

Localisation de la lumière dans une fibre optique désordonnée



Celina Mitri

Master Ondes, Atomes, Matière

Encadrants : **Matthieu Bellec, Geoffroy Aubry**

Institut de physique de Nice



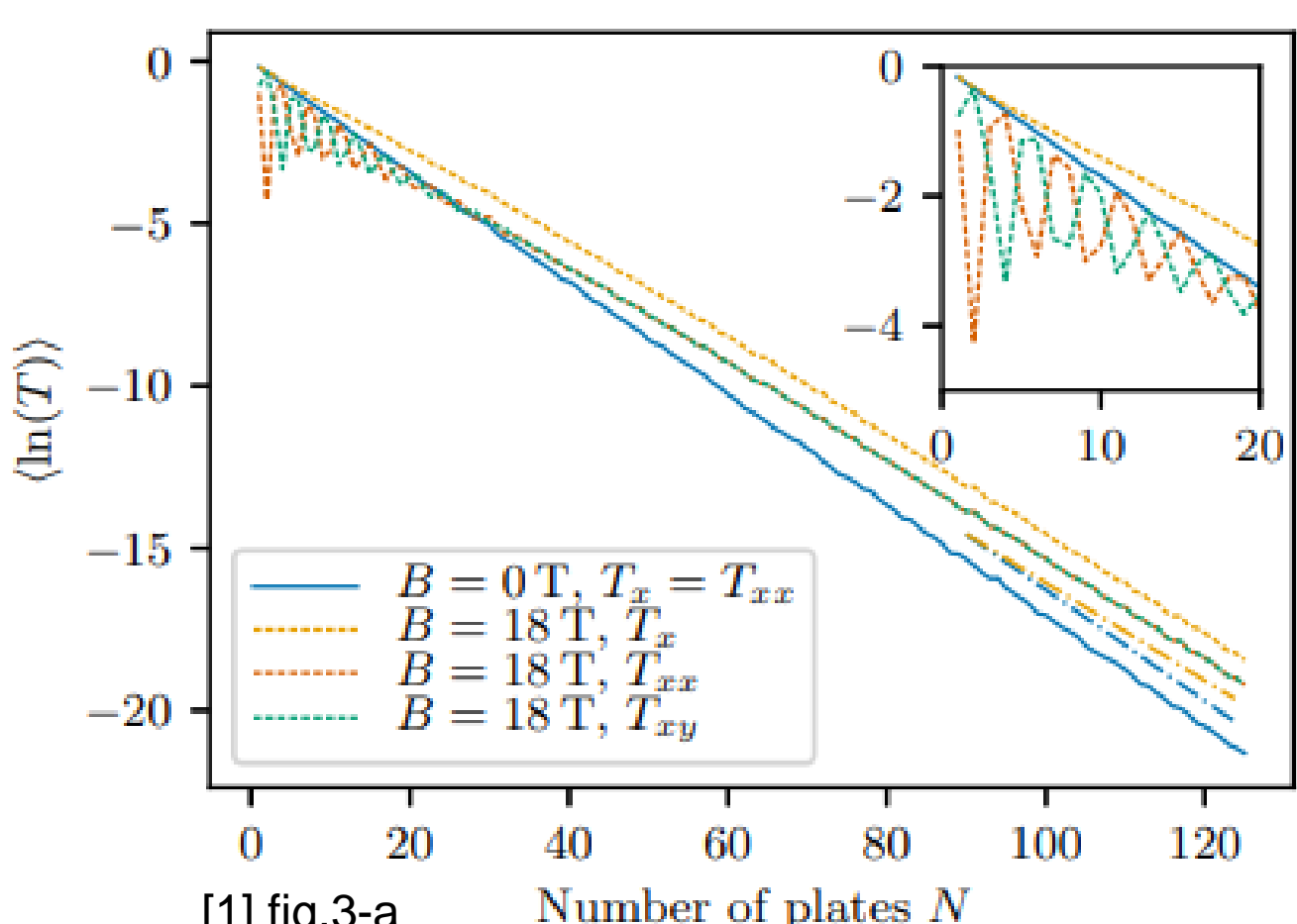
Résumé

La localisation de la lumière n'a toujours pas été observée sans ambiguïté dans des milieux désordonnés à 3D car sa signature est difficilement séparable d'autres contributions parasites (absorption, fluorescence, etc.). Il a été proposé que la brisure de la symétrie par renversement du temps en utilisant l'effet magnéto-optique Faraday permettra d'avoir une sonde précise de la localisation. Afin de tester cette proposition, nous concevons un échantillon unidimensionnel à partir d'une fibre optique monomode et de réseaux de Bragg uniformes