

Les modes de résonance acoustique dans les fibres optiques microstructurées & Applications aux capteurs distribués.

Michel Dossou

Laboratoire de Physique des Lasers, Atomes et Molécules (PhLAM)
Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS)
Université Lille 1 - Sciences et Technologies



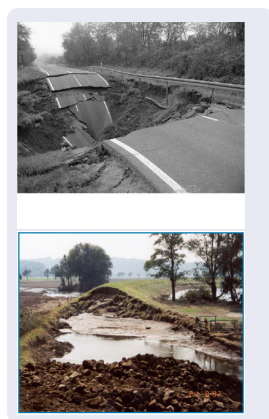
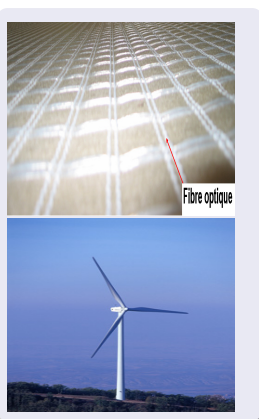
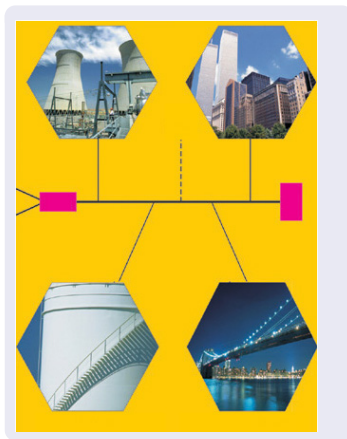
Nord-Pas de Calais



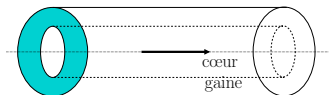
Université
Lille1
Sciences et Technologies



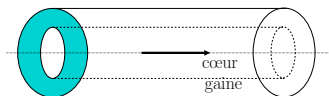
Applications "capteur"



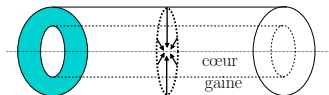
- La plupart des capteurs utilisant l'interaction acousto-optique, exploitent les modes acoustiques longitudinaux qui se propagent le long de la fibre.



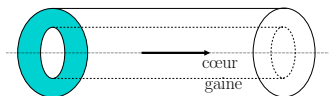
- La plupart des capteurs utilisant l'interaction acousto-optique, exploitent les modes acoustiques longitudinaux qui se propagent le long de la fibre.



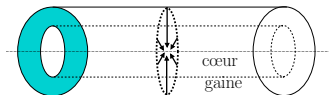
- Mais très peu d'études ont été réalisées sur les modes acoustiques transverses.



- La plupart des capteurs utilisant l'interaction acousto-optique, exploitent les modes acoustiques longitudinaux qui se propagent le long de la fibre.



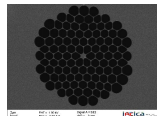
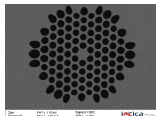
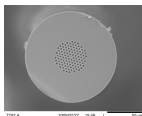
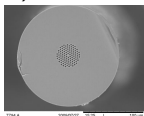
- Mais très peu d'études ont été réalisées sur les modes acoustiques transverses.



- Possibilité de mise au point d'un nouveau type de capteurs de mesure de la déformation de structure.

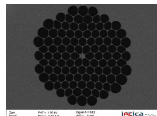
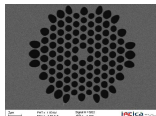
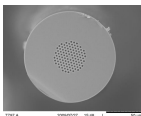
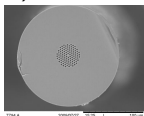
Motivations

- Mettre à profit le large éventail de structures réalisables grâce aux fibres à cristaux photoniques (Photonic Crystal Fibres : PCF).



Motivations

- Mettre à profit le large éventail de structures réalisables grâce aux fibres à cristaux photoniques (Photonic Crystal Fibres : PCF).



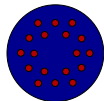
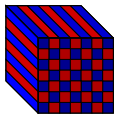
- Mettre en place un dispositif pouvant permettre de mesurer et de corriger l'homogénéité de la structure de la section de fibre durant sa fabrication.



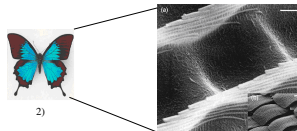
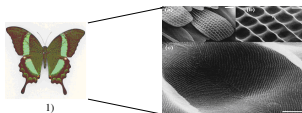
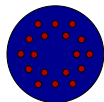
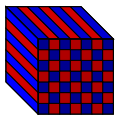
Objectifs de la thèse

- 1 Etudier dans les fibres à cristaux photoniques, les modes de résonance acoustique, longitudinaux et transverses.
- 2 Analyser la possibilité de mesurer les modes de résonance acoustique en rétrodiffusion.
- 3 Exploiter leurs propriétés dans la mise au point de capteurs répartis.

Plan

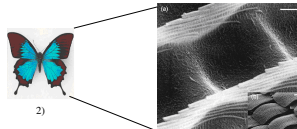
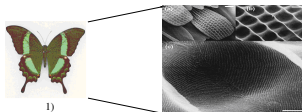
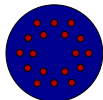
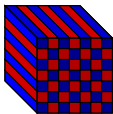


Microstructuration versus Couleur des ailes.



P. Vukusic et al, *Appl. Opt.*, vol. 40, pp. 1116–1125, 2001

Microstructuration versus Couleur des ailes.



P. Vukusic et al, *Appl. Opt.*, vol. 40, pp. 1116–1125, 2001

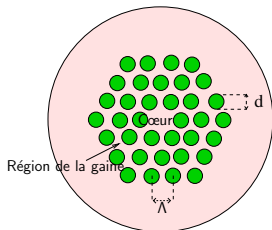
Fibres étudiées

$d \simeq 1 \text{ à } 3 \mu\text{m}$ (diamètre des trous)

$\Lambda \simeq 1 \text{ à } 3 \mu\text{m}$ (distance inter-trous : pitch)

gaine : n_{FSM} (Fundamental Space-filling Mode)

cœur : n_c



Modélisation des fibres microstructurées

Nécessité d'estimer la fréquence normalisée V :

$$V = \frac{2\pi}{\lambda} a_{eff} \sqrt{n_c^2 - n_{FSM}^2}$$

λ : longueur d'onde optique, a_{eff} : rayon effectif du cœur

$$\begin{array}{ll} V \geq 2,405 & \text{multimode} \\ V < 2,405 & \text{monomode} \end{array}$$

Modélisation des fibres microstructurées

Nécessité d'estimer la fréquence normalisée V :

$$V = \frac{2\pi}{\lambda} a_{eff} \sqrt{n_c^2 - n_{FSM}^2}$$

λ : longueur d'onde optique, a_{eff} : rayon effectif du cœur

$V \geq 2,405$ **multimode**
 $V < 2,405$ **monomode**

Plusieurs théories existent.

- 1 L'équipe de l'université de Bath en Grande Bretagne, (J. C. Knight et al, *Opt. Lett.*, vol. 21, pp. 1547–1549, 1996) : $a_{eff} = \Lambda$

Modélisation des fibres microstructurées

Nécessité d'estimer la fréquence normalisée V :

$$V = \frac{2\pi}{\lambda} a_{eff} \sqrt{n_c^2 - n_{FSM}^2}$$

λ : longueur d'onde optique, a_{eff} : rayon effectif du cœur

$$\begin{array}{ll} V \geq 2,405 & \text{multimode} \\ V < 2,405 & \text{monomode} \end{array}$$

Plusieurs théories existent.

