

Propagation spatio-temporelle dans une fibre optique multi-cœurs couplés



Ines Martin

Master Ondes, Atomes, Matière
Université Côte d'Azur, Nice, France

Encadrants : *Matthieu Bellec, Valérie Doya*
Institut de Physique de Nice, Nice, France

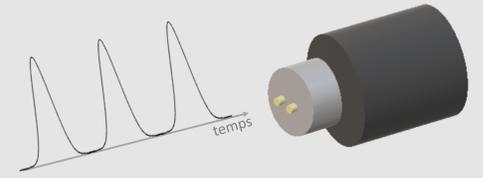
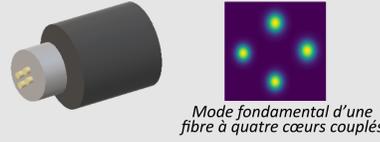
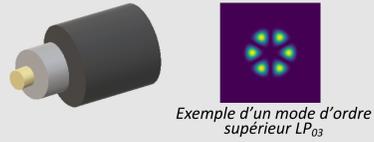
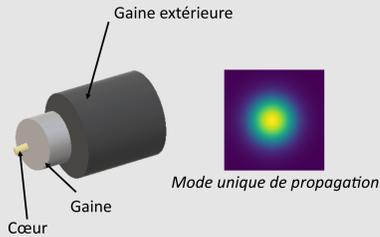
UNIVERSITÉ
CÔTE D'AZUR

• **Fibre monomode** largement utilisée dans les télécommunications optiques⁽¹⁾.

• **Fibre multimode**, utilisée notamment pour le multiplexage modal et en optique non linéaire⁽²⁾.

• **Fibre multicœur couplée**, fibre multimodes plus versatile grâce au contrôle de l'arrangement des cœurs et de la possibilité d'ajouter des éléments actifs (ex. gain).

Le but de ce stage est d'étudier numériquement et théoriquement la propagation d'une impulsion temporelle ultra courte (de l'ordre de 100 femtoseconde) dans une fibre optique à deux cœurs couplés.

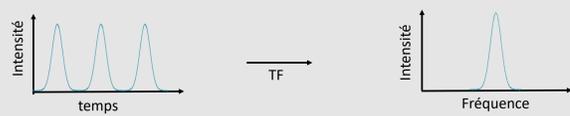


Rappel sur les impulsions

Laser continu :

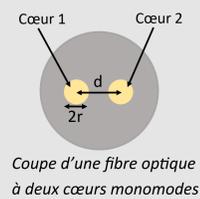


Laser impulsionnel :



Fibres à deux cœurs couplés : description théorique

En utilisant la théorie des modes couplés pour deux fibres à saut d'indices couplées monomodes, on obtient l'évolution spatio-temporelle de l'enveloppe de l'amplitude du champ optique a_1 et a_2 dans chacun des cœurs⁽³⁾ :



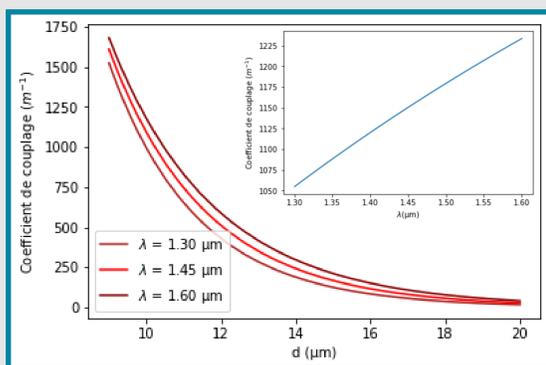
$$\begin{cases} i \frac{\partial a_1}{\partial z} + i \kappa_2 \frac{\partial a_2}{\partial T} + \frac{\beta_2}{2} \frac{\partial^2 a_1}{\partial T^2} + \kappa a_2 = 0 \\ i \frac{\partial a_2}{\partial z} + i \kappa_1 \frac{\partial a_1}{\partial T} + \frac{\beta_1}{2} \frac{\partial^2 a_2}{\partial T^2} + \kappa a_1 = 0 \end{cases}$$

a_1 et a_2 sont les enveloppes des amplitudes dans les deux cœurs
 β_2 est la dispersion de vitesse de groupe (GVD)
 κ est le coefficient de couplage
 κ_2 est le coefficient de dispersion de couplage
 T est le temps
 z est la direction de propagation

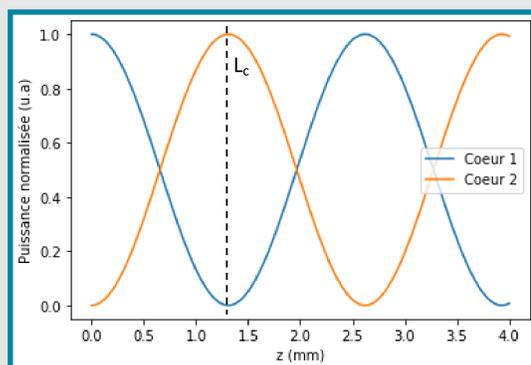
1. Couplage entre deux cœurs avec une source continue : $\beta_2 = \kappa_2 = 0$

Etude analytique : $r = 4.1 \mu\text{m}$, $n_{\text{cœur}} = 1.452$, $n_{\text{gaine}} = 1.457$, $\lambda = 1.55 \mu\text{m}$ et $d = 10 \mu\text{m}$

Coefficient de couplage en fonction de la distance entre les deux cœurs et de la longueur d'onde



