

Réalisation d'un laser à fibre à gain Raman dans l'infrarouge

Journée du COPL

Bernard Déry

Superviseur : Réal Vallée



Le 13 juin 2005



Introduction

- Lasers à fibre à gain Raman : étudiés depuis les années 70
- Permettent de fabriquer des sources laser puissantes dans le proche infrarouge (1-1,5 μm)
- À l'origine, miroirs externes utilisés comme réflecteurs
- Depuis les années 80, utilisation de réseaux de Bragg \rightarrow plus simples à fabriquer mais effets non linéaires indésirables observés

Objectifs

- Concevoir une source fibrée puissante autour de 1150 nm
- Éliminer les instabilités causées par l'effet Brillouin
- Rendre le laser accordable
- Étudier le comportement du laser sous diverses conditions afin de mieux comprendre les différents processus actifs dans la fibre

Plan

1. Théorie

1. Effet Raman
2. Effet Brillouin

2. Réseaux de Bragg

1. Description
2. Compression de Réseaux de Bragg
3. Montage de compression
4. Résultats

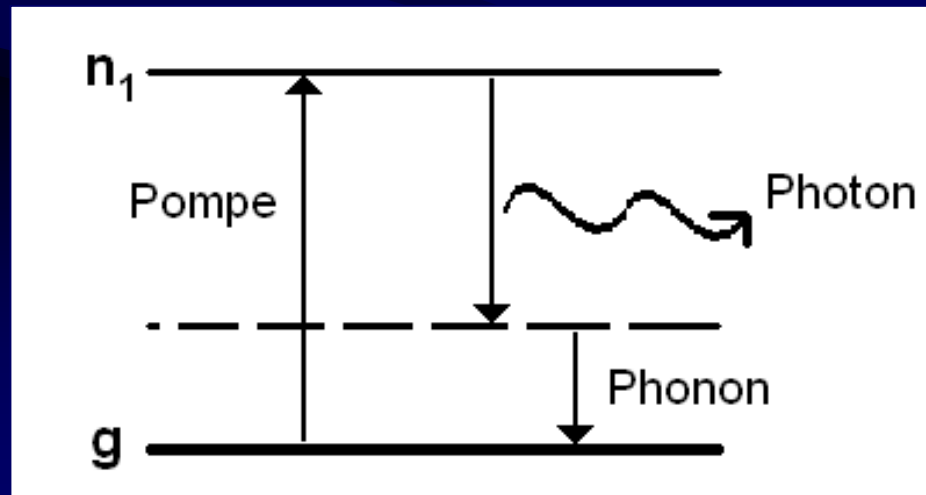
3. Laser à gain Raman

1. Montage
2. Résultats

1. Théorie

1. Effet Raman spontané

- Absorption d'une partie de l'énergie d'un photon incident par une molécule.
- Le photon incident est diffusé, subissant une variation d'énergie (onde de Stokes).
- Un phonon optique est produit.



1. Théorie

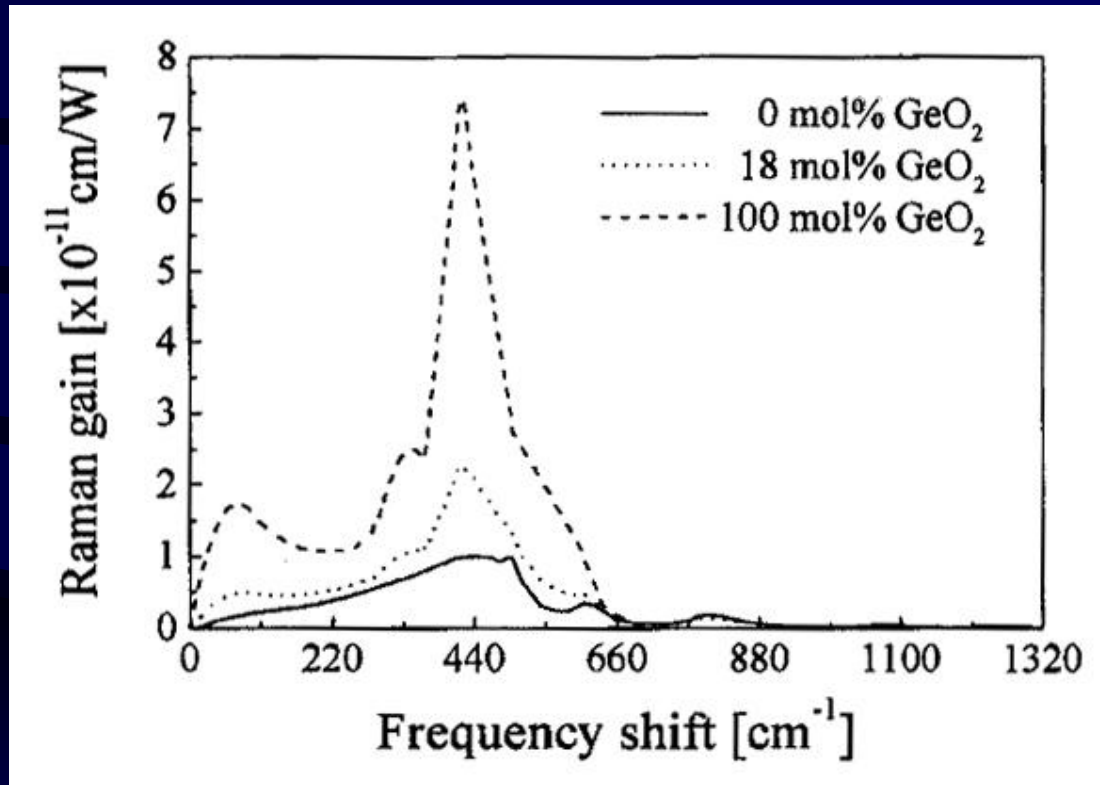
1. Effet Raman stimulé

- Se produit pour une puissance pompe incidente suffisamment élevée.
- Un battement se produit entre l'onde incidente et l'onde de Stokes spontanée.
- Le processus spontané s'entretient et prend de l'importance.
- Après une certaine distance de propagation, le processus devient stimulé.

$$\frac{dI_P}{dz} = \frac{-\omega_P}{\omega_S} g_R I_P I_S - \alpha_P I_P \quad \frac{dI_S}{dz} = g_R I_P I_S - \alpha_S I_S$$