- 1 L'équipe de l'université de Bath en Grande Bretagne, (J. C. Knight et al, *Opt. Lett.*, vol. 21, pp. 1547–1549, 1996) : $a_{eff} = \Lambda$
- 2 Celle de Crystal Fibre A/S au Danemark (N. A. Mortensen et al, *Opt. Lett.*, vol. 28, pp. 1879–1881, 2003) : $a_{eff} = \Lambda$ et $n_c = n_{eff}$

Modélisation des fibres microstructurées

Nécessité d'estimer la fréquence normalisée V :

$$V = \frac{2\pi}{\lambda} a_{\text{eff}} \sqrt{n_c^2 - n_{\text{FSM}}^2}$$

λ : longueur d'onde optique, a_{eff} : rayon effectif du cœur

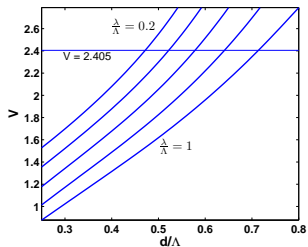
$$\begin{array}{ll} V \geq 2,405 & \text{multimode} \\ V < 2,405 & \text{monomode} \end{array}$$

Plusieurs théories existent.

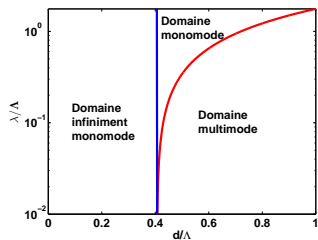
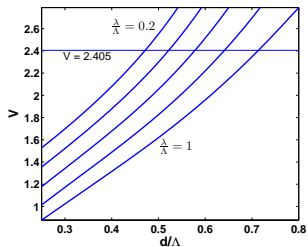
- 1 L'équipe de l'université de Bath en Grande Bretagne, (J. C. Knight et al, *Opt. Lett.*, vol. 21, pp. 1547–1549, 1996) : $a_{\text{eff}} = \Lambda$
- 2 Celle de Crystal Fibre A/S au Danemark (N. A. Mortensen et al, *Opt. Lett.*, vol. 28, pp. 1879–1881, 2003) : $a_{\text{eff}} = \Lambda$ et $n_c = n_{\text{eff}}$
- 3 Celle formée par K. Saitoh et M. Koshiba de l'université de Sapporo au Japon (K. Saitoh et al, *Opt. Express*, vol. 13, pp. 267–274, 2005) :

$$a_{\text{eff}} = \frac{\Lambda}{\sqrt{3}}$$

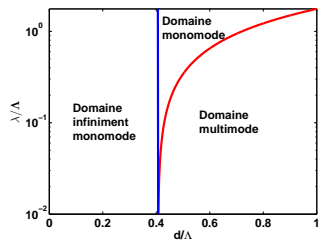
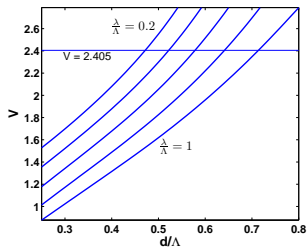
Modélisation des fibres microstructurées



Modélisation des fibres microstructurées



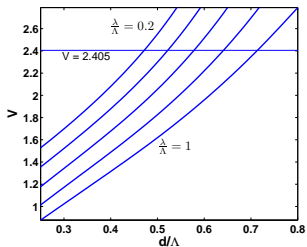
Modélisation des fibres microstructurées



Hypothèses

$\lambda = 1550 \text{ nm}$ et $a_{eff} = 1 \mu\text{m}$

Modélisation des fibres microstructurées

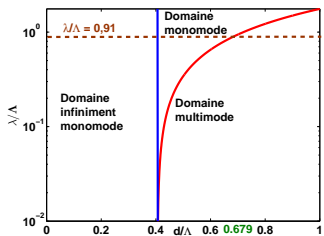
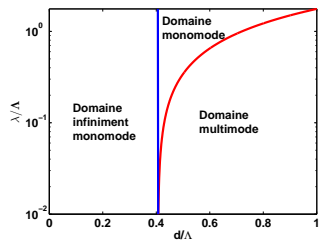


Hypothèses

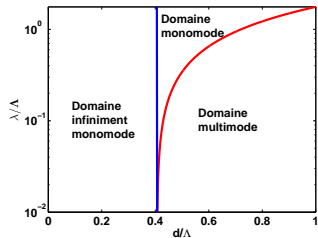
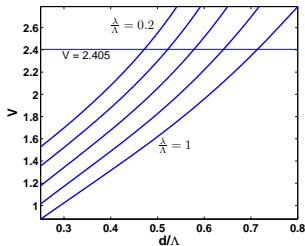
$$\lambda = 1550 \text{ nm et } a_{\text{eff}} = 1 \mu\text{m}$$

Calcul

$$\Lambda = a_{\text{eff}} \sqrt{3} = 1,7 \mu\text{m} \implies \frac{\lambda}{\Lambda} = 0,911$$



Modélisation des fibres microstructurées



Hypothèses

$\lambda = 1550 \text{ nm}$ et $a_{\text{eff}} = 1 \mu\text{m}$

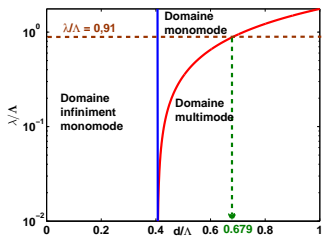
Calcul

$$\Lambda = a_{\text{eff}} \sqrt{3} = 1,7 \mu\text{m} \implies \frac{\lambda}{\Lambda} = 0,911$$

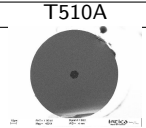
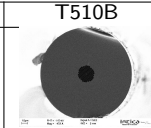
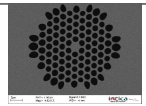
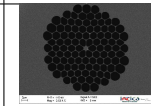
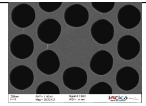
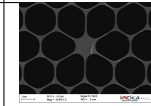
Diagramme

$$\frac{\lambda}{\Lambda} = 0,911 \implies d/\Lambda = 0,679$$

$$\implies d = 1,22 \mu\text{m}.$$



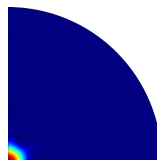
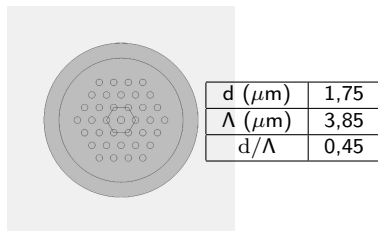
Exemples de PCF

	T510A	T510B
		
		
		
d (μm)	0,9	2,48
Λ (μm)	1,18	2,25
d/Λ	0,76	1,1
a_{eff} (μm)	0,74	0,88
	Monomode	Multimode

Exemples de PCF

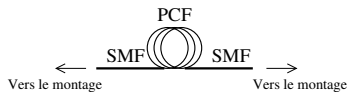
Simulation numérique (Comsol®)

	T510A	T510B
d (μm)	0,9	2,48
Λ (μm)	1,18	2,25
d/Λ	0,76	1,1
a_{eff} (μm)	0,74	0,88
	Monomode	Multimode

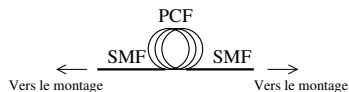


$$V = 2,1 < 2,405$$

Techniques d'épissures



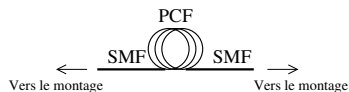
Techniques d'épissures



	T625B	T510A
a_{eff} (μm)	2,96	0,74
w (μm)	2,855	0,903
Pertes	0,9 dB	7,5 dB

SMF : $w \simeq 3 \mu\text{m}$

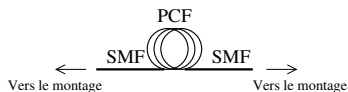
Techniques d'épissures



	T625B	T510A
a_{eff} (μm)	2,96	0,74
w (μm)	2,855	0,903
Pertes	0,9 dB	7,5 dB

SMF : $w \simeq 3 \mu\text{m}$

Techniques d'épissures



	T625B	T510A

a_{eff} (μm)	2,96	0,74
w (μm)	2,855	0,903
Pertes	0,9 dB	7,5 dB

SMF : $w \simeq 3 \mu\text{m}$

	T510A

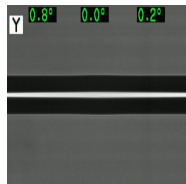
a_{eff} (μm)	0,74
w (μm)	0,903
Pertes	3,5 dB

UHNA4 : $w \simeq 2 \mu\text{m}$

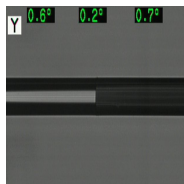
UHNA4 : SMF(0,6 dB)

Réduction des pertes de 3,4 dB.

