

## Mesure automatisée d'indice de réfraction non linéaire (plate-forme MAT-LAS)

Centre de Physique Moléculaire Optique et Hertzienne (CPMOH)

Université de Bordeaux 1

*Correspondants : L. Sarger*

*Tél. : 05 40 00 61 96, E-mail : l.sarger@cpmoh.u-bordeaux1.fr*

### **Introduction**

De nombreuses expériences ont été réalisées pour caractériser la nonlinéarité optique de matériaux et ceci pour l'optoélectronique ou les systèmes LASER tout solide. Une très bonne connaissance des indices de réfraction non-linéaire de ces matériaux est un passage obligé en vue de leurs applications potentielles. Dans tous les systèmes impliquant LASER, les éléments optiques sont soumis à des forts flux lumineux. Dans le champ des lasers Intenses par exemple, ces matériaux dont le paradigme est la silice fondue, doivent être choisis au regard de la valeur minimale de leur coefficient non linéaire. Dans d'autres applications LASER comme le mode locking, au contraire, on cherchera plutôt à utiliser des matériaux à forte non linéarité non résonantes avec de plus très peu d'absorption non linéaire. Dans le premier cas en effet, l'intensité des faisceaux lumineux employés est telle que la propagation est altérée par l'effet Kerr, et dans le cas du laser MegaJoule, une erreur de 10% sur la valeur du  $n_2$  limite dans les mêmes proportions la définition de l'énergie disponible en bout de chaîne. Dans le deuxième cas, les indices non linéaires les plus élevés, contrôlant l'effet KERR, induisent les processus d'autofocalisation à l'origine de blocages de phase très efficaces des modes d'un LASER. Pour répondre à cette métrologie des propriétés non linéaires de façon précise et sensible, nous avons mis au point une mesure d'absorption transitoire qui permet une mesure absolue de la susceptibilité du troisième ordre en amplitude et en phase, donnant ainsi accès aux valeurs de l'indice non linéaire et au coefficient d'absorption non linéaire.

### **Principe expérimental**

Le schéma expérimental (fig. 1) est conçu autour d'un des oscillateur Laser précédemment décrit. Le faisceau est décomposé en deux bras déséquilibrés par une lame  $\frac{1}{2}$  onde et un cube polariseur. Un bras polarisé P sert de pompe alors que l'autre (polarisation S) sert de sonde.

*Mesures absolues des non linéarités du troisième ordre des matériaux: technique pompe sonde colinéaire*