1. Théorie

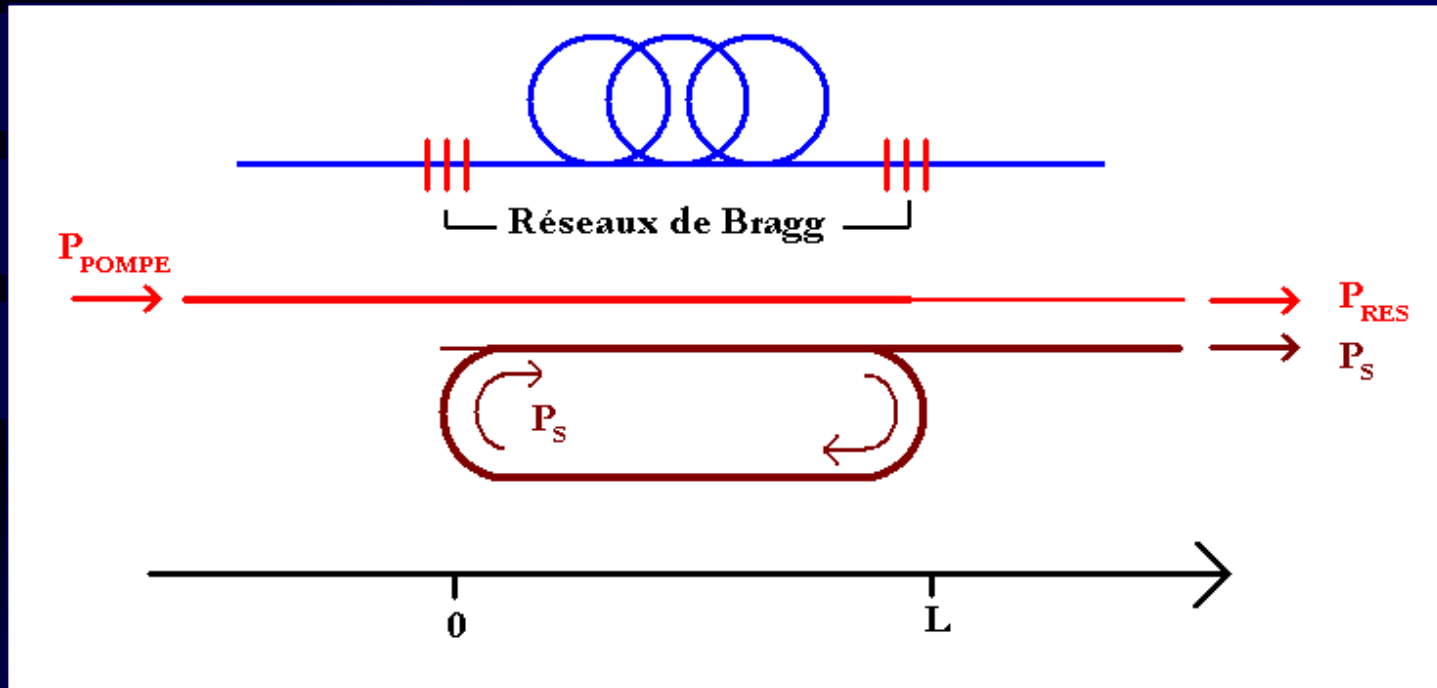
1. Gain Raman



$$g_R \propto [\text{GeO}_2] / \lambda_P$$

1. Théorie

1. Laser à effet Raman



1. Théorie

2. Effet Brillouin

- Phénomène de diffusion (comme l'effet Raman)
- Interaction entre la pompe et l'onde anti-Stokes, produisant un phonon acoustique
- Produit une modulation de l'indice de réfraction, qui agit comme réseau de Bragg, réfléchissant une partie de l'onde incidente

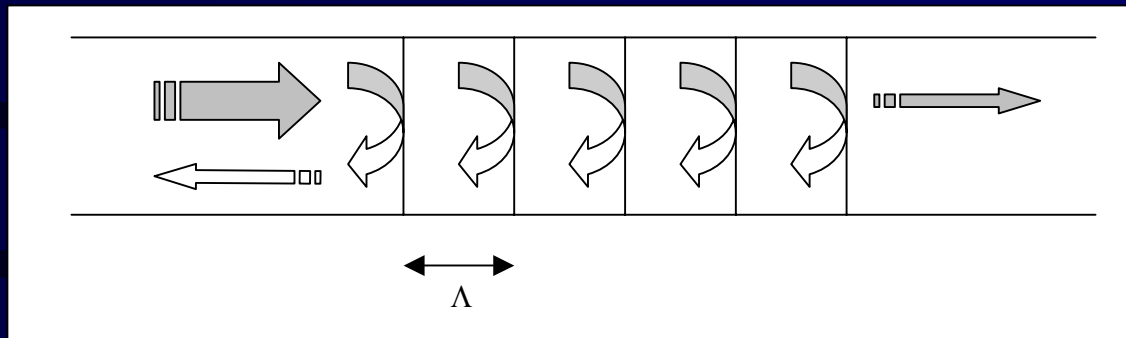
$$\frac{dI_p}{dz} = -g_B I_p I_s - \alpha_P I_p$$

$$\frac{dI_s}{dz} = -g_B I_p I_s - \alpha_S I_s$$

$$g_B \propto \frac{1}{\lambda_p^2 \Delta v_p}$$

2. Réseaux de Bragg

1. Description



- Modulation d'indice effectif périodique
- Réfléchit la longueur d'onde correspondant au pas du réseau Λ
- Quasi-transparent aux autres longueurs d'onde

