

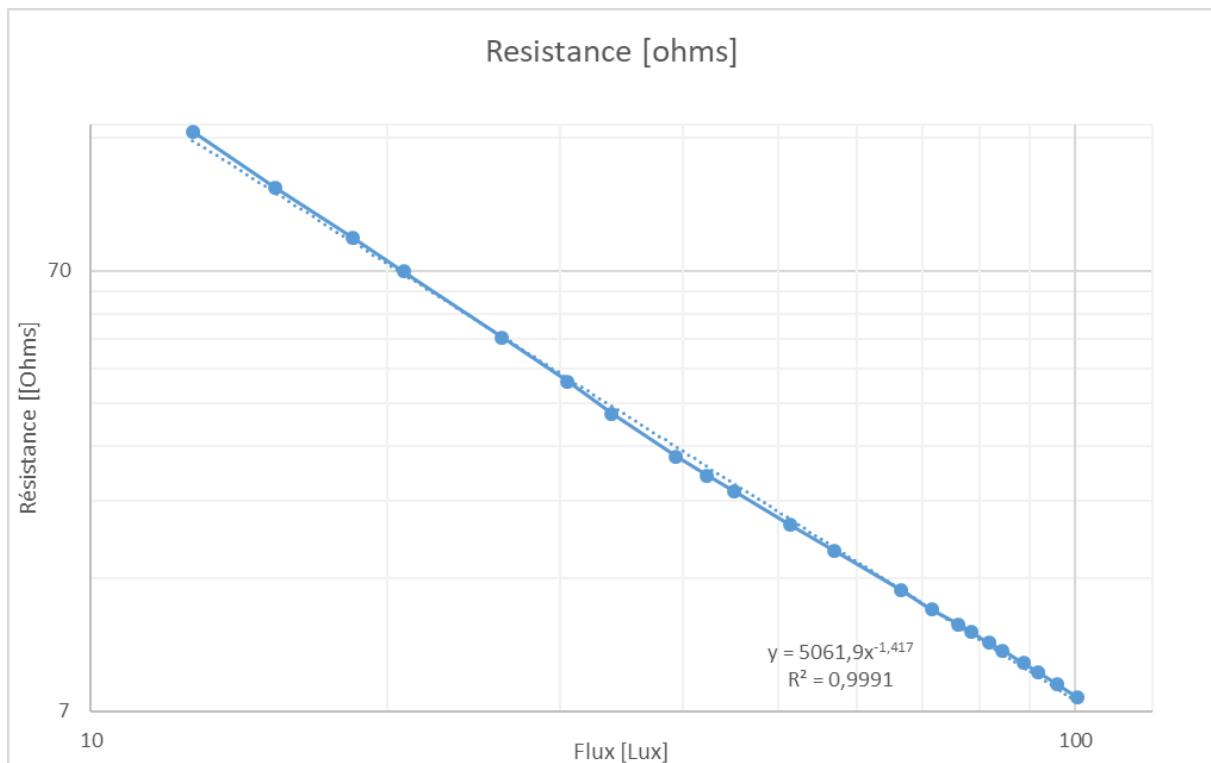
Noms – Prénoms :

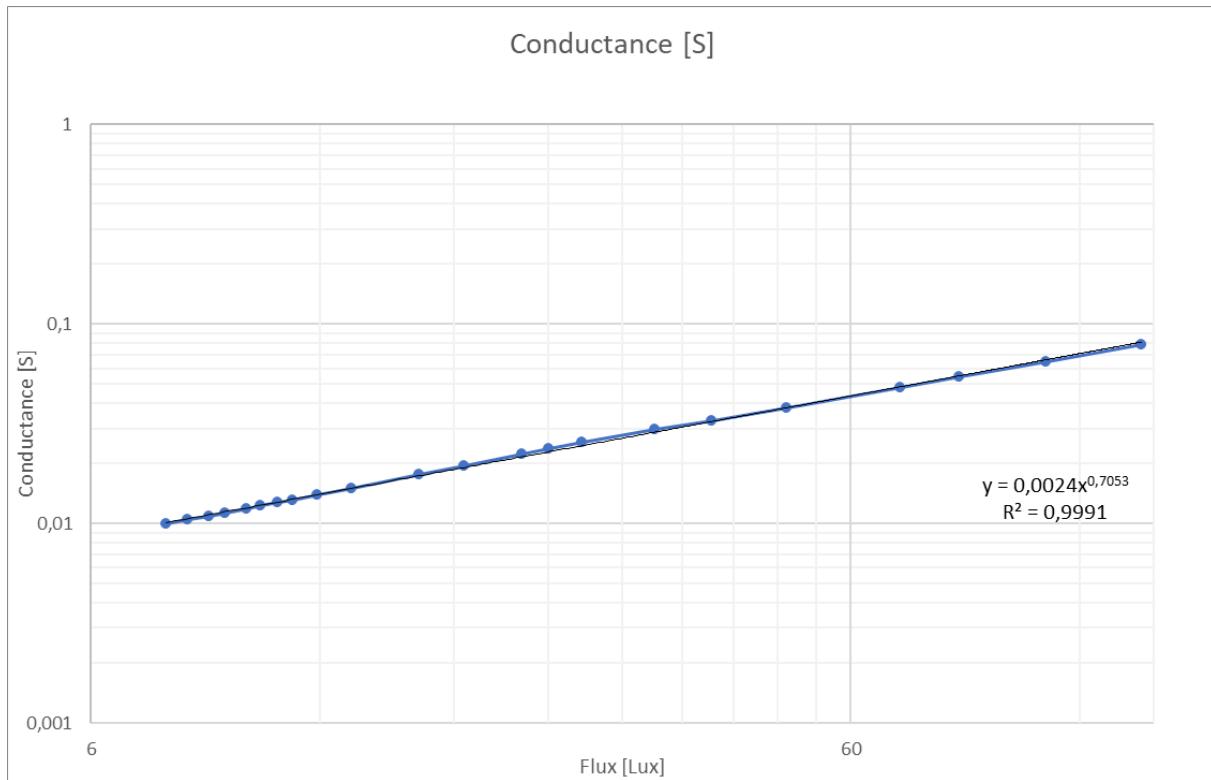
BOUFRAINE Mona
BECKER Gonzalo

Capteurs Optiques

Photorésistance

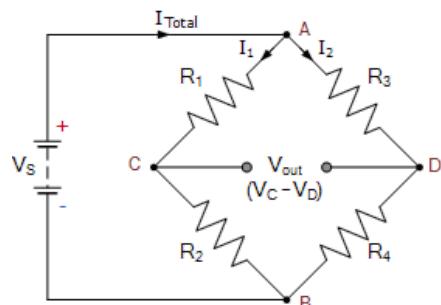
En faisant varier l'intensité de la source lumineuse, on contrôle le flux lumineux dans la photorésistance, ce qui permet de mesurer la variation de la résistance en fonction du flux. Les courbes obtenues (résistance et conductance) sont les suivantes.





D'après la formule approximée pour la conductance, $Y = \phi^a$, on observe que en fait $\log(Y) = a \log(\phi)$, ce qui explique la linéarité dans la courbe montrée (il faut remarquer que l'échelle est logarithmique). Par conséquent, on obtient $a = 0.7053 < 1$.

Pont de wheatstone



Le pont de wheatstone a été construit de façon que R_3 et R_4 sont des photorésistances alors que R_1 et R_2 sont des résistances fixées. Ainsi et mesure que la source d'éclairage bouge avec un angle par rapport au centre des deux photorésistances, on obtient des variations de la tension V_{out} qui, selon sa valeur et signe, permettent de savoir la position de la source.