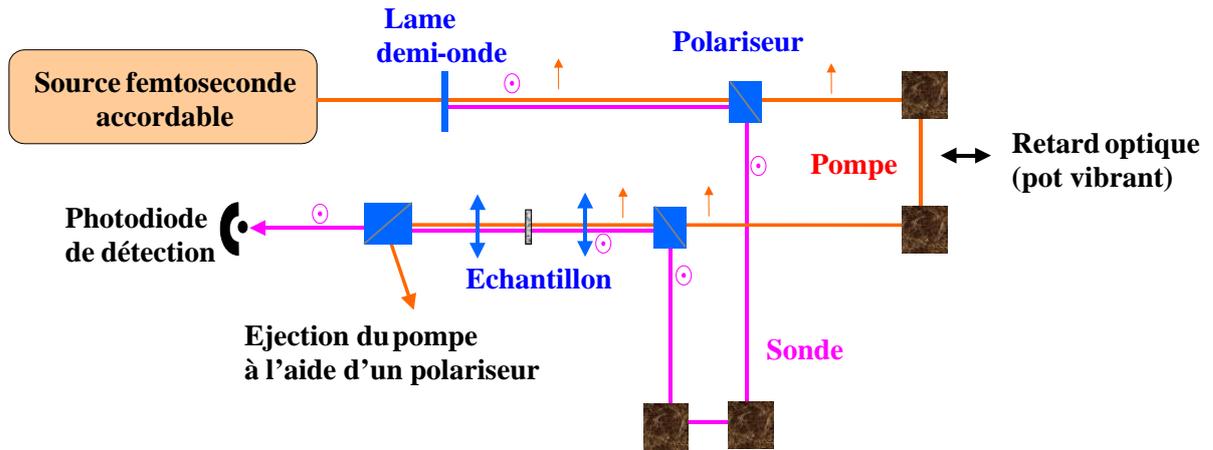


Figure 1 Schéma expérimental

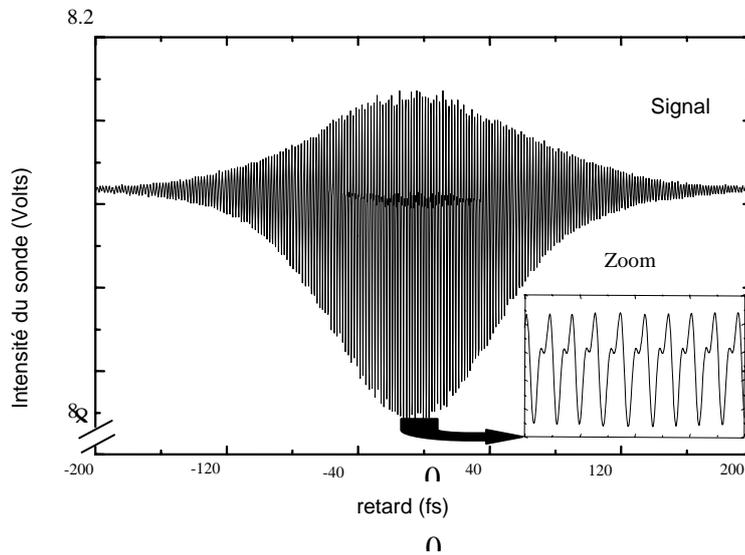
Nous analysons après élimination du faisceau pompe par le prisme de Glan la variation d'intensité sur le sonde en fonction du retard optique  $\tau$  entre les deux faisceaux. Le signal enregistré sur la photodiode de détection (figure 2) présente trois caractéristiques principales :

- Une valeur moyenne reflétant l'absorption non linéaire.

Le comportement oscillatoire a deux origines.

- Le premier est due à une cross-correlation interférométrique entre la fuite éventuelle du faisceau pompe et le sonde. Ce signal a pour argument « temporel » caractéristique  $\omega\tau$  ( $\omega$  est la pulsation optique du laser)
- Le second provenant des éléments non-diagonaux du  $\chi^{(3)}$  via le couplage pompe sonde, renseignent sur la valeur de l'amplitude de la non-linéarité du troisième ordre. Cette contribution présente un argument temporel en  $2\omega\tau$ . Ce sont les franges 'non linéaires'<sup>1</sup>.

Une analyse de Fourier réalisée sur le signal de la figure 2 révèle et ordonne ces différentes contributions au signal. Un déplacement rapide du retard optique à une fréquence de quelques Hertz permet une expérience en quasi temps réel. (Le signal est acquis et échantillonné à 250 KHz). L'analyse rapide par un traitement de Fourier est traitée qui tient compte de la structure transverse du faisceau<sup>2</sup> donne plusieurs fois par seconde une valeur absolue du  $\chi^{(3)}(-\omega;\omega,\omega,-\omega)$ - partie réelle et imaginaire. Comme les paramètres expérimentaux tels que la puissance et la durée d'impulsion sont enregistrés en simultanéité à l'aide de détecteurs photodiodes à un et deux photons, l'exploitation de cette mesure n'est pas affectée par des fluctuations du laser ou du montage expérimental dues à des dérives par exemple Cette technique quasi temps réel



**Figure 2** Signal expérimental dans le silicium à 1.5  $\mu\text{m}$ . Remarquez la superposition des franges linéaires et non-linéaires dans la fenêtre de zoom.

est très importante pour éviter d'éventuels artefacts de mesure liés au positionnement de l'échantillon et aux fluctuations inhérentes des systèmes optiques complexes. Une calibration soignée des paramètres de l'expérience ainsi que l'étude statistique des analyses permet de majorer notre précision sur la mesure absolue à 10%. Les mesures relatives sont elles possibles avec une précision de l'ordre de 1 %.

## Résultats

Voici quelques résultats de caractérisations des propriétés non-linéaires obtenus à la longueur d'onde de 800nm et 400nm.

Nous présentons les variations de l'indice non linéaire dans différents échantillons de silice fondue. Ces verres sont des composants optiques de chaînes lasers de forte puissance (Collaboration avec HERAEUS, CEA-DLP)

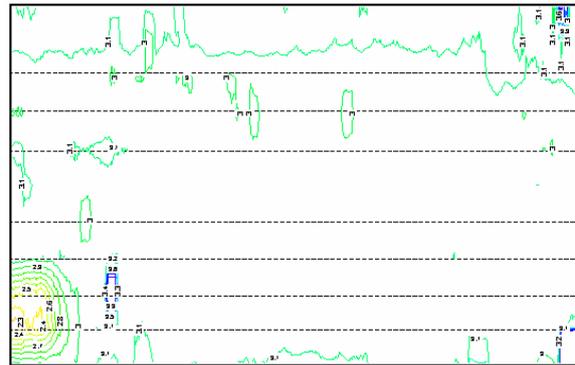
Sur l'ensemble des échantillons de silices que nous avons caractérisés au regard de leurs non-linéarités notre précision de mesures inégalée met en évidence une variation jusqu'à 30% sur l'indice non linéaire de ces verres de silice (tableau 1) en opposition avec la valeur admise dans la littérature qui souvent propose ce matériau comme .

<i>Nom de la silice fondue</i>	<i>Indice non linéaire à 800nm</i> (* $10^{-20} \text{ m}^2/\text{W}$ )	<i>Indice non linéaire à 400nm</i> (* $10^{-20} \text{ m}^2/\text{W}$ )
<i>Heraeus S300</i>	3.50	4.00
<i>Herasil</i>	3.31	3.25
<i>Suprasil</i>	3.27	3.36
<i>Heraeus Homosil</i>	3.06	3.43
<i>Heraeus S1</i>	3.01	3.37
<i>Herasil S1V</i>	3.03	3.39

<i>Suprasil EN1027A</i>	2.77	3.27
<i>F851053</i>	2.70	2.91
<i>Heraeus HI</i>	2.60	3.32
<i>Schott SQ1</i>	2.52	2.84

Tableau 1 : Mesures d'échantillons de silice fondue à 400 et 800nm. Les mesures à 800nm sont absolues. Les mesures à 400nm sont relatives par rapport à l'échantillon S300 dont la valeur a été prise en tenant compte de la dispersion non linéaire. La précision relative des mesures est inférieure à 1% alors que l'incertitude absolue est de l'ordre de 10%.