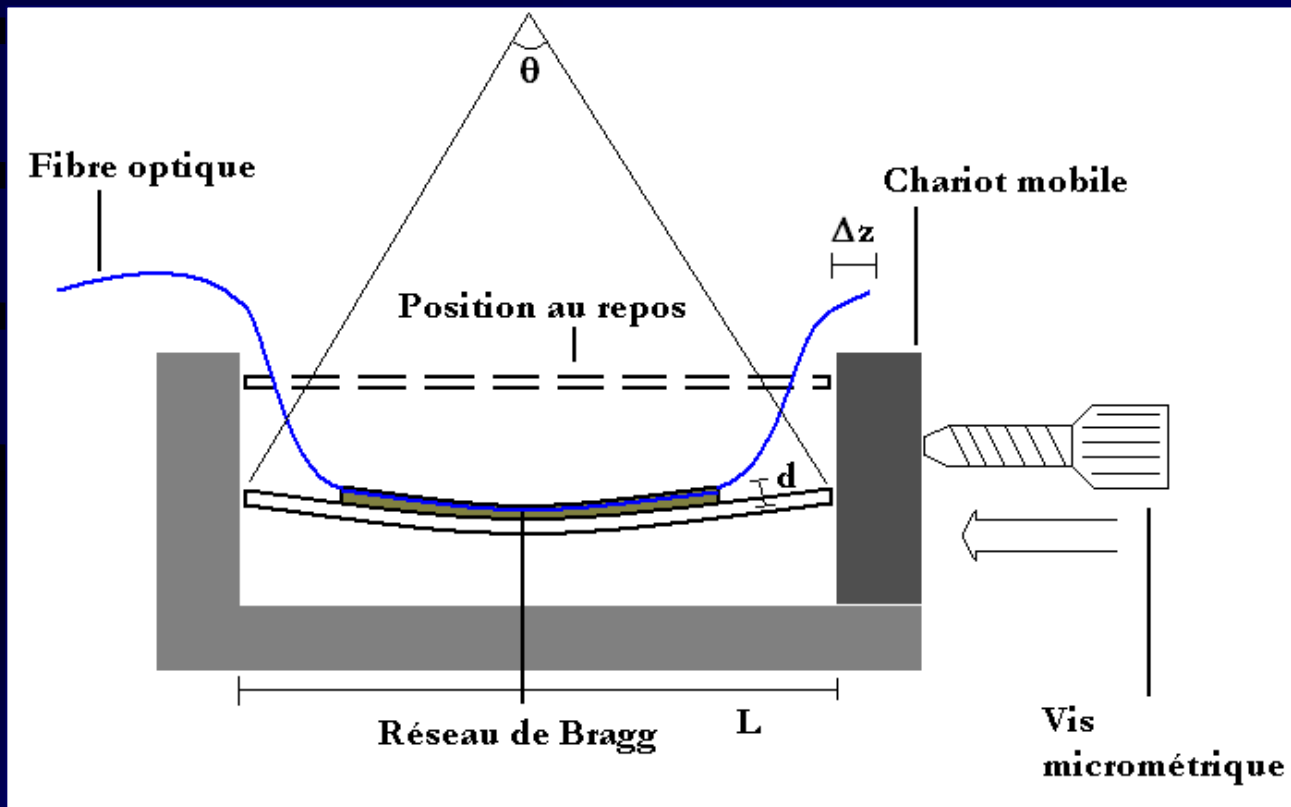
2. Réseaux de Bragg

2. Compression de réseaux

- Principe : compresser un réseau afin d'en changer le pas
- Résultat : variation de λ_B avec peu d'effets sur l'amplitude du réseau
- Permet de changer la longueur d'onde de Stokes d'un laser Raman
- La silice étant beaucoup plus résistante en compression qu'en étirement, il est beaucoup plus avantageux de compresser les réseaux.