inscrits par insolation transverse et séparés par des distances aléatoires. Nous étudions la propagation de la lumière dans ce système en utilisant le formalisme des matrices de transfert, et montrons qu'il est équivalent de moyenner sur les longueurs d'ondes que de moyenner sur le désordre. À terme, cet échantillon sera réalisé dans un système quasi-1D, une fibre optique multimode, pour étudier l'effet de la dimensionalité et placé dans un champ magnétique intense.

1-Localisation à travers une pile de lames de verre à 1D en présence d'un champ magnétique externe



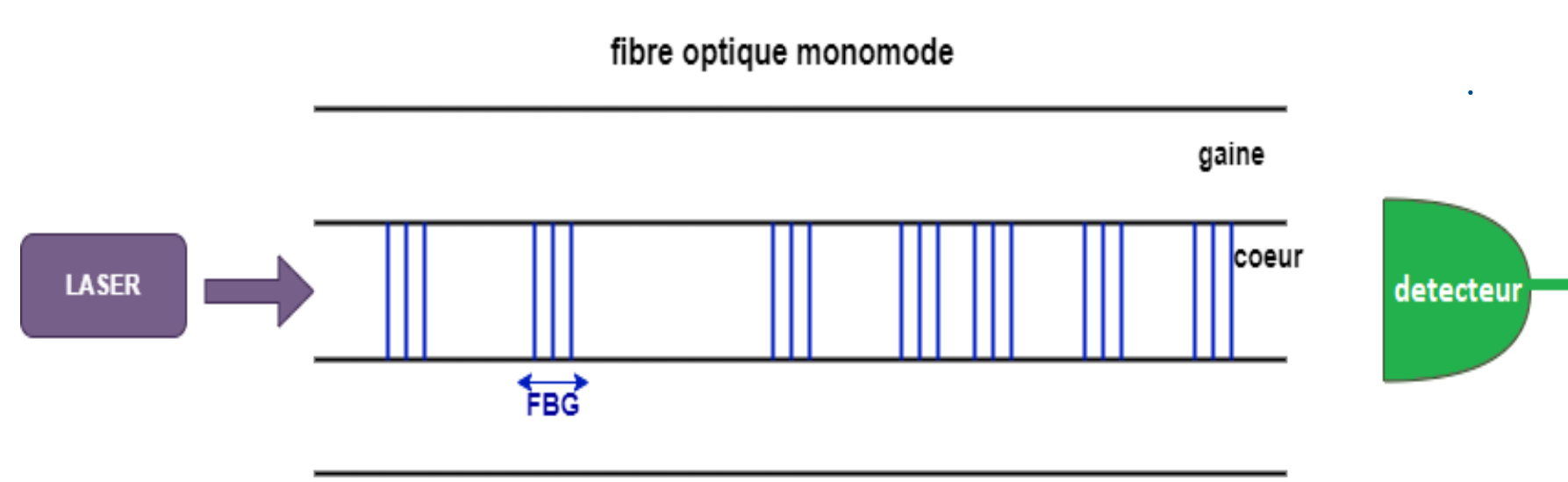
[1] fig.1-a



Signature caractéristique de la localisation de la lumière: décroissance linéaire de $\langle \ln(T) \rangle$ en fonction du nombre de lames de verres.