Couplage périodique entre les deux cœurs au cours de la propagation

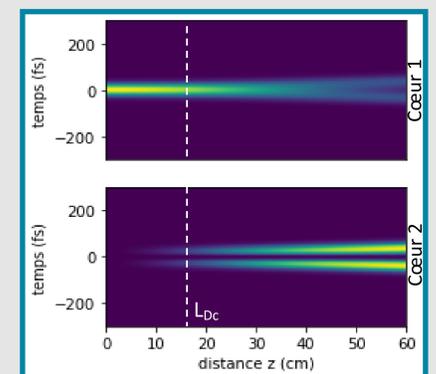


- Le couplage par ondes évanescentes dépend de la séparation d entre les cœurs et de la longueur d'onde.
- $L_c = \frac{\pi}{2\kappa}$: **longueur de couplage** à partir de laquelle la puissance est intégralement transférée d'un cœur à l'autre.

3. Propagation d'une impulsion dans une fibre avec deux cœurs couplés : $\beta_2 = \kappa = 0$

Etude par simulation numérique : $\kappa_2 = -1 \text{ ps/m}$ et $\Delta t = 42 \text{ fs}$

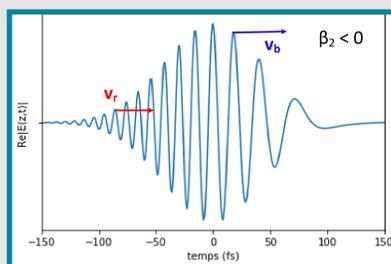
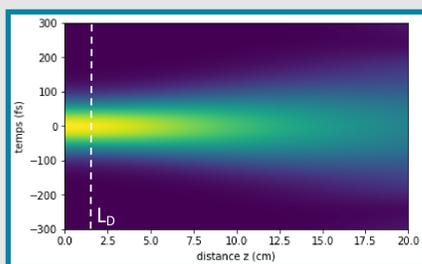
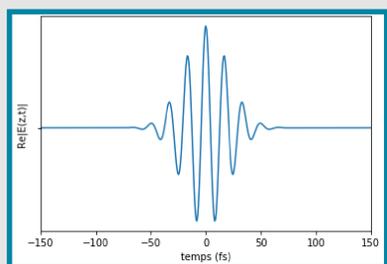
Représentation spatio-temporelle de l'impulsion au cours de la propagation



- $L_{DC} = \frac{\Delta t}{2\kappa_2}$: **longueur de dispersion de couplage** à partir de laquelle l'impulsion se sépare en deux.

2. Propagation d'une impulsion dans une fibre à un cœur : $\kappa = \kappa_2 = 0$

Etude par simulation numérique de type split step : $\beta_2 = -361 \text{ fs}^2/\mu\text{m}$ (Silice), λ (centrale) = $0.8 \mu\text{m}$, durée d'impulsion (Δt) = 100 fs



Représentation du champ réel avant propagation dans la fibre

Propagation d'une impulsion dans une fibre optique

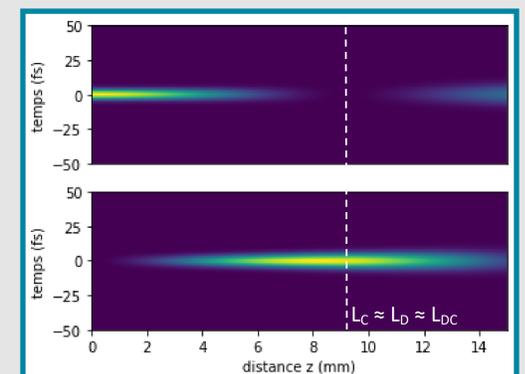
Représentation du champ réel après propagation dans la fibre

- Dispersion : élargissement temporel de l'impulsion au cours de la propagation⁽³⁾.
- $L_D = \frac{\Delta t^2}{\beta_2}$: **longueur de dispersion** à partir de laquelle l'impulsion s'est temporellement élargie d'un facteur $\sqrt{2}$.
- Dans un milieu à dispersion normale, les courtes longueurs d'onde se propagent plus lentement que les grandes ; c'est l'élargissement temporel de l'impulsion.

4. Etude en cours : $\kappa \neq \kappa_2 \neq \beta_2 \neq 0$

Etude par simulation numérique : $\kappa = 1 \mu\text{m}$, $\kappa_2 = -1 \text{ ps/m}$, $\beta_2 = -361 \text{ fs}^2/\mu\text{m}$, $\Delta t = 18 \text{ fs}$

Représentation spatio-temporelle de l'impulsion au cours de la propagation



- Le terme de couplage semble dominer le terme de dispersion de couplage.

✓ **Réalisation et validation d'un code numérique pour étudier la propagation d'impulsions dans une fibre à deux cœurs couplés.**

Les perspectives sont aussi numérique, on rajoutera à notre simulation :

- La prise en compte de cœurs actifs (gain) et des effets non-linéaires
- L'augmentation du nombre de cœurs en variant sur leurs arrangements

Références :

- [1] G. P. Agrawal, « *Non linear Fiber Optics* », Academic Press, Third Edition, Chp 1, 2001.
- [2] K. Krupa et al., « *Multimode non linear fiber optics, a spatiotemporal avenue* », *APL Photonics* 4, 110901, 2019.
- [3] A. Ghatak & K. Thyagarajan, « *Introduction to fiber optics* », Cambridge University Press, 1997.
- [4] M. Liu & K.S. Chiang, « *Pulse propagation in a decoupled two core fiber* », *J. Opt. Soc. Am.*, Vol 18, 2010.

