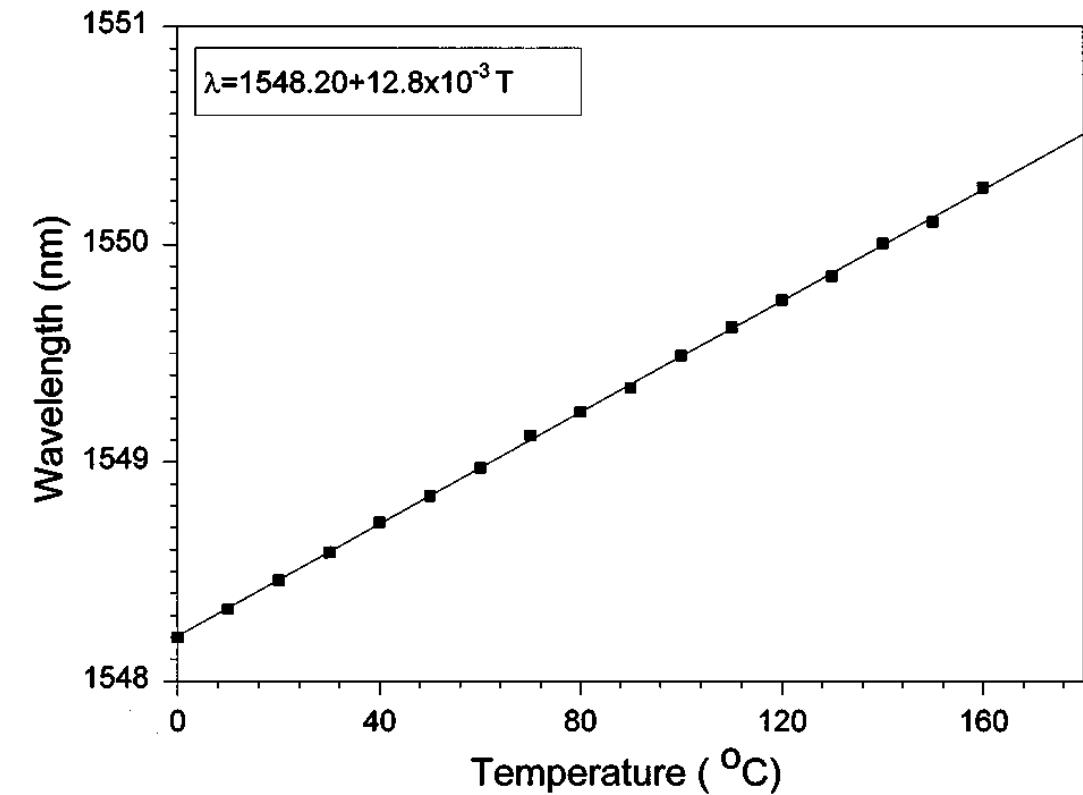
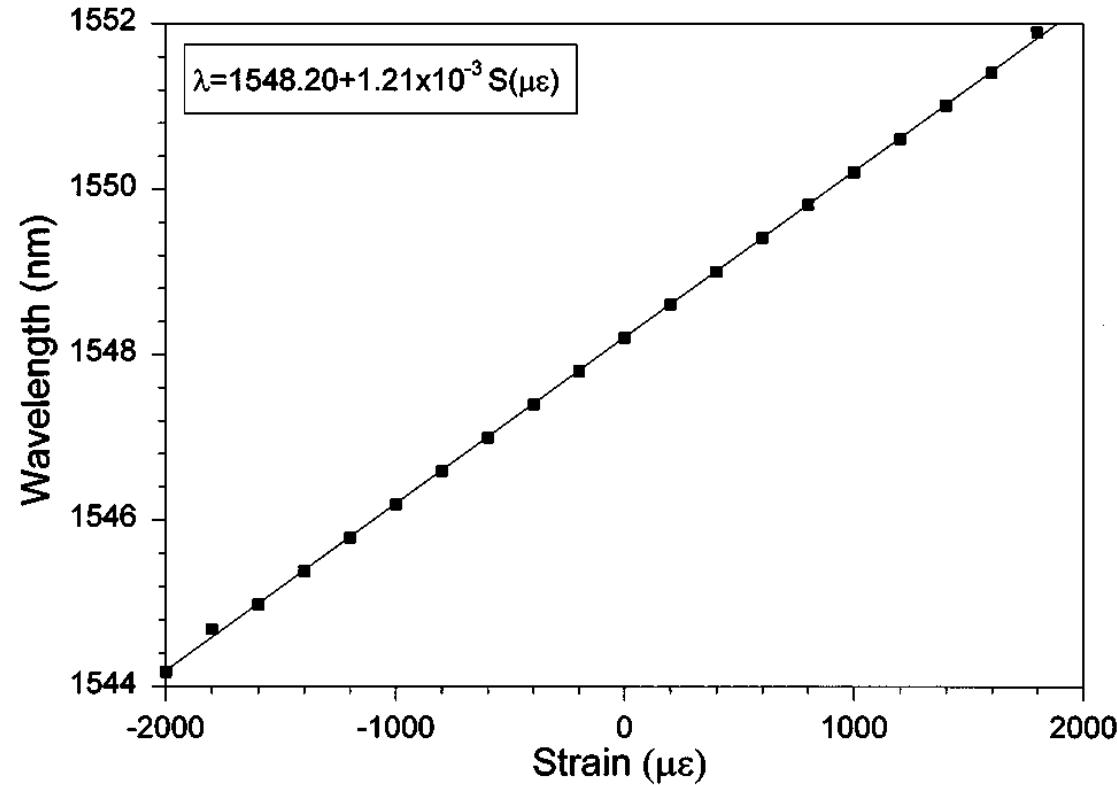
$$\Delta\lambda_1 = k_\varepsilon\varepsilon + k_T\Delta T$$

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

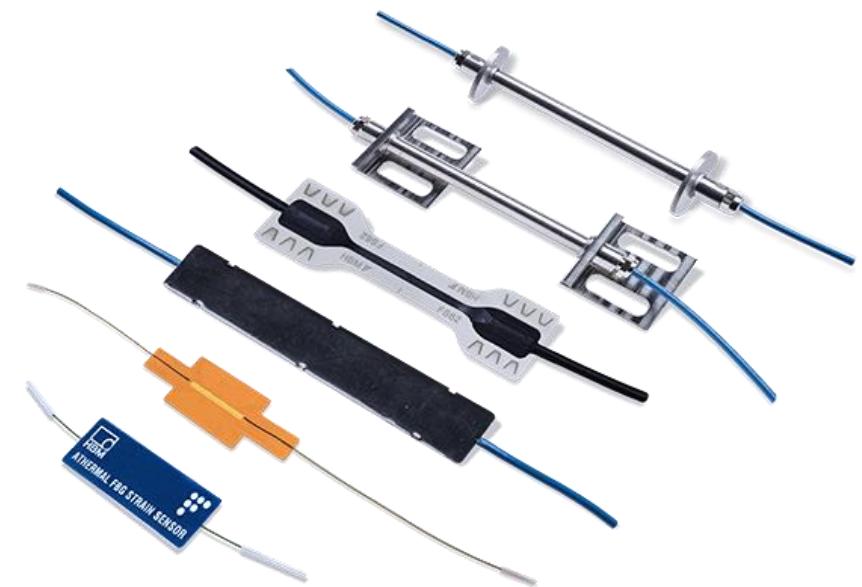
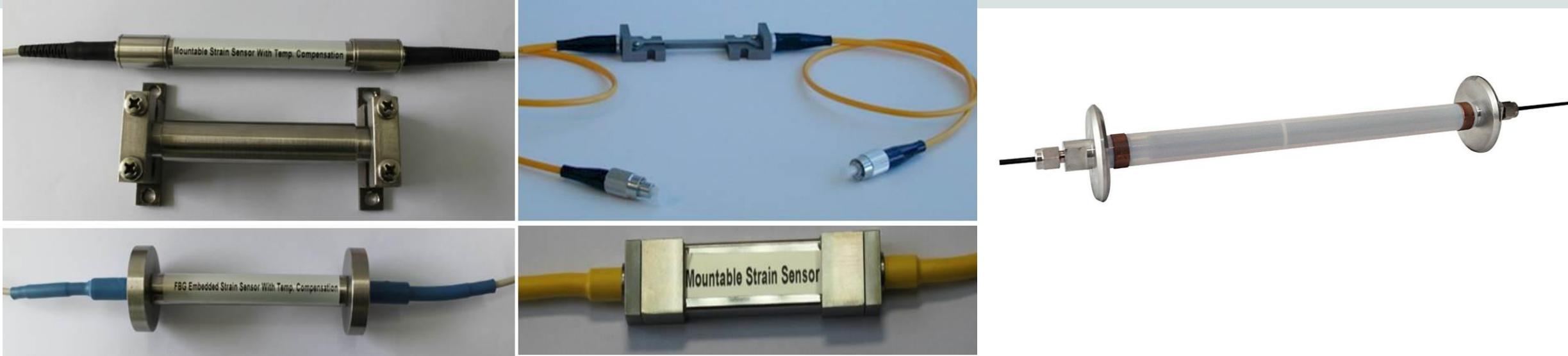
$$\lambda_1 \approx \lambda_2$$

