

Mesures de contraintes résistive ou optique ?



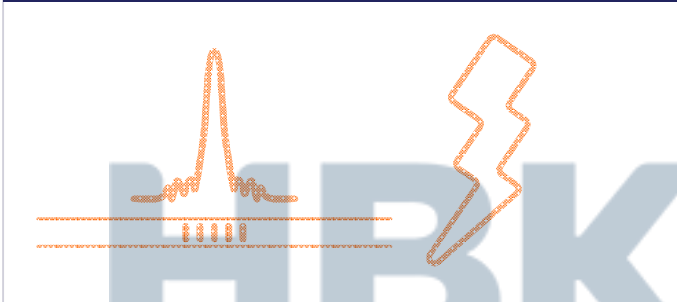
Loïc Guérin

- **LBD Optic HBM**
- Formation Instrumentation / Mécanique
- Plus de 20 ans d'expérience dans l'instrumentation mécanique et connexes
- **E-Mail:** loic.guerin@hbkworld.com

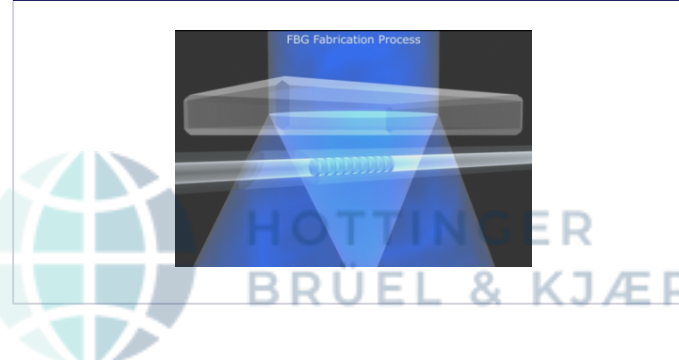


Loïc Guérin

Introduction



Principe de fonctionnement



Réseaux de Bragg



Chaîne de Capteurs

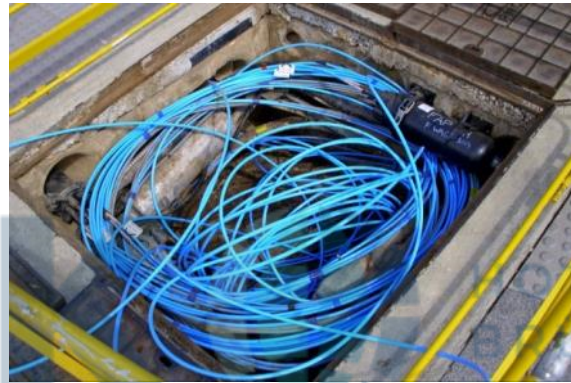
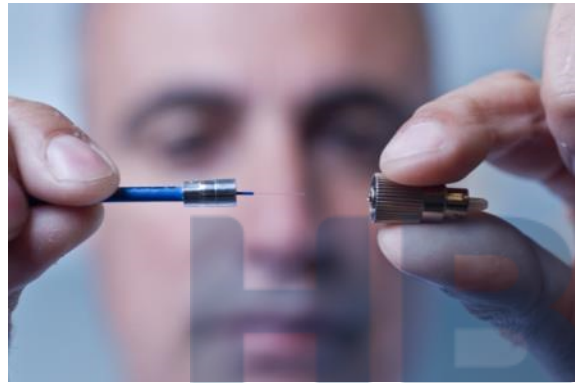


Introduction

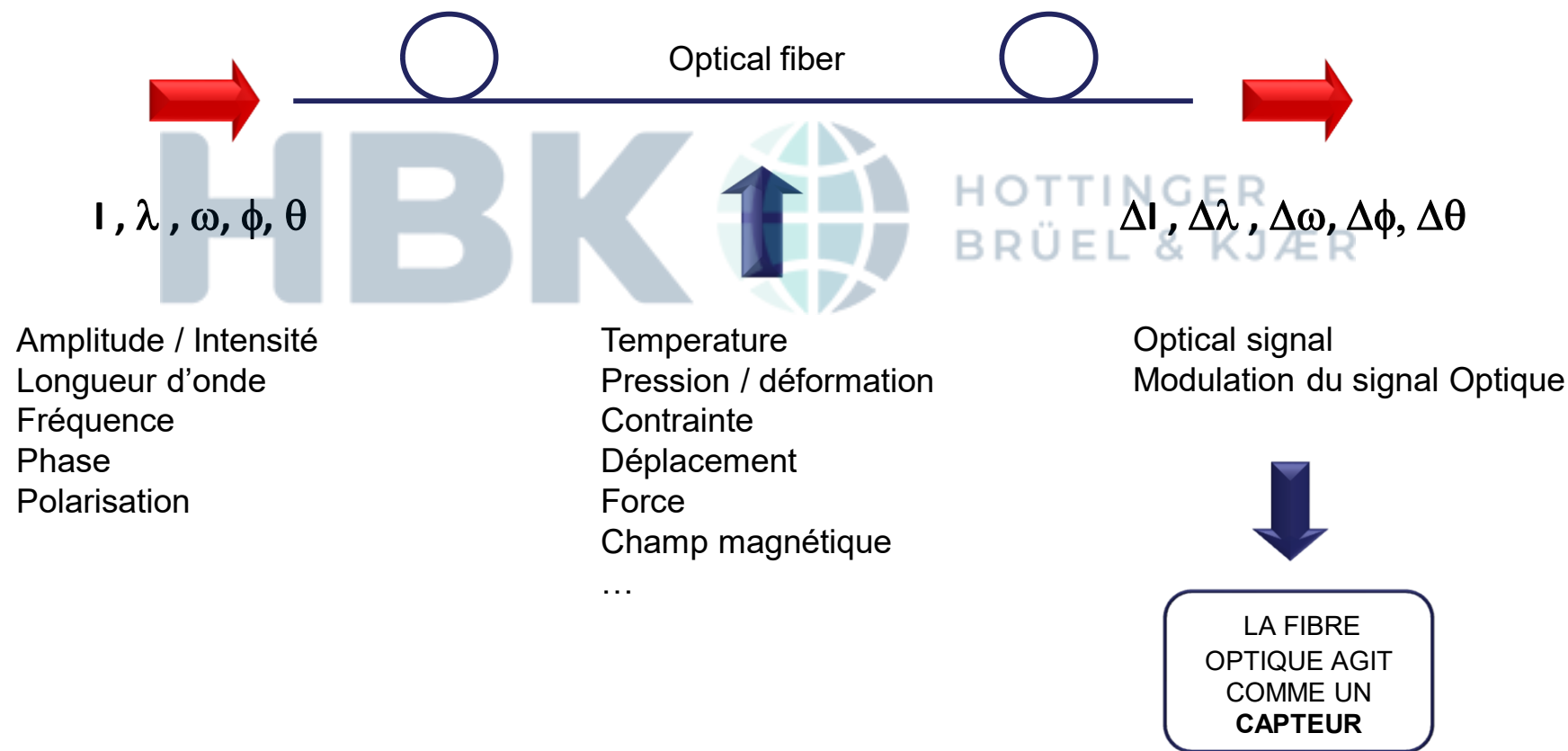


Les fibres optiques...

... Connectent le monde d'aujourd'hui...



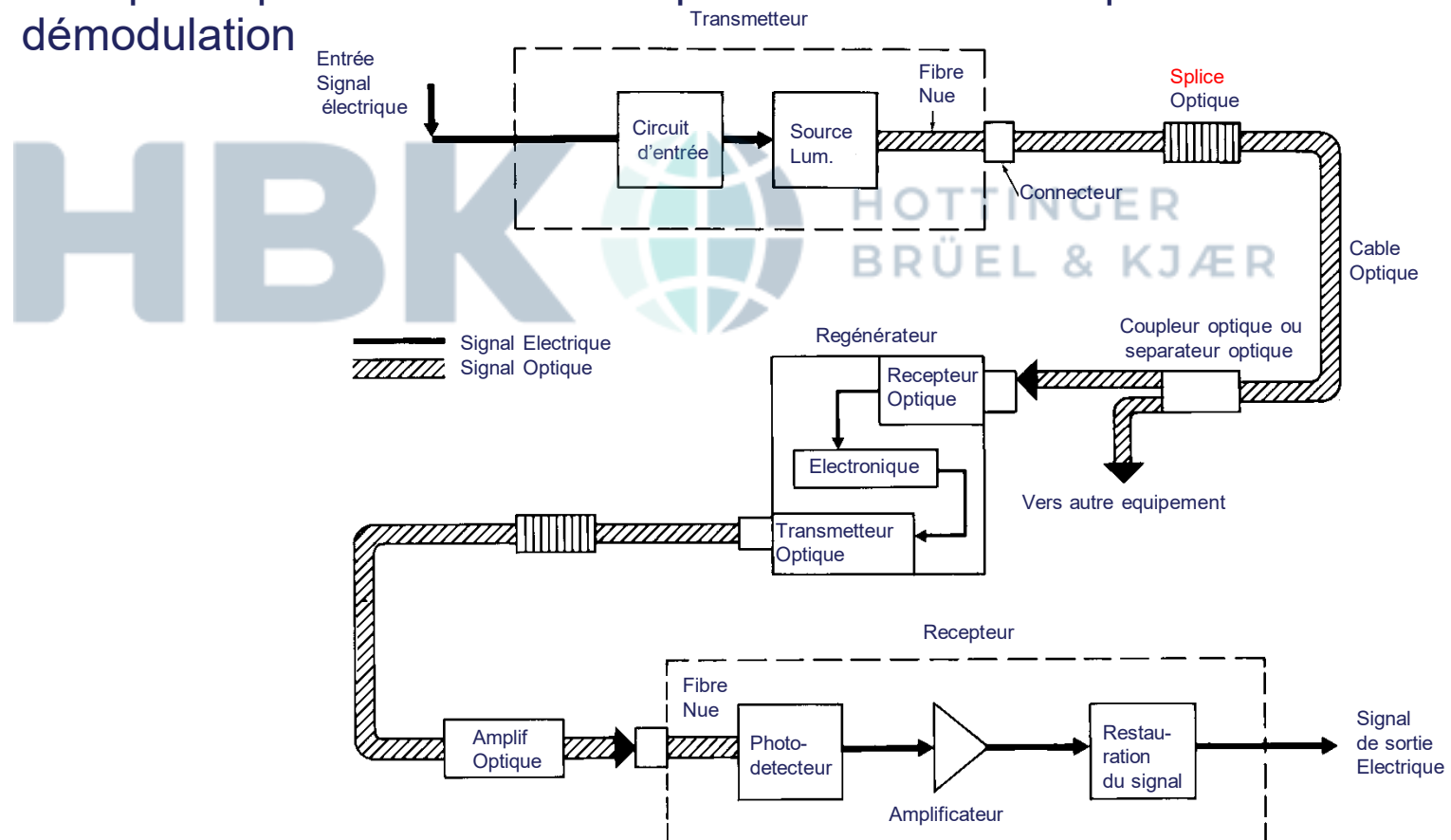
...Elles sont également utilisées différemment