Photodiode

Les mesures sont effectuées à différentes distances, avec différents courants de source et avec différentes sources. Le courant de la source varie en fonction de la tension de commande. Il faut noter que la puissance réelle reçue par le capteur est calculée en éliminant la mesure initiale.

Mesure initiale: 1.09 uW en absence de source

Source avec ouverture très grande:

| Distance [cm] | Courant de la source [mA] | Tension de la source [V] | Puissance du capteur [uW] | Puissance réelle du capteur [uW] | Angle $\frac{1}{2}$ puissance |
|---------------|---------------------------|--------------------------|---------------------------|----------------------------------|-------------------------------|
| 150 | 3 | 2.5 | 1.11 | 0.02 | |
| | 10 | 2.6 | 1.36 | 0.22 | |
| | 100 | 2.7 | 3.44 | 2.35 | 58° |
| 90 | 300 | 2.8 | 8.21 | 1.12 | |
| | 10 | 2.6 | 1.48 | 0.39 | |
| | 100 | 2.7 | 6.80 | 5.71 | 62° |
| 40 | 300 | 2.8 | 19.31 | 18.22 | |
| | 10 | 2.6 | 2.86 | 1.77 | |
| | 100 | 2.7 | 30.81 | 29.72 | 63° |
| | 300 | 2.8 | 90.95 | 89.86 | |

On observe que le rapport puissance-distance vérifie la proportion $1/d^2$. En effet, le tableau suivant montre que pour une même courant de la source blanche, le produit $d^2 \times$ Puissance réelle du capteur n'a pas des grandes variations quand ont change la distance d . (a continuation, coleurs égales se correspondent a une même courant de la source).

| Courant de la source [mA] | Distance [cm] | Produit d^2 * Puissance réelle du capteur |
|---------------------------|---------------|---|
| 3 | 150,00 | 450 |
| 10 | 150,00 | 4950 |
| 100 | 150,00 | 52875 |
| 300 | 150,00 | 25200 |
| 10 | 90,00 | 3159 |
| 100 | 90,00 | 46251 |
| 300 | 90,00 | 147582 |
| 10 | 40,00 | 2832 |
| 100 | 40,00 | 47552 |
| 300 | 40,00 | 143776 |

Laser:

La puissance reçue par le capteur varie très fortement avec les variations de la direction du laser, et donc mesurer l'angle de $\frac{1}{2}$ de puissance devient trop difficile et instable.

| Distance [cm] | Courant de la source [mA] | Tension de la source [V] | Puissance du capteur [mW] | Puissance réelle du capteur [uW] | Angle $\frac{1}{2}$ puissance |
|---------------|---------------------------|--------------------------|---------------------------|----------------------------------|-------------------------------|
| 150 | 10 | 3 | 0.23 | 0.22 | - |
| | 20 | 4 | 1.26 | 1.25 | - |
| 90 | 10 | 3 | 0.24 | 0.23 | - |
| | 20 | 4 | 1.28 | 1.27 | - |
| 40 | 10 | 3 | 0.24 | 0.23 | - |
| | 20 | 4 | 1.32 | 1.31 | - |

Interférométrie

Dans ce TP nous avons étudié le modulateur Mach-Zehnder (MZM). L'interféromètre Mach-Zehnder permet de mesurer une différence de phases entre deux faisceaux optiques issus d'une même source. Le modulateur quant à lui permet de moduler la phase et/ou l'amplitude d'un signal lumineux en contrôlant la différence de phase.

Modulateur en espace libre

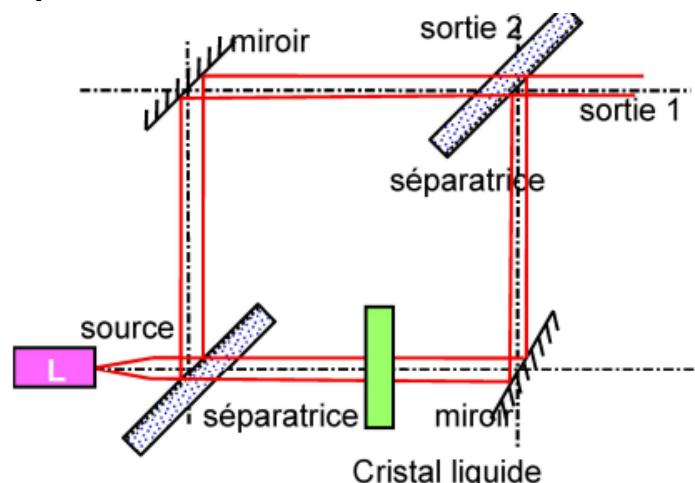


Figure 1. Montage expérimental du modulateur Mach-Zehnder en espace libre

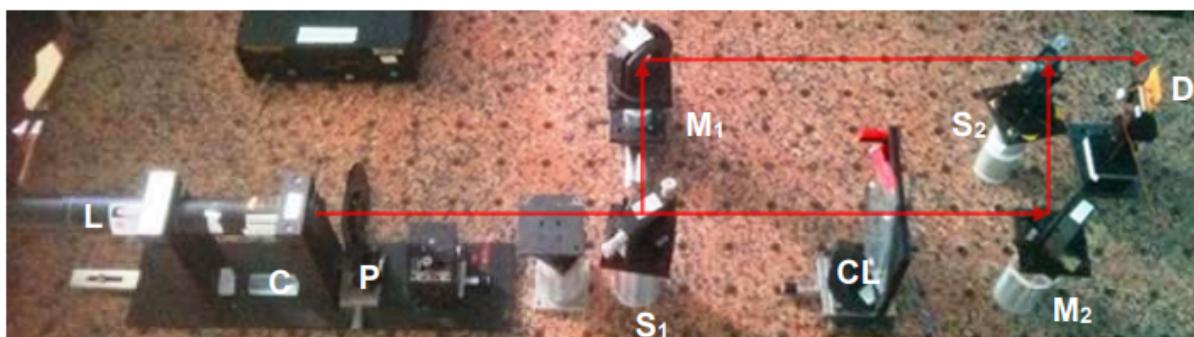


Figure 2. Banc expérimental associé au département d'Optique

Alignement et interférences

Nous avons tout d'abord réglé les miroirs M1 et M2 afin de superposer les faisceaux pour obtenir une figure d'interférence. Dans un premier temps la cellule à cristal liquide (CL) n'est pas présente dans le montage.

Les motifs interférentiels sont très différents selon le réglage des miroirs (nombre de franges, leur largeur et leur forme) et sont très sensibles aux vibrations: le système n'est pas stable.

Il apparaît un motif interférentiel seulement si les faisceaux incidents ne sont pas parallèles. En effet, l'intensité I s'exprime en fonction de la différence de phase $\Delta\varphi$ comme suit :

$$I(\Delta\varphi) = |I_1| + |I_2| + 2 \cdot I_1 \cdot I_2 \cdot \cos(\Delta\varphi)$$

$$\text{or } \Delta\varphi = 2\pi \frac{d}{\lambda} \sin(\theta) \text{ avec } d \text{ l'espacement entre les signaux}$$

sur le miroir S2 et λ la longueur d'onde.

$$\text{Donc } I(\theta) = |I_1| + |I_2| + 2 \cdot I_1 \cdot I_2 \cdot \cos(2\pi \frac{d}{\lambda} \sin(\theta))$$

On peut ainsi trouver une relation entre le pas p et l'angle θ en sachant que $p = \frac{\lambda}{2 \cdot \sin(\theta/2)}$

$$\text{Autrement dit } \theta = 2 \cdot \arcsin\left(\frac{\lambda}{2p}\right)$$

Ajout d'une différence de marche

On place la cellule à cristal liquide comme sur la figure 2. Celle-ci est de type nématique. "Ce type de cristal liquide est caractérisé en ce que ses molécules de forme allongée tendent à rester parallèles entre elles, selon une orientation définissant à π près l'axe optique du matériau." Il est également biréfringent donc anisotrope.