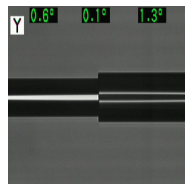
Techniques d'épissures



UHNA4 \longleftrightarrow SMF
0,6 dB



UHNA4 \longleftrightarrow T625B
4 dB



UHNA4 \longleftrightarrow T510A
3,5 dB

Existence des interactions dipôle-dipôle dans un matériau



Vibration des atomes et molécules

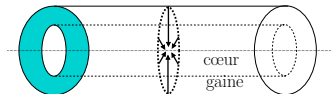
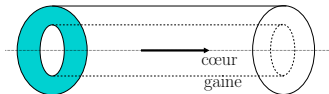


Naissance de fluctuations vibrationnelles et diffusionnelles

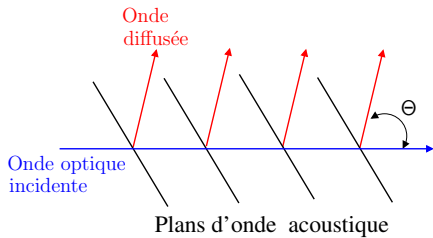


Modes acoustiques

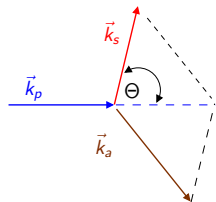
Deux types de modes acoustiques : longitudinaux et transverses



Les modes acoustiques longitudinaux

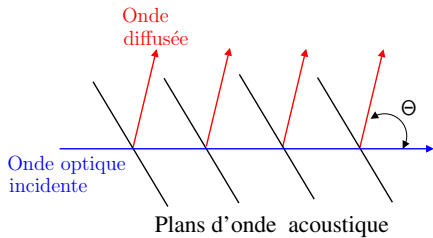


a)

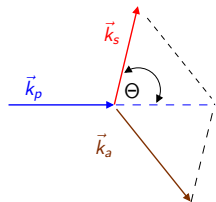


b)

Les modes acoustiques longitudinaux



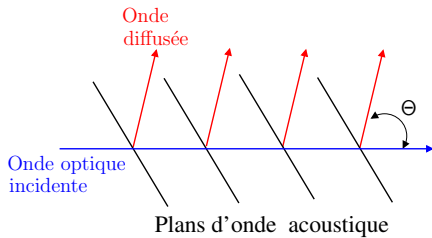
a)



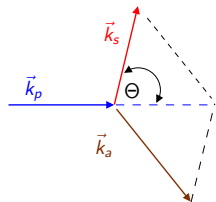
b)

$$\vec{k}_s = \vec{k}_p \pm \vec{k}_a$$

Les modes acoustiques longitudinaux



a)



b)

$$\vec{k}_s = \vec{k}_p \pm \vec{k}_a$$

$\Theta = 0$ ou $\pi \implies$ modes longitudinaux.

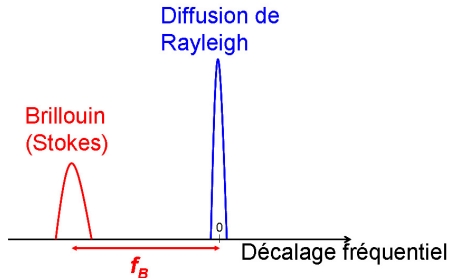
Ceux correspondant à $\Theta = \pi$ sont à l'origine de la **diffusion Brillouin**.

Fréquence Brillouin

$$f_B = \frac{2n_{\text{eff}}}{\lambda_p} v_L = \frac{2n_{\text{eff}}}{\lambda_p} \sqrt{\frac{E(1-\nu)}{(1+\nu)(1-2\nu)\rho}}$$

n_{eff} : l'indice effectif de mode, v_L : la vitesse d'onde acoustique, λ_p : la longueur d'onde optique incidente, E , ν , ρ module de Young, coefficient de Poisson et densité du matériau.

D. Cotter, *J. Opt. Commun.*, vol. 4, pp. 10-19, 1983

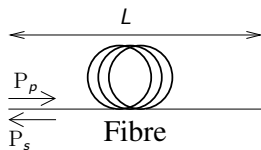


$$f_B \simeq 10-11 \text{ GHz}$$

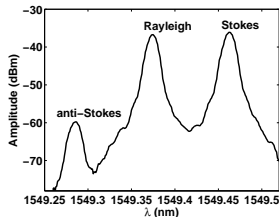
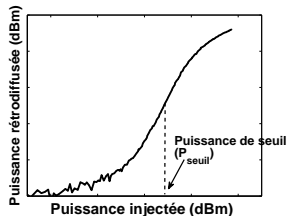
$$\lambda_p = 1550 \text{ nm}$$

Phénomène à seuil

Configuration simple

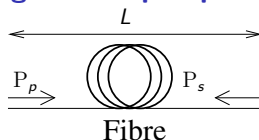


- P_{seuil} dépend du matériau et de la longueur d'onde du laser
- $P_{seuil} \searrow$ quand $L \nearrow$
- SMF à $\lambda = 1550$ nm, $P_{seuil} \simeq 10$ mW pour $L = 5$ km



Phénomène à seuil

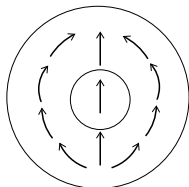
Configuration "pompe-sonde"



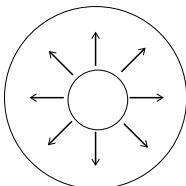
- Utilisation de plus faibles puissances
- Gain même en deçà du seuil
- Mais nécessité d'avoir accès aux deux extrémités de fibres

Les modes acoustiques transverses

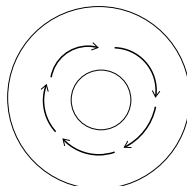
Confinement dans la section de la fibre.



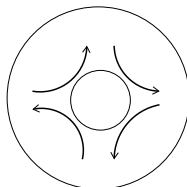
a) Modes de flexion (F_{om})



b) Modes radiaux (R_{om})



c) Modes torsiaux (T_{om})




d) Modes torsio-radiaux (TR_{2m})

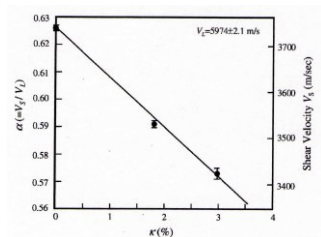
R_{om} : variation de la phase (polarisés) / TR_{2m} : variation de la phase et de la polarisation (dépolarisés)

Fréquences \simeq 0 MHz à 1 GHz (SMF)
 \simeq 0 MHz à 2 GHz (PCF)

Les modes acoustiques transverses dans les PCF

Exemple : T452A

	T452A 
d (μm)	1,77
Λ (μm)	3,89
$\frac{d}{\Lambda}$	0,45
f_B	11,095 GHz
v_L	$5971 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$
κ	$1,9 \cdot 10^{-2}$



κ : ratio surface des trous sur surface totale

$\kappa = 1,9 \cdot 10^{-2} \ll 1$ N. Shibata et al, *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 18, pp. 412–414, 2006