Introduction



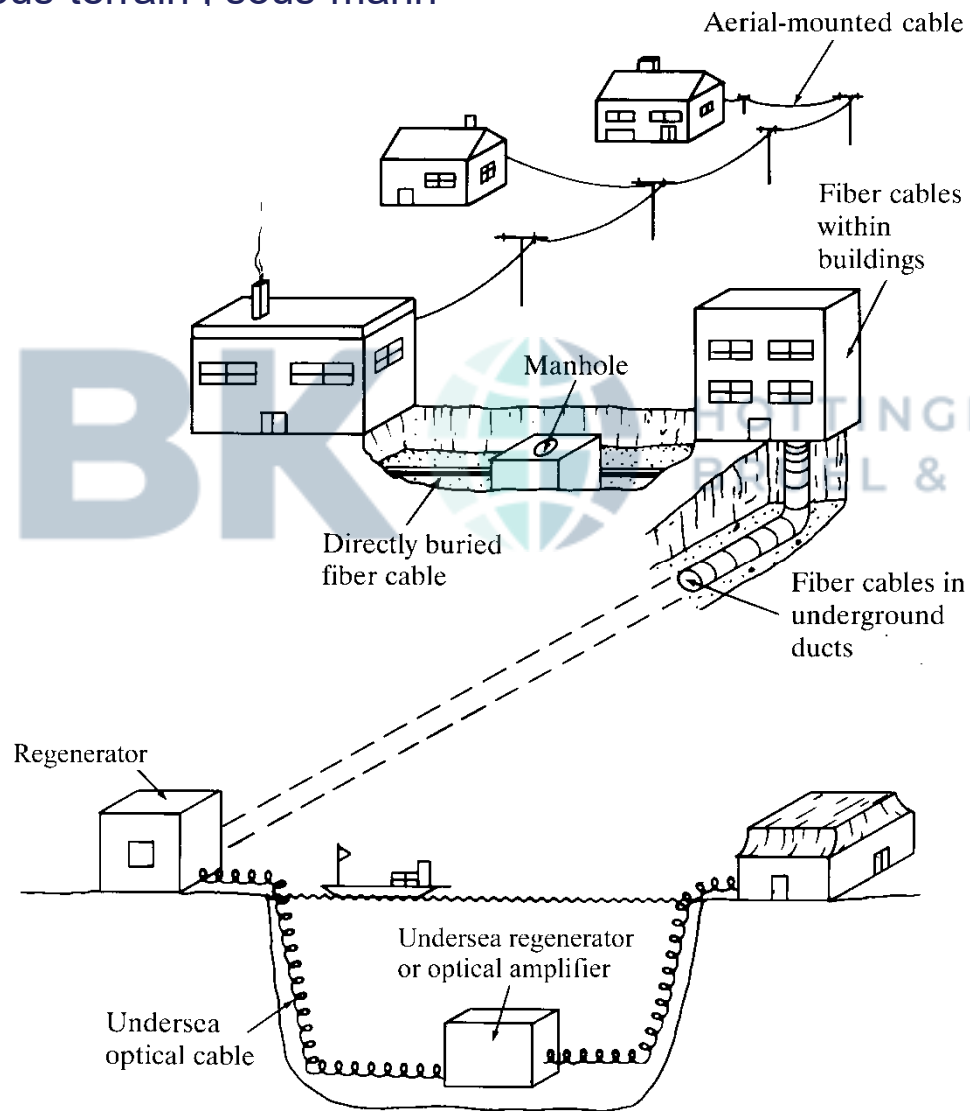
- Dans les systèmes de communication
 - Transmetteur: source optique + électronique de modulation
 - Cable: protection mécanique et/ou environnemental de la fibre optique
 - Récepteur: photodétecteur + amplification + électronique de démodulation



Introduction



- Topologie identique à celle des réseaux électriques
 - Aérien, sous-terrain , sous-marin



- Il existe néanmoins de nombreuses technologies de capteurs optiques

Chandrashekhara Venkata Râman



1888-1970
Nobel de physique
1930

Léon Brillouin



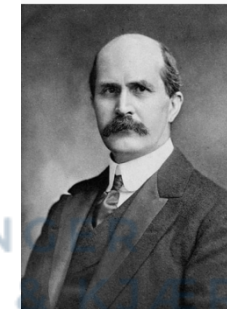
1889-1969

John W. Rayleigh



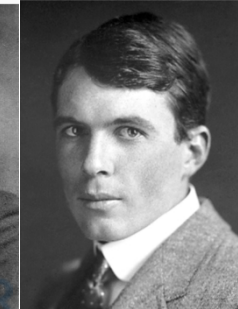
1842-1919
Nobel de physique
1904

William Henry Bragg



1862-1942

William Lawrence Bragg



1890-1971

Nobel de Physique 1915

Charles Fabry



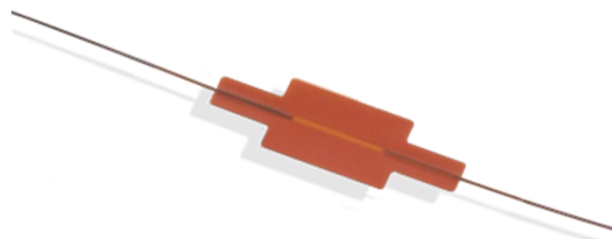
1867-1945

Alfred Perot



1863-1925

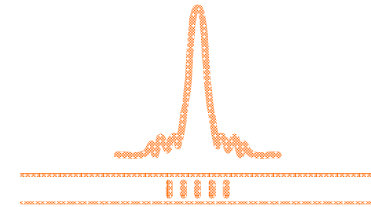
- Quelques différences par rapport à des jauges d'extensométrie



Jauges d'extensométrie	Fibre Optique Bragg
Fil métallique sur support	Cœur de fibre verre
Tension/courant	Lumière
Module d'young du métal Acier <1Gpa Aluminium ~0,05GPa	Verre 2 à 5GPa
Atténuation dû aux résistances de câble Rcâble + Rjauge	Atténuation de lumière très faible (~ 0,2db/km)

Caractéristiques des capteurs

- Zéro absolue
- Insensible aux pertes (mesures de variation de longueur d'ondes)
- Identification capteur naturelle (signature spectrale)
- Plusieurs capteurs sur la même ligne optique (multiplexage)



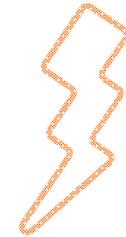
Installation plus facile sur de grosses structures

- Longues distances (km), moins de cables, Réseaux de capteurs plus simple
- Rapport coût fonction (Prix par capteur)
- Réalisation de lignes de capteurs selon CDC. Utilisation directe



Environnement

- Technologie immune aux interférences électromagnétiques, champs électrique...
- Technologie passive particulièrement adaptée aux zones à risque
- Très bonne résistance à l'humidité (Y compris aux eaux salées)
- Appropriée sous haute pression (testé jusqu'à 400 bar)
- Adaptée pour de grandes plages de températures (cryogénique, Haute temp.)



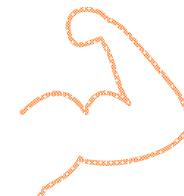
Electronique auto calibrée

- Référence interne



Mesure de déformations élevées en fatigue

- Très grande charge dynamique, approprié tests de fatigue composite
- Intégrable directement dans les composites



Introduction

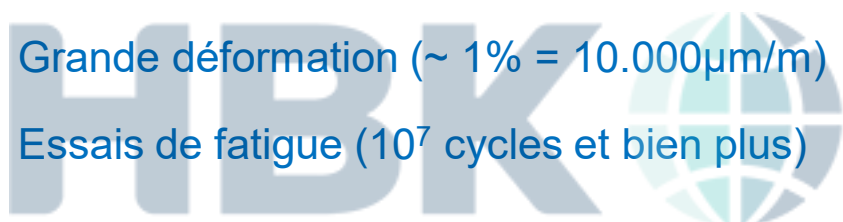


- Domaines préférentiels d'utilisation des FBG

- Compatibilité électro-magnétique (EMC)
- Haute Tension (HV)
- Environnement explosif (EX)



- Grande déformation ($\sim 1\% = 10.000\mu\text{m}/\text{m}$)
- Essais de fatigue (10^7 cycles et bien plus)



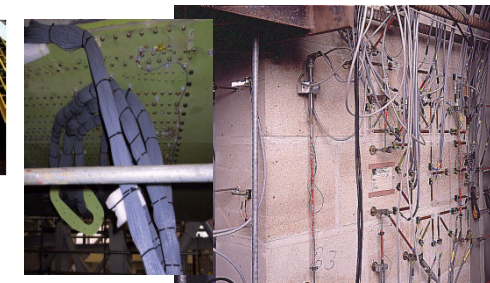
HOTTINGER
BRÜEL
KJÆR



- Grandes longueurs de câbles (plusieurs kms)



- Intrusivité (Diamètre des fibres faibles)
- Installation légère (poids réduit de la fibre)
- Réduction du cablage (Multiplexage des capteurs)