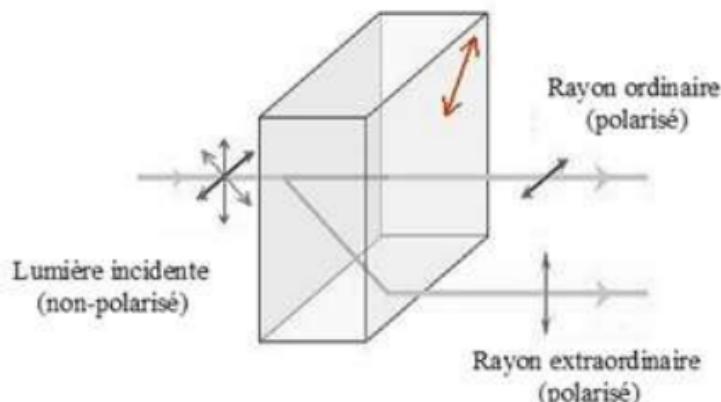


Figure 4. Illustration de la propagation optique à travers un matériau biréfringent

"Ainsi, lorsque la lumière traverse un matériau biréfringent, l'indice de réfraction du matériau dépend de l'angle entre la direction de polarisation de la lumière et l'axe optique du matériau:

- Cas 1 : si la direction de polarisation et l'axe optique sont parallèles, alors l'indice est dit « extraordinaire » : ne
- Cas 2 : si la direction de polarisation et l'axe optique sont perpendiculaires, alors l'indice est dit « ordinaire » : no
- dans les cas intermédiaires, l'indice varie continûment entre ne et no lorsque l'angle entre l'axe optique et la direction de la polarisation de la lumière augmente de 0 à 90°."

En plaçant un bloc de calcite devant un texte, nous avons observé que, selon la face, soit les rayons ordinaires et extraordinaire passent, soit seulement l'un à la fois.

Ci-dessous sont représentées la direction des indices de réfraction selon l'axe optique du cristal.

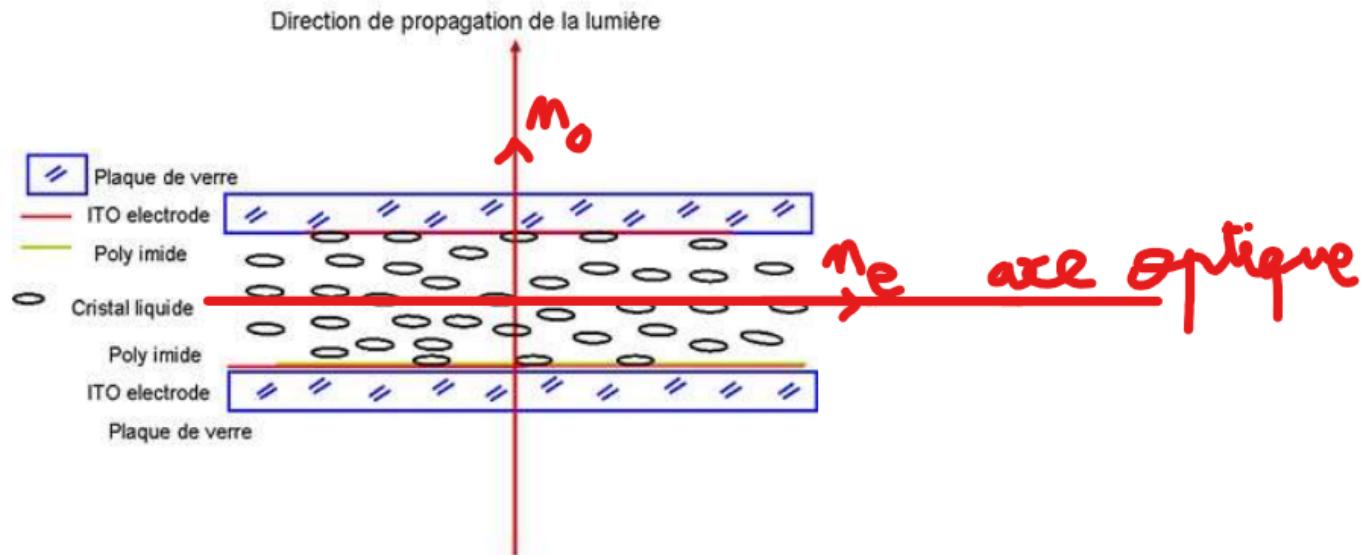
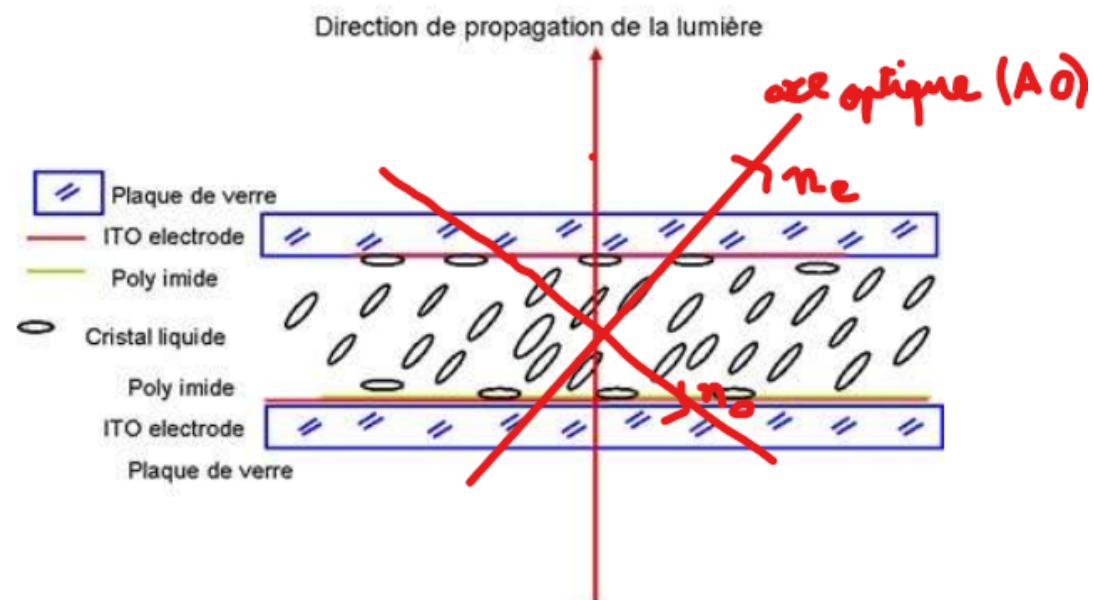
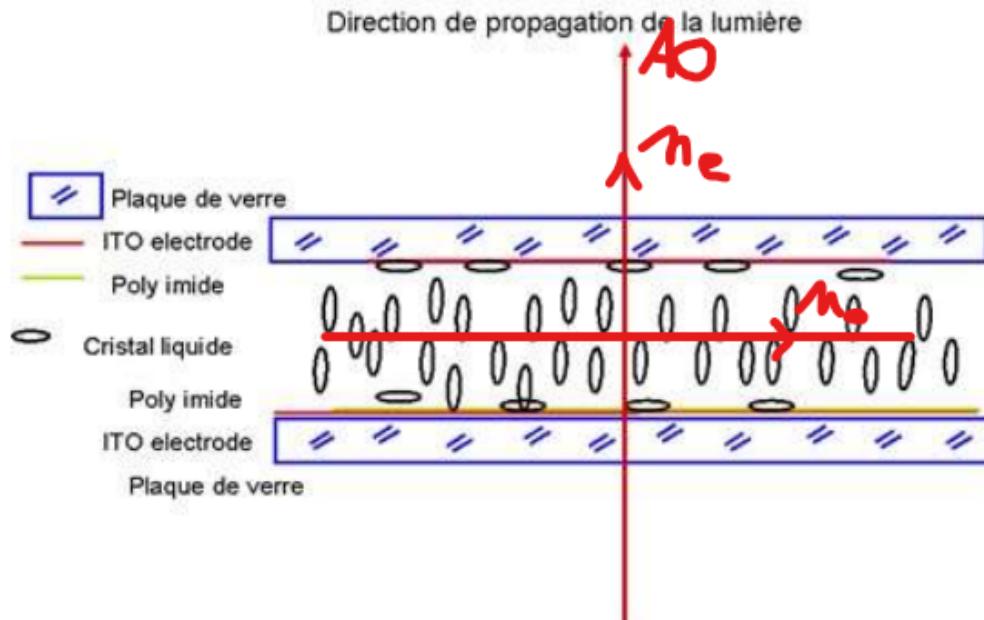


