

TP Laser : Laser Télécom Doublé

L'objectif de ce TP consiste à étudier et manipuler les composants typiques d'une chaîne d'amplification et de doublage d'un laser télécom fibré.

I - Etude préliminaire

- Diode DFB (Distributed FeedBack)

C'est une diode Laser fonctionnant à partir de matériaux semi-conducteurs. Elle est constituée d'une couche guidant la lumière et d'une couche d'un milieu amplificateur.

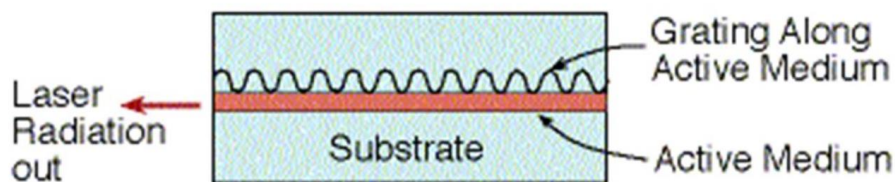


Figure 1 : Schéma d'explication du fonctionnement d'une diode DFB

Sa particularité par rapport aux autres diodes laser vient du fait que son milieu amplificateur constitue un réseau de Bragg. L'indice du milieu amplificateur varie périodiquement en fonction de son axe longitudinal, grâce à une alternance de couches d'indices de réfraction différents. Le réseau de Bragg agit alors comme la cavité optique d'un laser (fonction à la fois de filtre et de résonateur).

- EDFA (Erbium Doped Fiber Amplifier)

L'EDFA est un dispositif qui amplifie un signal télécom (C-Band entre 1525 nm et 1565 nm et la L-Band entre 1570 nm et 1610 nm) transporté par une fibre optique. Il est composé lui-même d'une fibre optique dopée à l'erbium qui est pompée afin de permettre l'amplification d'un signal grâce au phénomène d'émission spontanée.

- PPLN (Periodically Poled Lithium Niobate)

Le PPLN est un cristal non linéaire très efficace pour les conversions de second ordre. Il est très utilisé pour les doublements de fréquence et c'est ce pourquoi nous l'utiliserons au cours de ce TP.

La particularité du PPLN est que sa susceptibilité varie périodiquement suivant son axe longitudinal.

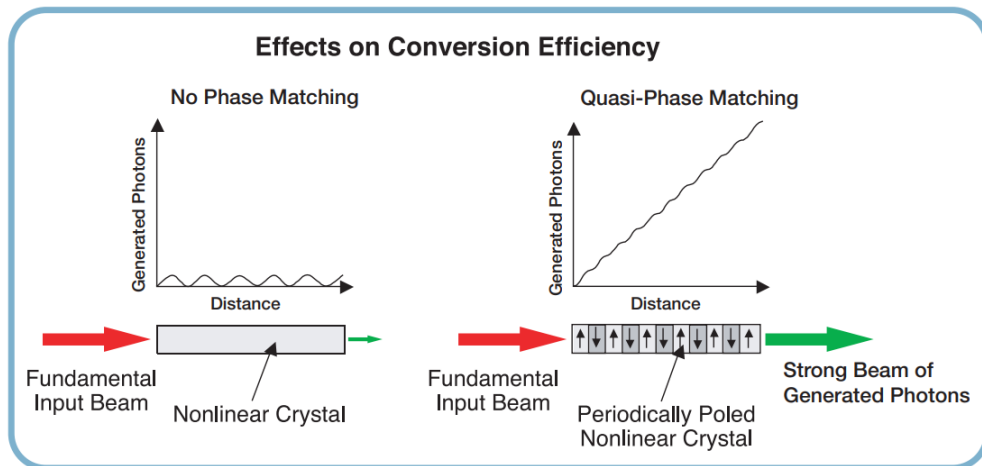


Figure 2 : Schéma d'explication Thorlabs de l'utilisation du PPLN

Cas d'une Second Harmonic Generation : Le quasi phase matching garantit qu'il y a un flux d'énergie positif de la fréquence de la pompe vers la fréquence doublée, même si toutes les fréquences impliquées ne sont pas en phase les unes avec les autres. L'énergie circulera toujours de la pompe vers le signal tant que la phase entre les deux ondes est inférieure à 180 degrés. Au-delà de 180 degrés, l'énergie revient du signal vers les fréquences de la pompe. La longueur de cohérence est la longueur du milieu dans lequel la phase de la pompe et de la fréquence du signal doublée sont à 180 degrés l'une de l'autre.