2- Localisation de la lumière dans un système de réseaux de Bragg fibrés (FBGs) uniformes à 1D

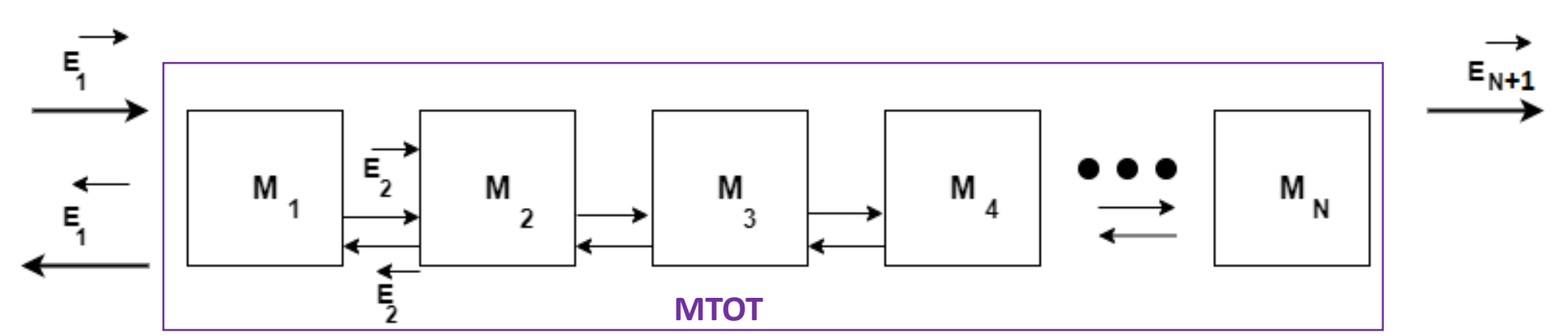
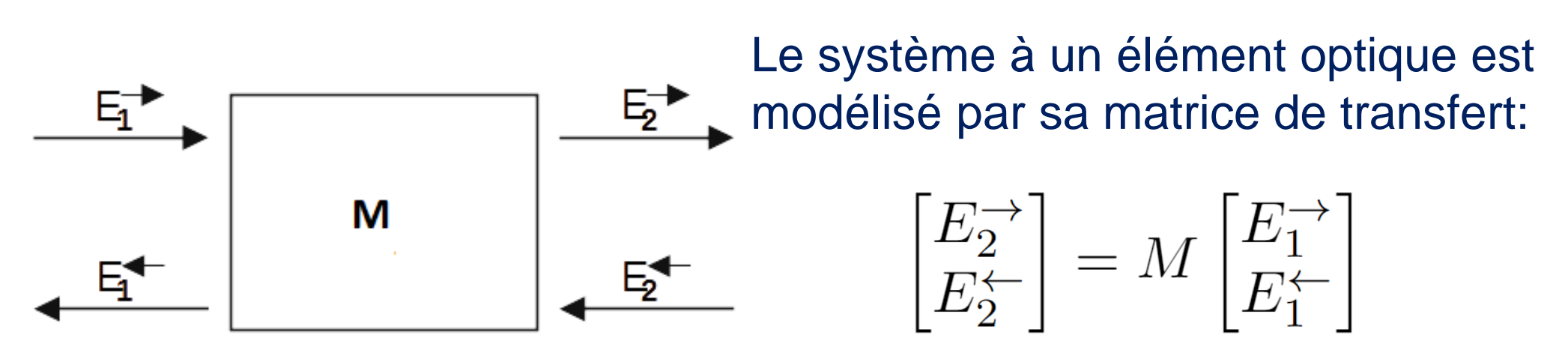
Une méthode employée pour observer la signature caractéristique de la localisation consiste à moyenner sur le désordre.