Figure 5. Structure schématique d'une cellule à cristal liquide nématique au repos



(a) Orientation des molécules sous l'application d'un champ E_1



(b) Orientation des molécules sous l'application d'un champ E2

Figure 6. Cellule à cristal liquide nématische sous l'influence d'un champ électrique

On déduit de ces figures que la polarisation incidente de l'onde doit être parallèle aux molécules au repos (extraordinaire) pour que la phase de l'onde varie quand on applique une tension au cristal liquide.

Modulateur intégré

Fonctionnement statique

On applique une tension V , ici sinusoïdale, au MZM.



Tension associé à l'intensité lumineuse du signal modulé (jaune) et tension de modulation (bleu)

La différence de phase $\Delta\phi$ de l'onde parcourant le MZM est proportionnelle à ΔV (avec $\Delta V = V(t) - V_0$).

$$\text{Et } I(\Delta\phi) = |I1| + |I2| + 2 \cdot I1 \cdot I2 \cdot \cos(\Delta\phi)$$

Au regard de la réponse observée sur la courbe ci dessus et de la formule de l'intensité, on peut supposer qu'il y a une relation de proportionnalité entre $\Delta\varphi$ et ΔI .

On a donc

$$I(\Delta V) = |I_1| + |I_2| + 2 \cdot I_1 \cdot I_2 \cdot \cos(x\Delta V) \quad \text{avec } x \text{ un réel tel que } x\Delta V = \Delta\varphi.$$

Nous avons ensuite mesuré la tension V_{π} qui est la plus petite différence entre deux tensions associées respectivement à un minimum et à un maximum d'intensité, autrement dit une demi-période du signal I. On mesure $V_{\pi}=2,41V$.

Fonctionnement dynamique et modulation

Nous souhaitons appliquer une modulation “On-Off”. Les 0 correspondent à un minimum d'intensité lumineuse, le 1 à un maximum. On cherche la différence de tension ΔV à appliquer pour obtenir un 0 et pour obtenir un 1.

$$0 \Rightarrow \min(I(\Delta V_{min})) \Rightarrow \cos(x\Delta V_{min}) = 0 \Rightarrow \Delta V_{min} = \frac{\pi}{2x} + \frac{k}{x}\pi$$

$$1 \Rightarrow \max(I(\Delta V_{max})) \Rightarrow \cos(x\Delta V_{max}) = 1 \Rightarrow \Delta V_{max} = k\pi/x = V_{\pi} + \Delta V_{min}$$

On applique une tension créneau pour simuler un signal “On-off”.

Ne connaissant pas x, on cherche la valeur de V_{min} à taton puis on en déduit V_{max} . En ajoutant V_{π} , on parvient à inverser la phase du créneau.

Electronic light capture array device (CMOS/CCD camera)

L'objectif de ce TP est de comprendre comment utiliser un instrument numérique de capture de lumière, afin de faire des choix adaptés à chaque situation d'acquisition.

Nous avons tout d'abord appris à régler la caméra CCD (mise au point, ouverture) et à nous servir du logiciel associé (uEyeDemo). Dans un deuxième temps nous nous sommes intéressés à la qualité du capteur, puis au choix de la lentille en fonction du champ de vision et du grandissement. Enfin, nous nous sommes intéressés au réglage de l'ouverture.

Relations entre les différents paramètres d'une caméra

Lors de la prise en main du logiciel, on observe que lorsqu'on réduit le nombre d'images par seconde (framerate) cela réduit le temps d'exposition mais que lorsqu'on augmente le temps d'exposition, cela ne change pas le nombre d'images par seconde. On observe également que si on diminue le ROI, le framerate peut devenir plus élevé car il y a moins de pixels par image.

En ce qui concerne le bruit, nous avons observé qu'augmenter le gain augmente le contraste mais également le bruit et que le fait d'appliquer un binning diminue le bruit.

Appliquer un binning x2 revient à diviser par 4 le nombre de pixels. On observe en appliquant un binning que le framerate n'est pas modifié, ce qui signifie que le binning est effectué au niveau de l'ordinateur et non de la caméra.

Le contraste dépend de l'ouverture, du gain et de l'exposition : augmenter l'un de ces paramètres diminue le contraste.

Toutes ces observations nous servent pour le réglages de la caméra et le choix de certains composants.

Comparaison des caractéristiques des caméra

Comparons maintenant la qualité des deux caméras à disposition :