2. Réseaux de Bragg

3. Montage de compression

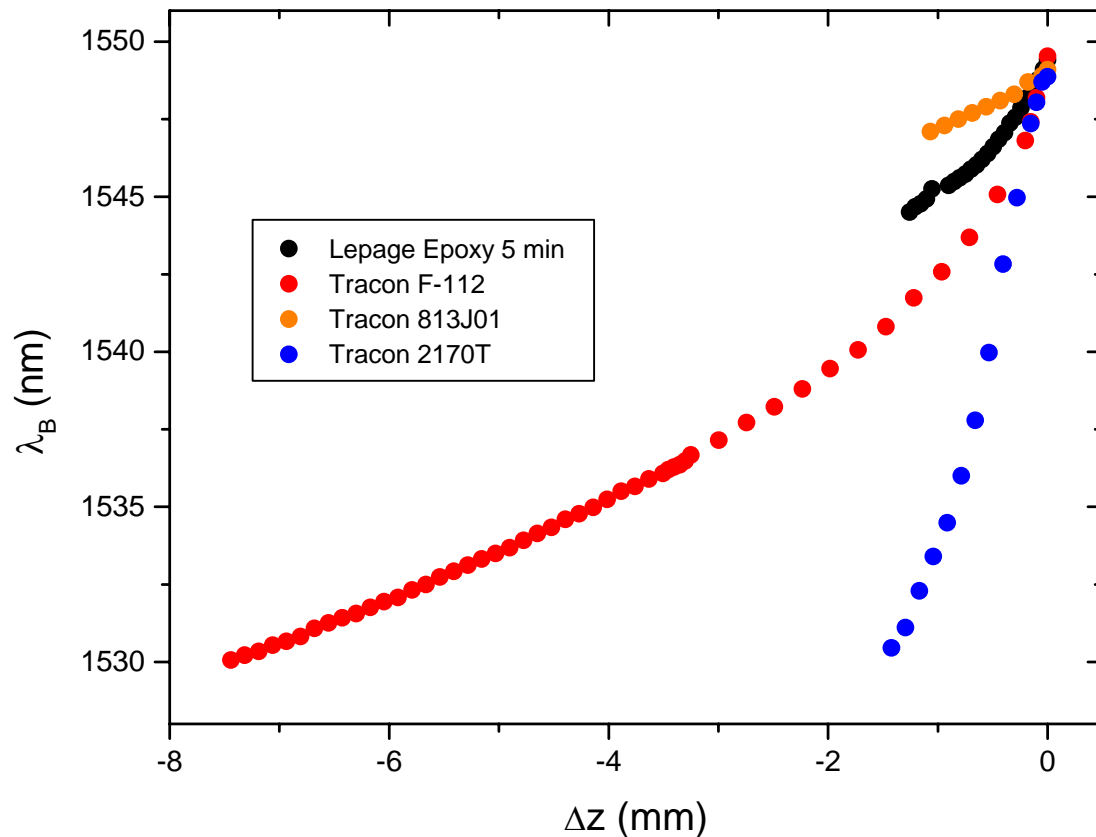


$$\Delta z = L \times \left(1 - \frac{\sin(\theta/2)}{\theta/2} \right)$$

$$\Delta \lambda \approx (p_e - 1) \frac{\theta d}{L} \lambda_B$$

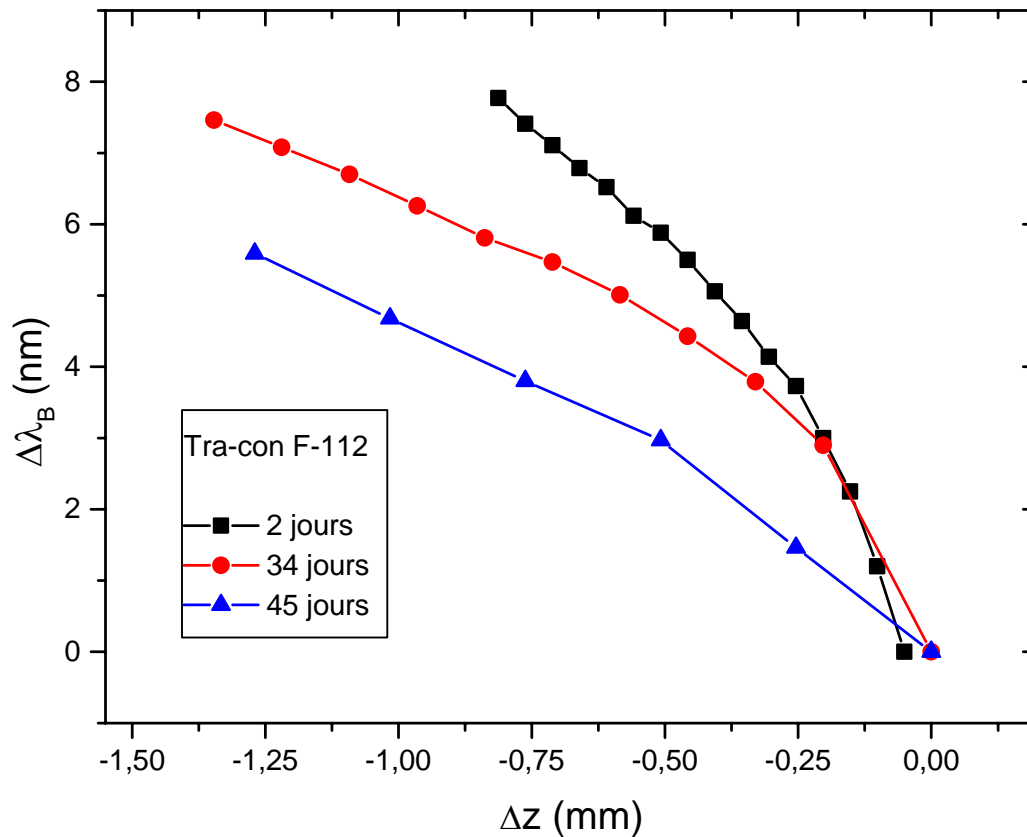