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

VARIATIONS VS. CONTRAINTES & TEMPÉRATURE

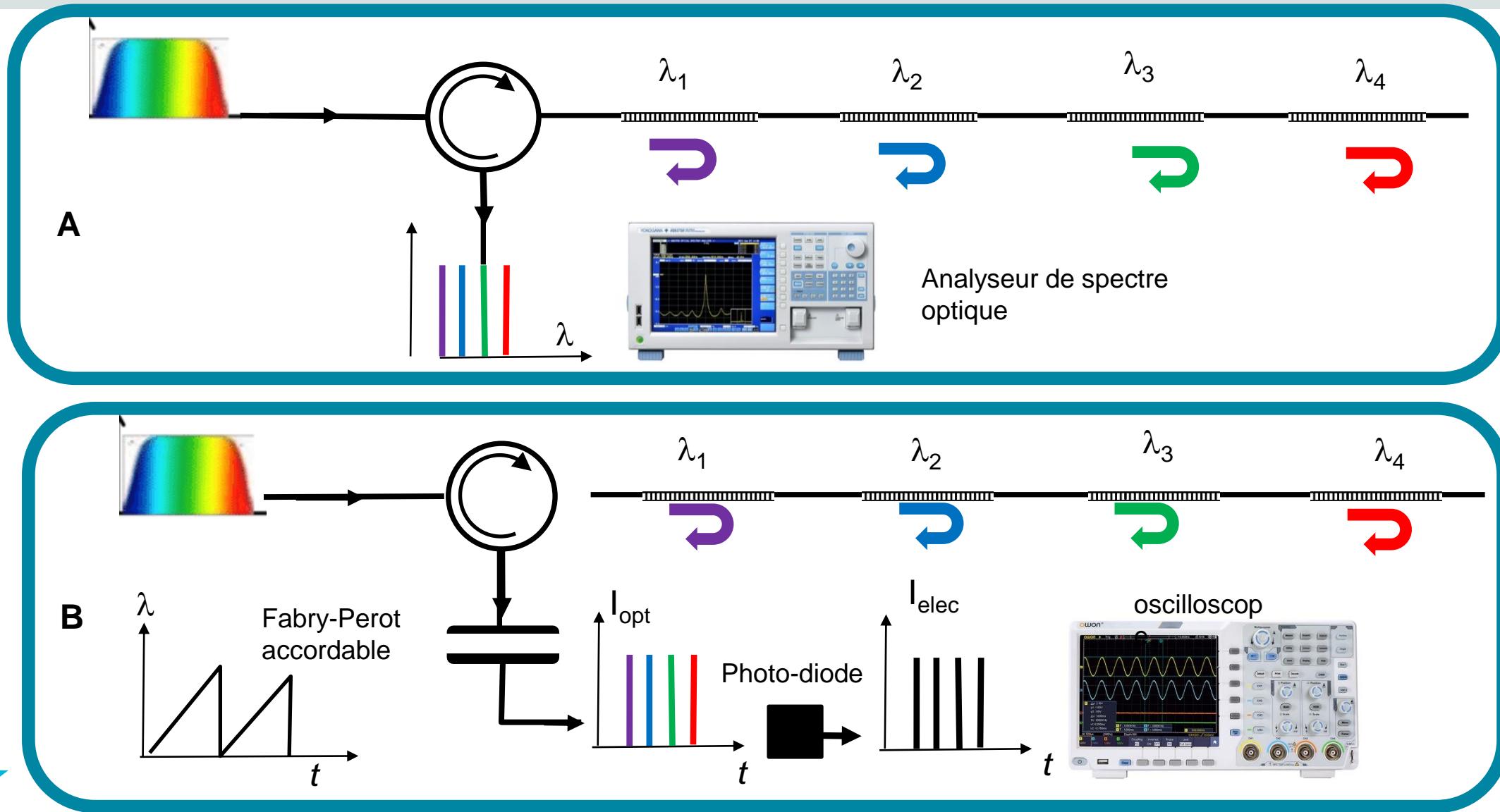


TRANSDUCTEURS FBG



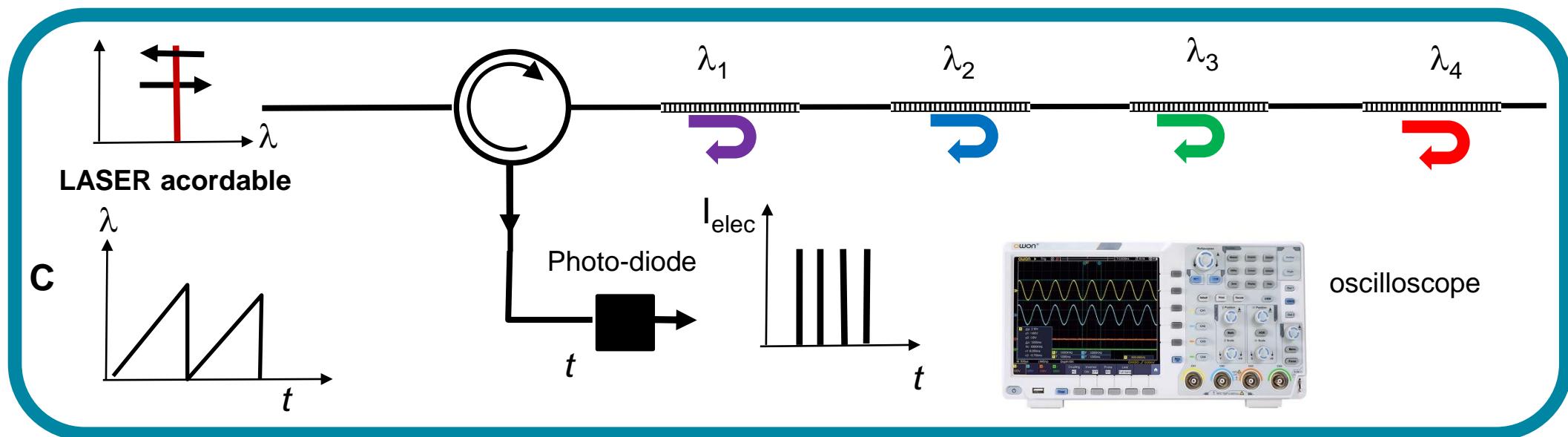
PRINCIPE DE LA MESURE DE CONTRAINTE & DE TEMPÉRATURE (I)