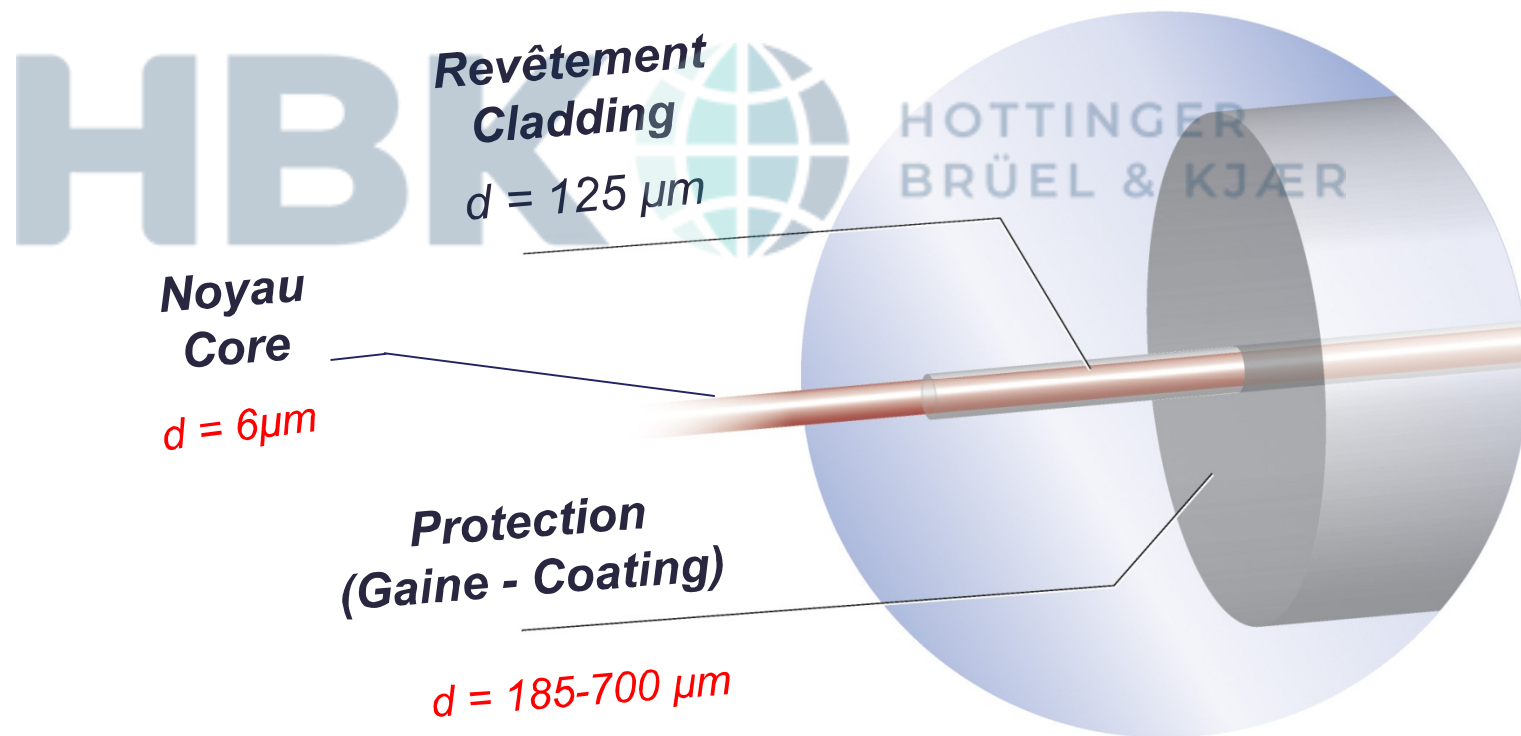
Principe de fonctionnement



Principe de fonctionnement



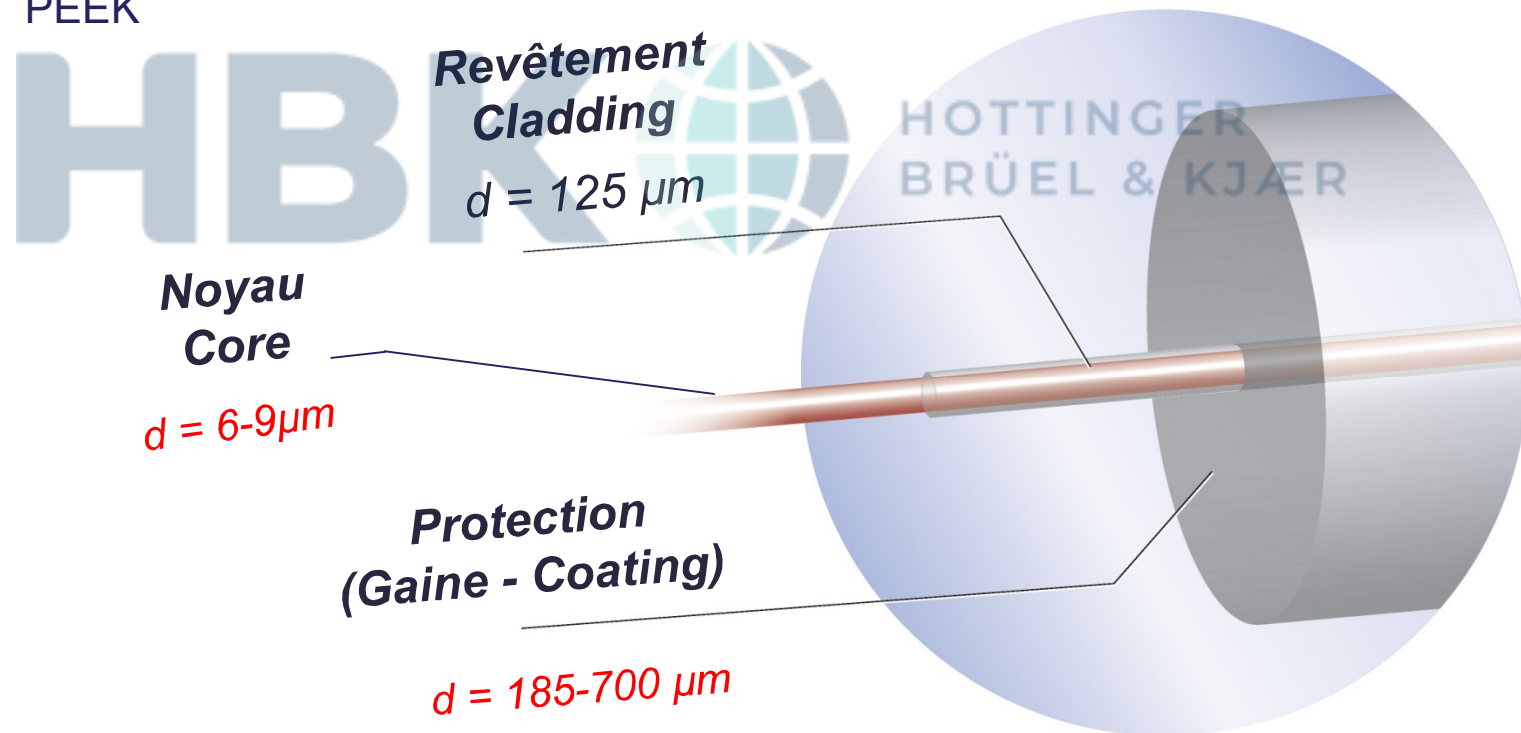
- Fibre optique HBM
 - Il s'agit de fibre monomode de diamètre typique 125 μm
 - Le 'Coating' protège la fibre et transmet par exemple la Température ou la déformation



Principe de fonctionnement



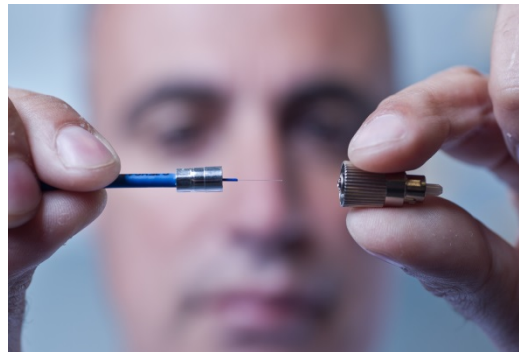
- Fibre optique HBM
- Il existe plusieurs type de coating:
 - Acrylate → max 80 – 90°C
 - HTA (High Temp Acrylate) max 110-120°C
 - Polyimide → Max 350°C
 - Ormocer (200°C)
 - PEEK



- Structure Cylindrique
 - “Core” et “cladding” sont en verre (silice) – \varnothing 125 μm (singlemode)
 - Coating (par ex acrylate) – \varnothing 250 μm (singlemode)



- La propagation de lumière est faite dans le “core” – \varnothing 6~9 μm (singlemode)



Principe de fonctionnement

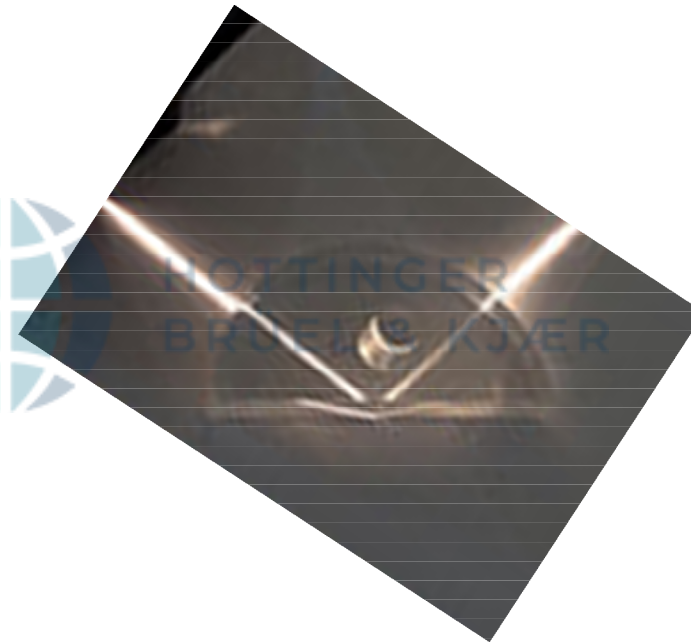
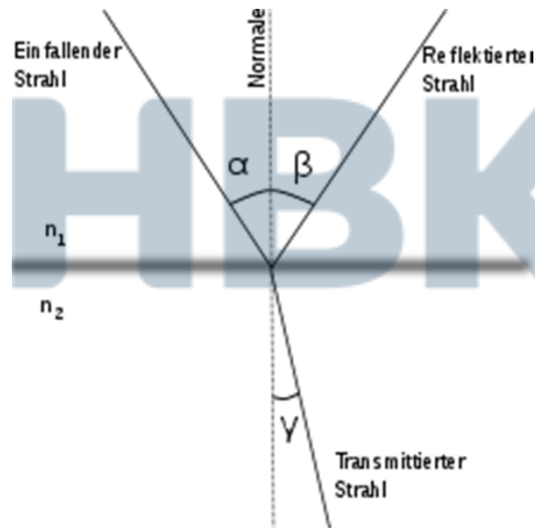


Principe de fonctionnement



Loi sur la réfraction $\frac{\sin \alpha}{\sin \gamma} = \frac{n_2}{n_1}$

Réflexion interne totale : $\alpha \sim 41.8^\circ$



Indice de réfraction : $n = \frac{c_0}{c}$ Vitesse de la lumière dans le vide : $c_0 \approx 300000 \text{ km/s}$
Vitesse de la lumière dans un milieu: c

- Structure Cylindrique
 - “Core” et “cladding” sont en verre (silice) – \varnothing 125 μm (singlemode)
 - Coating (par ex acrylate) – \varnothing 250 μm (singlemode)



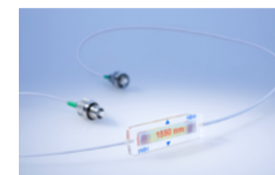
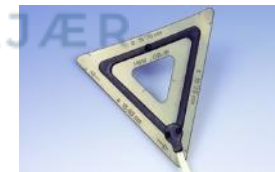
- La propagation de lumière est faite dans le “core” – \varnothing 6~9 μm (singlemode)



Les Réseaux de Bragg

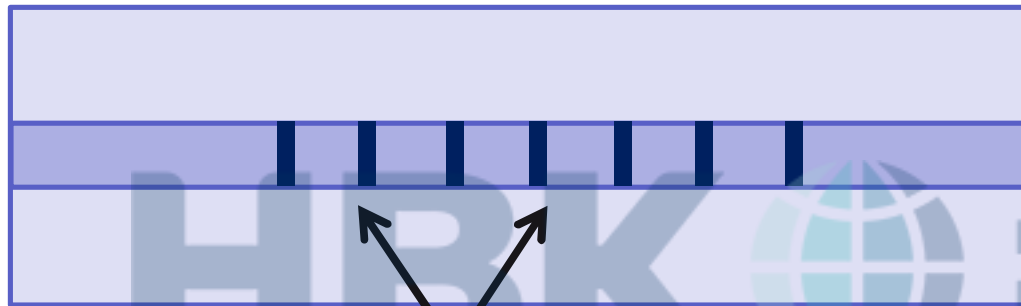
HBK 

HOTTINGER
BRÜEL & KJÆR



- Plusieurs milliers de surface de reflexion avec un indice de réfraction n_1 , qui est légèrement supérieur à celui du coeur de Fibre (n_2) sont ajoutés par photosensibilité.
- Ces surfaces de reflexions sont perpendiculaires à l'axe de l'âme de la fibre, et sont tous espacés de la même distance, la PERIODE du réseau λ
- Ainsi on crée un modulation périodique avec l'indice effectif de l'indice d'origine du coeur de fibre
 - $n_{eff} = n_1 + n_2/2$
- Si une impulsion qui contient l'intégralité des λ des miroirs est envoyée dans le coeur de fibre alors les λ accordés sur chaque miroir seront réfléchis et les autres transmis.
- Les mêmes longueurs d'ondes sont superposées (interférence) et donne donc un signal qui peut être évalué.

Enrobage Verre (Ø 125µm) (Cladding)



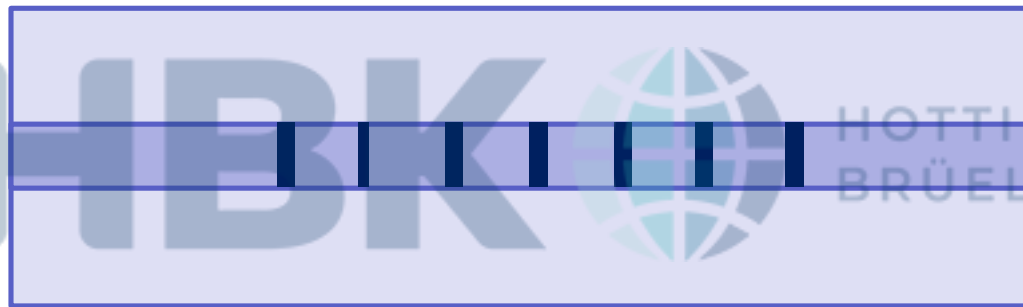
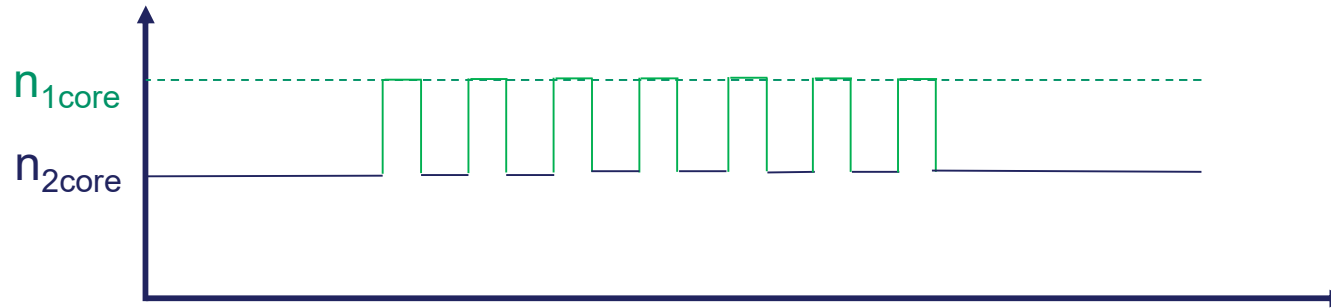
Coeur de fibre Silice
(Core)

(Ø 6-9µm)
→ Guide de lumière
($n_{\text{Core}} < n_{\text{Cladding}}$)

Fiber Bragg Grating
Réseaux de Bragg

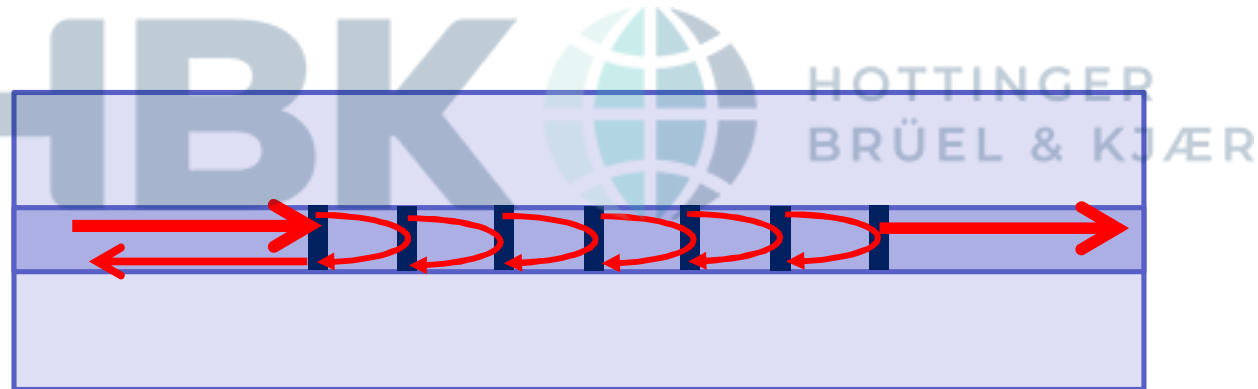
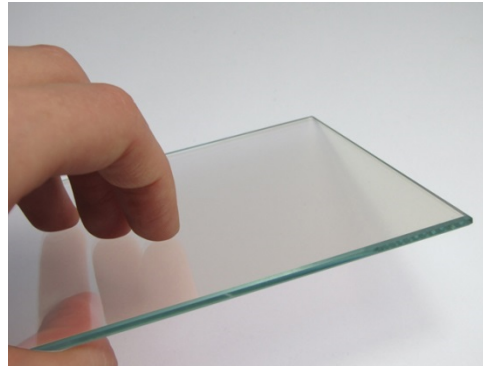
Indice de refraction n :
Densité optique du matériau