2. Réseaux de Bragg

4. Résultats en fonction de l'adhésif utilisé



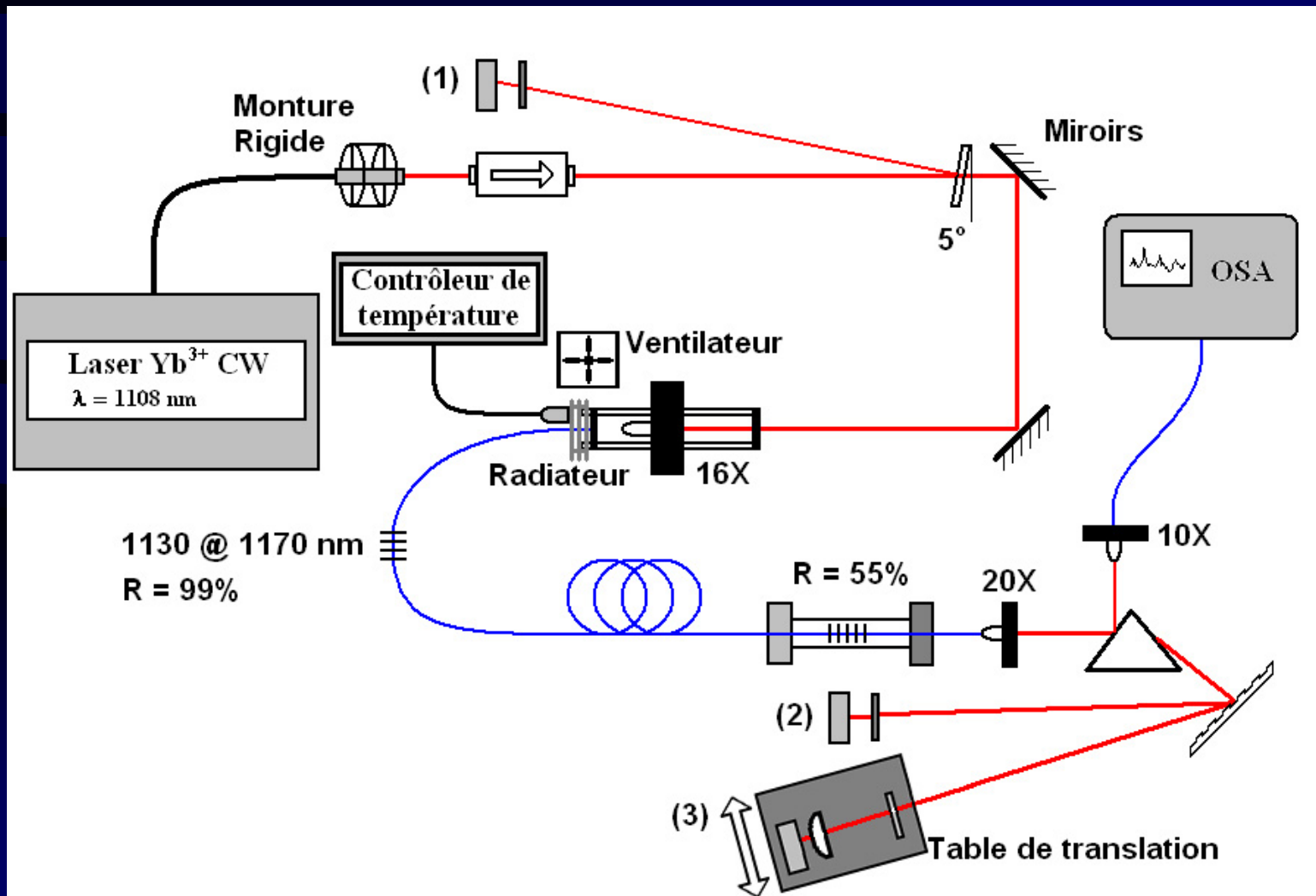
2. Réseaux de Bragg

4. Résultats : stabilité dans le temps



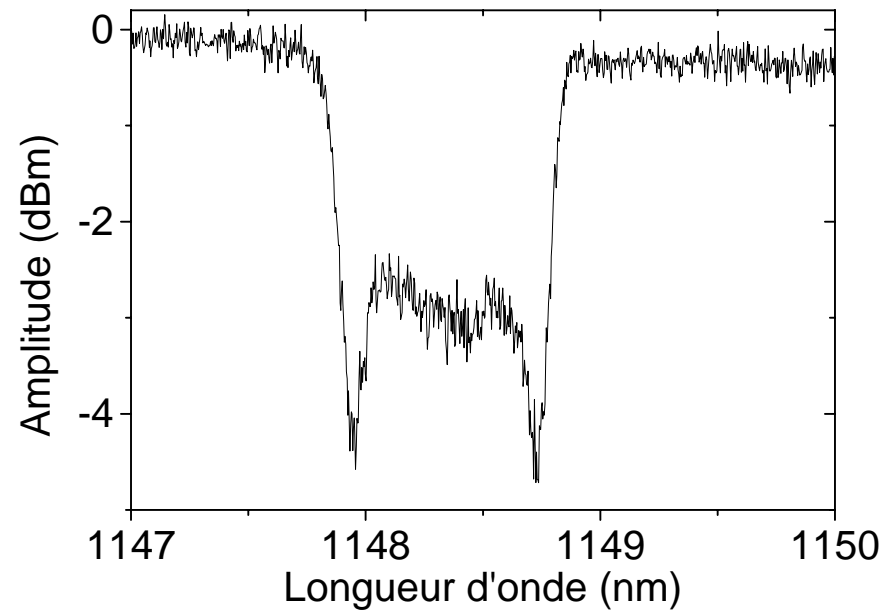
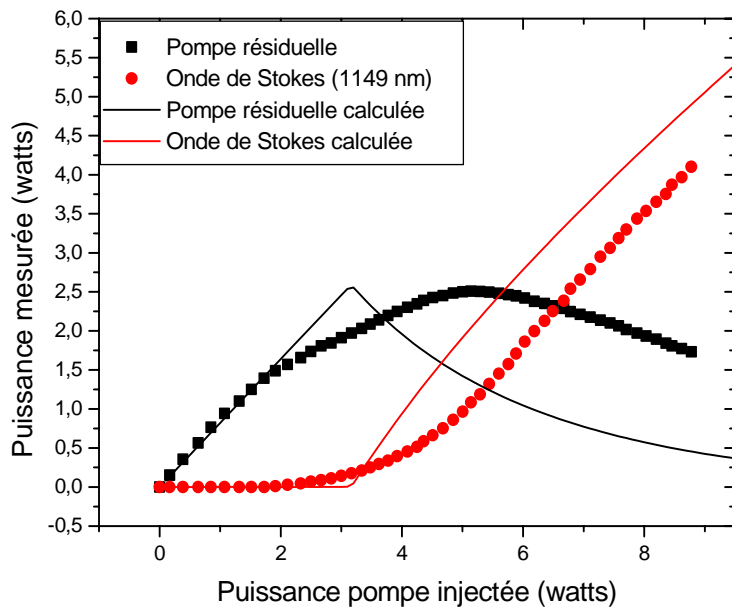
3. Laser à gain Raman