Source large
bande
2 configurations:
- Analyse spectrale
- Analyse temporelle

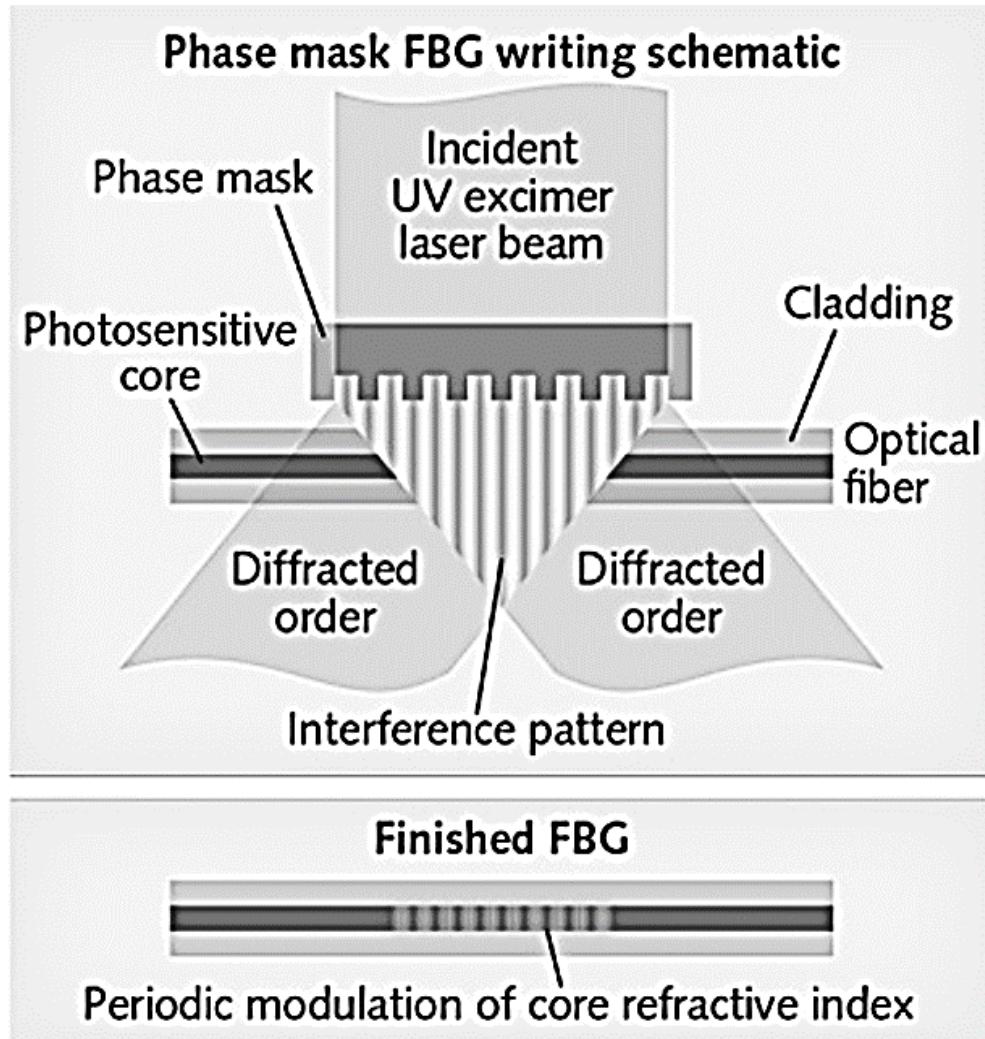


PRINCIPE DE LA MESURE DE CONTRAINTE & DE TEMPÉRATURE (II)

Source: Laser en mode balayage



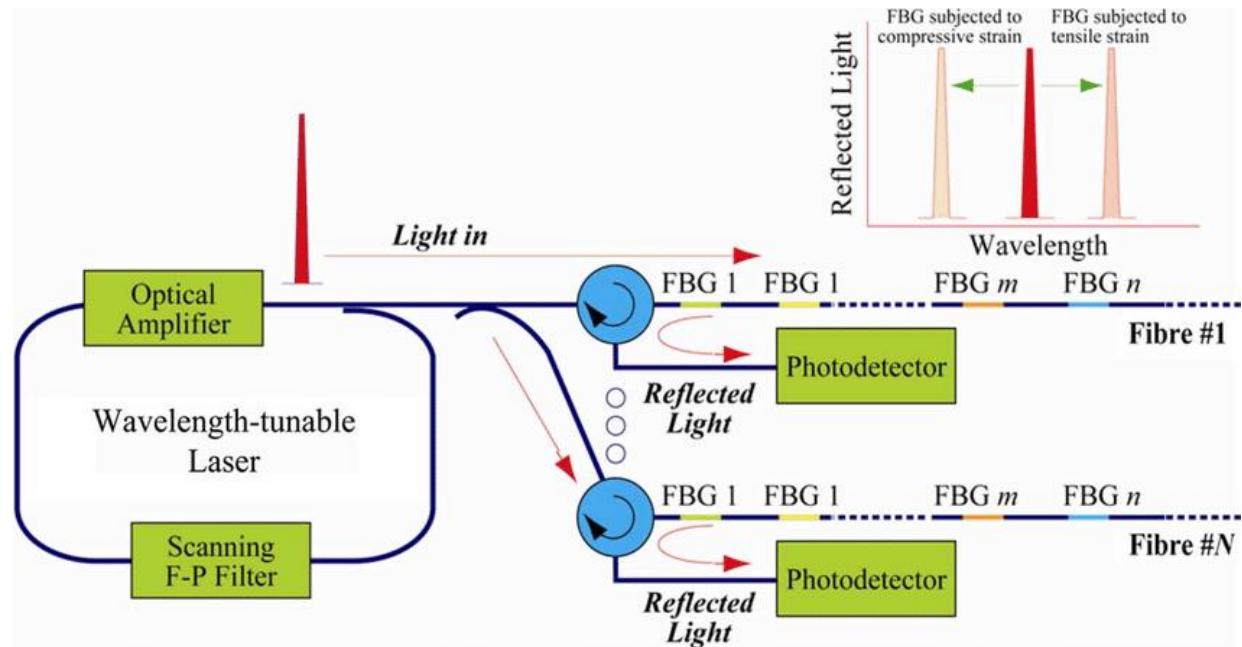
COMMENT FABRIQUER LES FBG ?