Les réseaux de Bragg

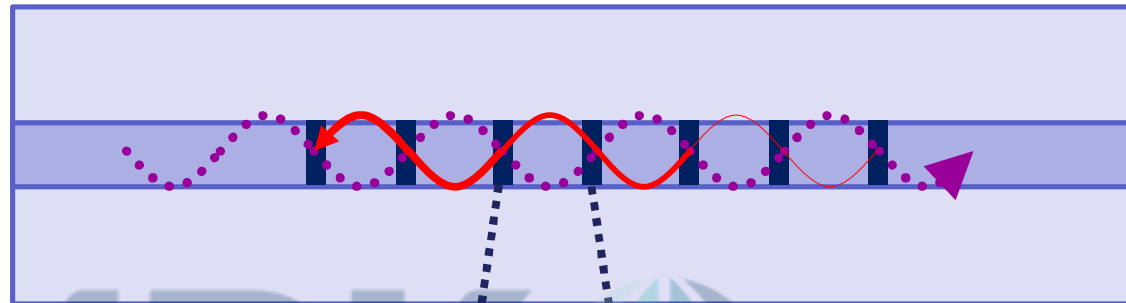


Indice de réfraction effectif : Modulation périodique des Indices de réfraction

$$n_{eff} = \frac{n_{1core} + n_{2core}}{2}$$



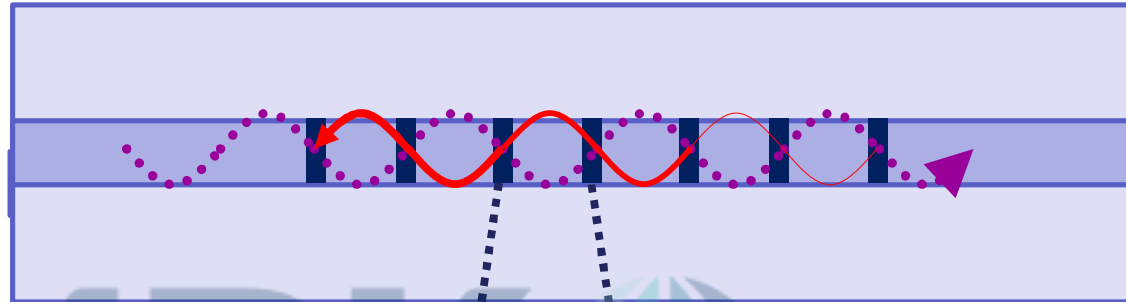
Grating: Miroirs semi-transparent



Demi longueur d'onde optique $\lambda/2$ (dans le média)

Interférence Constructive

Toutes les ondes qui ont la même longueur d'onde vibrent en phase en donne naissance à une „grosse“ réflexion



Demi Longueur d'onde optique $\lambda/2$ (dans le média)

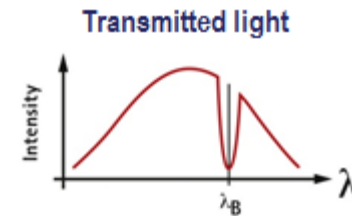
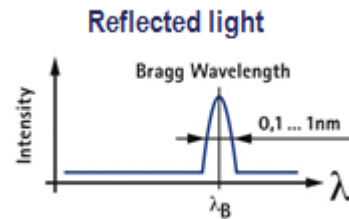
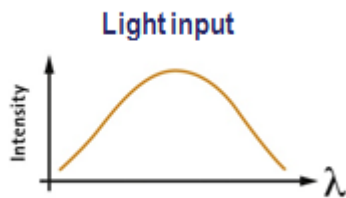
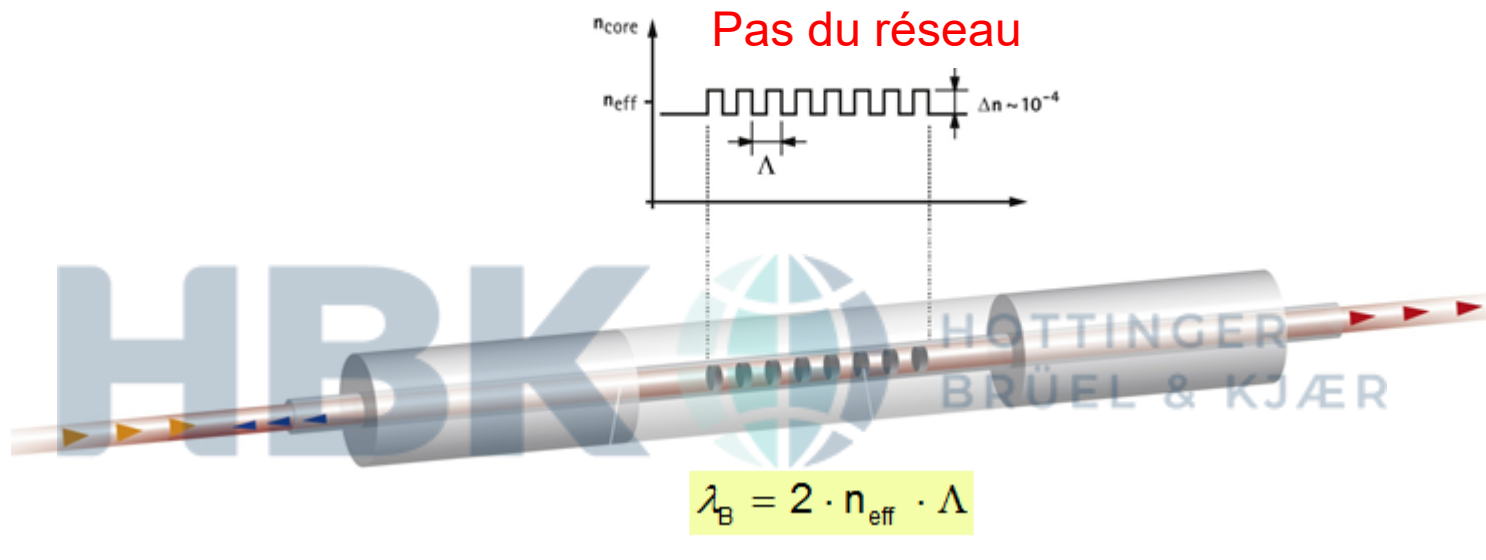
Λ = Période du réseau (Grating Period)

$$\text{Longueur d'onde de Bragg : } \lambda_B = 2 n_{\text{eff}} \Lambda$$

Les réseaux de Bragg



- Les Réseaux de Bragg agissent comme des filtre passe bande



- Les longueurs d'ondes



Ce capteur réfléchit une longueur d'onde de 1550nm

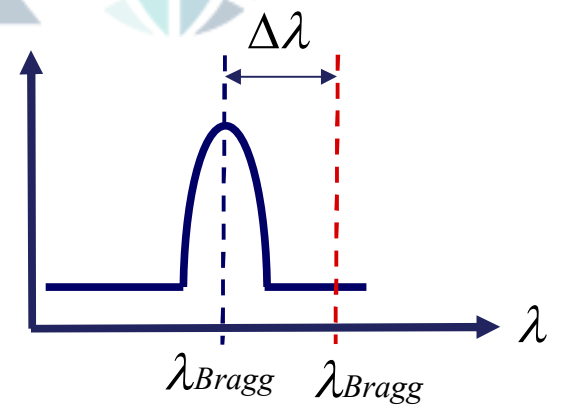
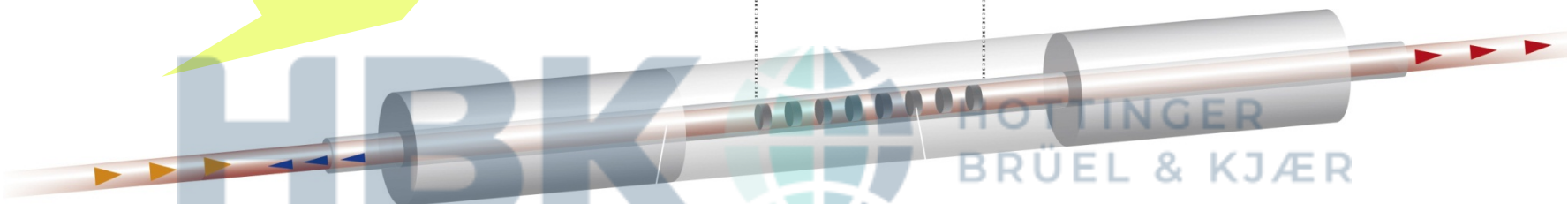
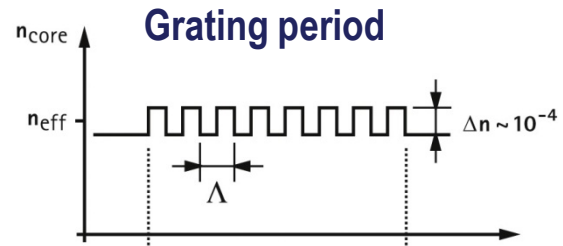
.... Lorsqu'aucune contrainte (temp ou def) ne lui est appliquée !!!!

Les réseaux de Bragg

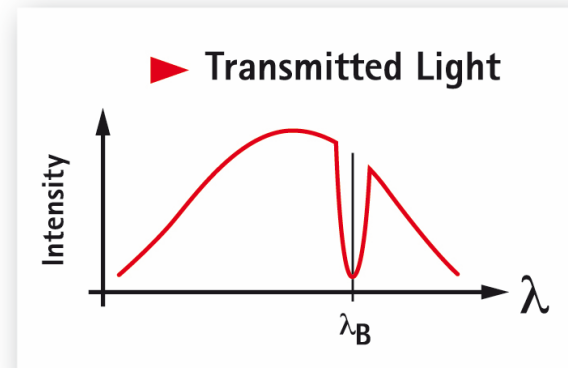
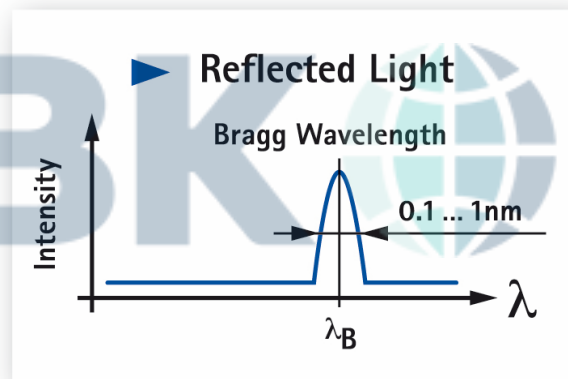
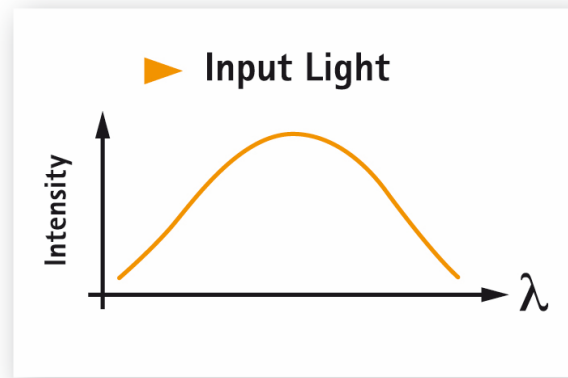


- Comment cela fonctionne?