- Application du formalisme proposé par Thurston et al, *J. Acoust. Soc. Am.*, vol. 64, pp. 1–37, 1978
- v_T estimée à **3531 m/s** (cisaillement) N. Shibata et al, *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 18, pp. 412–414, 2006

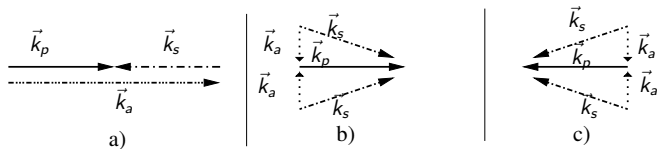
$$\begin{vmatrix} \left(3 - \frac{y^2}{2}\right) J_2\left(\frac{v_T}{v_L} y\right) & \left(6 - \frac{y^2}{2}\right) J_2(y) - 3yJ_3(y) \\ J_2\left(\frac{v_T}{v_L} y\right) - \frac{v_T}{v_L} yJ_3\left(\frac{v_T}{v_L} y\right) & \left(2 - \frac{y^2}{2}\right) J_2(y) + yJ_3(y) \end{vmatrix} = 0$$

avec y_m la solution de rang m du système et b le diamètre extérieur de la PCF
 $b = 129,58 \mu\text{m}$

où $J_k(y)$ est la fonction de Bessel de première espèce d'ordre k .

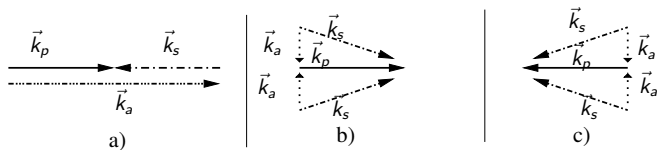
MHz	42,96	98,88	121,59	127,73	154
-----	-------	-------	--------	--------	-----

L'interaction acousto-optique

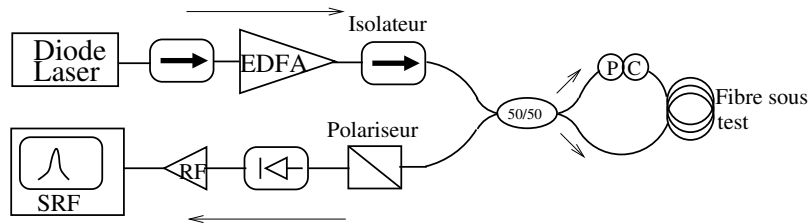


a) : Diffusion Brillouin | b) Guided Acoustic Wave Brillouin Scattering (GAWBS) | c) Diffusion Brillouin sur GAWBS

L'interaction acousto-optique



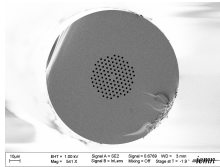
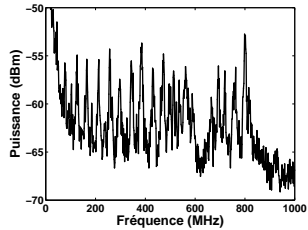
a) : Diffusion Brillouin | b) Guided Acoustic Wave Brillouin Scattering (GAWBS) | c) Diffusion Brillouin sur GAWBS



Mesure des modes TR_{2m}

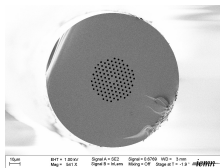
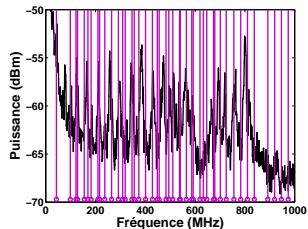
L'interaction acousto-optique

1) Modes TR_{2m} dans une PCF : T452A



L'interaction acousto-optique

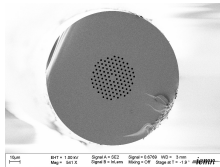
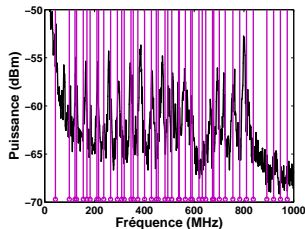
1) Modes TR_{2m} dans une PCF : T452A



Mes. (MHz)	Cal. (MHz)
-	42,96
76,58	-
93,09	98,88
103,6	-
-	121,59
126,1	127,73
-	154,83
165,2	169,55
184,7	182,29
213,2	209,63
.	.
.	.
.	.

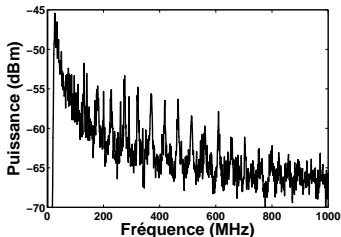
L'interaction acousto-optique

1) Modes TR_{2m} dans une PCF : T452A



Mes. (MHz)	Cal. (MHz)
-	42,96
76,58	-
93,09	98,88
103,6	-
-	121,59
126,1	127,73
-	154,83
165,2	169,55
184,7	182,29
213,2	209,63
·	·
·	·

2) Mesure des modes TR_{2m} dans une SMF



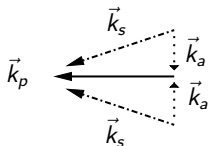
Le spectre dépend de la structure de la fibre
L'objectif : mesure en rétrodiffusion

L'interaction acousto-optique

Peut-on observer les modes acoustiques transverses en rétrodiffusion ?

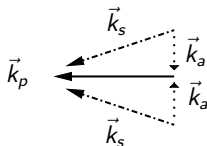
L'interaction acousto-optique

Peut-on observer les modes acoustiques transverses en rétrodiffusion ?



L'interaction acousto-optique

Peut-on observer les modes acoustiques transverses en rétrodiffusion ?

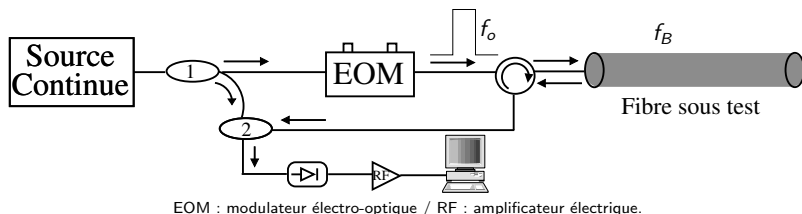


Choix porté sur une **fibre à dispersion décalée**
(Dispersion-Shifted Fibre : DSF) pour ses propriétés !

Mesures réparties pour observer les défauts \implies [réflectométrie](#)

La réflectométrie Brillouin

Etat de l'art

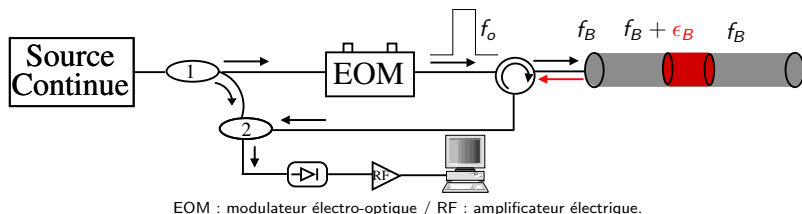


Brillouin Optical Time Domain Reflectometer : BOTDR

- T. Kurashima et al, *IEICE Trans. Commun.*, vol. E76-B, pp. 382–390, 1993.
- K. Shimizu et al, *Opt. Lett.*, vol. 18, pp. 185–187, 1993.
- —, *J. Lightwave Technol.*, vol. 12, pp. 730–736, 1994.