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

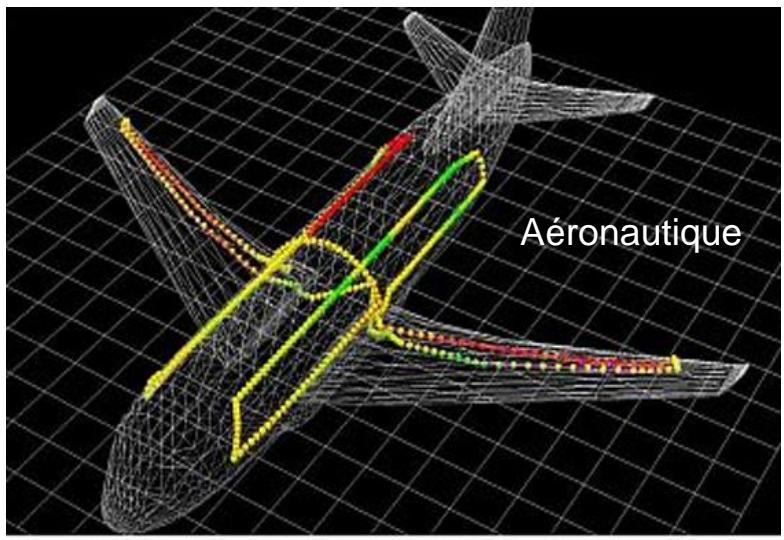
INTERROGATEUR DE TRANSDUCTEURS FBG



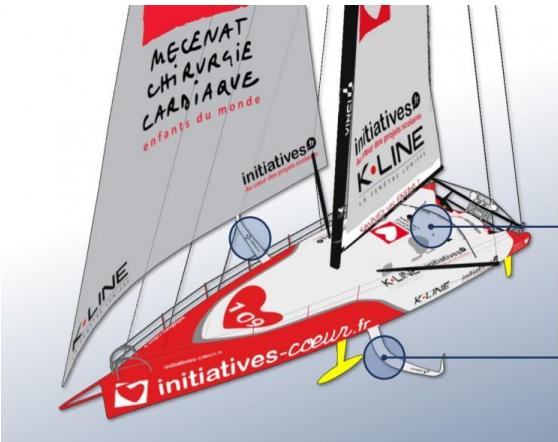
Interrogateur Sm125



DOMAINES D'APPLICATION



spatial



Navigation voile

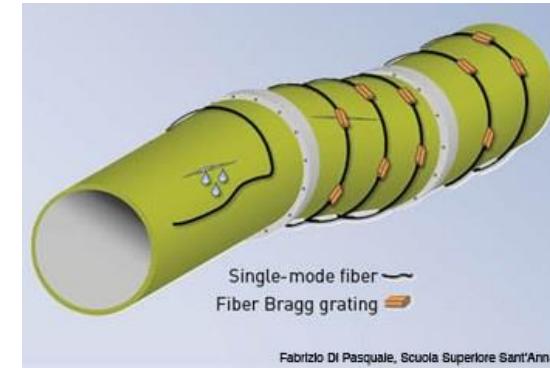


Génie civil / mesure des contraintes & température
Câble haute tension

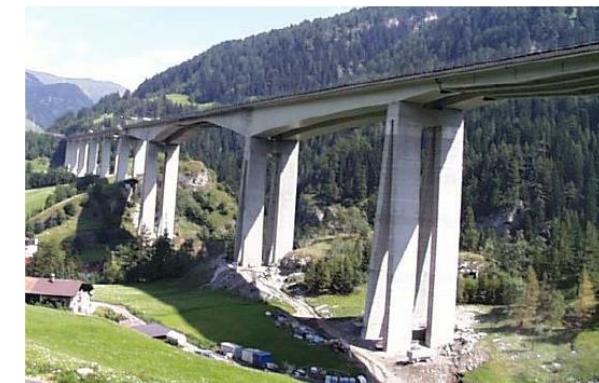
Génie civil / mesure de contraintes



Pression pipe-line

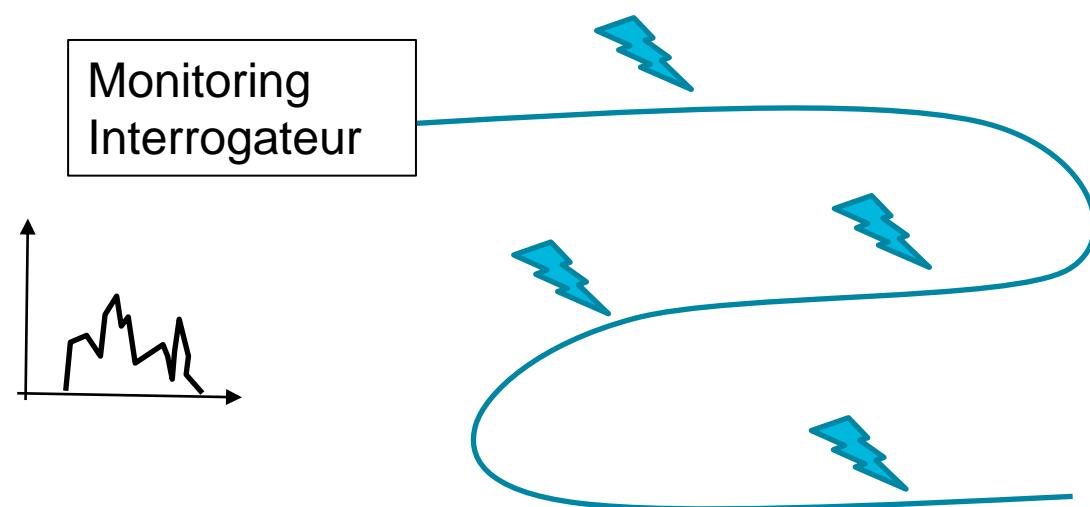


Pression barrage

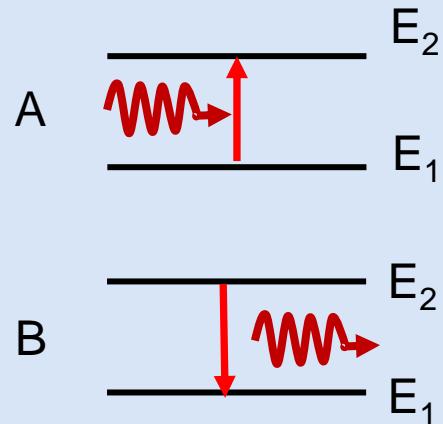