Température
ou
déformation



Les réseaux de Bragg

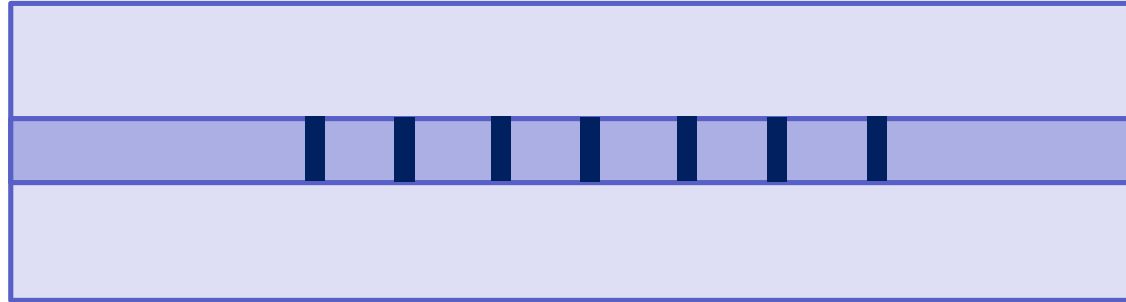


HBM HOTTINGER BRÜEL & KJÆR

Les réseaux de Bragg



- Quelques informations complémentaires



Longueur ~ 6mm

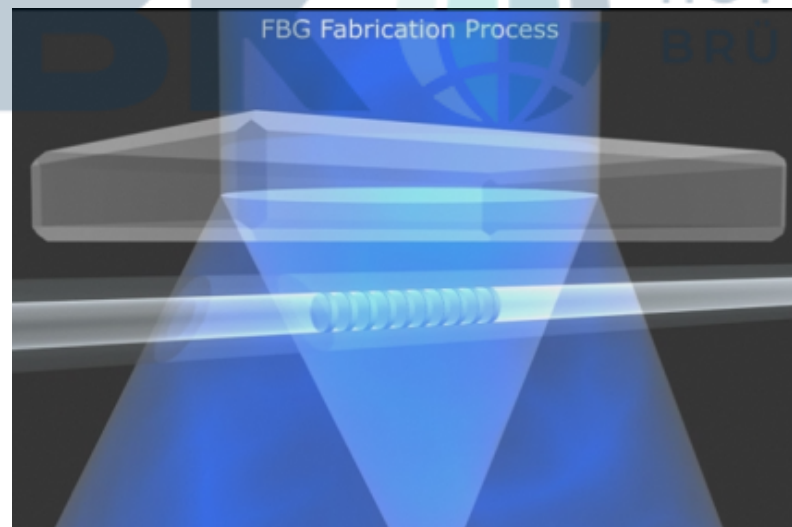
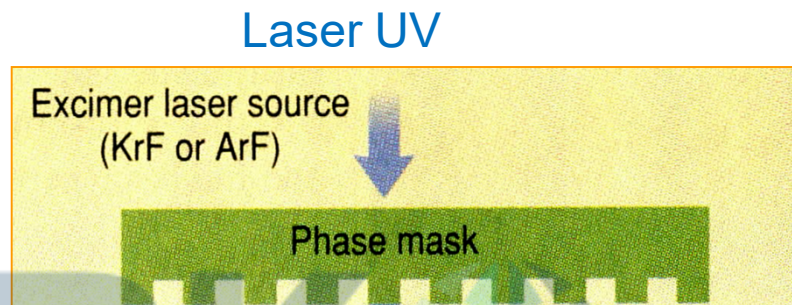
> 10 000 miroirs

Periode ~ 500-600nm

Indice de réfraction ~1.47

Longueur d'onde standard λ_B entre 1500nm et 1600nm

- Fabrication

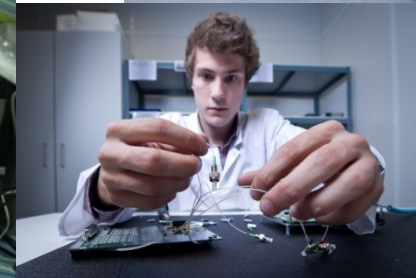
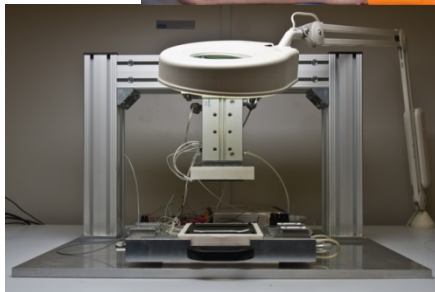


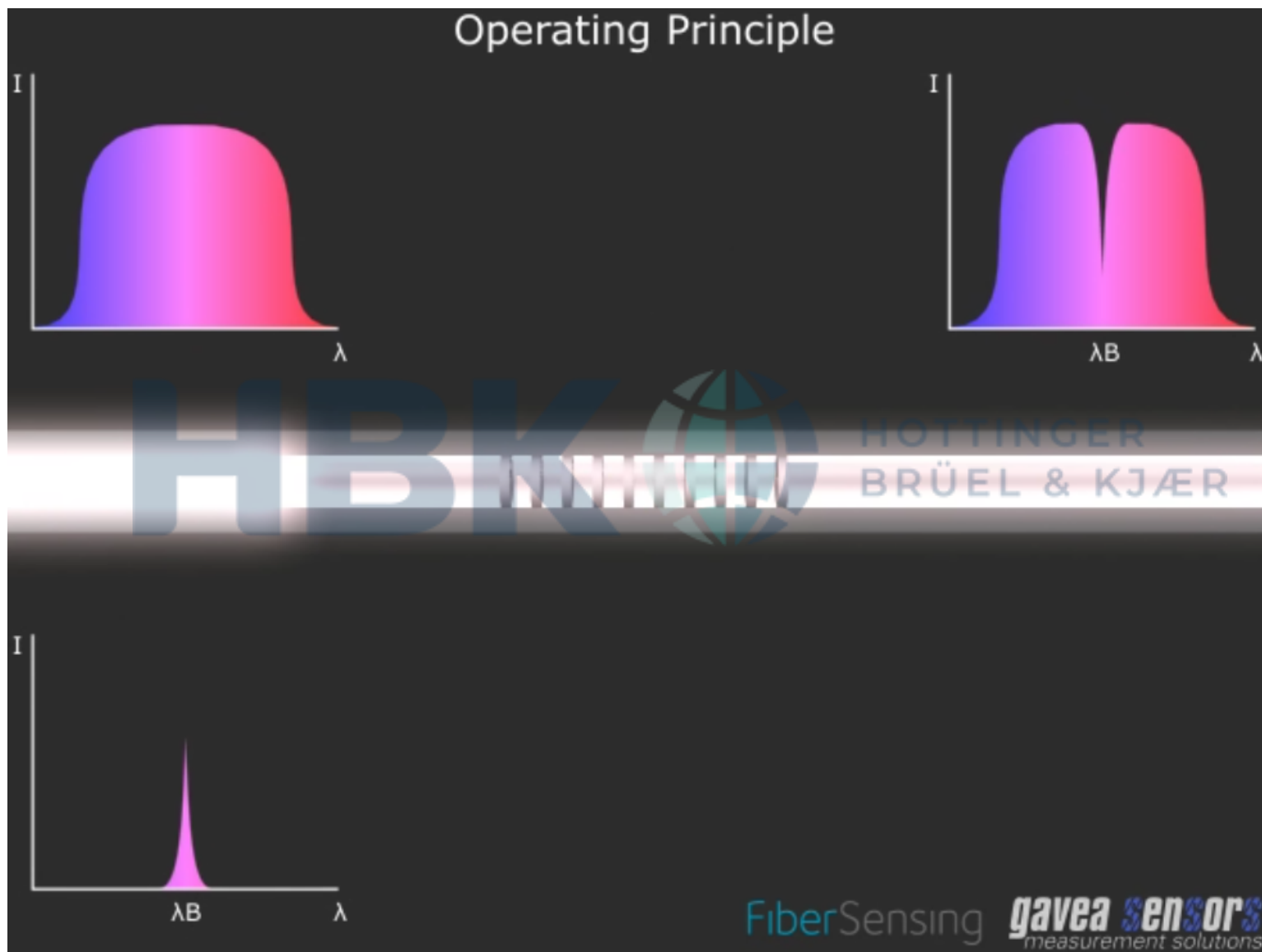
← Coeur de fibre
Photo-sensible

Les réseaux de Bragg

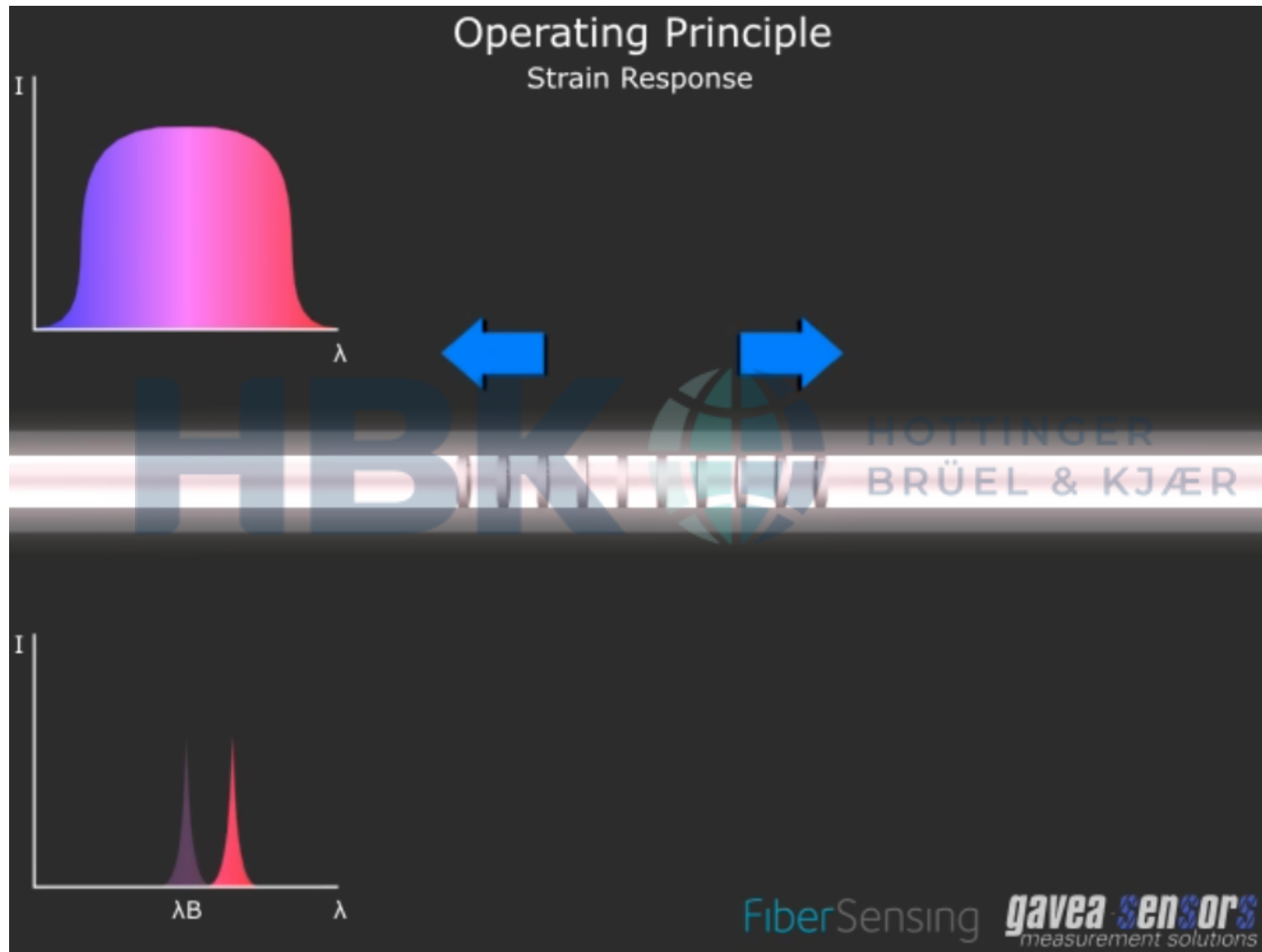


- R&D, Inscription des réseaux, fabrication des capteurs, électroniques
- Equipement à la pointe de la technologie pour le domaine de l'optique et des réseaux de Bragg.