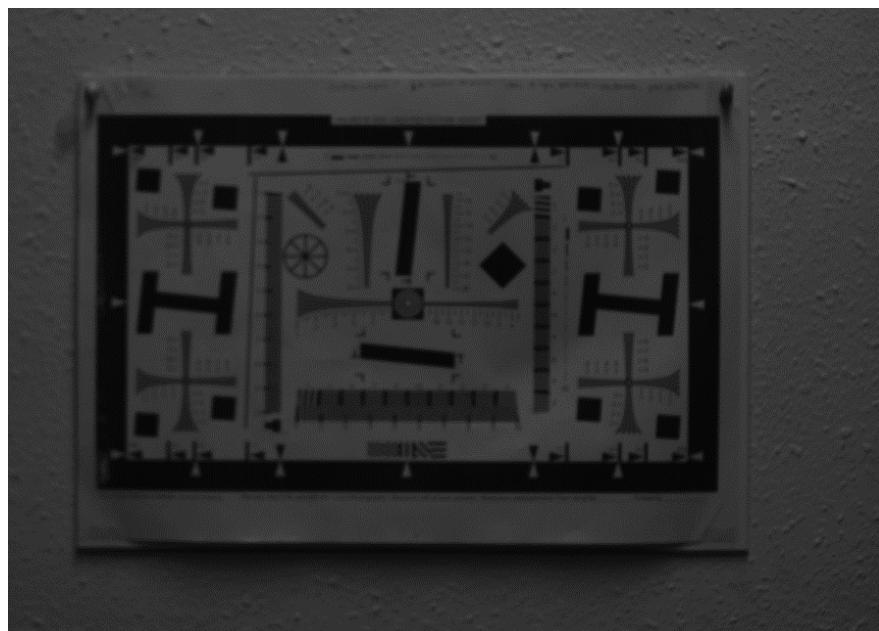


Image obtenue avec la caméra n°1

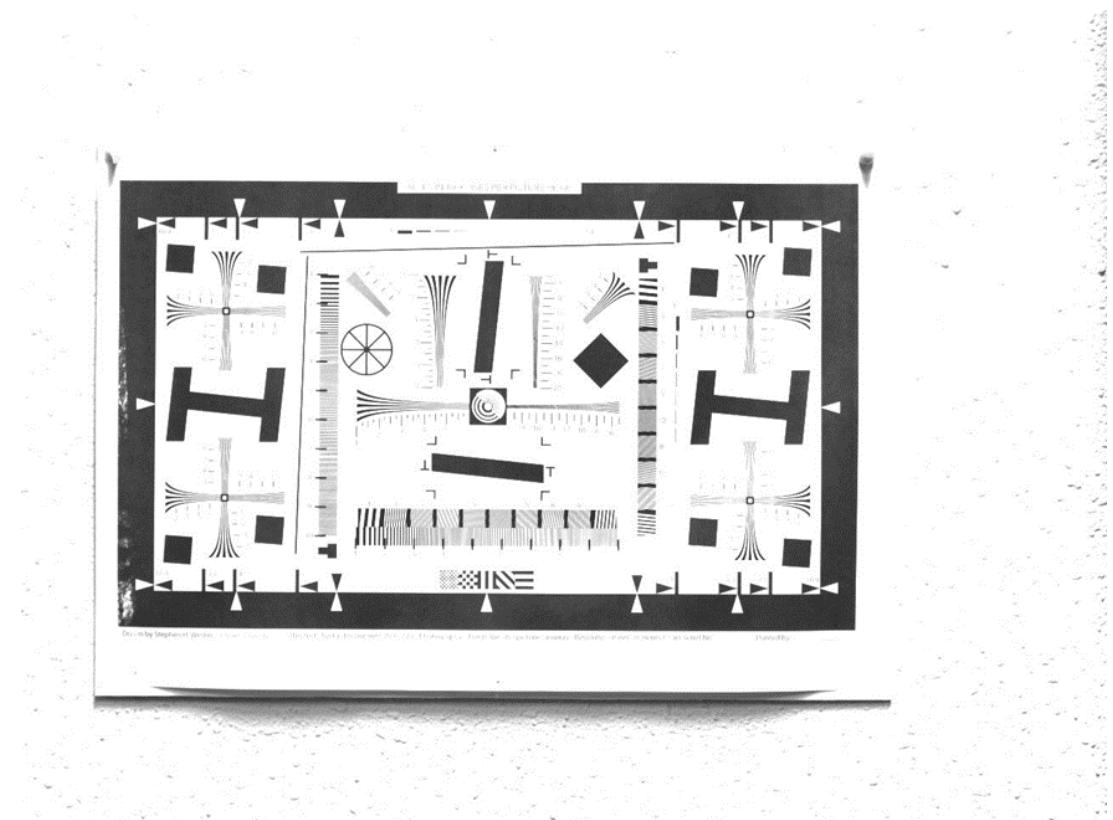


Image obtenue avec la caméra n°2

On voit que la caméra n°1 a une plus grande sensibilité que la caméra 2 car dans les mêmes conditions (distance, luminosité, temps d'exposition, ouverture) on obtient une image bien plus lumineuse avec la 1ere caméra.

La résolution de la 2nde caméra semble meilleure. De ce fait, le framerate de la 1ere caméra pourra être plus élevé.

Field of View (FOV)

Intéressons-nous maintenant au choix de la lentille en fonction du grossissement et du champ de vision.

A partir de la formule $1/u + 1/v = 1/f$

où u est la distance entre l'objet et la lentille et v la distance entre la lentille et l'image,
on obtient $\text{FOV} = hu/f$

avec h la largeur du capteur, f la distance focale.

Avec $h = 5,9\text{mm}$ avec $d = 1,52\text{m}$ et $f=16\text{ mm}$ on obtient $\text{FOV}= 560\text{mm}$.

Résolution

Nous nous sommes ensuite intéressés à la résolution de notre caméra (la 2nde).

La définition de notre caméra est $3840 \times 2748 = 10,55\text{ Mpixels}$

La résolution optique est mesurée en utilisant l'image n°2 : à cette distance de (distance entre la caméra et la feuille photographiée) les lignes de la figure sont distinguables jusqu'à la ligne 11. La résolution est donc $11/2 = 5,5\text{ pixels/mm}$

On peut également estimer cette résolution par une autre méthode. Le nombre de pixels en largeur est 3840, le FOV est approximativement 560mm. On a donc une résolution estimée de $3840/560 = 6,86\text{ pixels/mm}$, ce qui est du même ordre de grandeur que la résolution trouvée précédemment.

Ouverture

La luminosité est proportionnelle à l'ouverture. Augmenter l'ouverture augmente la profondeur de champ et améliore la résolution car le contraste est plus élevé.

Dans ce TP nous avons pu étudier les relations entre les différentes caractéristiques d'une caméra et nous avons mesuré les valeur des caractéristiques d'une caméra. Nous

n'avons cependant pas pu comparer nos deux caméras car nous n'avons eu le temps de mesurer les caractéristiques d'une seule caméra.

Caractérisation d'un filtre optique à réseau de Bragg (TP fibre 1)

L'objectif de cette expérience est de mesurer et caractériser le comportement d'un filtre optique à réseau de Bragg.

1.

En s'appuyant sur la théorie fournie, on peut obtenir le pas d'un FBG pour $\lambda = 1.55 \mu m$ et $n_m = 1.45$, où $n(z) = n_m + n_1 \cos(\frac{2\pi z}{\Lambda})$.

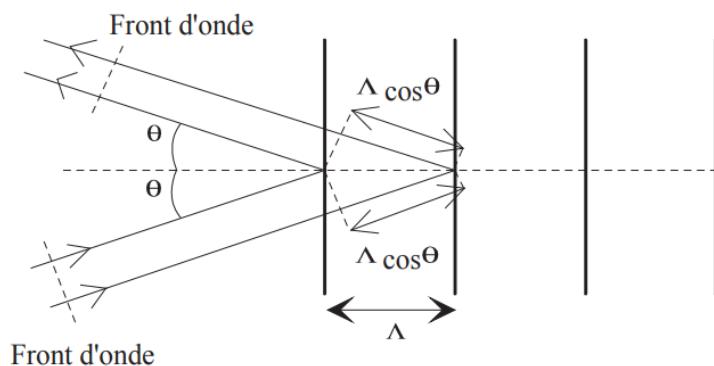


Figure A1-1 : Représentation géométrique de la condition de Bragg.

(source)

En effet, pour que la différence de chemins soit un multiple de λ , il est nécessaire qu'il existe Λ tel que

$$\Lambda = m\lambda / (2n_m \cos(\theta))$$

de façon que si $\theta = 0^\circ$ et $m = 1$, $\Lambda = \lambda / (2n_m) = 0.534 \mu m$.

2/3.