Pour le PPLN au bon réglage de périodicité (longueur de cohérence), les axes du cristal sont inversés ce qui permet à l'énergie de continuer à circuler positivement de la pompe vers les fréquences de signal et de ralentir.

- Analyseur de spectre optique

Cet appareil permet de mesurer le spectre (puissance) d'un signal lumineux sur une plage de longueur d'onde réglable.



Figure 3 : Exemple d'OSA

II - Aparté sur la manipulation de fibre optique.

Les fibres optiques doivent être manipulées avec grande précaution, en particulier lors de leur insertion dans les connecteurs. C'est une manipulation critique lors de laquelle l'embout du connecteur peut être rayé par le métal (il possède une dureté supérieure). Cela diminue fortement le recouvrement de mode entre 2 fibres et introduit de fortes pertes à la transmission entre les deux fibres.

Il faut être vigilant et ne pas trop courber les fibres optiques. Pour des rayons de courbure inférieurs à 5 cm, le risque de les casser devient important.

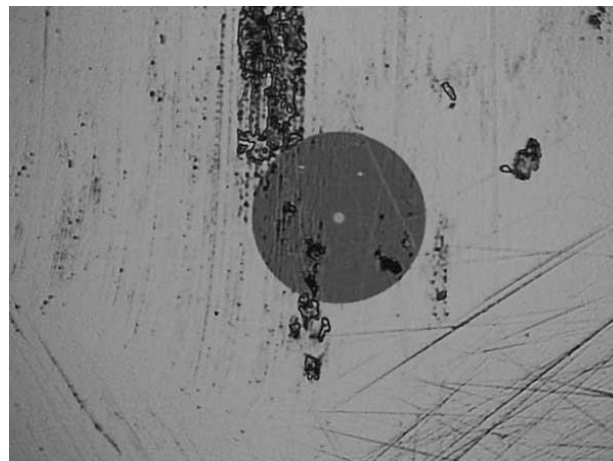


Figure 4 : Exemple d'une image d'une fibre détériorée prise au microscope

La fibre doit également être propre lorsqu'on l'utilise et donc son état doit être vérifié avant de la connecter. En effet, de simples petites traces sur la surface en céramique entraînent des pertes de puissance conséquentes. De plus, ces impuretés peuvent également endommager cette même surface car elles peuvent brûler pendant l'utilisation et ainsi dégrader la fibre. Il est donc nécessaire de nettoyer la fibre avant chaque utilisation avec le dispositif prévu à cet effet.

III - Diode Laser

Notre première étude s'est orientée vers la caractérisation de la diode laser. Nous nous sommes donc premièrement intéressés à sa caractéristique que nous avons tracé :