La réflectométrie Brillouin

Etat de l'art

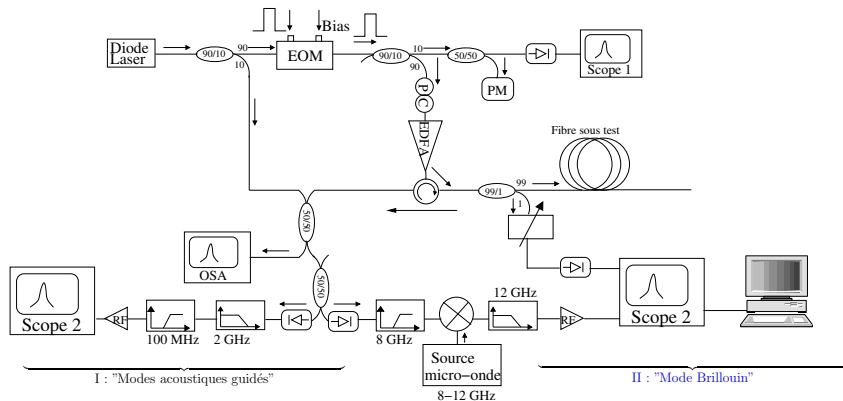


Brillouin Optical Time Domain Reflectometer : BOTDR

- T. Kurashima et al, *IEICE Trans. Commun.*, vol. E76-B, pp. 382–390, 1993.
- K. Shimizu et al, *Opt. Lett.*, vol. 18, pp. 185–187, 1993.
- —, *J. Lightwave Technol.*, vol. 12, pp. 730–736, 1994.

La réflectométrie Brillouin

Dispositifs expérimentaux

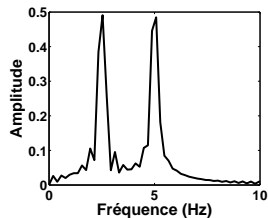
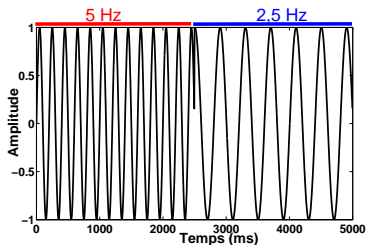
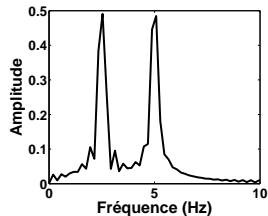
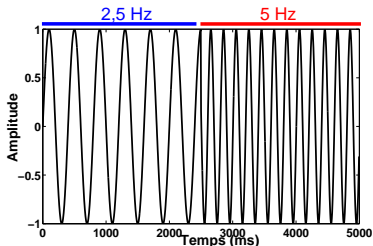


- 2 chemins de détection
- Fonctionnement en continu ou en pulsé.

La réflectométrie Brillouin

Démodulation : traitement des données

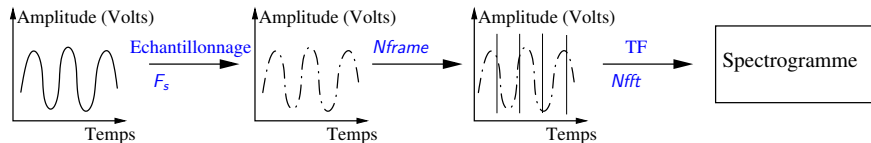
Transformée de Fourier \leftrightarrow Analyse temps-fréquence.



La réflectométrie Brillouin

Traitement des données : Transformée de Fourier à court terme

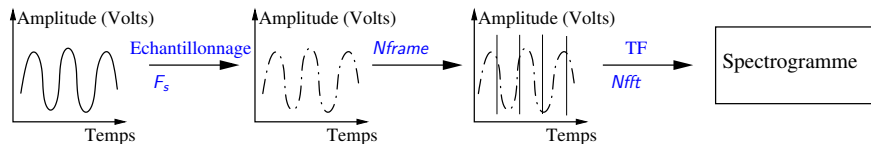
Les étapes



La réflectométrie Brillouin

Traitement des données : Transformée de Fourier à court terme

Les étapes



La résolution en fréquence :

$$\delta f_{num} = \frac{F_s/2}{Nfft/2} = \frac{F_s}{Nfft}$$

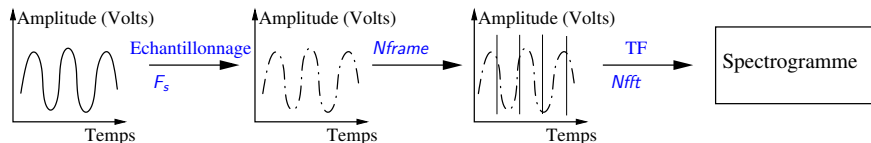
Les résolutions spatiales

$$\Delta z = \frac{c}{n_{eff}} \frac{\tau}{2} \quad \Delta z_{num} = \frac{Nfft}{F_s} \cdot \frac{c}{n_{eff}}$$

La réflectométrie Brillouin

Traitement des données : Transformée de Fourier à court terme

Les étapes



La résolution en fréquence :

$$\delta f_{num} = \frac{F_s/2}{Nfft/2} = \frac{F_s}{Nfft}$$

Voici un exemple :

Pour $F_s = 5$ GHz, $Nfft = 512$,
 $c = 3 \cdot 10^8$ m/s, $n_{eff} = 1,5$ alors
 $\delta f_{num} \simeq 10$ MHz, $\Delta z_{num} = 20$ m
 $\Delta z = 20$ m pour $\tau = 200$ ns

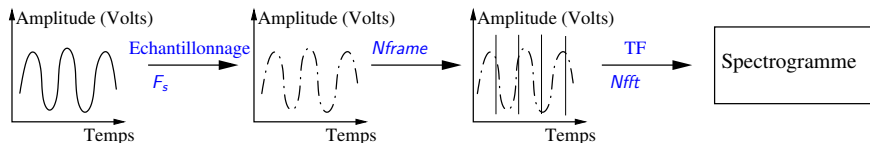
Les résolutions spatiales

$$\Delta z = \frac{c}{n_{eff}} \frac{\tau}{2} \quad \Delta z_{num} = \frac{Nfft}{F_s} \cdot \frac{c}{n_{eff}}$$

La réflectométrie Brillouin

Traitement des données : Transformée de Fourier à court terme

Les étapes



La résolution en fréquence :

$$\delta f_{num} = \frac{F_s/2}{Nfft/2} = \frac{F_s}{Nfft}$$

Les résolutions spatiales

$$\Delta z = \frac{c}{n_{eff}} \frac{\tau}{2} \quad \Delta z_{num} = \frac{Nfft}{F_s} \cdot \frac{c}{n_{eff}}$$

Voici un exemple :

Pour $F_s = 5$ GHz, $Nfft = 512$,
 $c = 3 \cdot 10^8$ m/s, $n_{eff} = 1,5$ alors
 $\delta f_{num} \simeq 10$ MHz, $\Delta z_{num} = 20$ m
 $\Delta z = 20$ m pour $\tau = 200$ ns

Limite de Fourier

$$\Delta z_{num} \times \delta f_{num} = \frac{c}{n_{eff}}$$

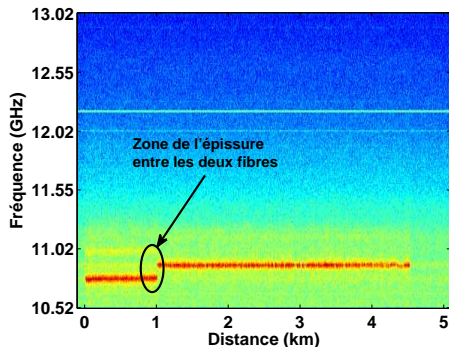
Compromis !