À partir du développement théorique, les résultats suivants sont obtenus:

$$\text{Réflectivité maximale: } R_{max} = th^2(\kappa L)$$

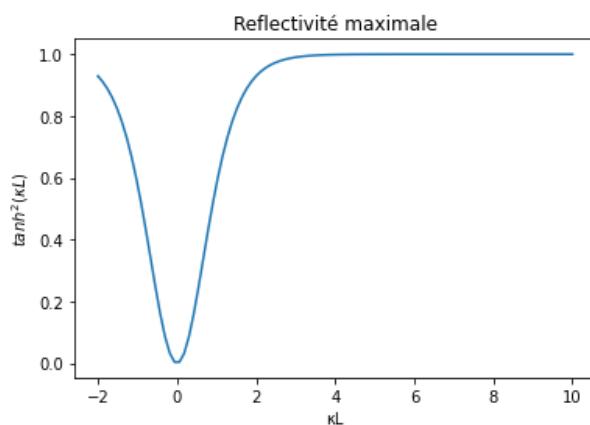
$$\text{Bande passante: } BP = \frac{\lambda^2}{2n_m L}$$

En fonction de ces relations, on peut compléter le tableau suivant:

| Caractéristiques réseaux de Bragg | | | | Caractéristiques filtres | |
|-----------------------------------|-----------|-------------|--------------------|--------------------------|-------|
| Longueur L (mm) | Amplitude | Coefficient | Produit κL | Réflectivité | Bande |
| | | | | | |

| | modulation d'indice: n_1 | de couplage $\kappa = \pi n_1 / \lambda$ | | maximale | passante approx. (nm) |
|----|----------------------------|--|------|----------|-----------------------|
| 5 | 2.47E-5 | 0.5 | 0.25 | 0.060 | 0.166 |
| 10 | 2.47E-5 | 0.5 | 0.5 | 0.214 | 0.083 |
| 5 | 4.94E-5 | 1 | 0.5 | 0.214 | 0.166 |
| 10 | 4.94E-5 | 1 | 1 | 0.580 | 0.083 |

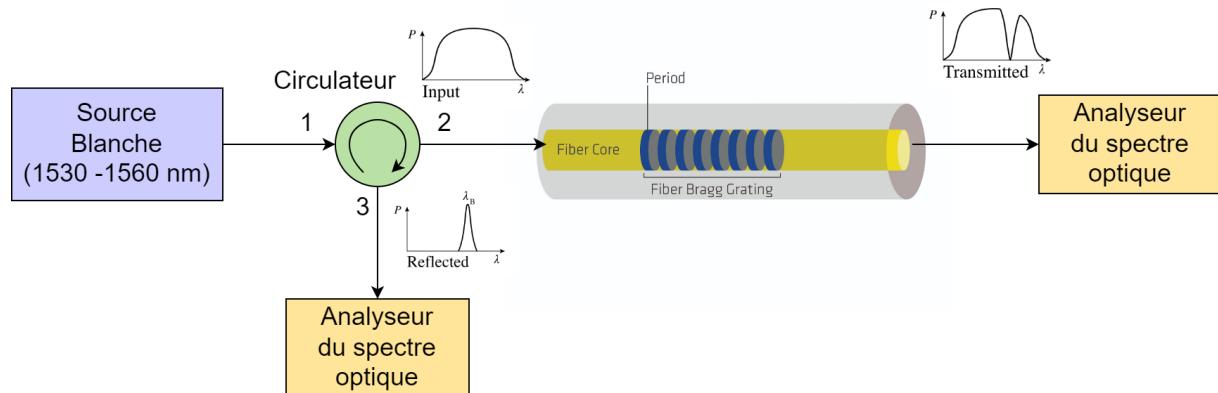
4.



Pour $\kappa L = 2$, on observe que le coefficient de réflexion est déjà supérieur à 90%. Alors, si l'amplitude de la variation $n(z)$ augmente, si λ diminue ou si L augmente, le coefficient de réflexion augmentera. Encore plus, si la valeur κL est entre 0 et 1.5, cette variation sera approximativement proportionnelle à la variation du paramètre qui a changé (n_1 , λ ou L). Ceci est évident dans le tableau.

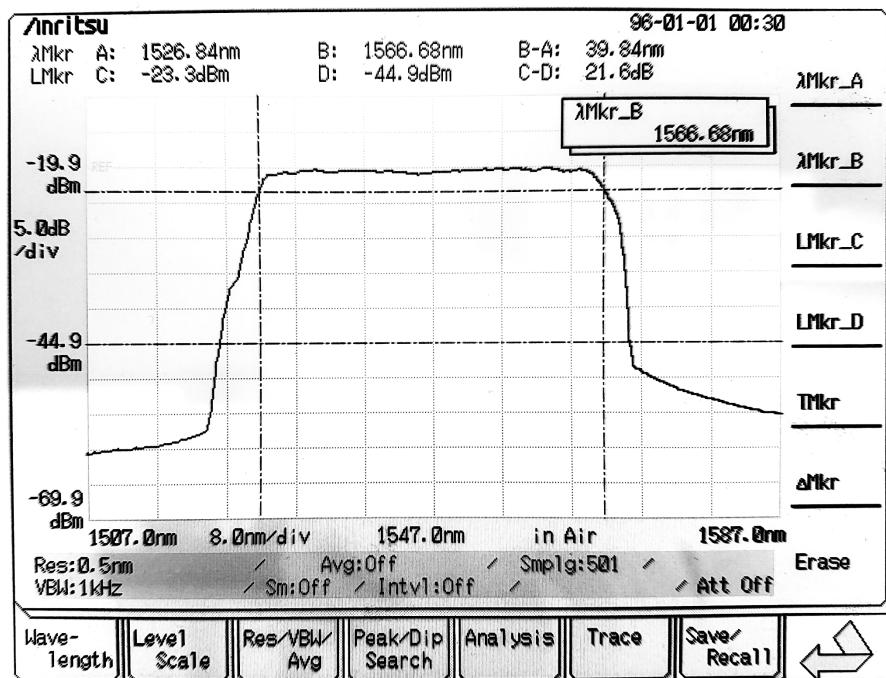
La bande passante ne montre pas une forte dépendance par rapport à κ . Par contre, elle varie de manière inversement proportionnelle par rapport à L .

5.



6.

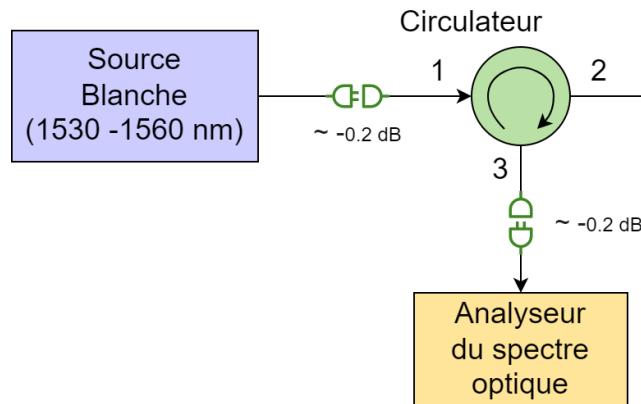
Le spectre émis par la source blanche est le suivant:



Il est évident que la densité de puissance présente des variations inférieures à 1dB tout au long de la bande plaine, qui prend une valeur d'environ – 20.1 dBm. D'ailleurs, la largeur de bande à -3dB est de environ 39.8 nm, entre 1526.8 nm et 1566.7 nm approximativement.

7.