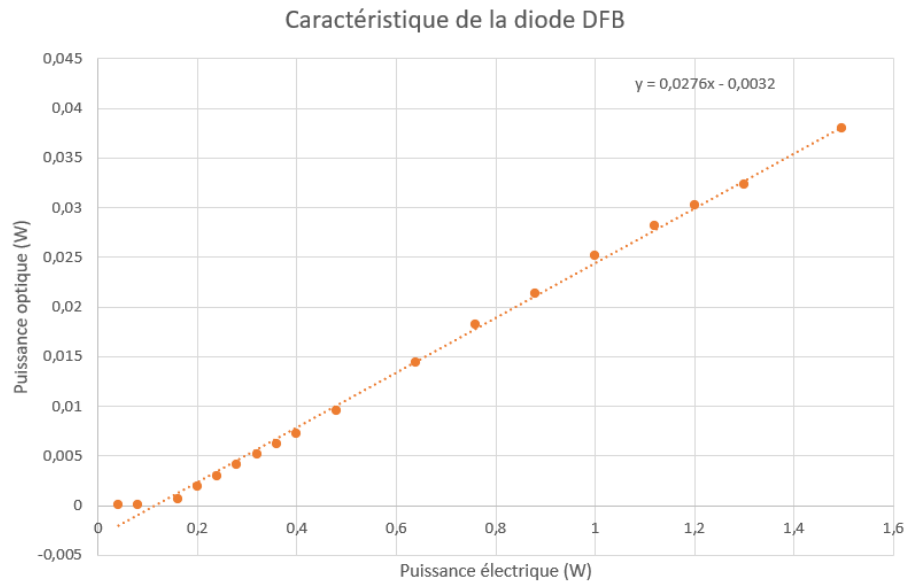


Figure 5 : Caractéristique de la diode DFB

Nous pouvons donc en déduire deux choses :

- $P_{seuil} = 0,1 \text{ W}$ cela correspond à une intensité minimale de 30mA à appliquer pour délivrer un signal
 - $\eta = 3\%$ cela correspond au rendement de la conversion de la puissance électrique en une puissance photonique (il nous paraît anormalement bas)
-
- Bruit de la diode laser :

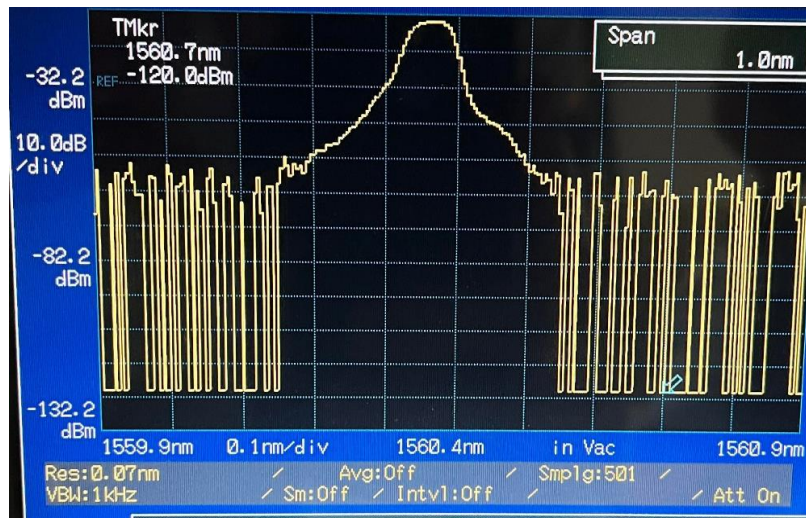


Figure 6 : Spectre de la diode laser entre 1560nm et 1561nm en échelle verticale logarithmique observé à partir de l'OSA

Nous avons pu également observer le plancher de bruit de la diode laser à partir de l'OSA. On mesure donc le bruit de la diode à -60dBm ce qui correspond à 10nW environ lorsque le pic central du signal laser vaut environ 1mW. Nous avons par ailleurs vérifié que le plancher de bruit ne variait pas beaucoup en augmentant la plage spectrale observée.