La réflectométrie Brillouin

Résultats expérimentaux

Sur deux fibres SMF en cascade

	SMF 1	SMF 2
L	1 km	3,5 km
f_B	10,78 GHz	10,89 GHz

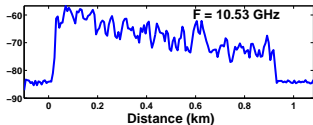
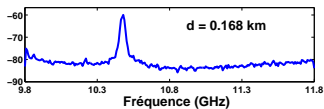
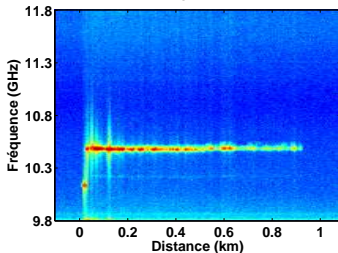


Résolution en fréquence	10 MHz
Résolution spatiale	20 m

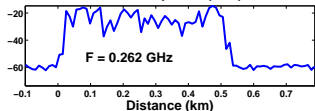
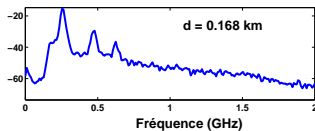
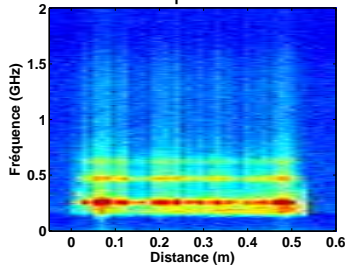
La réflectométrie Brillouin

Résultats expérimentaux : Sur DSF

Mesure en hautes fréquences.

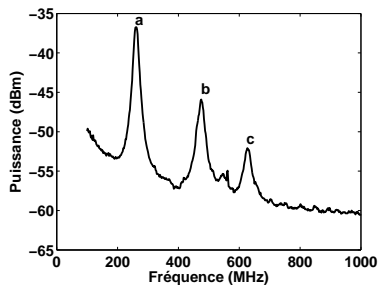


Mesure en basses fréquences.

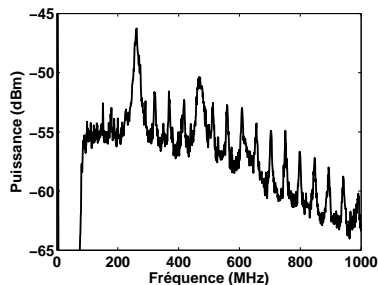


La réflectométrie Brillouin

Sur DSF



Mesure en continu.



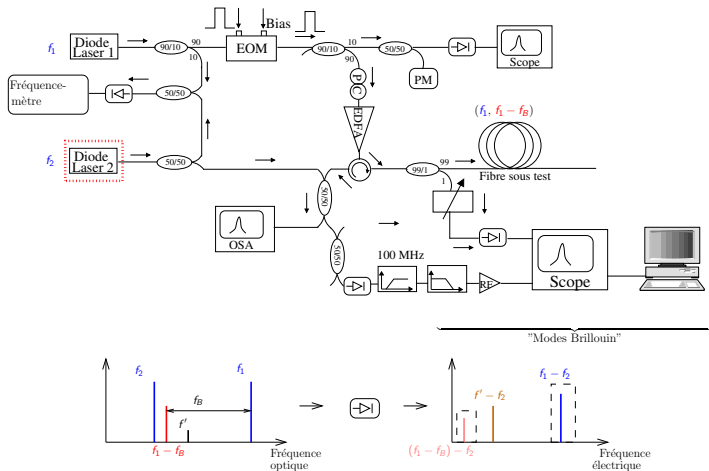
Dans une boucle non linéaire.

Les deux spectres sont différents. Nous voulons observer les modes transverses en réflectométrie.

La réflectométrie Brillouin

Dispositifs expérimentaux

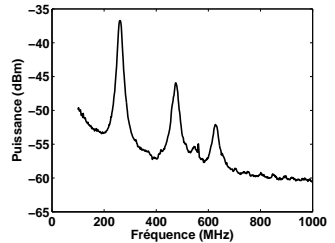
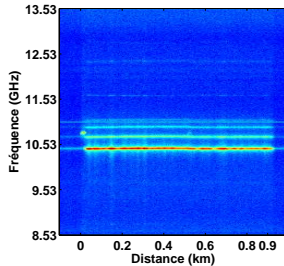
Adaptation du montage



La réflectométrie Brillouin


Résultats expérimentaux : Sur DSF

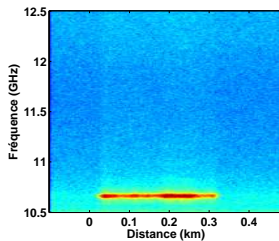
Adaptation du montage



La réflectométrie Brillouin


Résultats expérimentaux : Sur PCF

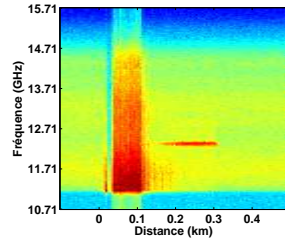
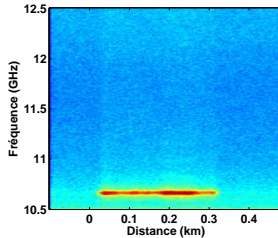
T794B	
	
d (μm)	2
Λ (μm)	3,98
$\frac{d}{\Lambda}$	0,5
a_{eff} (μm)	2,16



La réflectométrie Brillouin

Résultats expérimentaux : Sur PCF

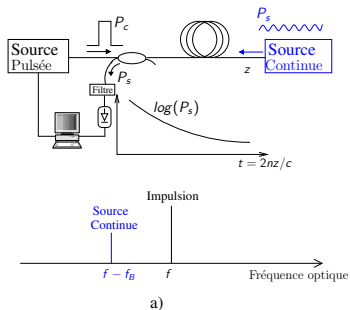
T794B	
	
d (μm)	2
Λ (μm)	3,98
$\frac{d}{\Lambda}$	0,5
a_{eff} (μm)	2,16



P. Dainese et al, *Nature Physics*, vol. 2, pp. 388–392, 2006

L'analyse Brillouin

Principe



T. Horiguchi et al, *J. Lightwave Technol.*, vol. 7, pp. 1170-1176, 1989

Configuration pompe-sonde

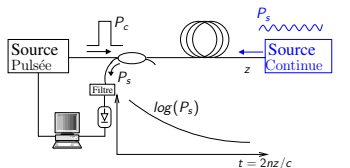
$$P_s = 1-10 \text{ mW}$$

$$P_c = 1-10 \text{ W}$$

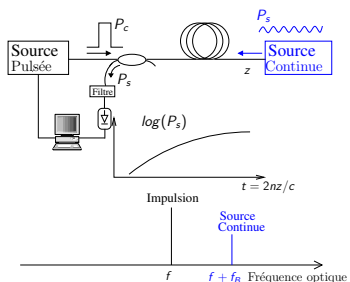
Amplification de la sonde

L'analyse Brillouin

Principe



a)



T. Horiguchi et al, *J. Lightwave Technol.*, vol. 7, pp. 1170-1176, 1989

Configuration pompe-sonde

$$P_s = 1-10 \text{ mW}$$

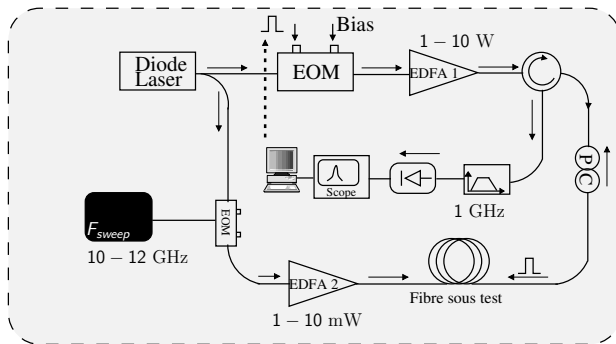
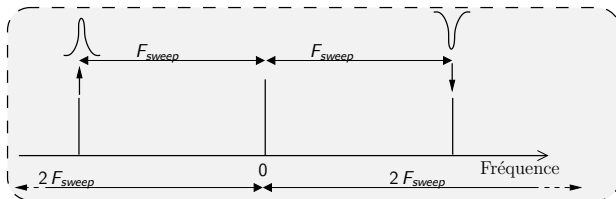
$$P_c = 1-10 \text{ W}$$