Pour caractériser le circulateur, et notamment mesurer les pertes d'insertion, le schéma de mesure suivant a été utilisé (cas particulier pour les ports 1 et 3) :



De la même manière, tous les possibles paires de ports ont été caractérisés. Pour mesurer les pertes d'insertion, il faut tenir compte des pertes des connecteurs. En supposant que chaque connecteur perd 0.2 dB , et étant donné que pour la mesure du spectre de la source blanche on utilisait déjà un connecteur, on arrive à que les pertes d'insertion entre les ports i et j sont :

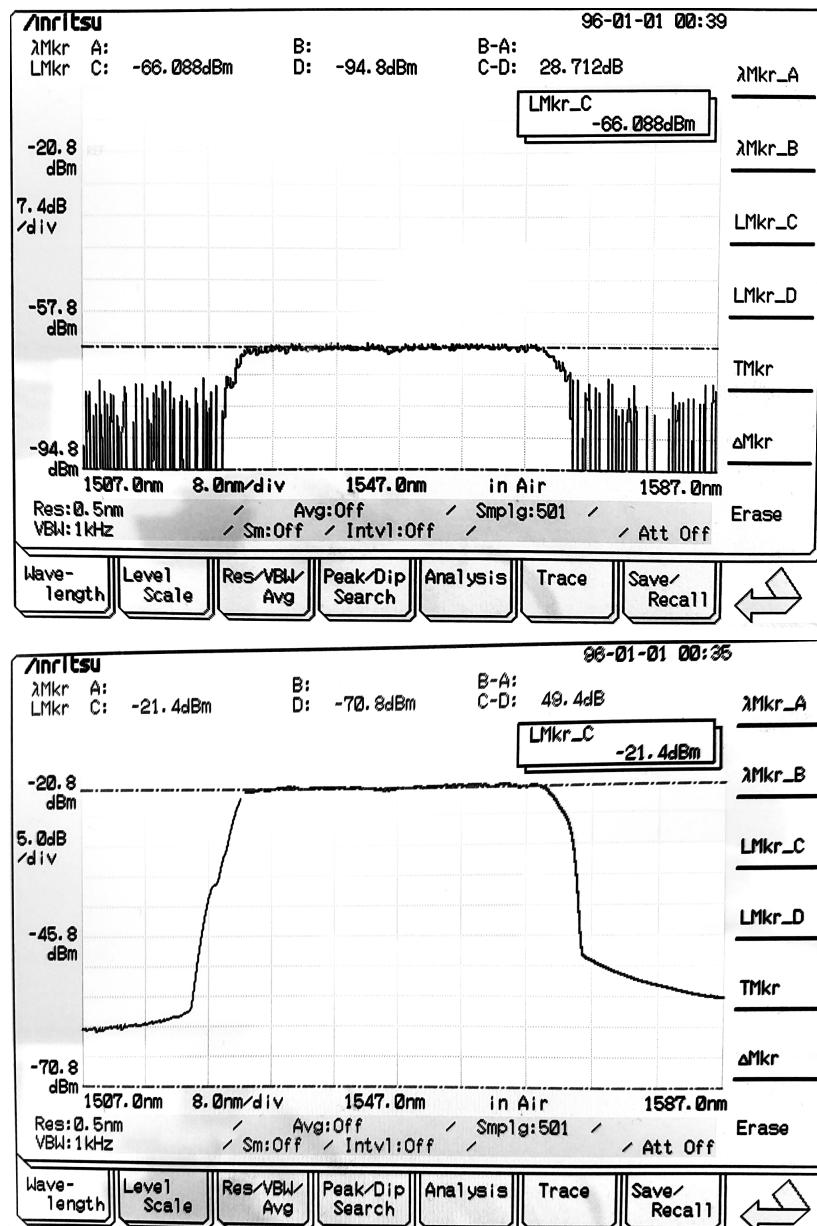
$$L_{ij} = P_{\text{source blanche}} - P_{\text{mesuré (ASO)}} - 0.4 \text{ dB}$$

où

$$P_{\text{source blanche}} = -20.1 \text{ dBm} + 0.2 \text{ dB} = -19.9 \text{ dBm}$$

$$\Rightarrow L_{ij} = -20.3 \text{ dBm} - P_{\text{mesuré (ASO)}}$$

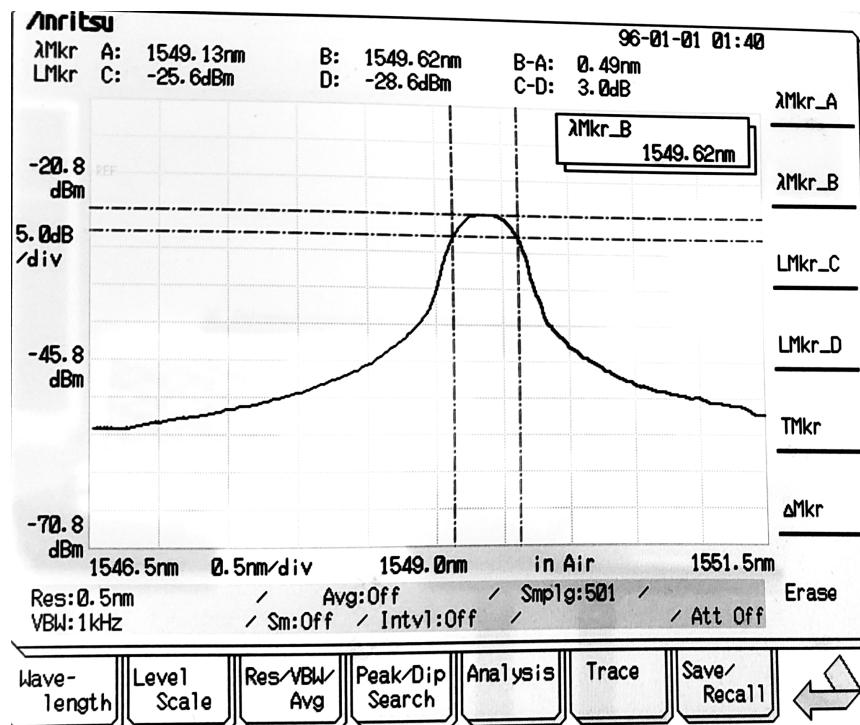
Par exemple, pour les transférences $1 \rightarrow 3$ et $1 \rightarrow 2$, on a les mesures suivants:



$$\Rightarrow L_{13} = -20.3 \text{ dBm} - (-66.1 \text{ dBm}) = 45.8 \text{ dB} \simeq L_{21} \simeq L_{32}$$

$$\Rightarrow L_{12} = -20.3 \text{ dBm} - (-21.4 \text{ dBm}) = 1.1 \text{ dB} \simeq L_{23} \simeq L_{31}$$

8.