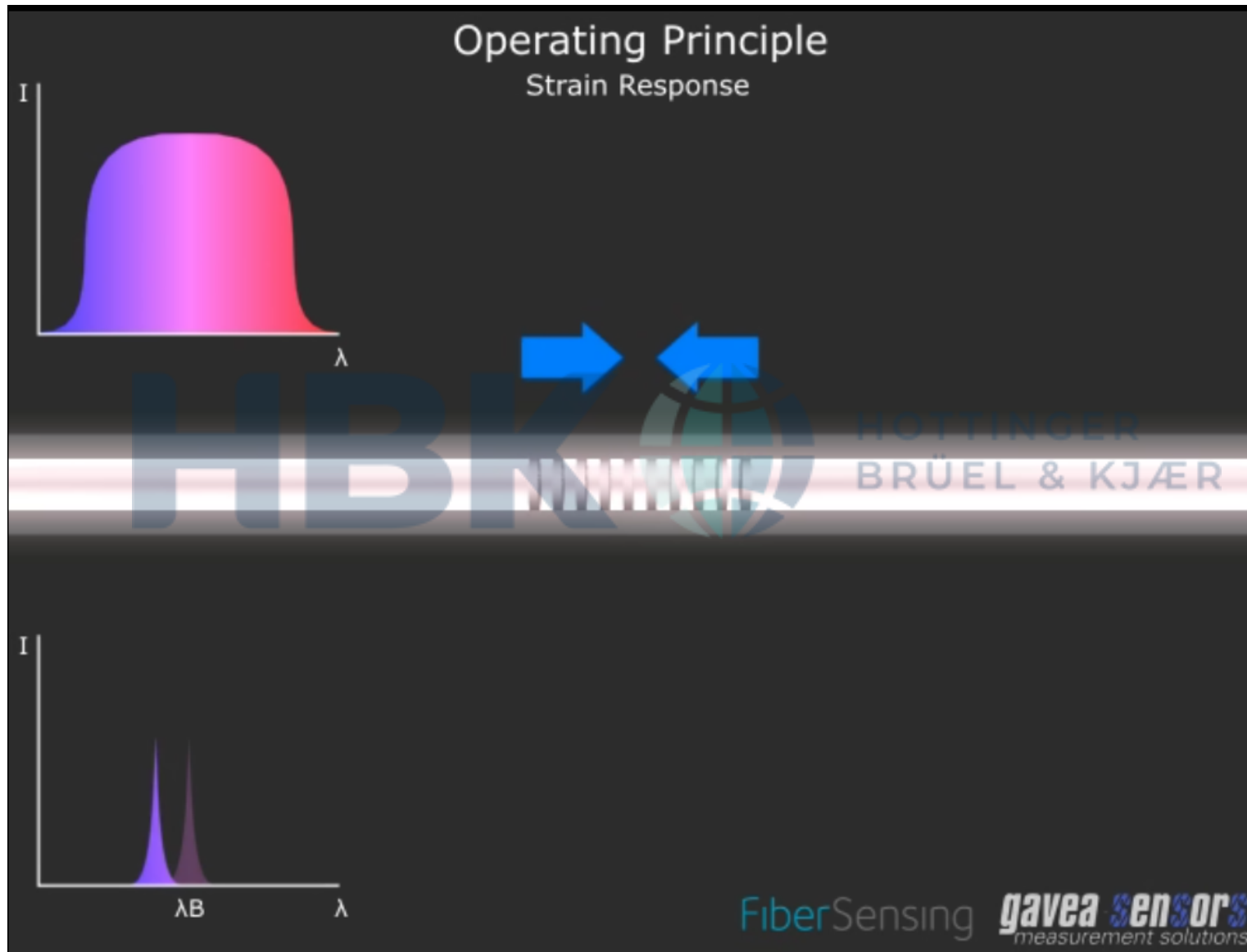




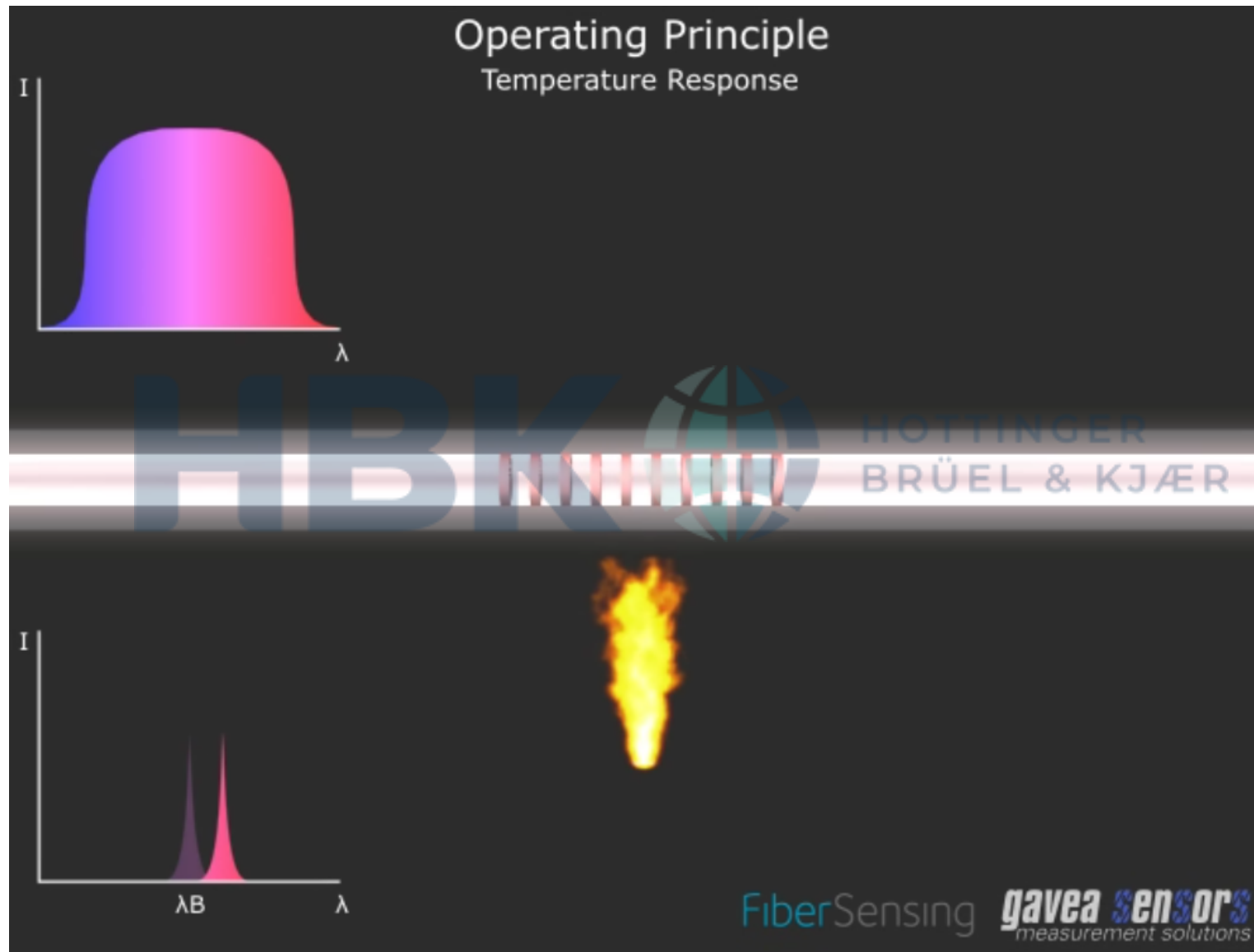
Les réseaux de Bragg



Les réseaux de Bragg



Les réseaux de Bragg



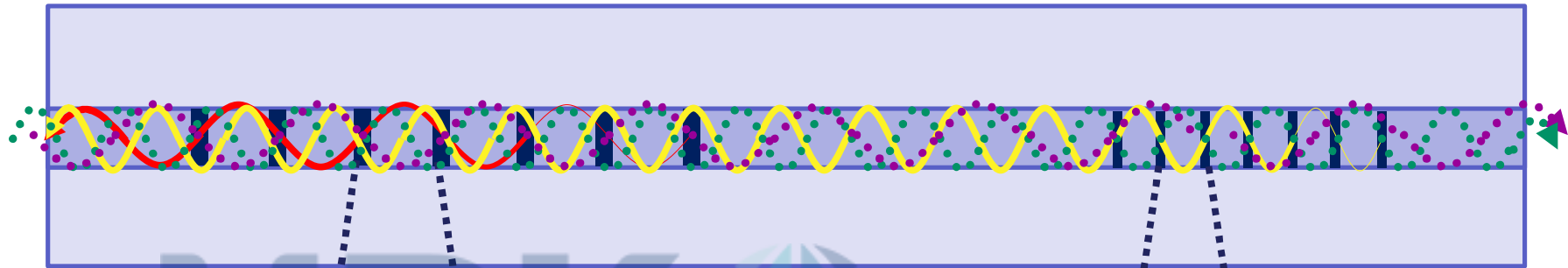
© HBM

HBM FiberSensing: public

Ne pas diffuser sans autorisation préalable

Chaine de Capteurs FBG



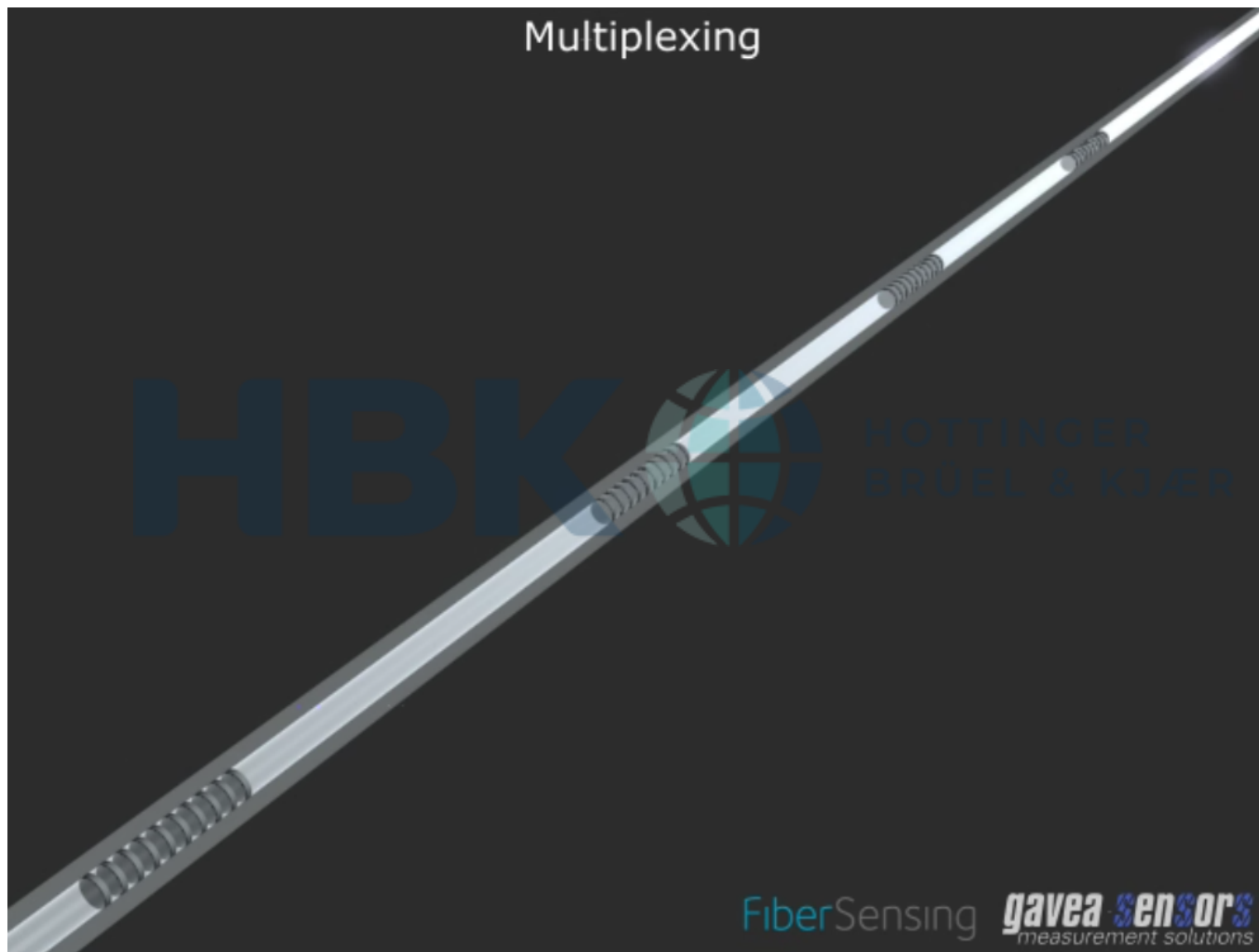


HBM HOTTINGER BRÜEL & KJÆR

$$\lambda_{B1} = 2 n_{eff} \Lambda_1$$

$$\lambda_{B2} = 2 n_{eff} \Lambda_2$$

Chaines de capteurs

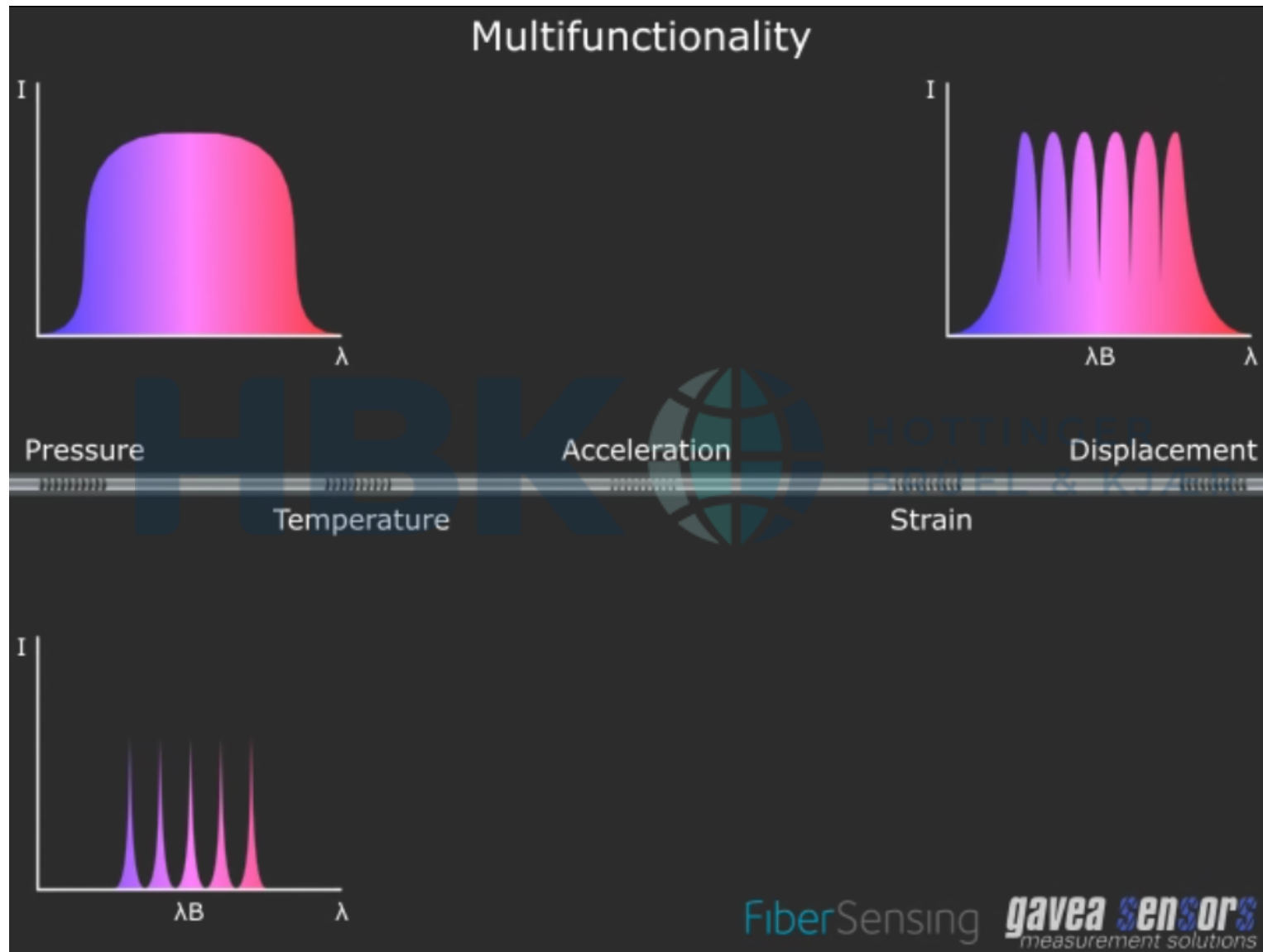