Amplification de la sonde

Atténuation de la sonde

L'analyse Brillouin

BOTDA (Brillouin Optical Time Domain Analysis/Analyser)



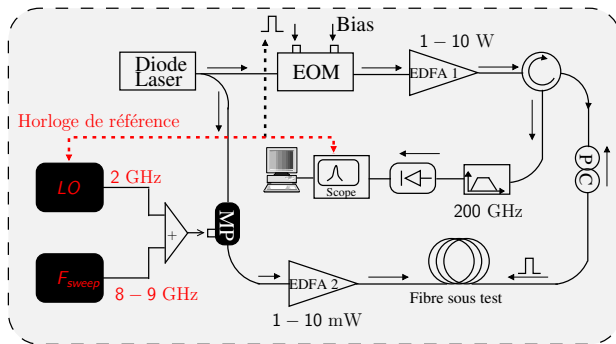
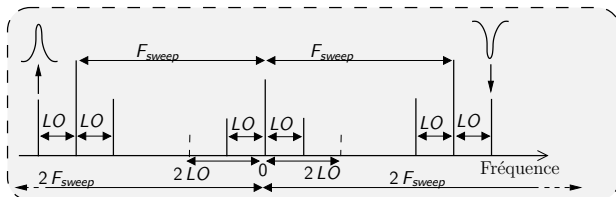
Résolution spatiale théorique :

$$\Delta z = \frac{c}{n_{eff}} \frac{\tau}{2}$$

Résolution en fréquence : δf_{num} égale au pas de balayage de F_{sweep}

L'analyse Brillouin

BOTDA vectoriel



Résolution spatiale théorique :

$$\Delta z = \frac{c}{n_{eff}} \frac{\tau}{2}$$

Résolution spatiale numérique :

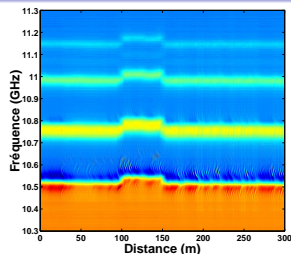
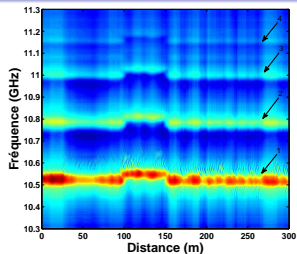
$$\Delta z_{num} = \frac{Nfft}{F_s} \cdot \frac{c}{n_{eff}}$$

Résolution en fréquence : δf_{num} égale au pas de balayage de F_{sweep}

M. Dossou et al, *Opt. Lett.*, vol. 35, pp. 3850-3852, 2010

L'analyse Brillouin

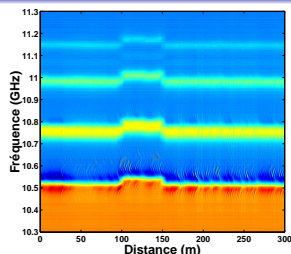
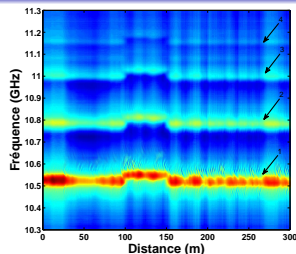
Applications possibles



Spectrogrammes d'intensité et de phase obtenu sur une fibre DSF de 300 m de longueur avec une portion de fibre chauffée.

L'analyse Brillouin

Applications possibles



Spectrogrammes d'intensité et de phase obtenu sur une fibre DSF de 300 m de longueur avec une portion de fibre chauffée.

BOTDA vectoriel

$$\delta f_{num} = 1 \text{ MHz}$$

$$\Delta z_{num} = 32 \text{ cm}$$

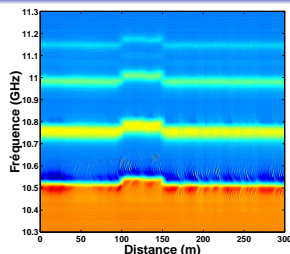
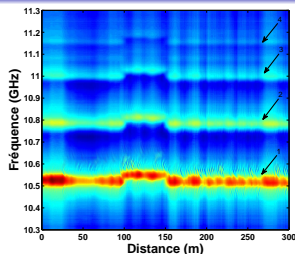
BOTDR

$$\delta f_{num} \simeq 10 \text{ MHz}$$

$$\Delta z_{num} = 20 \text{ m}$$

L'analyse Brillouin

Applications possibles



Spectrogrammes d'intensité et de phase obtenu sur une fibre DSF de 300 m de longueur avec une portion de fibre chauffée.

BOTDA vectoriel

$$\delta f_{num} = 1 \text{ MHz}$$

$$\Delta z_{num} = 32 \text{ cm}$$

BOTDR

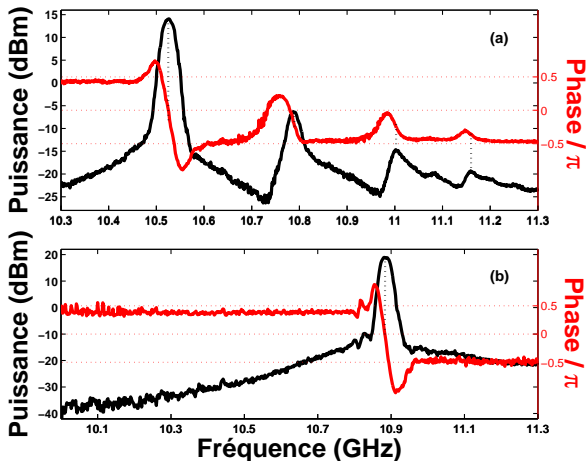
$$\delta f_{num} \simeq 10 \text{ MHz}$$

$$\Delta z_{num} = 20 \text{ m}$$

Diminution de la limite $\Delta z_{num} \times \delta f_{num} = \frac{c}{n_{eff}}$ d'un facteur **600** !

L'analyse Brillouin

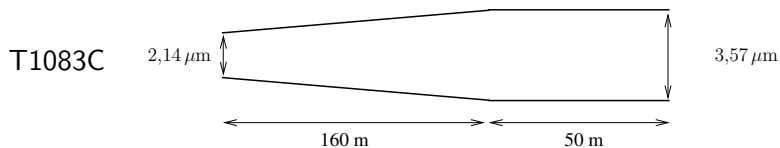
Applications possibles



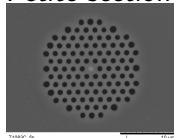
Sections des spectrogrammes d'intensité et de phase au même point (à environ 20 m) dans une fibre DSF

L'analyse Brillouin

Applications possibles

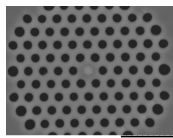


Petite section



d (μm)	0,85
Λ (μm)	1,55

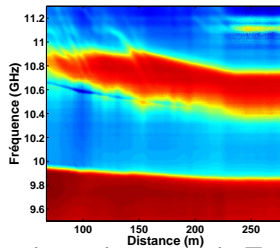
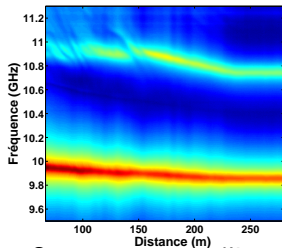
Grande section



d (μm)	1,47
Λ (μm)	2,52

L'analyse Brillouin

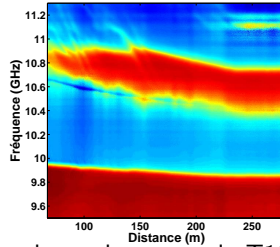
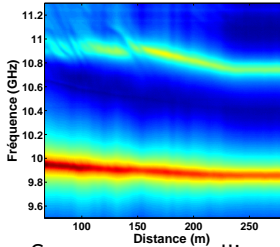
Applications possibles



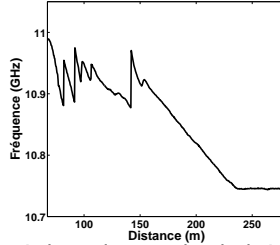
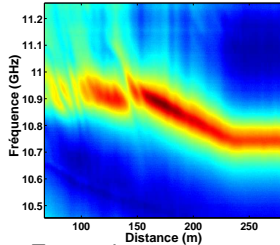
Spectrogramme d'intensité et de phase obtenu sur la T1083C

L'analyse Brillouin

Applications possibles



Spectrogramme d'intensité et de phase obtenu sur la T1083C



Pente de -
488 MHz/ μ m

Zoom du spectrogramme d'intensité sur les modes hybrides

Conclusions

- Proposition d'une méthode de vérification du caractère monomodal de certaines fibres à cristaux photoniques.