On conçoit le système de la figure pour observer cette signature en absence de champ magnétique en moyennant sur une gamme de longueurs d'ondes dans cet échantillon.

Cette étude se fait par le formalisme des matrices de transfert.

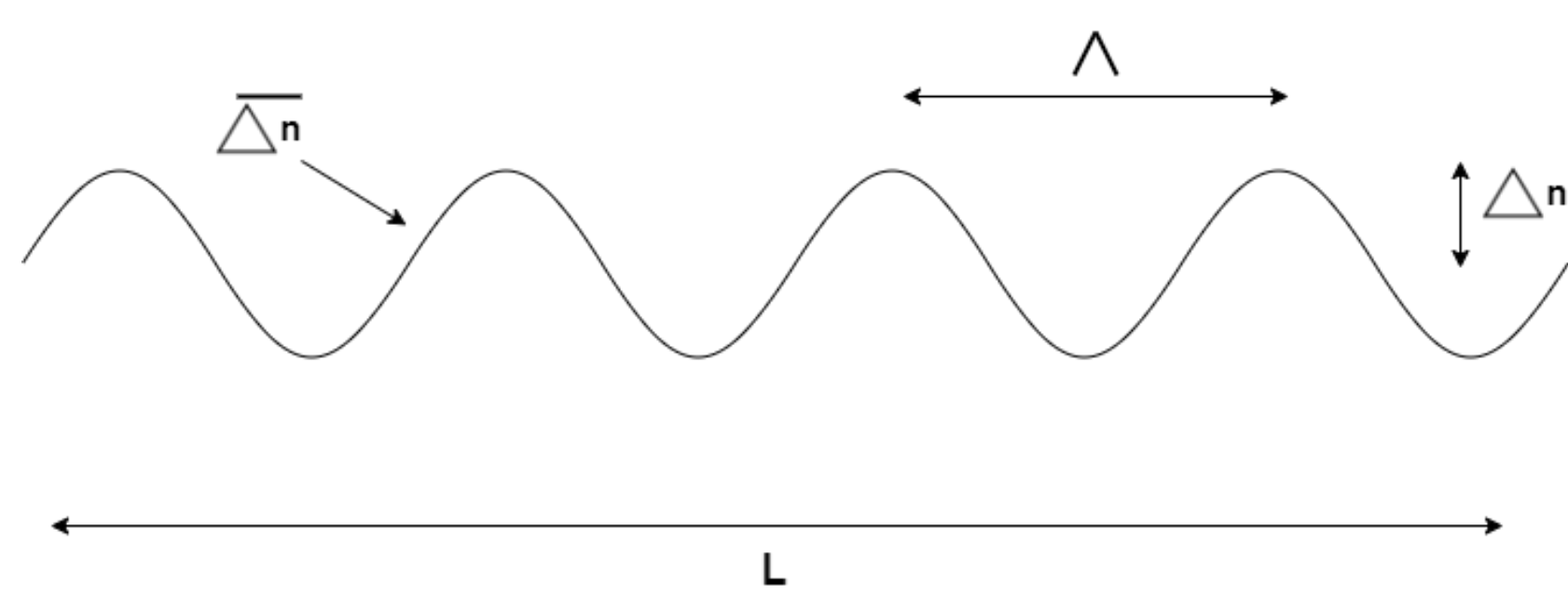
3-Formalisme des matrices de transfert



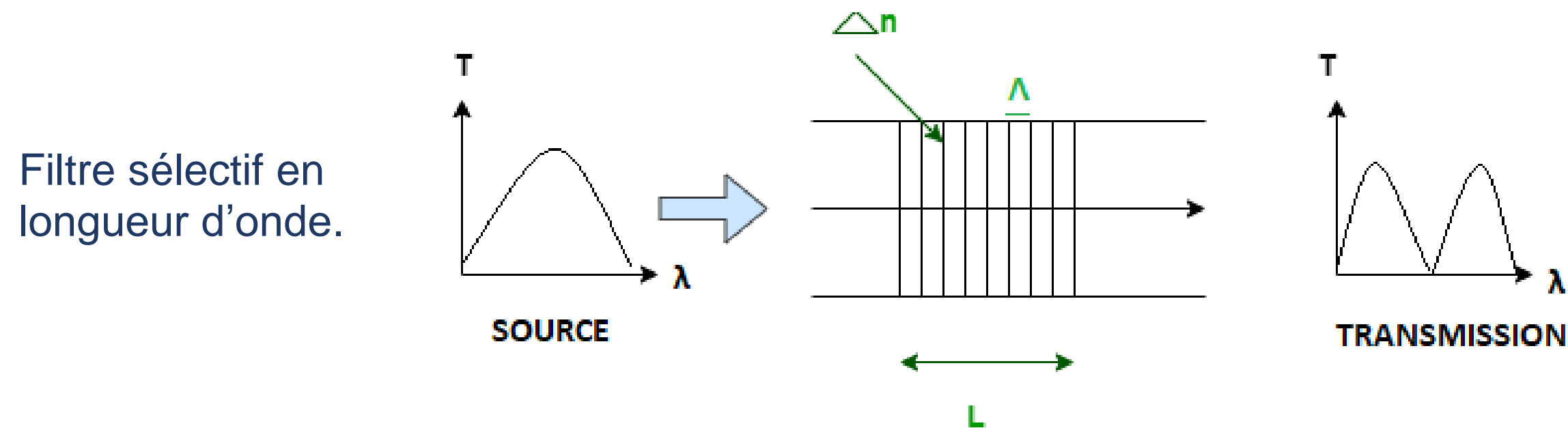
La matrice de transfert totale du système à N éléments optiques : $M_{TOT} = M_N \cdots M_4 \cdot M_3 \cdot M_2 \cdot M_1$

$$\begin{bmatrix} E_{N+1}^+ \\ 0 \end{bmatrix} = M_{TOT} \begin{bmatrix} E_1^+ \\ E_1^- \end{bmatrix}$$