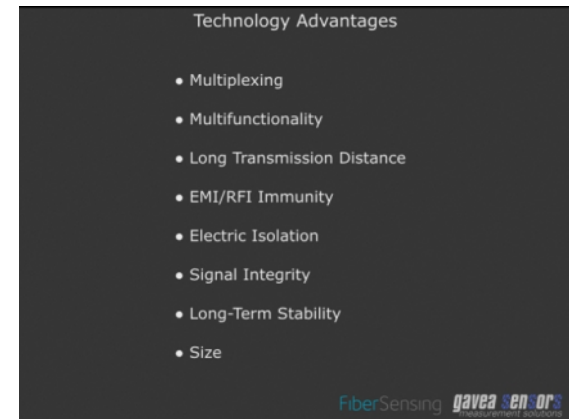
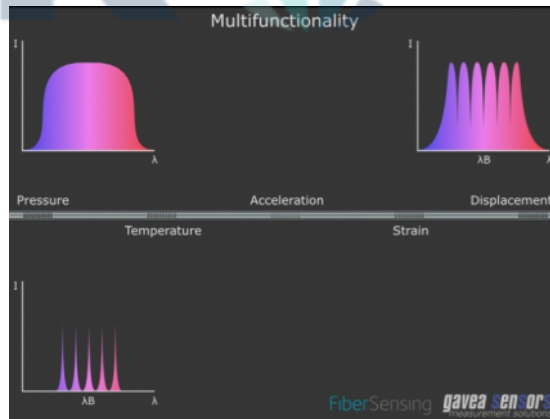
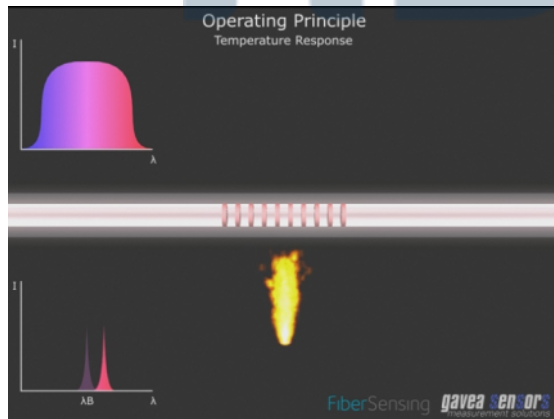
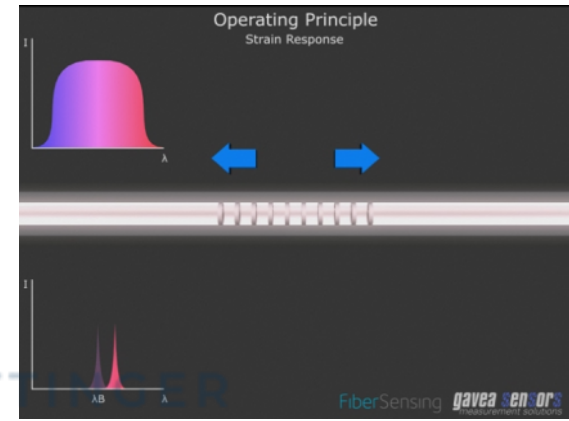
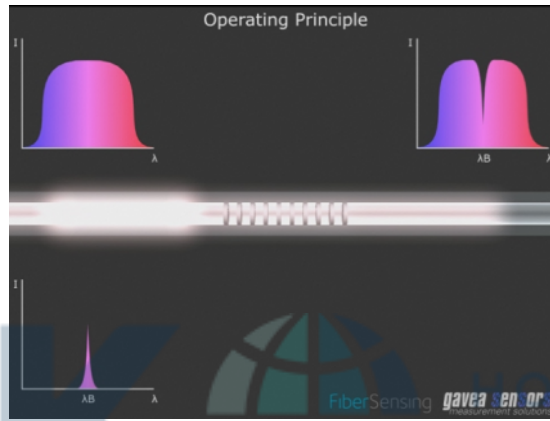
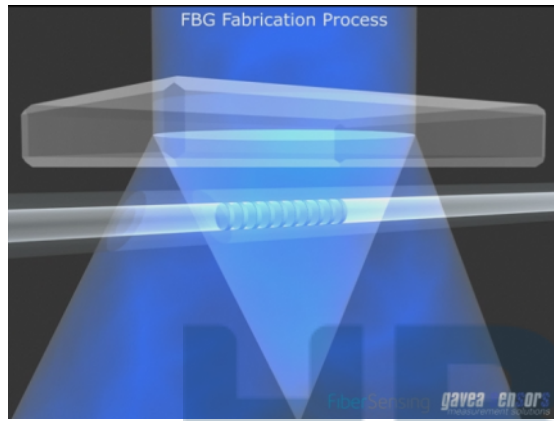
© HBM

HBM FiberSensing: public

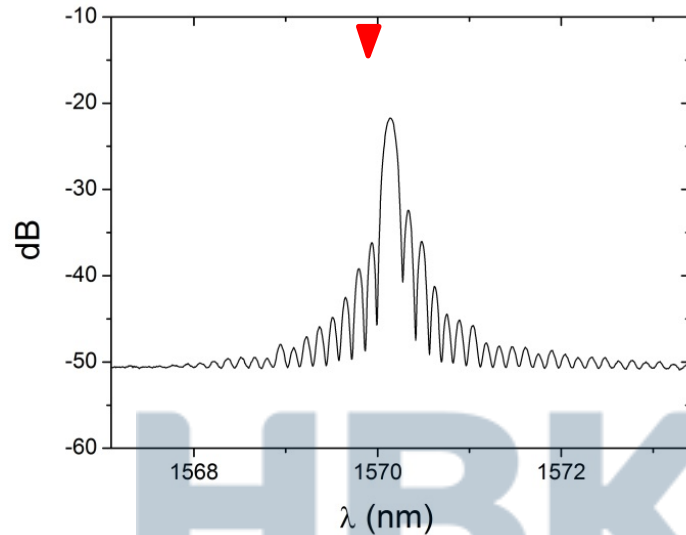
Ne pas diffuser sans autorisation préalable

Chaine de capteurs





<https://www.youtube.com/watch?v=CJGYVw8WpuQ>

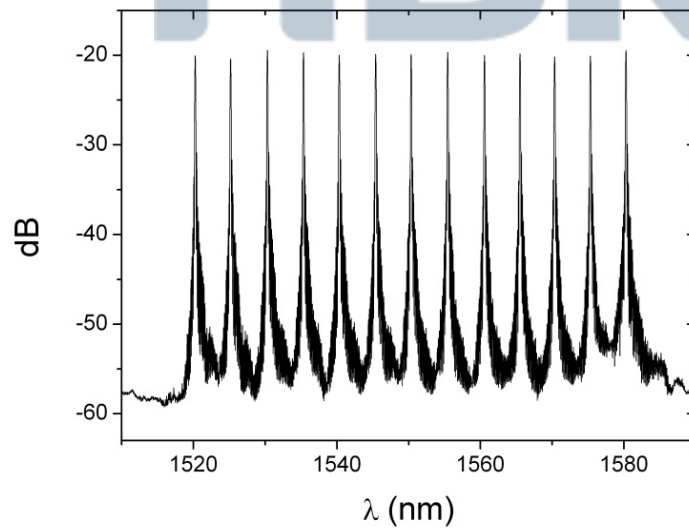


Bragg Signal:

- „Bragg Peak“ + Effets latéraux (sidelobs)
- Longueur d'onde absolue



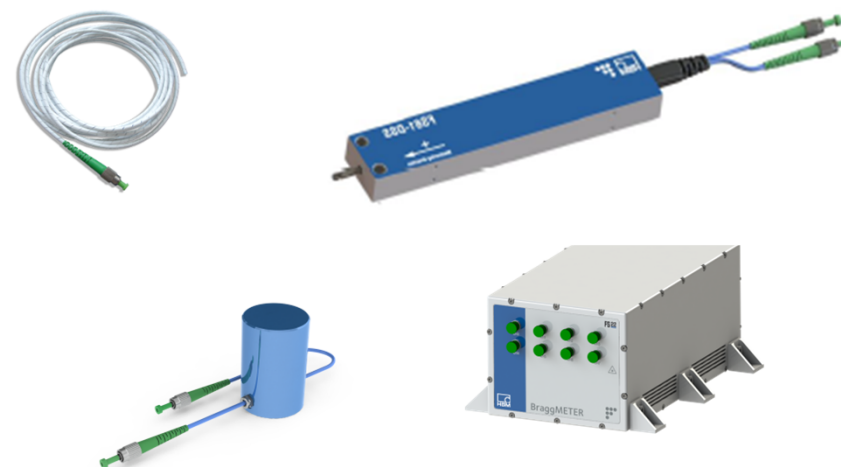
HOTTINGER
BRÜEL & KJÆR



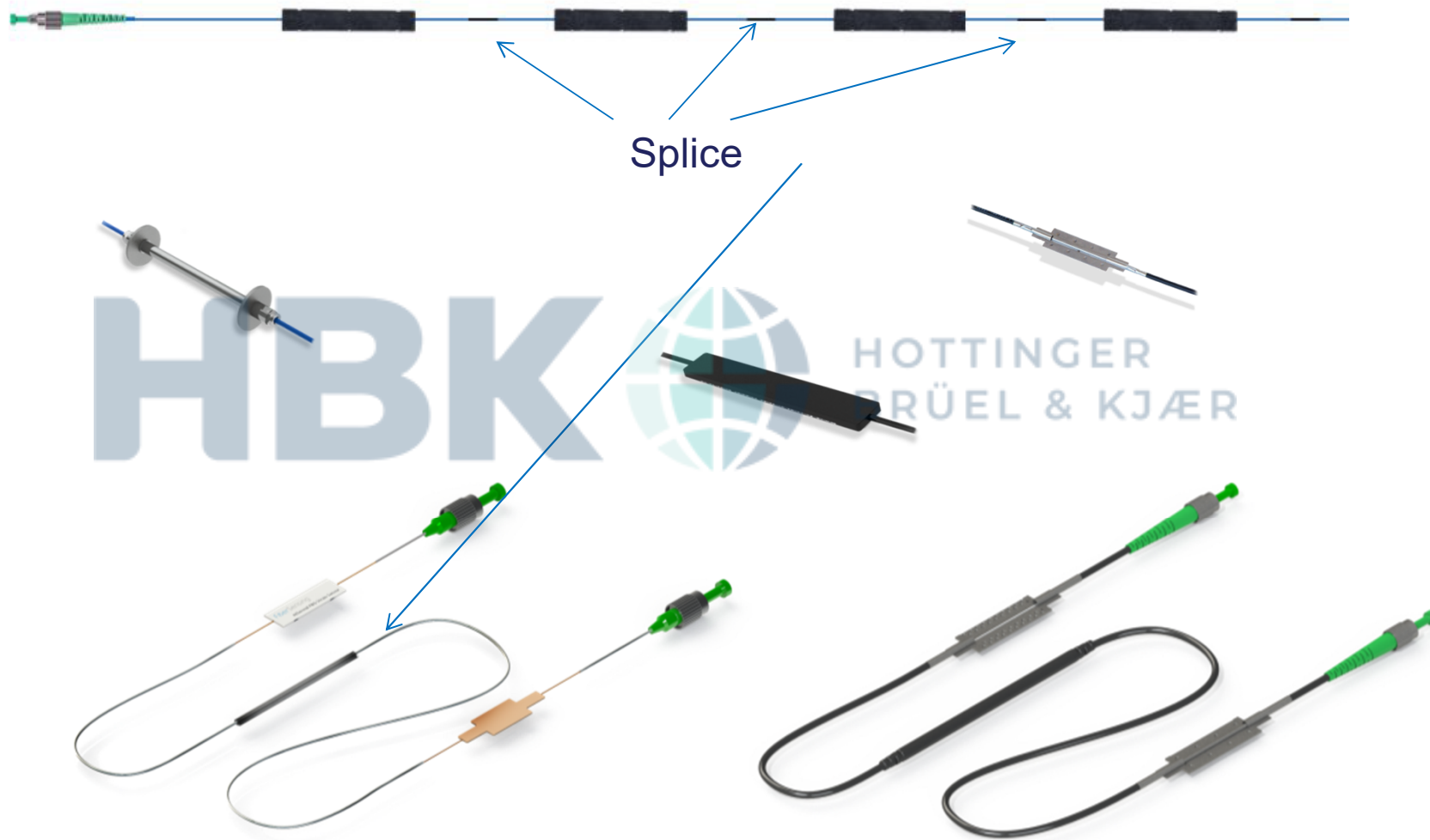
Signaux d'une chaine :

- *Multiplexé dans une fibre optique*
- Chaque FBG = Filtre passe bande

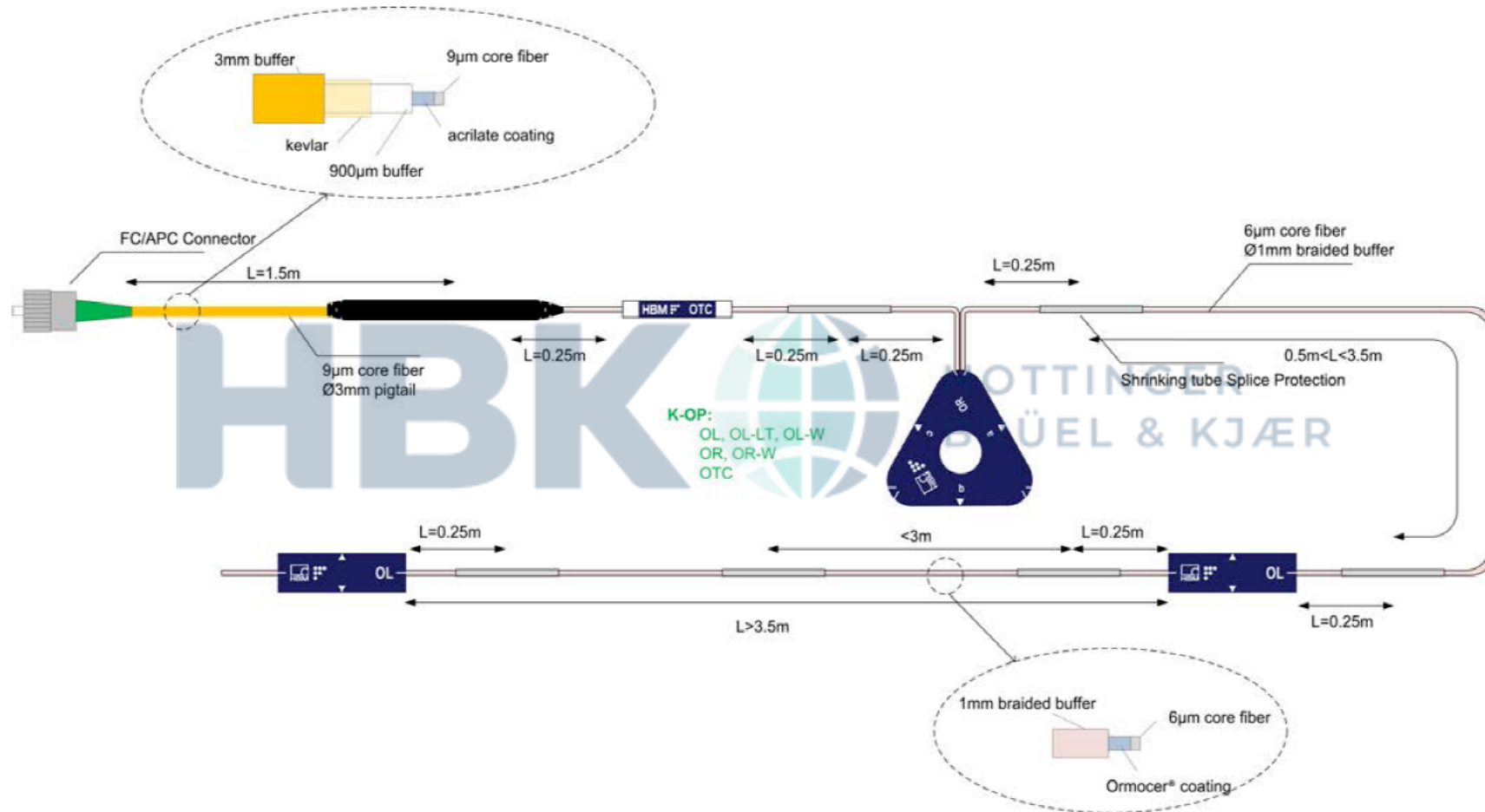
Chaine de Capteurs FBG En pratique



Chaine de capteurs ... en pratique



Chaines de capteurs ... en pratique



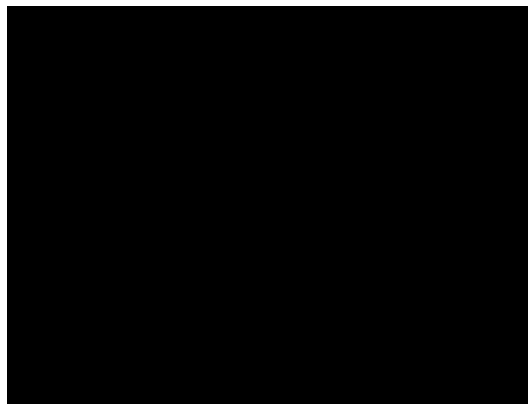
Chaines de capteurs ... en pratique



Les fibres En pratique



Exemples d'installation



Installation dans une conduite sous pression 100 bar



12.2007



02.2012

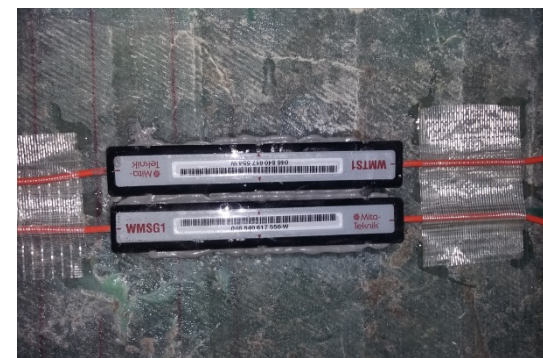
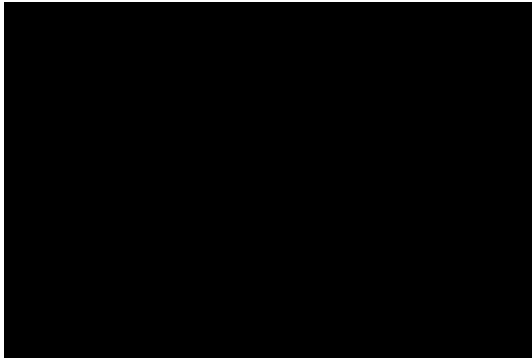
Installation dans un tunne
Conditions normales d'utilisation

Environnements difficiles

Exemples d'installation



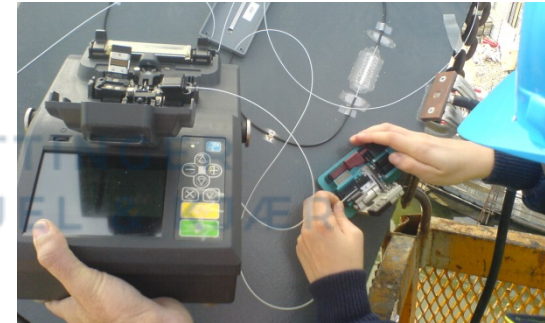
- Les conditions ambiantes d'installation



Exemples d'installation



- Les conditions d'installation



Exemples d'installation



- Les sorties de cables

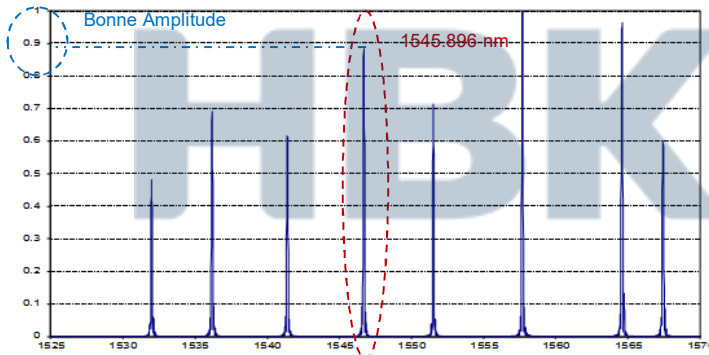


Les signaux obtenus

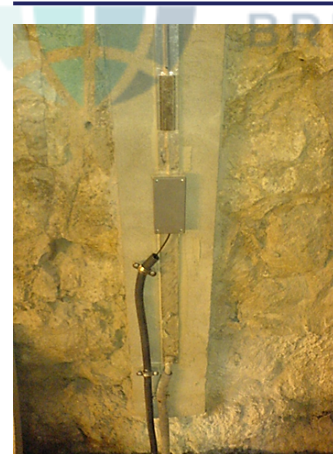


- Durée de vie de l'instrumentation
 - La plupart des installations doivent tenir dans le temps, et conserver la faculté de donner de bonnes mesures.
 - FBG technologie
 - Insensible aux pertes (mesure de variation de longueur d'ondes)
 - Excellente résistance à l'humidité et aux ambiances marines.

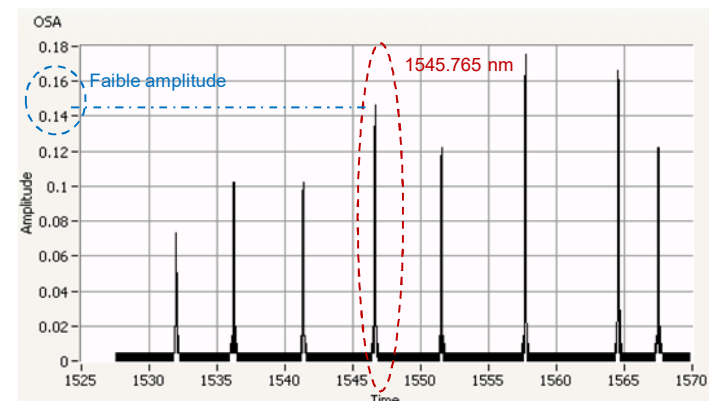
OC63 – S59 @ 2008.02.15



Au début 4 ans après



OC63 – S59 @ 2013.11.21



Exemple de capteurs dans un tunnel

www.hbm.com