1. Montage



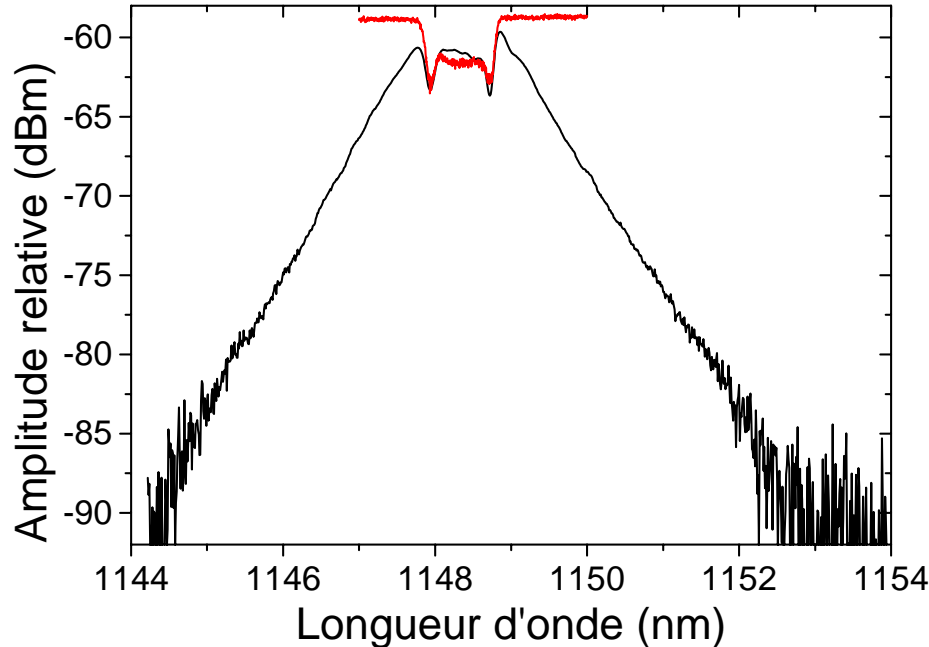
3. Laser à gain Raman

2. Résultats : 1149 nm



3. Laser à gain Raman

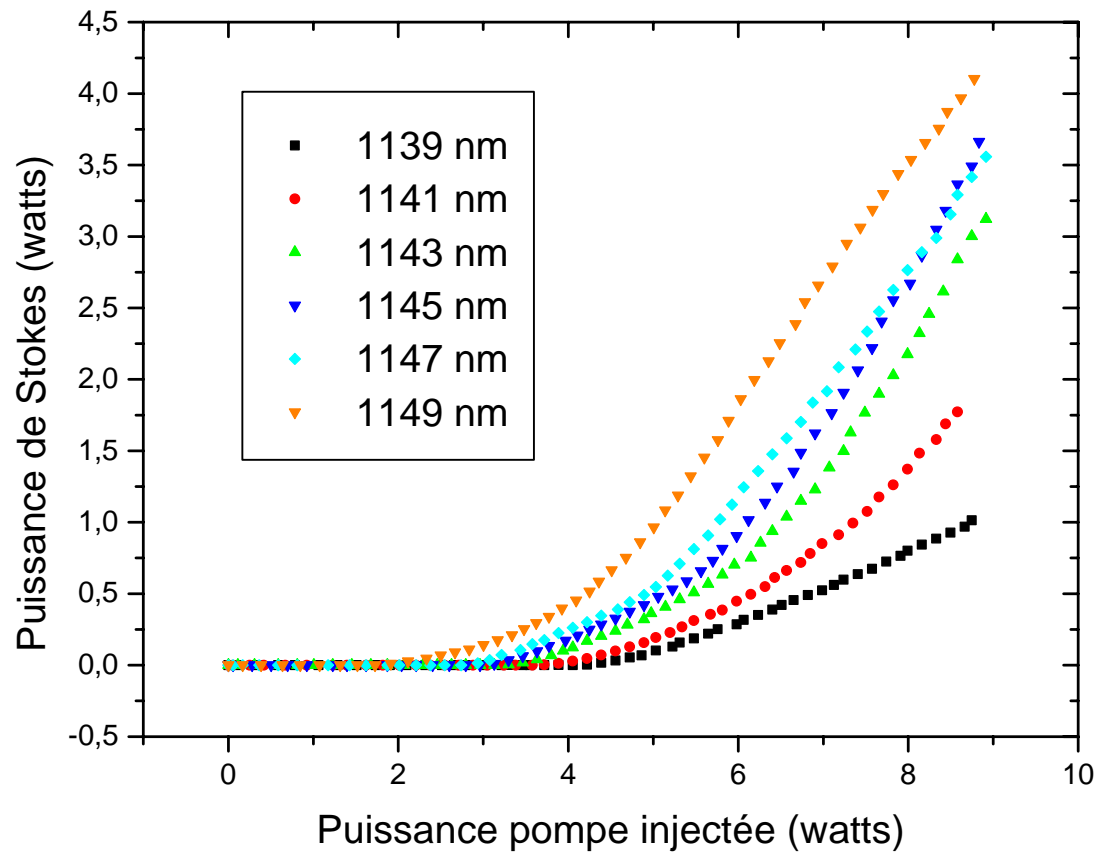
2. Résultats : 1149 nm



- Élargissement spectral symétrique
- Déborde du réseau mais épouse la forme de celui-ci
- Hypothèse : mélange à quatre ondes

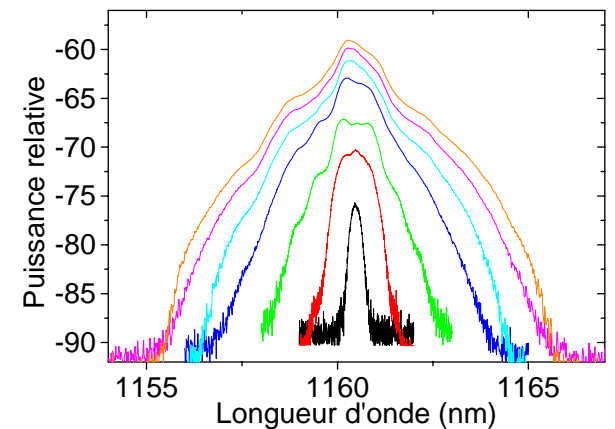
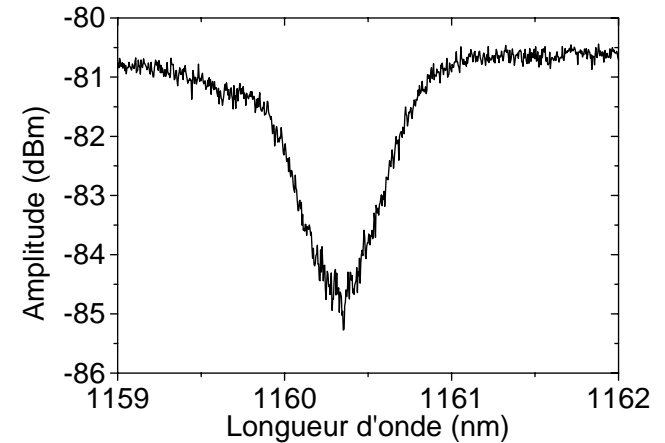
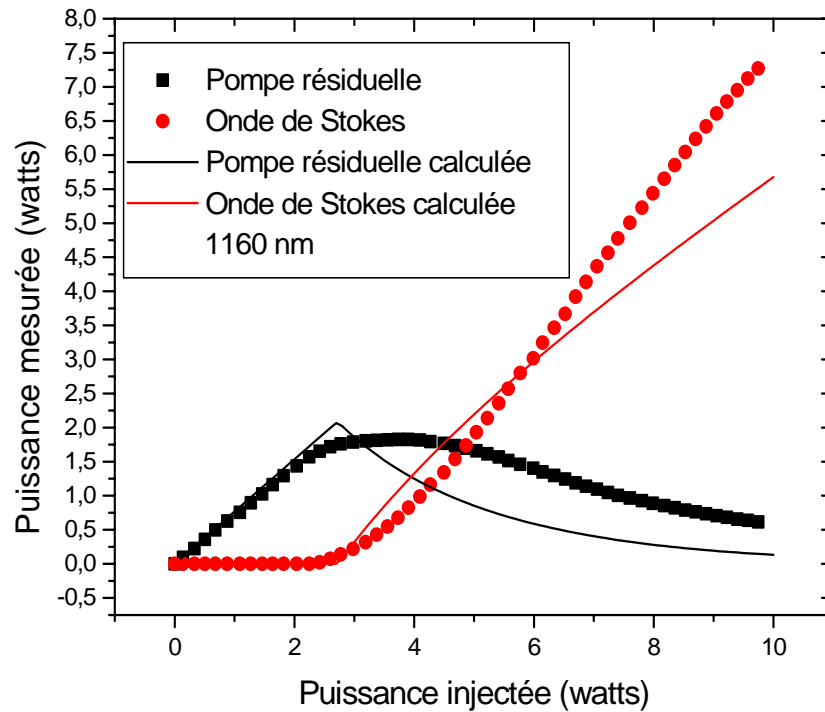
3. Laser à gain Raman