4-Qu'est ce qu'un réseau de Bragg fibré (FBG) uniforme?



Modulation périodique d'indice au cœur d'une fibre optique à pas constant Λ avec accord de phase entre les modes de propagation dans les réseaux.

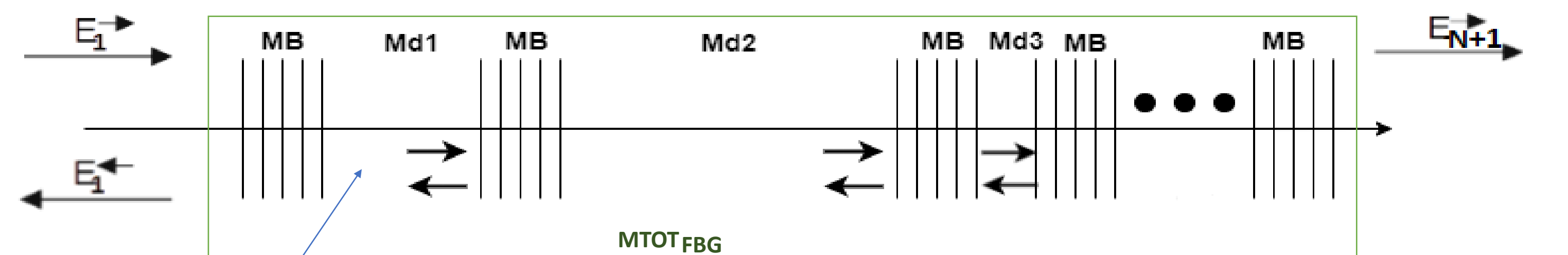


Matrice de transfert d'un FBG:

$$M_B = \begin{bmatrix} \cos(pL) - i(\frac{\gamma_{ac}}{p}) \sinh(pL) & -i(\frac{\kappa_{ac}}{p}) \sinh(pL) \\ i(\frac{\kappa_{ac}}{p}) \sinh(pL) & \cos(pL) + i(\frac{\gamma_{ac}}{p}) \sinh(pL) \end{bmatrix}$$

La fabrication d'un FBG se fait par **insolation transverse**.