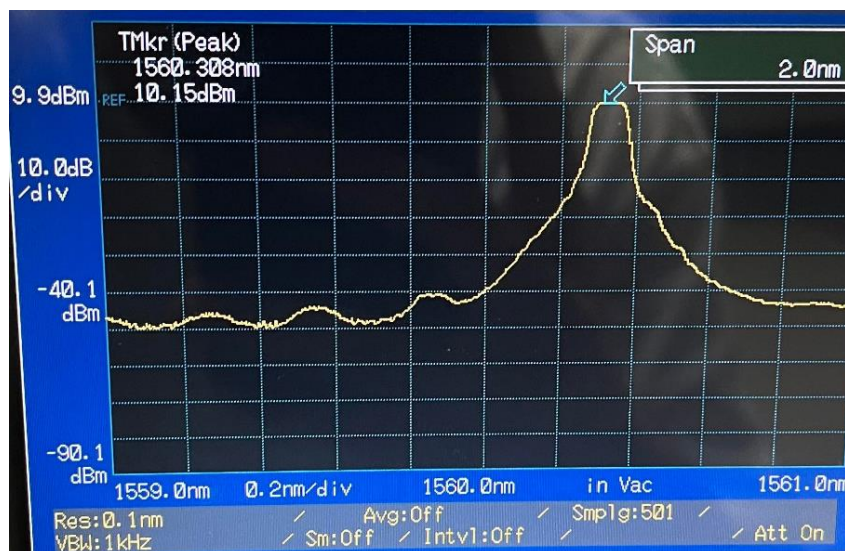


Figure 7 : Spectre du signal sortant de l'EDFA observé entre 1559nm et 1561nm en échelle verticale logarithmique à partir de l'OSA

Nous avons mesuré le plancher de bruit de l'EDFA pour 2 puissances d'entrée :

- $P_i = 14$ dBm nous avons mesuré le plancher à -45 dBm
- $P_i = 9$ dBm nous avons mesuré le plancher à -41 dBm

Nous avons plus généralement remarqué que plus l'intensité laser est puissante en entrée, plus le plancher de bruit de l'EDFA est bas.

En effet, le plancher de bruit de l'EDFA correspond à de l'émission spontanée qui est produite par les ions erbium pompés. Lorsque l'on augmente la puissance laser en entrée de l'EDFA nous consommons les ions excités avec de l'émission stimulée, cela a donc pour effet de réduire la quantité de photons produit qui seront produit par émission spontanée (il n'y a plus autant d'ions excités restant).

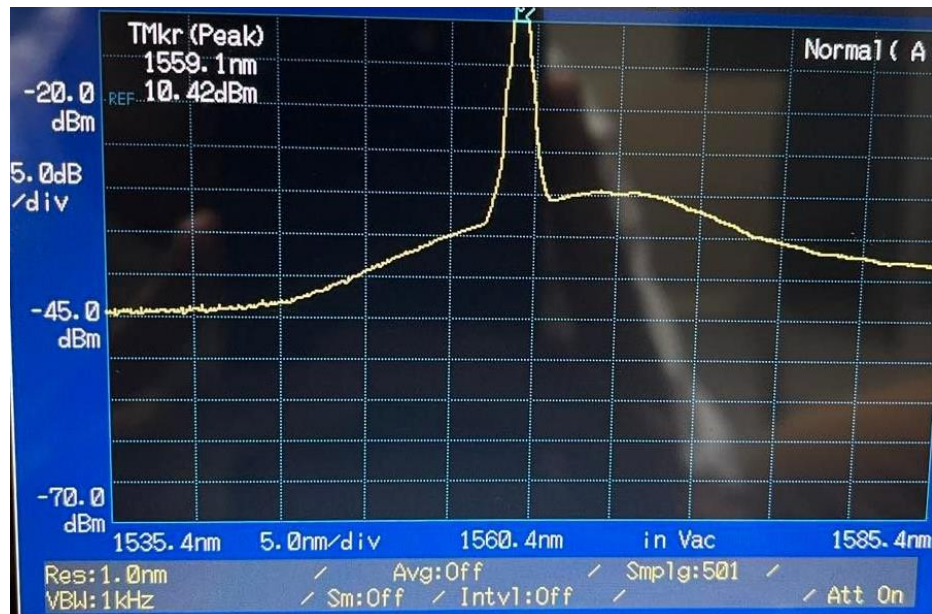


Figure 8 : Spectre du signal sortant de l'EDFA observé entre 1535nm et 1585nm en échelle verticale logarithmique à partir de l'OSA

Remarque : Nous avons également remarqué que la fréquence laser de la diode DFB se décale légèrement avec l'intensité qui lui est appliquée aux bornes. Ce phénomène s'explique par le fait que le nombre de paires electron-trou augmente dans le matériau semi-conducteur, ce qui a pour effet de changer légèrement l'indice de réfraction donc le chemin optique et donc la fréquence laser.

IV - Doublage de fréquence

Nous avons ensuite étudié le doublage de fréquence, afin d'obtenir un signal de 760 nm pour pouvoir observer par la suite la fluorescence atomique du rubidium dont la transition énergétique est de 795 nm.