Contraintes pont autoroutier

CAPTEURS DE CONTRAINTES & TEMPÉRATURE DISTRIBUÉS

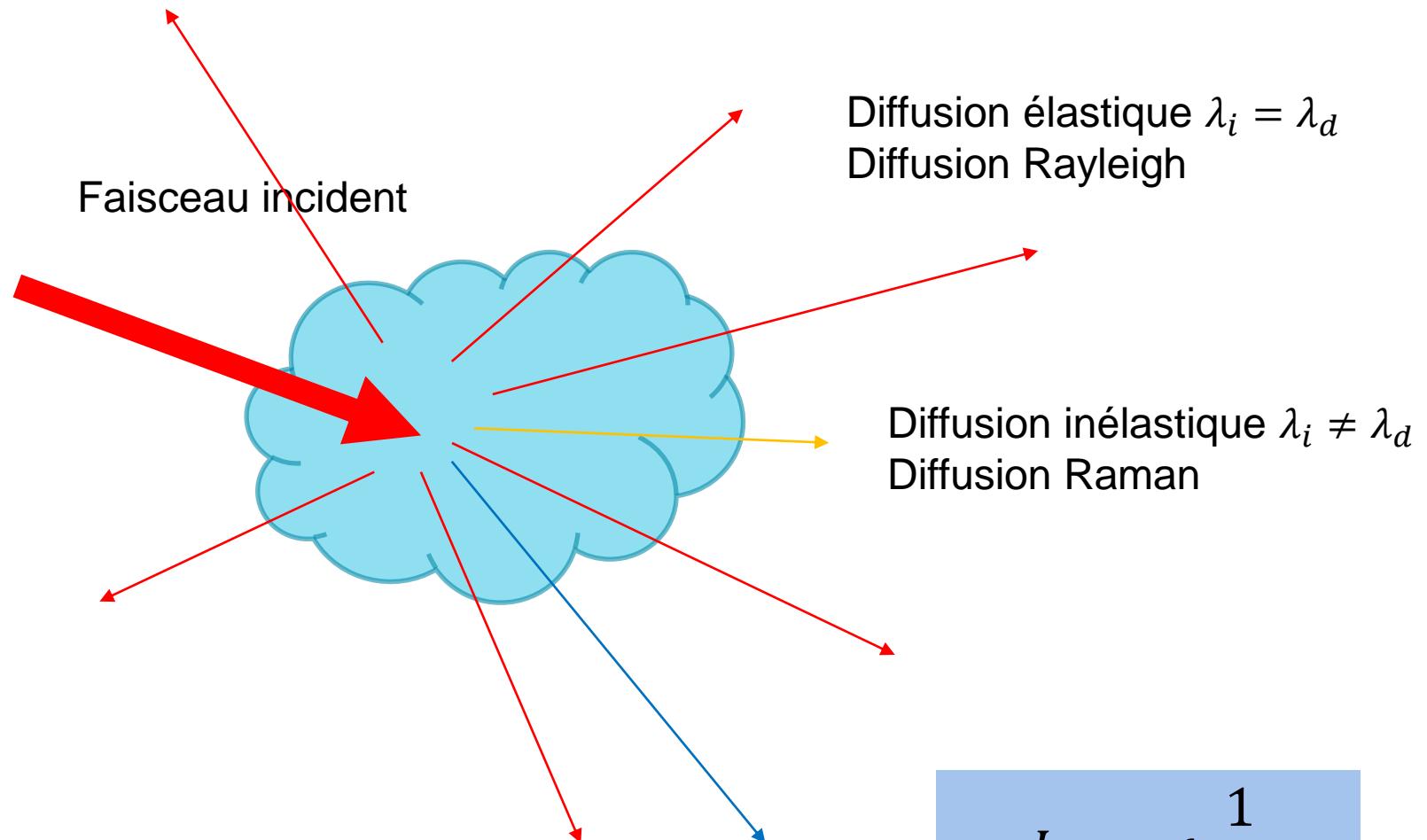


2 mécanisme d'interaction:
1) Absorption
2) Émission spontanée



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

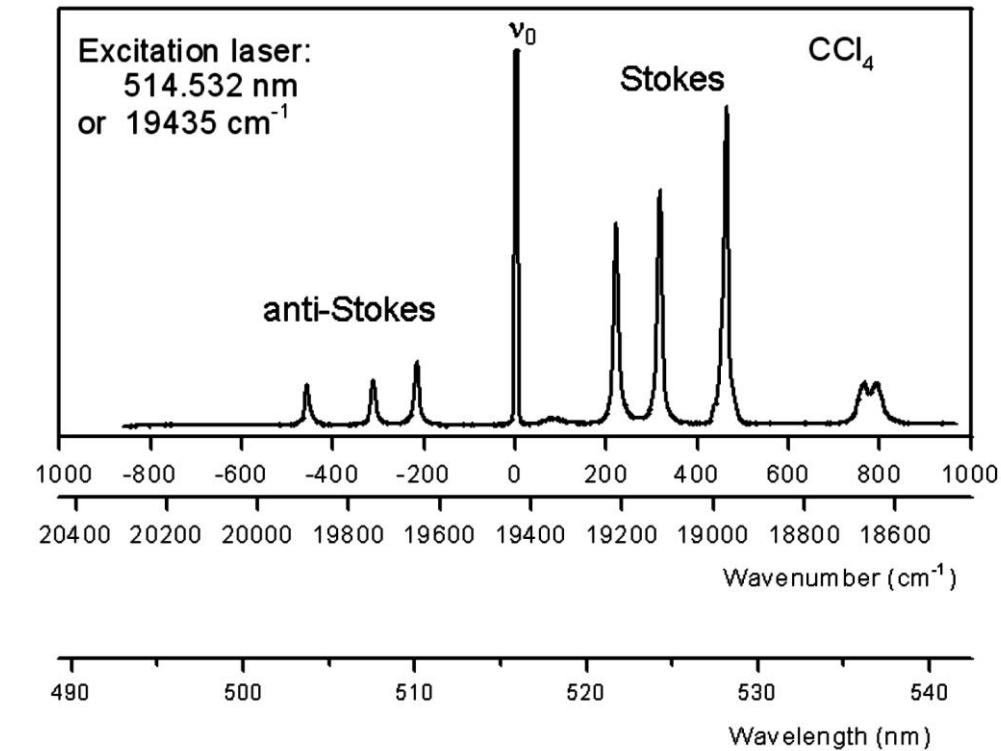
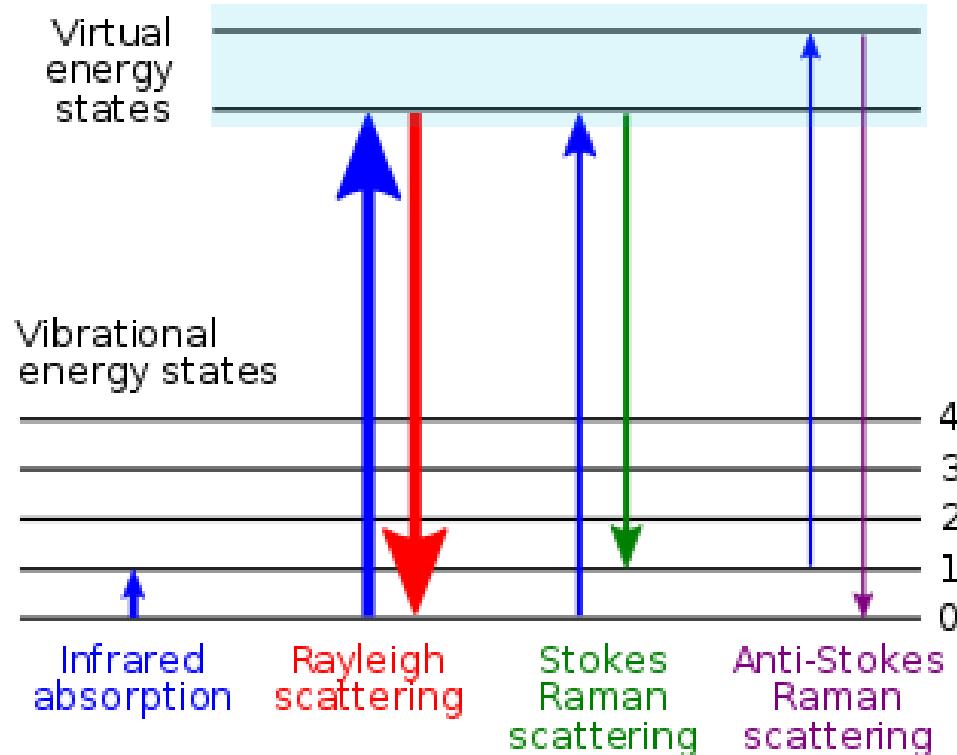
Diffusion et rétrodiffusion



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

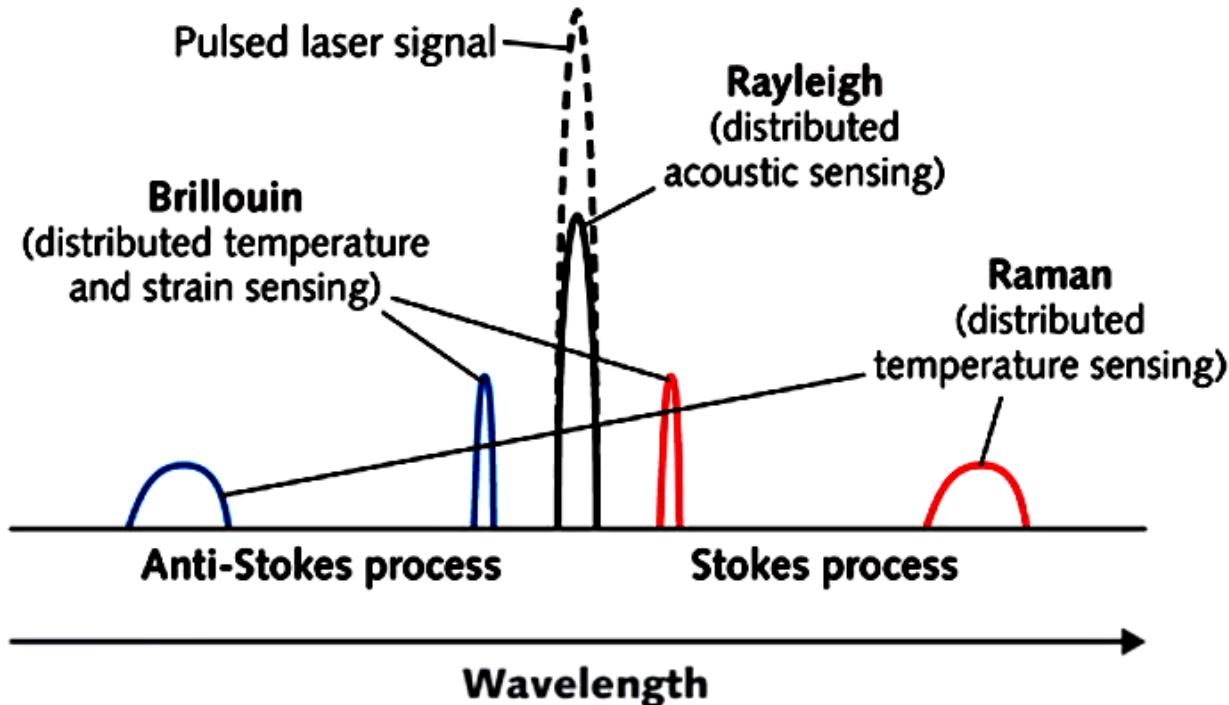
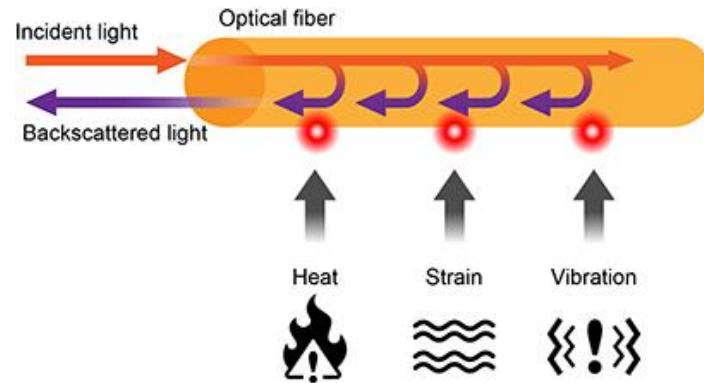
DIFFUSION RAYLEIGH & DIFFUSION RAMAN