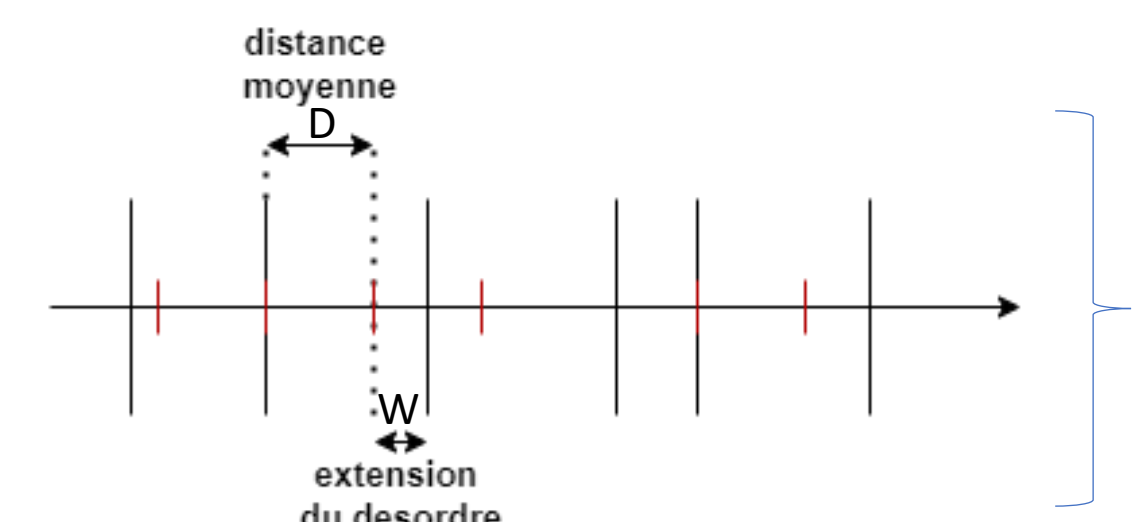
5-Système de FBGs



Matrice de transfert de distance:

$$M_{d_i} = \begin{bmatrix} e^{-ikd_i} & 0 \\ 0 & e^{ikd_i} \end{bmatrix}$$

$$d = D + W(\nu - 0.5)$$



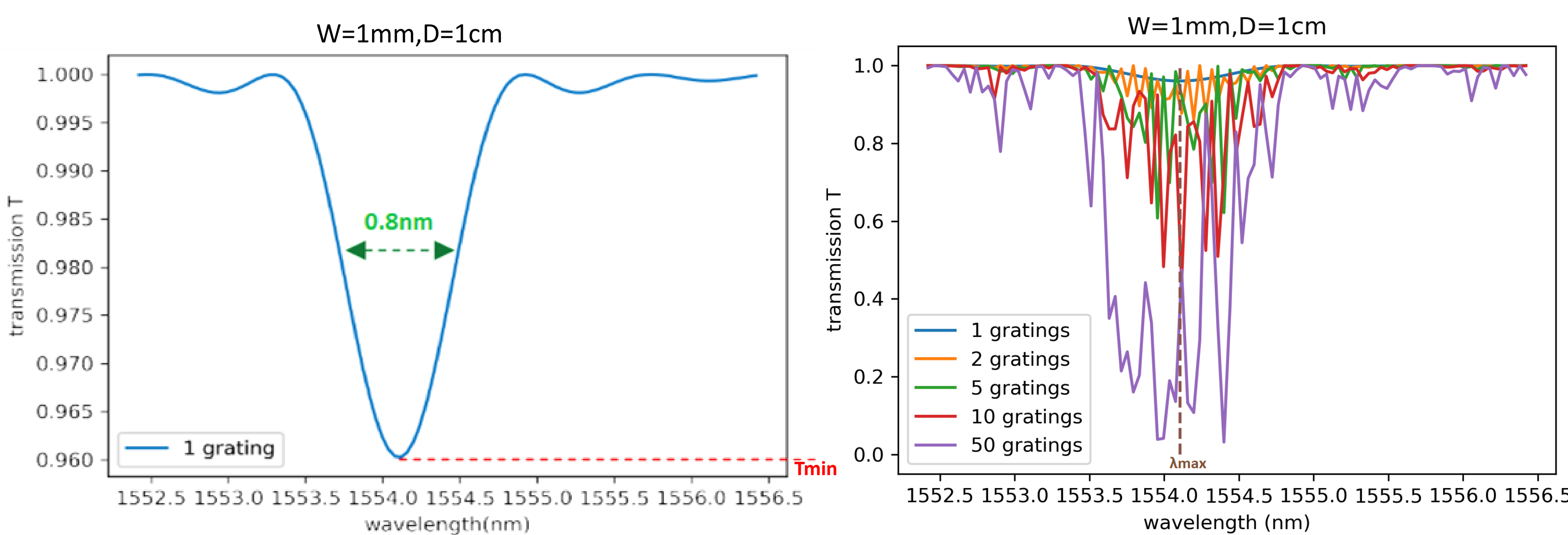
Matrice de transfert totale du système de FBGs uniformes:

$$M_{TOT_{FBG}} = M_B \cdot M_{d_{N-1}} \cdot M_B \cdot M_{d_{N-2}} \cdots M_B \cdot M_{d_1} \cdot M_B$$

Transmission et réflexion totales du système:

$$T = \frac{E_{N+1}^+}{E_1^+} = \frac{1}{D} \quad \text{et} \quad R = \frac{E_1^-}{E_1^+} = \sqrt{1 - T^2}$$