Pour ce faire nous utilisons un doubleur (NTT electronics) et nous recherchons à obtenir l'accord de phase afin d'obtenir une puissance optimale, avec une puissance de sortie de l'EDFA de 23 dBm et un courant de diode de 240 mA. Nous recherchons cet accord de phase en faisant varier la température du cristal du doubleur à l'aide d'un module Peltier. On obtient alors la courbe suivante:

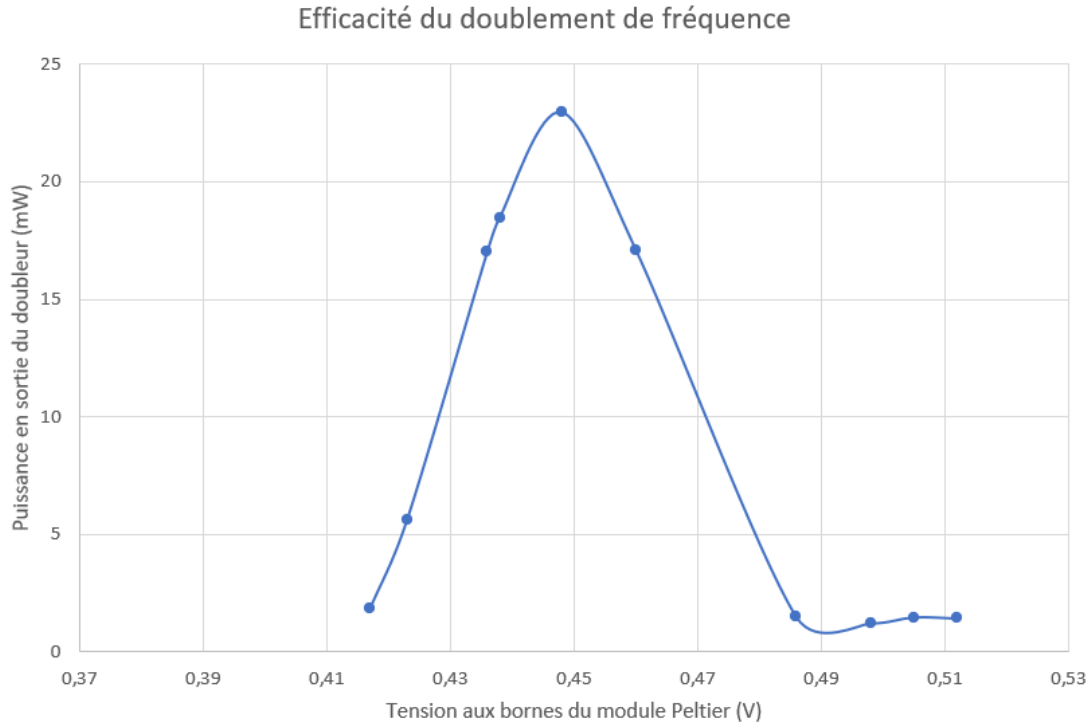


Figure 9 : Puissance en sortie du doubleur NTT en fonction de la tension appliquée au module Peltier

Note : Nous avons longtemps été dérangés par un gain trop important du module d'asservissement de la température sans savoir comment y remédier (nous constatons de fortes oscillations de température). Nous avons finalement trouvé la vis relative au gain de l'asservissement que nous avons donc réglé par la suite.

Nous constatons donc bien une forme de l'efficacité en sinus cardinal au carré, ce qui est conforme à la prédiction théorique :

$$\eta_{\text{SHG}} = \frac{I_{2\omega}}{I_{\omega}} = \frac{(2\omega)^2}{8\epsilon_0 n_{\omega}^2 n_{2\omega} c^3} \left| \chi_{\text{eff}}^{(2)} \right|^2 \text{sinc}^2(\Delta k z / 2) I_{\omega} z^2.$$

$P_{\text{entrée}}(\omega) = 23\text{dBm}$	$P_{\text{sortie}}(2\omega) = 22\text{mW}$
$P_{\text{entrée}}(\omega) = 20\text{dBm}$	$P_{\text{sortie}}(2\omega) = 5,8\text{mW}$

On constate aisément avec ce tableau de mesure que pour une puissance divisée par 2 en entrée, la puissance en sortie a été divisée par 4. Cela permet de rapidement visualiser la caractère quadratique de l'efficacité.