2. Résultats : 1139 à 1149 nm



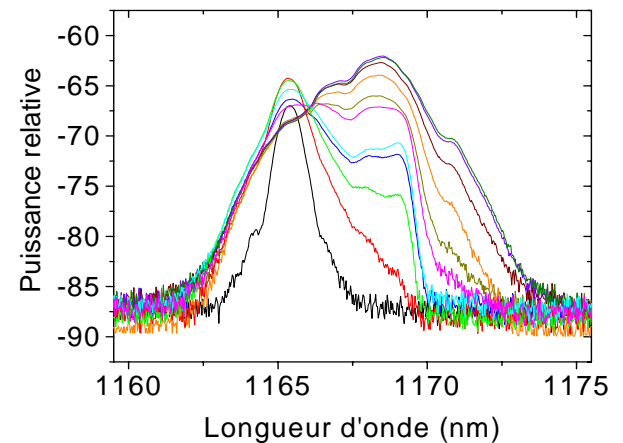
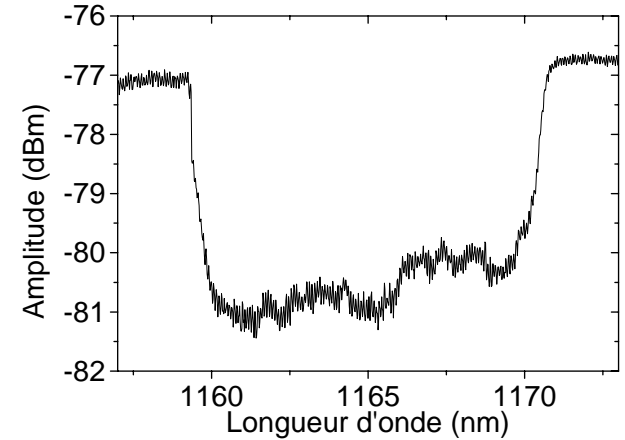
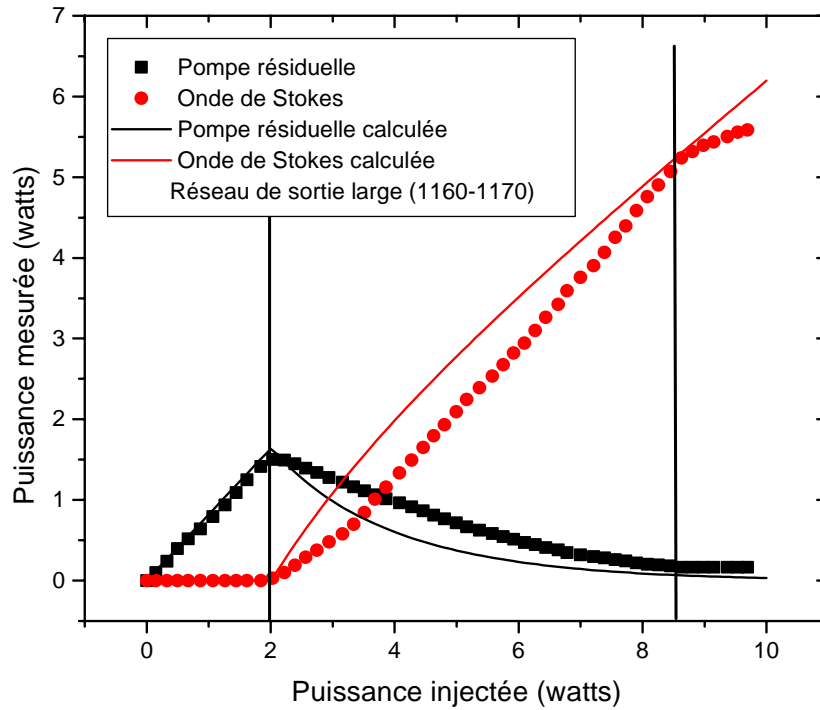
3. Laser à gain Raman