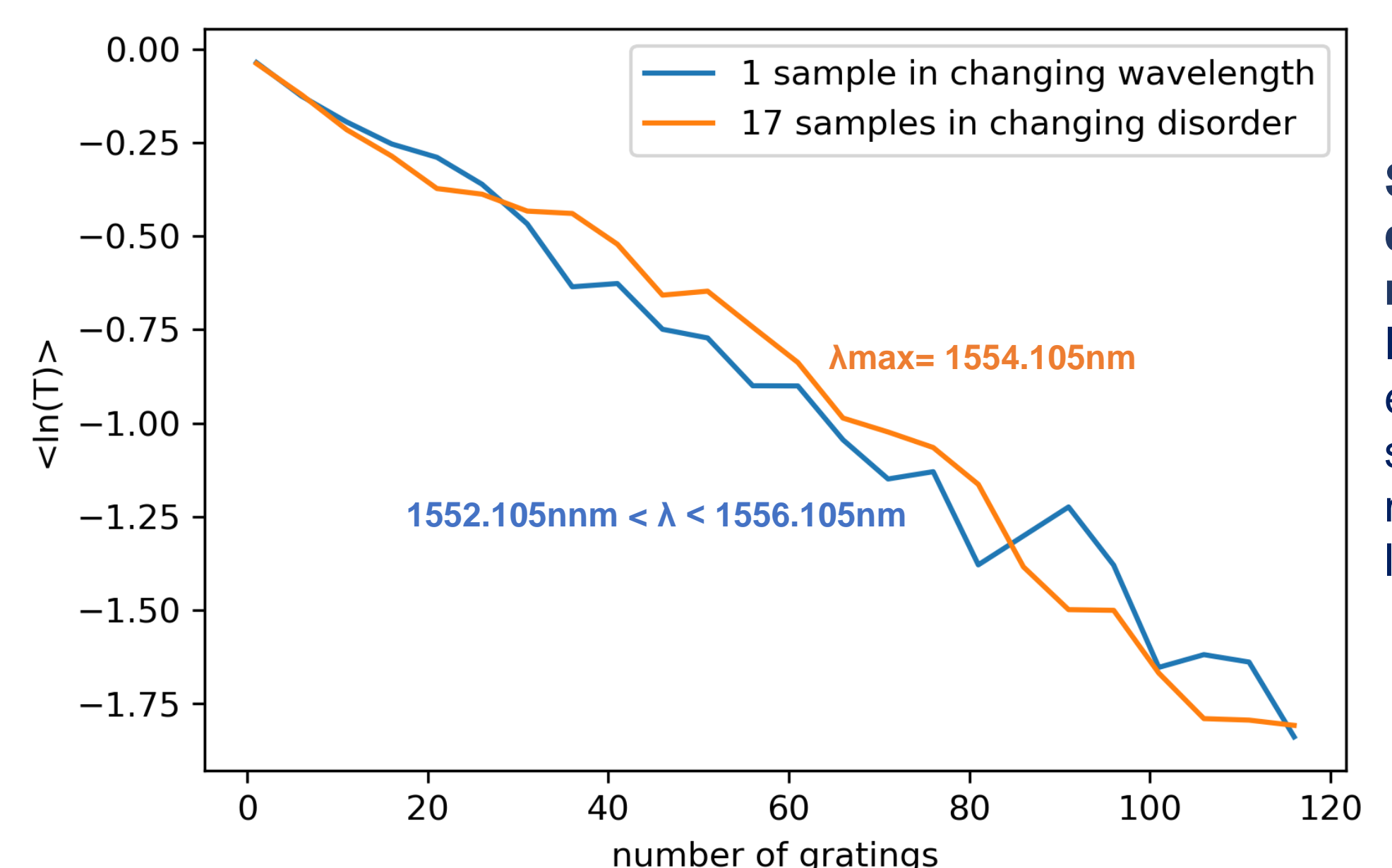
6-Spectres de transmission en fonction du nombre de FBGs



Spectre de $L = 0.8 \cdot 10^{-3} \text{m}$ et $\Delta n = 0.5 \cdot 10^{-4}$ large en longueur d'onde et peu réfléchif.

Fluctuations sur un grand nombre de FBGs qui nous renseignent sur la localisation. On peut donc moyenner sur cet intervalle de longueurs d'ondes.

7-Moyenne sur le désordre VS moyenne sur les longueurs d'ondes



Signature caractéristique retrouvée !
Il existe équivalence entre le moyennage sur le désordre et le moyennage sur les longueurs d'ondes.

On peut utiliser expérimentalement un échantillon désordonné à une gamme de longueurs d'ondes pour localiser la lumière dans un système de FBGs désordonné.

Perspectives

On a fabriqué un échantillon de FBGs repartis aléatoirement dans le cœur d'une fibre optique monomode avec $L = 0.8 \cdot 10^{-3} \text{m}$ et $\Delta n = 0.5 \cdot 10^{-4}$ en collaboration avec l'équipe de M. Bernier au COPL (Center for Optics, Photonics and Laser, Université Laval, Québec, Canada). La suite du travail portera sur l'analyse de cet échantillon pour effectuer les mesures de transmission grâce à un laser et une photodiode. Ensuite on procédera à l'étude de l'évolution de la signature de la localisation en présence d'un champ magnétique.

Références

- [1]Schertel, Irtenkauf, Aegerter, Maret and Aubry. Magnetic-field effects on one-dimensional Anderson localization of light. *Phys. Rev. A* **100**, 043818 (2019).
- [2]Gagné. Fabrication et applications des réseaux de Bragg ultra-long. *PHD thesis* (2015).
- [3]Berry and Klein. Transparent mirrors: rays, waves and localization. *Eur. J. Phys.* **18**, 222 (1997).