Lorsque l'on fait varier la température du cristal PPLN on fait varier la taille des différentes portions polarisées dans le cristal. On fait donc varier le vecteur K_{QPM} qui permettra d'atteindre un quasi phase matching.

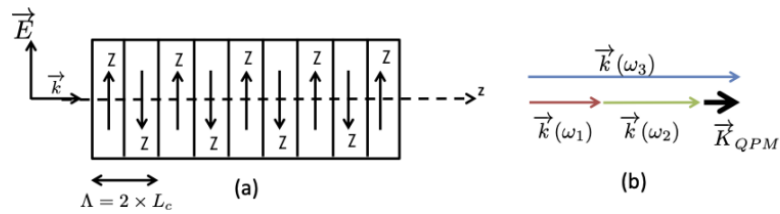


Fig. 4.13. (a) Periodically poled nonlinear crystal with a period set to $\Lambda = 2 \times L_c$ to satisfy the phase matching for the 3 wave interaction depicted in (b).

Figure 10 : Schéma explicatif du Quasi Phase Matching par Nicolas Dubreuil

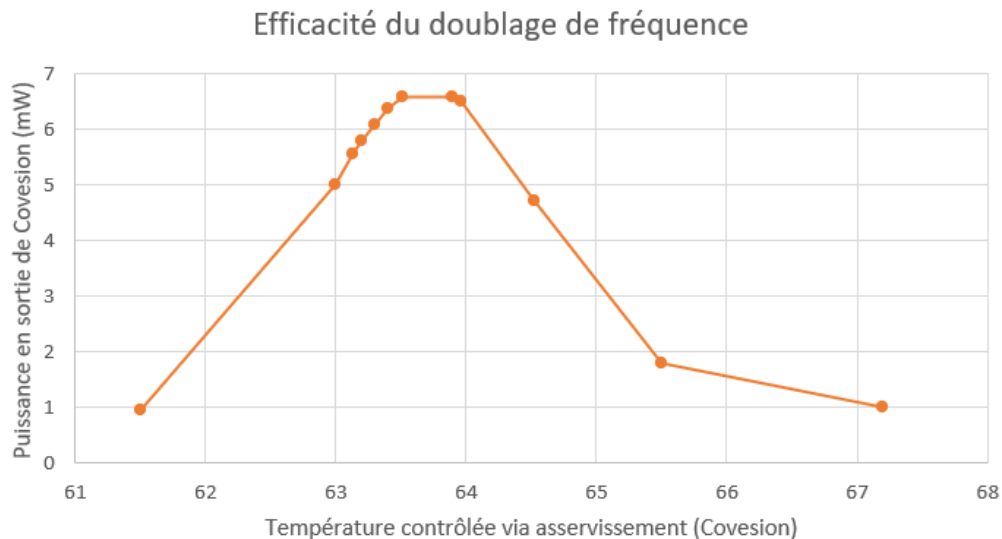


Figure 11 : Puissance en sortie du doubleur Coversion en fonction de la température de commande

Le processus de mesure étant assez long étant donné l'inertie thermique relativement important du doubleur, la précision de ce graphique peut être remise en question. Cela reste néanmoins un bon indicateur du comportement de la conversion en fonction de la dilatation du cristal.

V - Conclusion

Ce TP nous a permis de découvrir et de manipuler du matériel classique utilisé notamment dans la télécommunication, avec la diode laser, les fibres optiques, l'amplificateur ainsi que les doubleurs de fréquence. Nous avons pu constater l'influence du courant de la diode sur la fréquence en sortie de l'amplificateur. Nous avons également pu valider le comportement théorique d'un doubleur de fréquence en observant effectivement l'allure en sinus cardinal ainsi que son comportement quadratique.

Malheureusement, nous n'avons pas été assez efficaces pour finir ce TP et observer la fluorescence atomique du rubidium.