20



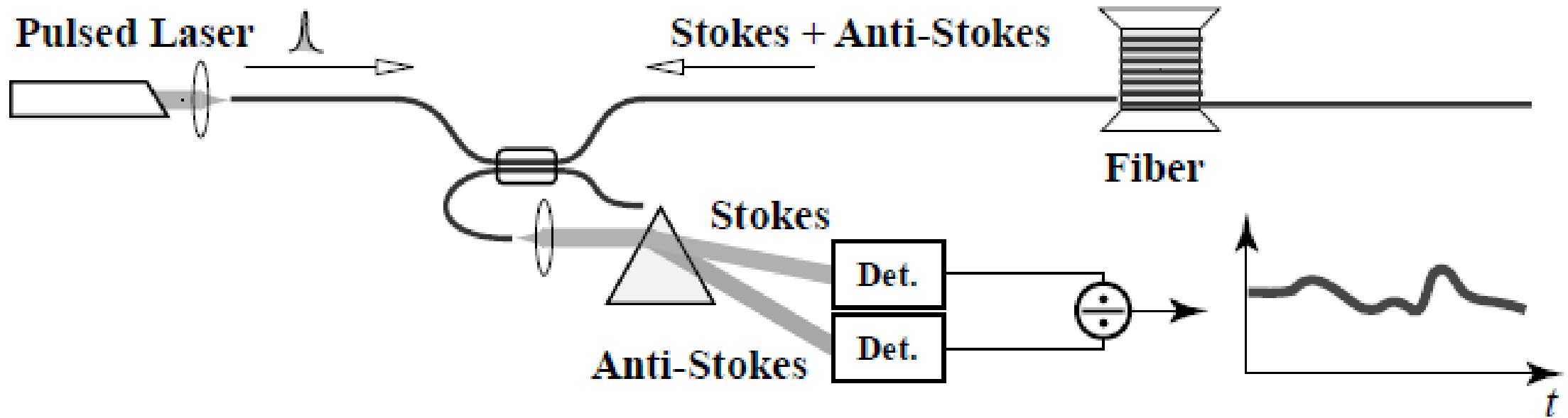
- Effet Raman: très faible: 10^{-6} à 10^{-9} fois l'intensité incidente
- Ce mécanisme est associé à une probabilité de transition très faible

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)