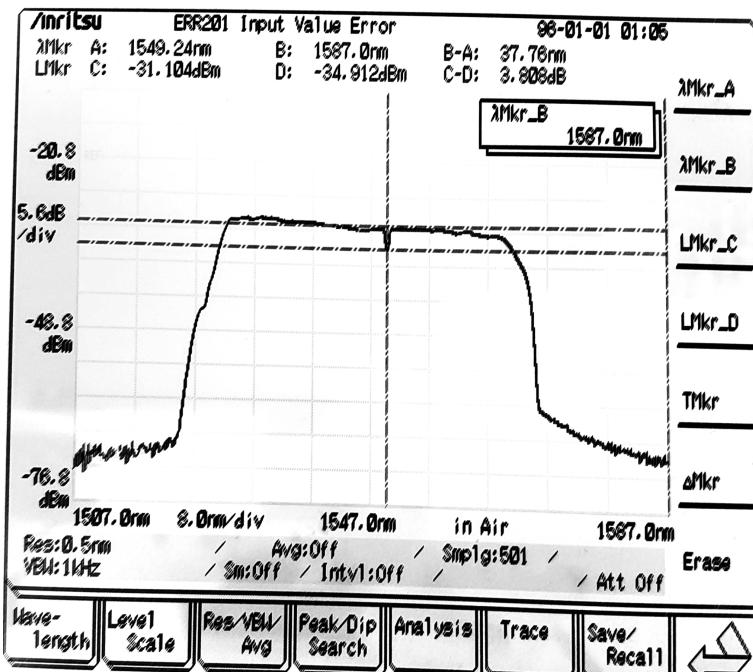
À partir de la mesure du spectre réfléchi, différents paramètres peuvent être obtenus:

- La longueur d'onde centrale: $\lambda_B \simeq 1549 \text{ nm}$
- La largeur de bande filtrée: $\delta\lambda = 0.49 \text{ nm}$
- La longueur physique du FBG: $\Lambda = \frac{\lambda}{2n_m} \simeq 0.53 \mu\text{m}$
- Les pertes d'insertion lors de la réflexion sur le FBG:

$$L_{FBG(\text{réflexion})} = P_{\text{source blanche}} - (P_{\text{réfléchi(ASO)}} + L_{12} + L_{23} + 2L_{\text{connecteur}})$$

$$L_{FBG(\text{réflexion})} = -19.9 \text{ dBm} - (-25.6 \text{ dBm} + 2.2 \text{ dB} + 2 \cdot 0.2 \text{ dB}) = 3.1 \text{ dB}$$

9.



À partir de la mesure du spectre transmis, on retrouve les mêmes paramètres:

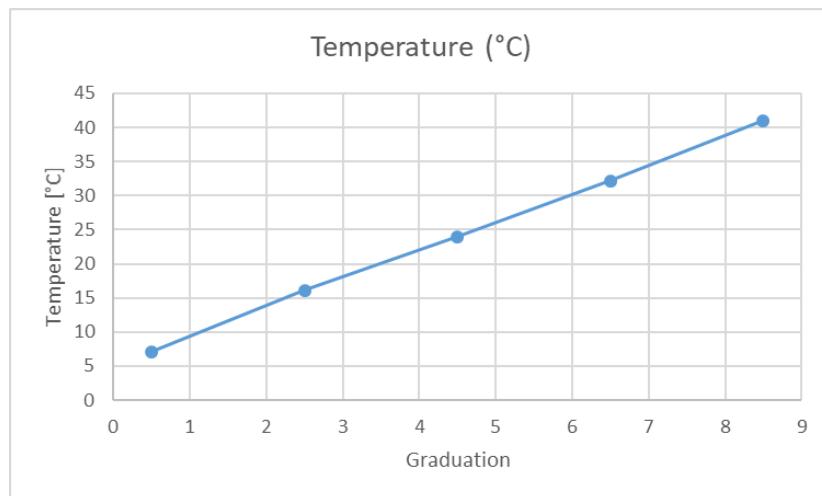
- La longueur d'onde centrale: $\lambda_B \simeq 1549\text{ nm}$
- La largeur de bande filtrée: $\delta\lambda = 0.49\text{ nm}$
- Les pertes d'insertion lors de la transmission sur le FBG:

$$L_{FBG\ (transmission)} = P_{source\ blanche} - (P_{(transmis)\ ASO} + L_{12} + 2L_{connecteur})$$

$$L_{FBG\ (transmission)} = -19.9\text{ dBm} - (-31.1\text{ dBm} + 1.1\text{ dB} + 2 \cdot 0.2\text{ dB}) = 9.7\text{ dB}$$

10.

On fait varier la graduation pour obtenir des variations de température, représentée dans le graphique suivant. Une tendance linéal est observée.

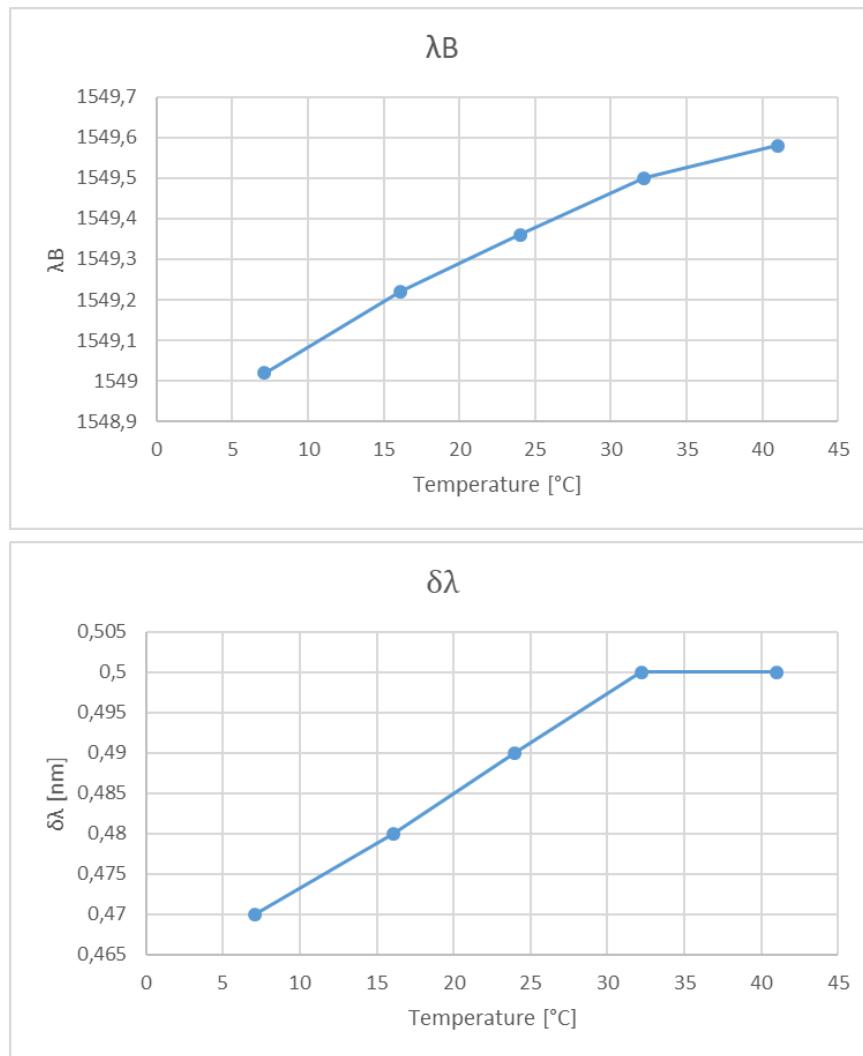


11.

| Graduation | Température (°C) | λ_B | $\delta\lambda$ [nm] |
|------------|------------------|-------------|----------------------|
| 0,5 | 7,1 | 1549,02 | 0,47 |
| 2,5 | 16,1 | 1549,22 | 0,48 |
| 4,5 | 24 | 1549,36 | 0,49 |
| 6,5 | 32,2 | 1549,5 | 0,5 |
| 8,5 | 41 | 1549,58 | 0,5 |

On ne observe pas des variations significatives de la puissance transmise ou réfléchie par le FBG.

12.



13.

Il est connu que

$$\Delta\lambda_B = \xi \lambda_B \Delta T$$

La largeur spectrale $\Delta\lambda_B$ varie approximativement 0.14 nm chaque environ 8.5°C .

Alors, on peut calculer les parametre ξ :

$$\xi \simeq 1.1 \cdot 10^{-5} [\text{ }^\circ\text{C}^{-1}]$$