étalon de mesure. Ces variations ne sont pas liées à une inhomogénéité de composition comme le montre la figure 3. Ces variations ne semblent pas non plus avoir leurs origines dans les faibles quantités d'impuretés des différentes silice car aucune corrélation entre les spectres d'absorption et ces résultats expérimentaux ne peut être établie. L'explication est à rechercher plus vraisemblablement dans les technologies de



**Figure 3** Cartographie de la non linéarité d'un échantillon d'Homosil montrant une grande homogénéité du  $n_2$  ce qui n'est pas le cas sur des verres

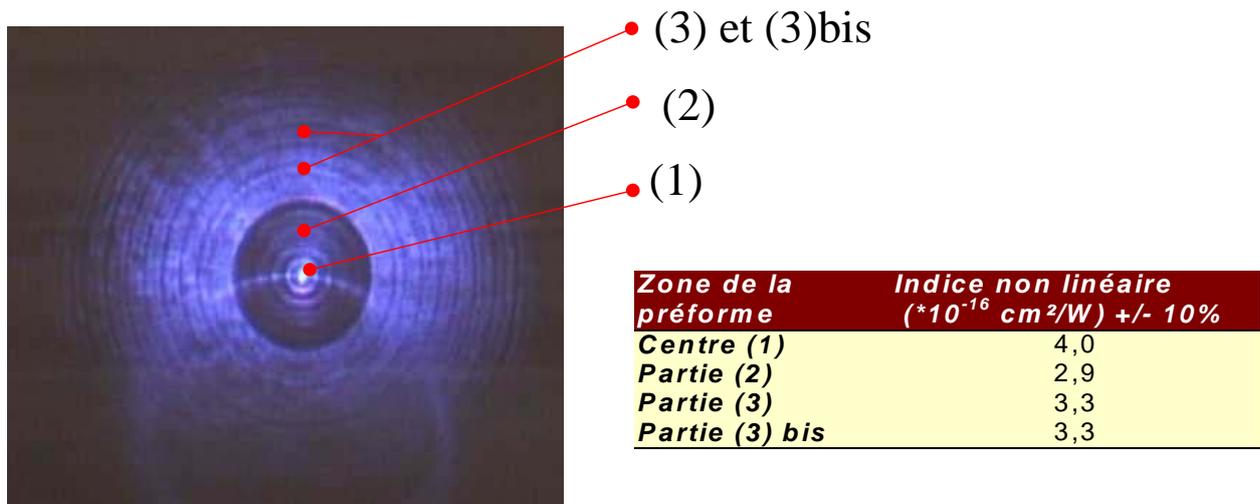
fabrication et notamment dans les procédures industrielles de trempe. Chaque famille (éventuellement fabricant) a une procédure spécifique qui conduit pour une même composition chimique à des structures microscopiques différentes (angle Si-O-Si) et donc à des densités différentes. Des études préliminaires valident cette hypothèse.

L'exemple suivant met en évidence les performances spatiales de l'instrument. En effet, si l'indice non linéaire d'une fibre optique est facile à mesurer (par analyse spectrale par exemple), ces mesures ne donnent néanmoins qu'une moyenne sur l'ensemble de la structure transverse de la fibre. Nous avons pu mesurer la non linéarité d'une préforme de fibre optique à différentes positions par rapport au centre (cœur de la future fibre). Les résultats sont présentés sur la figure 4 et suivent de façon exacte le profil des dopages choisis dans ce cas.

Du côté des fortes non linéarités, des mesures sur des verres expérimentaux composés de tellure, de niobium ou de titane ont permis de mettre en évidence une forte corrélation entre leurs susceptibilité non linéaire et leurs structures spatiales moléculaires, permettant ainsi une ingénierie non linéaire au niveau des matériaux inorganiques<sup>2</sup>

## Conclusion

L'expérience d'absorption transitoire montre une grande efficacité dans la mesure précise et sensible de non linéarité d'origine électronique. La précision de cette technique permet la mesure et la compréhension fine des fortes non linéarités observées dans les verres d'oxydes dédiés à des applications opto-électroniques. La sensibilité de l'expérience permet aussi de discerner les variations structurelles sur des verres de silice ce qui est essentiel pour les applications laser intenses.



**Figure 4** agrandissement d'un préforme de fibre.et mesures correspondantes

## Références

- 1 M.O. Martin, L. Canioni, L. Sarger, Optics Letters, Vol. **23**, N°24, December 15, (1998).
- 2 E. Fargin, A. Berthereau, T. Cardinal, J.J. Videau, A. Villesuzanne, and G. Le Flem, Ann. Chim. Sci. Mater. **23**, 27 (1998).