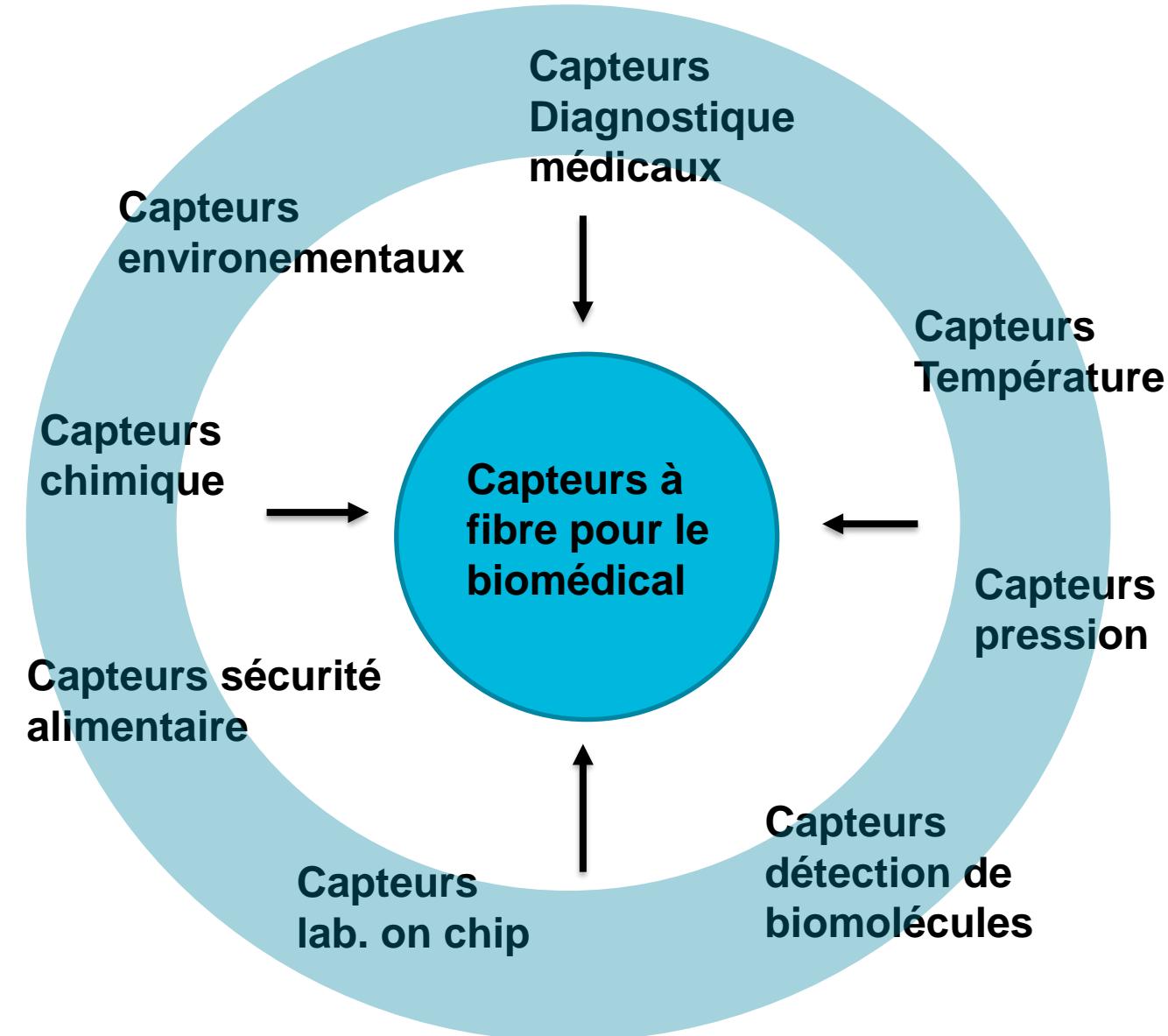
ARCHITECTURE D'UN CAPTEUR PRESSION TEMPÉRATURE DISTRIBUÉ



CAPTEURS À FIBRE OPTIQUE POUR LE BIOMÉDICAL

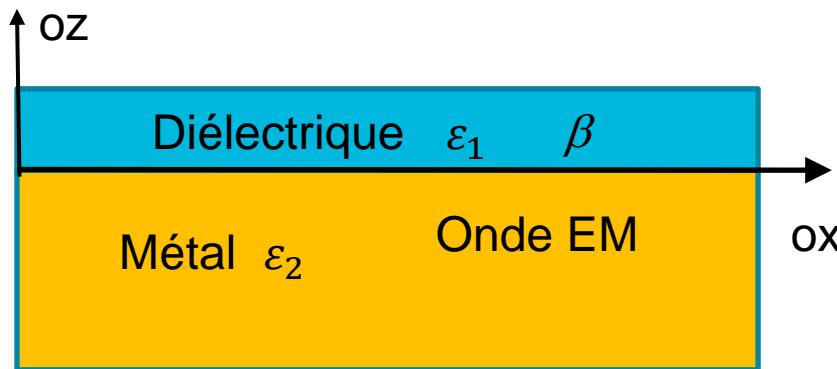
LES DIFFÉRENTS TYPES DE TRANSDUCTEURS SPÉCIFIQUES AU BIOMÉDICAL

Utilisation de l'effet
plasmonique sur la fibre

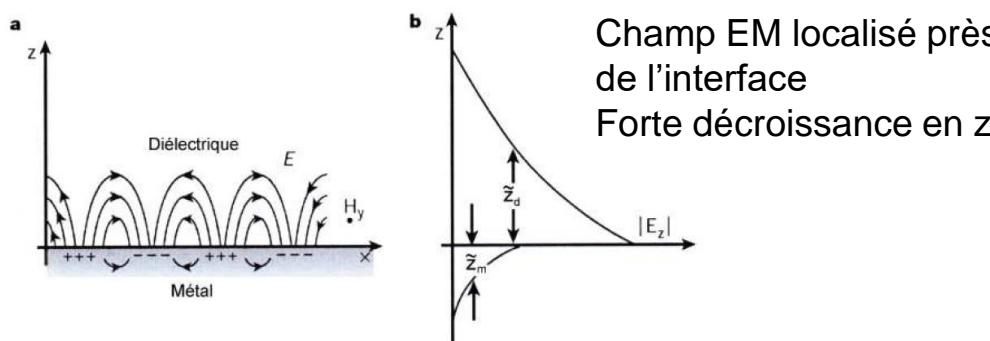


PLASMON DE SURFACE: ONDE E-M À L'INTERFACE MÉTAL DIÉLECTRIQUE

25



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

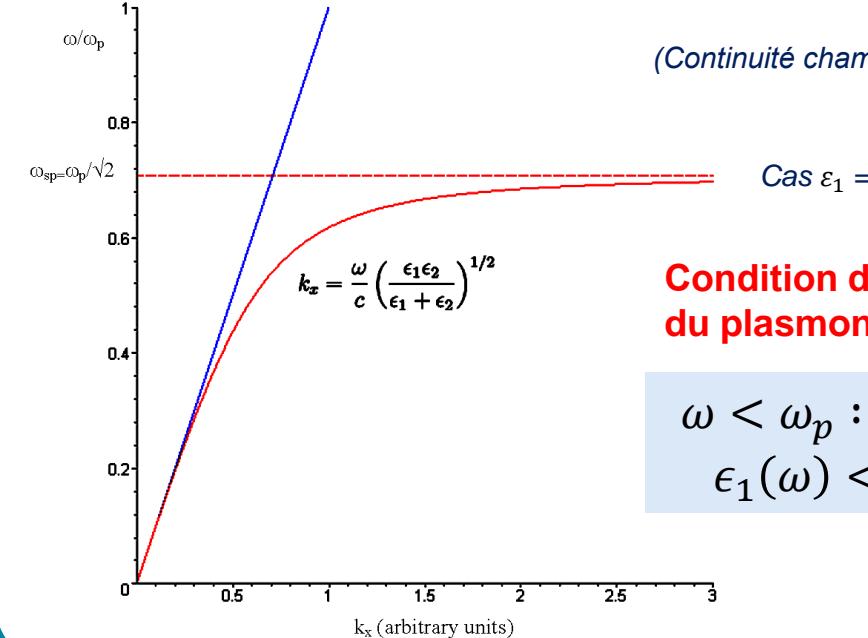


ϵ_1 permittivité du diélectrique

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

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

(Continuité champs à l'interface)



Condition de l'existence du plasmon:

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

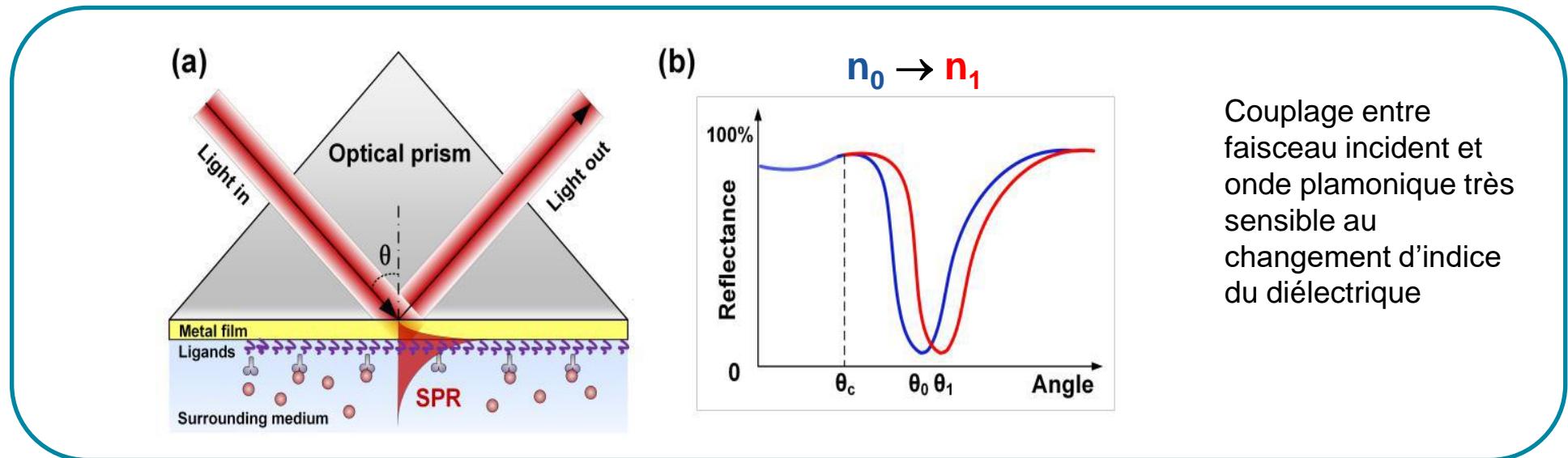
$$\epsilon_1(\omega) < -\epsilon_2(\omega)$$