2. Résultats : 1160 nm



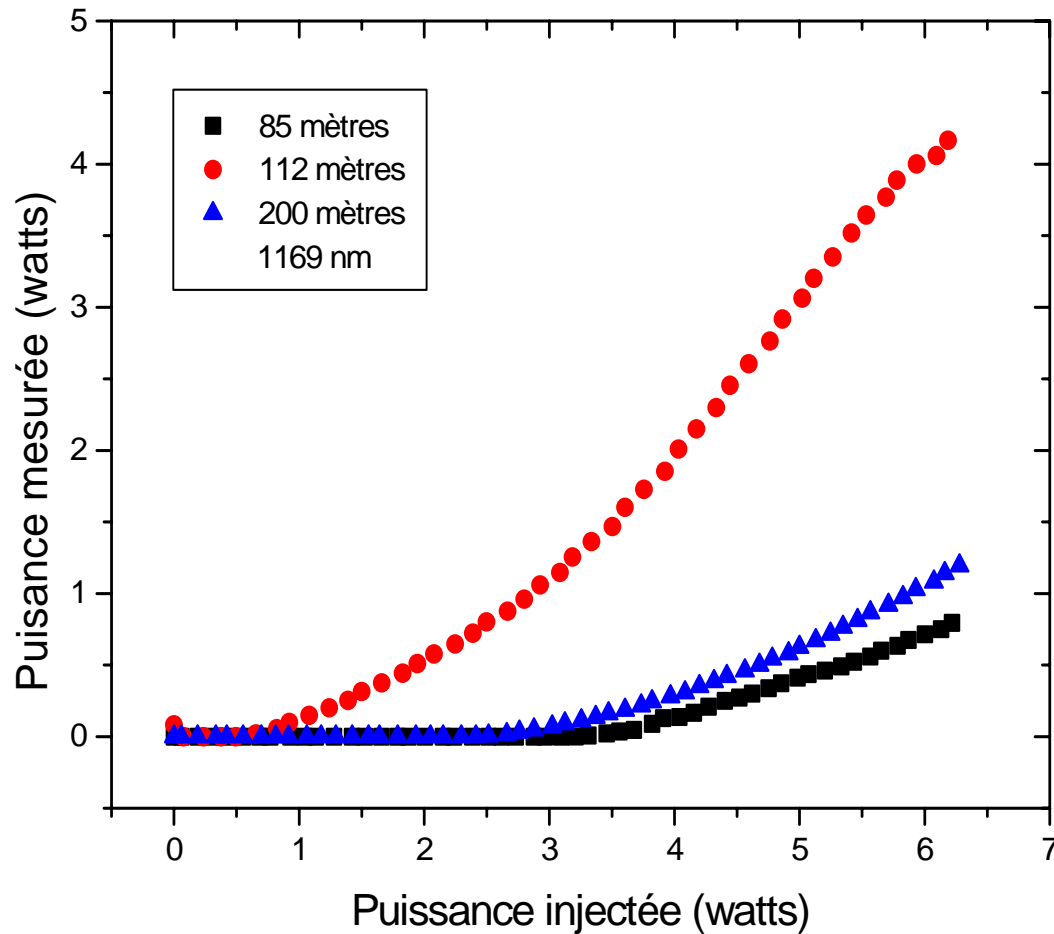
3. Laser à gain Raman

2. Résultats : réseau à large bande



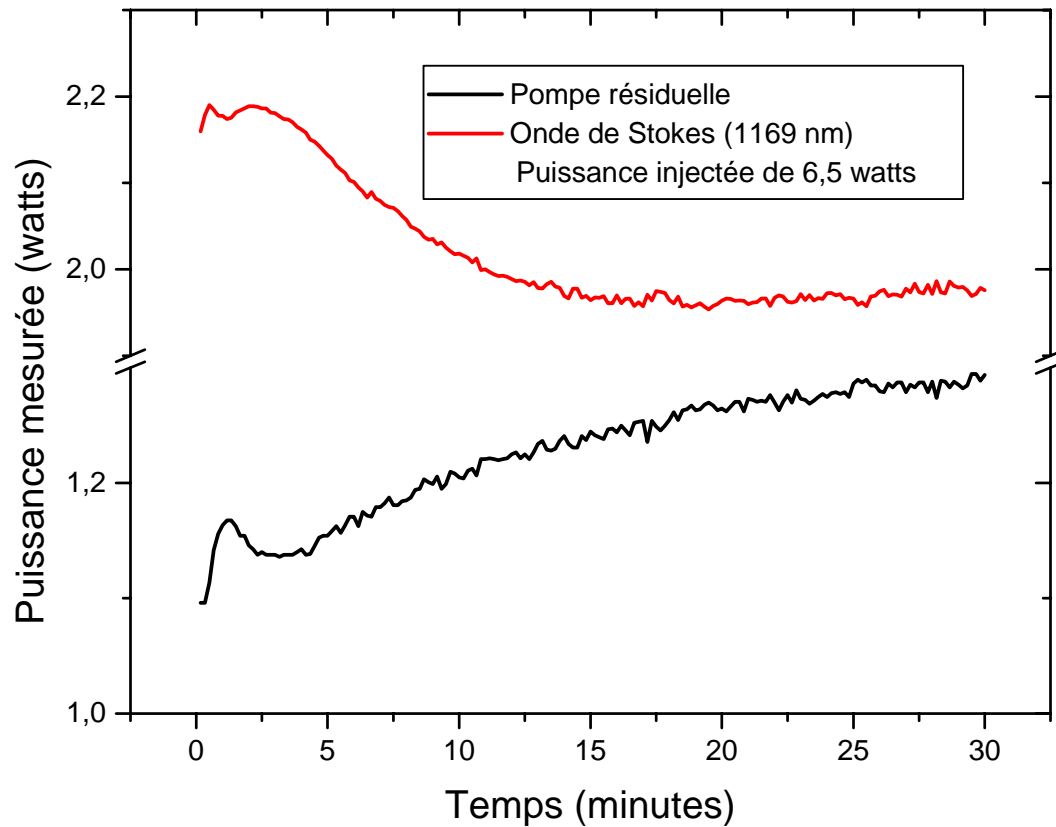
3. Laser à gain Raman

2. Résultats : longueur de cavité



3. Laser à gain Raman

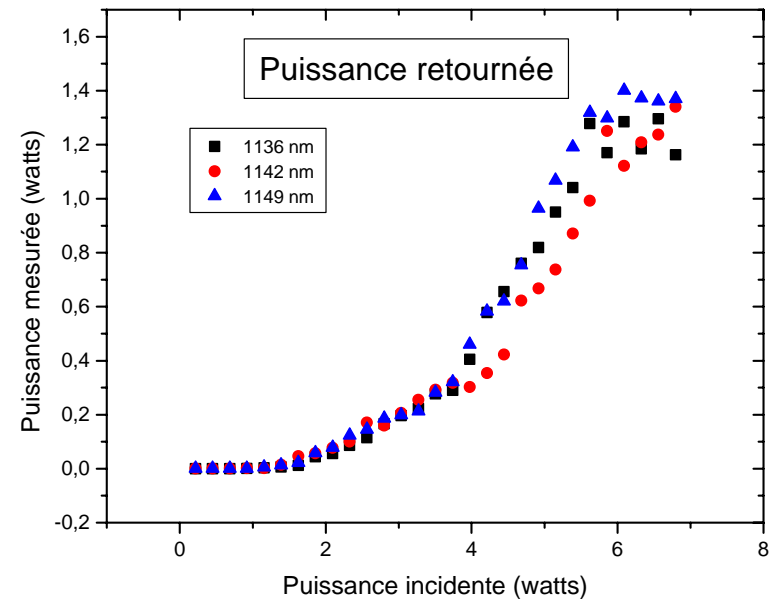
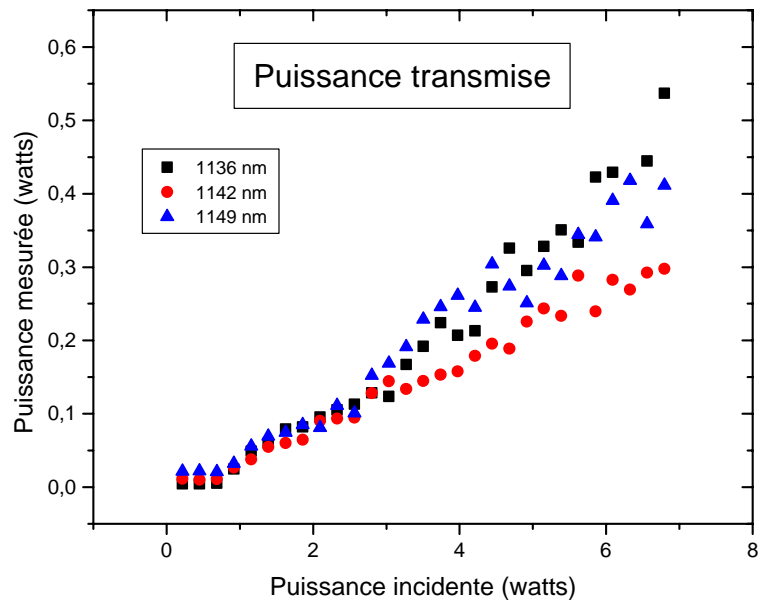
2. Résultats : stabilité temporelle



3. Laser à gain Raman

2. Résultats : Effet Brillouin

- En remplaçant la source large (environ 2 nm à 1108 nm) par un laser Nd: YAG à raie fine (environ 2,3 pm à 1064 nm), le comportement de la fibre change



4. Conclusion

- Fabrication d'un laser puissant (P_{OUT} maximal d'environ 7,3 W)
- Bonne stabilité temporelle, pourrait être améliorée en limitant le nombre de composantes mécaniques (avantage d'un laser tout-fibre)
- Syntonisation théoriquement possible sur plus de 100 nm, a été réalisée sur 20 nm (changer l'adhésif utilisé pour améliorer la durabilité)
- Source large permet d'éviter la génération d'effet Brillouin
- Élargissement spectral crée des divergences entre la théorie et l'expérience, peut être limité en utilisant un coupleur de sortie large

Remerciements

- Réal Vallée pour son support, ses encouragements, et surtout sa confiance.
- Dominic Faucher pour ses idées et nos nombreuses discussions.
- Marc d'Auteuil sans qui le laboratoire ne pourrait fonctionner.
- Martin Bernier et Jean-Philippe Lavoie pour leur aide lors de la fabrication des réseaux de Bragg.