Conclusions

- Proposition d'une méthode de vérification du caractère monomodal de certaines fibres à cristaux photoniques.
- Calcul des fréquences des modes acoustiques transverses dans certaines fibres à cristaux photoniques.

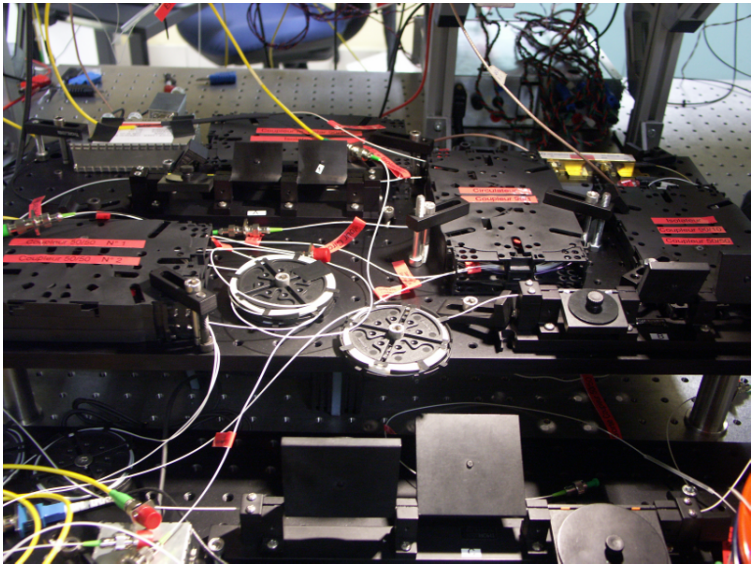
Conclusions

- Proposition d'une méthode de vérification du caractère monomodal de certaines fibres à cristaux photoniques.
- Calcul des fréquences des modes acoustiques transverses dans certaines fibres à cristaux photoniques.
- Développement d'un BOTDA vectoriel : première mesure répartie de variation de variation de la structure dans une fibre à cristaux photoniques.

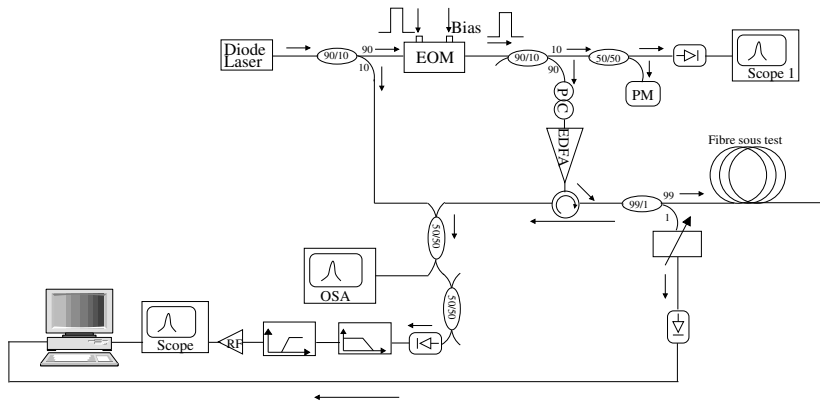
Conclusions

- Proposition d'une méthode de vérification du caractère monomodal de certaines fibres à cristaux photoniques.
- Calcul des fréquences des modes acoustiques transverses dans certaines fibres à cristaux photoniques.
- Développement d'un BOTDA vectoriel : première mesure répartie de variation de variation de la structure dans une fibre à cristaux photoniques.
- Observation de la diminution des fréquences des modes hybrides avec l'augmentation du diamètre de cœur de la PCF.

- Modèle de calcul du spectre acoustique transverse (fréquences et intensités) dans une PCF quelle que soit sa structure.
- Etude des fibres à bandes interdites photoniques.



Obstacles de mesure : Automodulation de phase



Obstacles de mesure : Automodulation de phase

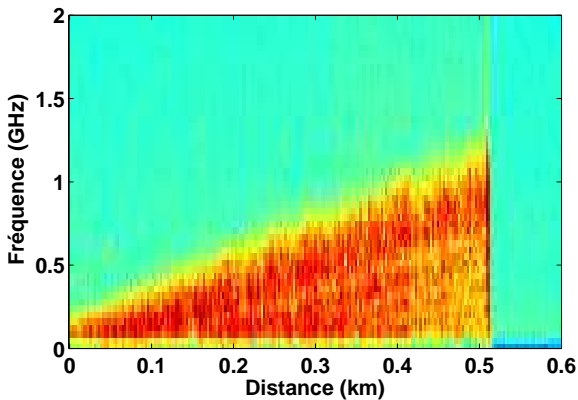


Figure: Automodulation de phase $\tau = 20$ ns. $P_c = 50$ W soit $1 \mu\text{J}$. Le canal de détection est celui des basses fréquences.

Technique du temps de vol



$$z = \frac{ct}{2n_{eff}}$$

Calcul du spectrogramme de phase

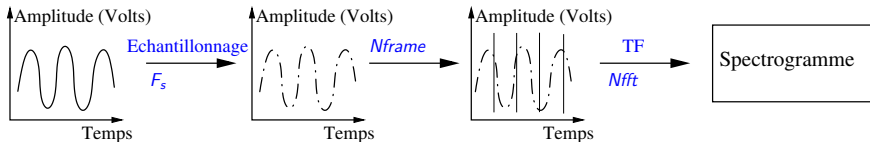
Transformée de Fourier



Nombre complexe : $re^{i\varphi}$

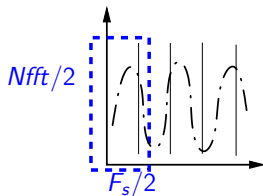
- $r^2 \Rightarrow$ Spectrogramme d'intensité
- $\varphi \Rightarrow$ Spectrogramme de phase

BOTDR



$$N_{frame} = \frac{F_s \cdot t}{N_{fft}}$$

$$\delta f_{num} = \frac{F_s/2}{N_{fft}/2} = \frac{F_s}{N_{fft}}$$

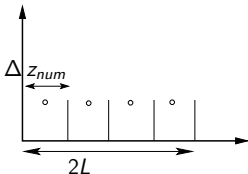


$$\begin{aligned} \Delta z_{num} &= \frac{2L}{N_{frame} N_{fft}} \cdot \frac{c}{F_s} \\ &= \frac{2L}{F_s \cdot n_{eff}} \end{aligned}$$

BOTDA standard

On mesure un signal **continu**.

δf_{num} est égal au pas de balayage.



BOTDA vectoriel

On mesure un signal **sinusoidal**.

δf_{num} est égal au pas de balayage.

$$\Delta z_{num} = \frac{Nfft}{F_s} \cdot \frac{c}{n_{eff}}$$

Δz_{num} meilleure si $Nfft \searrow$ mais la bande spectrale de calcul $\frac{F_s}{Nfft}$ s'élargit, donc un autre compromis à faire.