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

Utilisation de l'effet plasmonique

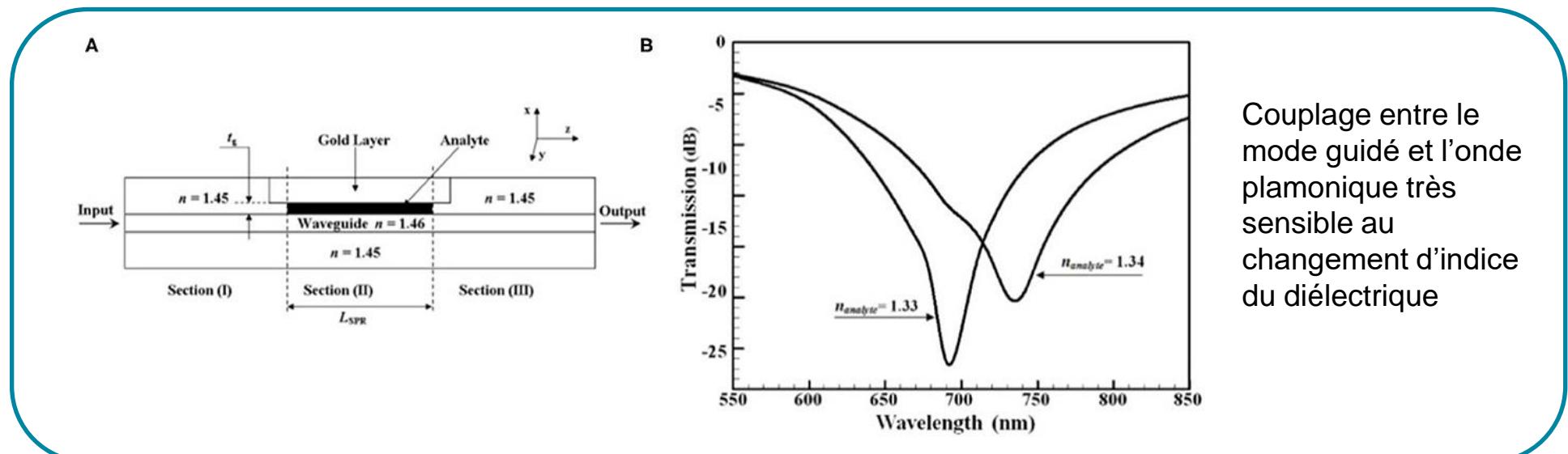
Plasmon de surface

Surface plasmon resonance (SPR).



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

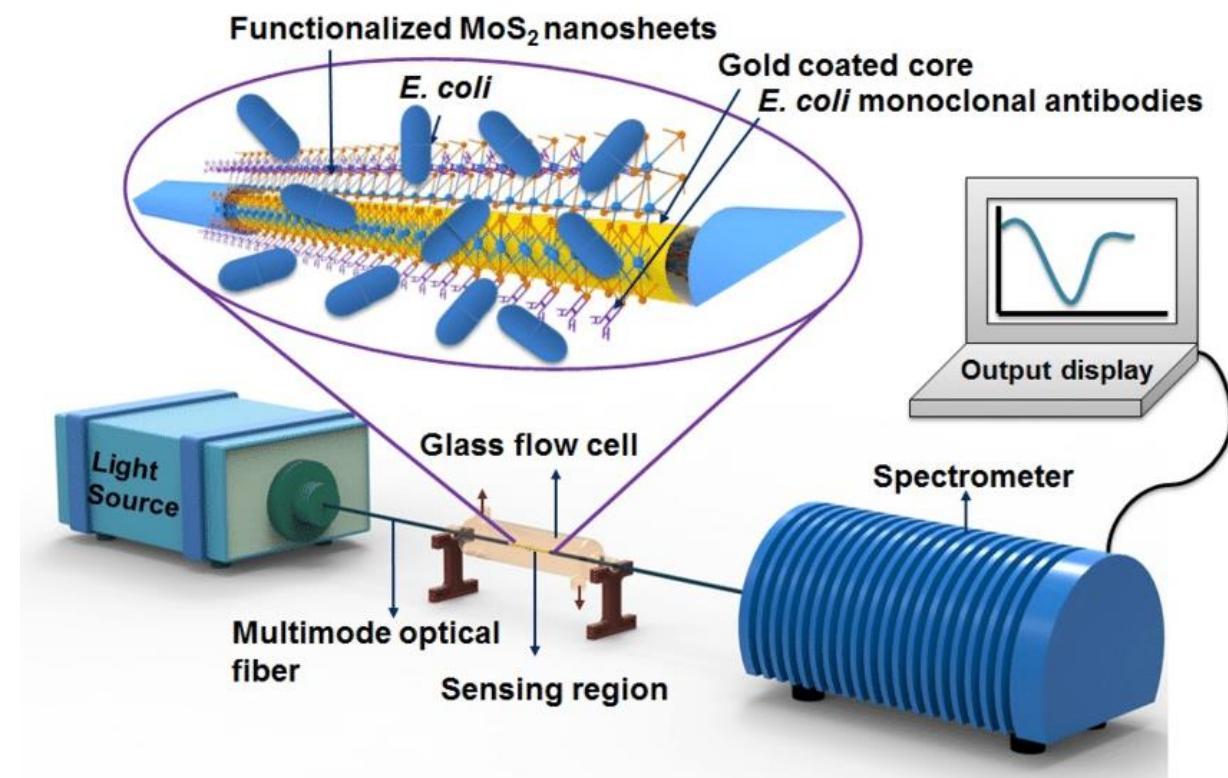
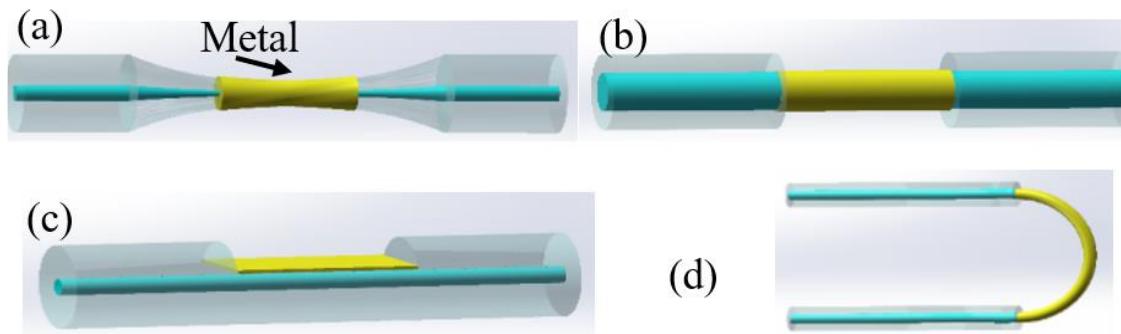
Plasmon sur fibre optique



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

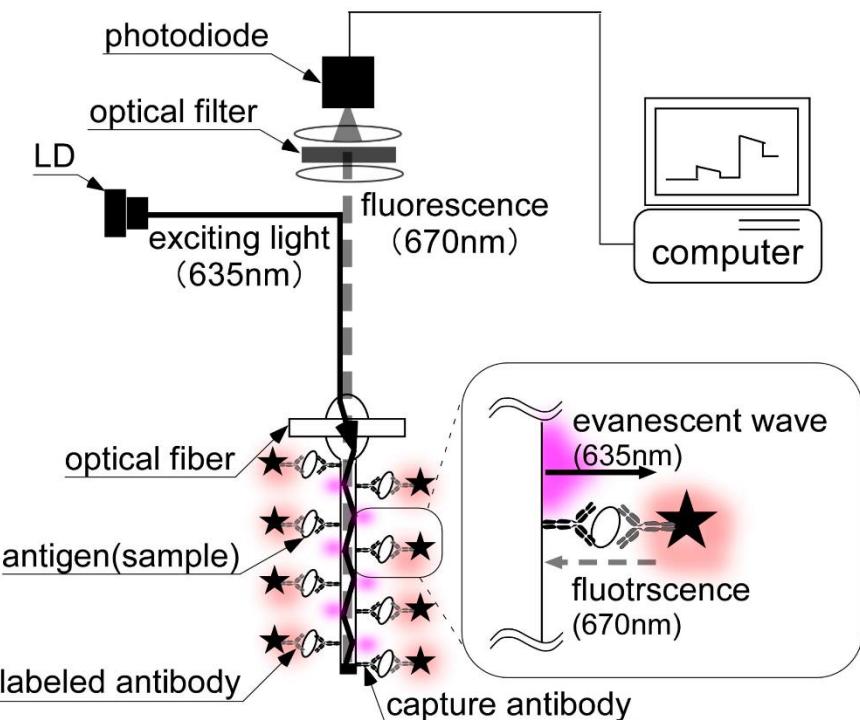
BIO-CAPTEUR À FIBRE: UTILISATION DE LA PLASMONIQUE (2)

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

