



**HAL**  
open science

## **Génération de supercontinuum dans des puces photoniques intégrées de silice**

C Khallouf, V T Hoang, G Fanjoux, B Little, S T Chu, D J Moss, R Morandotti, J M Dudley, Benjamin Wetzel, T Sylvestre

### ► **To cite this version:**

C Khallouf, V T Hoang, G Fanjoux, B Little, S T Chu, et al.. Génération de supercontinuum dans des puces photoniques intégrées de silice. OPTIQUE Normandie 2024, SFO, Jul 2024, Rouen, France. <hal-04783207>

**HAL Id: hal-04783207**

**<https://hal.science/hal-04783207v1>**

Submitted on 14 Nov 2024

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



HAL Authorization

# GENERATION DE SUPERCONTINUUM DANS DES PUCES PHOTONIQUES INTEGREES DE SILICE DOPEE A HAUT INDICE

C. Khallouf<sup>1</sup>, V. T. Hoang<sup>2</sup>, G. Fanjoux<sup>1</sup>, B. Little<sup>3</sup>, S. T. Chu<sup>4</sup>, D. J. Moss<sup>5</sup>, R. Morandotti<sup>6</sup>,

J. M. Dudley<sup>1</sup>, B. Wetzel<sup>2</sup>, T. Sylvestre<sup>1</sup>

*1 Institut FEMTO-ST, CNRS-Université de Franche-Comté, 25030 Besançon, France*

*2 XLIM Research Institute, CNRS UMR 7252, Université de Limoges, 87060 Limoges, France*

*3 QXP Technologies Inc., Xi'an, China*

*4 Department of Physics, City University of Hong Kong, Tat Chee Avenue, Hong Kong, China*

*5 Optical Sciences Centre, Swinburne University of Technology, Hawthorn, Victoria, Australia*

*6 INRS-EMT, 1650 Boulevard Lionel-Boulet, Varennes, J3X 1S2, Québec, Canada*

*thibaut.sylvestre@univ-fcomte.fr*

## RESUME

Nous présentons une étude détaillée de la génération de supercontinuum (SC) dans des guides d'ondes optiques intégrés en verre de silice dopée à haut indice, sous diverses longueurs d'onde de pompage, régimes de dispersion, et angles de polarisation. Nous démontrons des spectres supercontinuum allant de 700 nm à 2500 nm lors du pompage en régime de dispersion anormale à 1550 nm. Nous étudions également l'impact des modes de polarisation TE/TM des guides sur la génération de SC.

**MOTS-CLEFS :** *laser, supercontinuum, optique non linéaire, photonique intégrée*

## 1. INTRODUCTION

Ces dernières années ont été marquées par d'importantes avancées scientifiques dans le domaine de la génération de supercontinuum (SC) dans les fibres optiques [1]. Ces sources SC consistent à convertir une radiation laser, initialement monochromatique et impulsionnelle, sur un large spectre continu de l'ultraviolet à l'infrarouge, conférant à ces nouvelles sources une très forte brillance, utile dans de nombreuses applications. Parmi les applications notables des sources SC, citons la tomographie par cohérence optique (OCT), l'imagerie par fluorescence, la détection optique, la spectroscopie d'absorption et la métrologie par peigne de fréquences optiques [1]. Alors que la génération de SC a été beaucoup étudiée dans les fibres optiques durant plus de 20 ans, la recherche actuelle se concentre sur le développement de sources SC compactes et à faible seuil, basées sur des puces photoniques intégrées [2]. En effet, les progrès technologiques récents dans la conception et la fabrication de guides d'ondes intégrés fortement non linéaires stimulent de nouvelles recherches sur les effets non linéaires et la génération de SC dans divers matériaux, explorant même des nouvelles régions du spectre électromagnétique telles que l'infrarouge moyen. La génération de SC a déjà été démontrée dans de nombreuses puces intégrées basées sur des verres ou des semi-conducteurs, tels que la silice, le nitrure de silicium (SiN), le germanium-silicium (SiGe), le dioxyde de titane (TiO<sub>2</sub>), les verres de chalcogénure (As<sub>2</sub>S<sub>3</sub>), AiN, GaAs, LNOI [2]. Parmi ces matériaux non linéaires, la silice dopée à haut indice (Hydex®) se distingue particulièrement en raison de ses multiples avantages, notamment une large fenêtre de transparence, une non-linéarité supérieure à celle de la silice pure, l'absence de porteurs libres et une absorption non linéaire négligeable [3-5].

Dans ce travail, nous rapportons une étude complète de la génération de SC dans ces nouvelles puces photoniques. La figure 1(a) illustre la section transverse du guide intégré. Ce

guide d'ondes comprend un cœur en verre de silice fortement dopé (HDSG, indice  $n=1.7$ ), intégré dans de la silice  $\text{SiO}_2$  sur une couche de silicium sur isolant (SOI) [3]. Le cœur mesure  $1,50 \times 1,52 \mu\text{m}^2$ , ce qui permet un fort confinement du champ et un coefficient non linéaire  $\gamma=250 \text{ W}^{-1}\text{km}^{-1}$  à  $1550 \text{ nm}$ , 125 fois supérieur à une fibre optique. Pour faciliter la connectivité optique, la puce est connectée par des cordons de fibres PM aux deux extrémités. Le guide utilisé est une double spirale de  $50 \text{ cm}$  de long. Les pertes totales ont été mesurées à  $8.9 \text{ dB}$  à  $\lambda=1550 \text{ nm}$  en utilisant un réflectomètre optique à haute résolution (OBR 4600 Luna Tech, voir Fig.1(c)), permettant d'estimer les pertes linéiques à  $0.1 \text{ dB/cm}$ . Les calculs numériques de dispersion des modes TE/TM du guide sont reportés sur la figure 1(b). On peut voir distinctement 4 domaines de dispersion avec 3 longueurs d'onde de dispersion nulle, que l'on peut explorer avec un laser femtoseconde accordable.

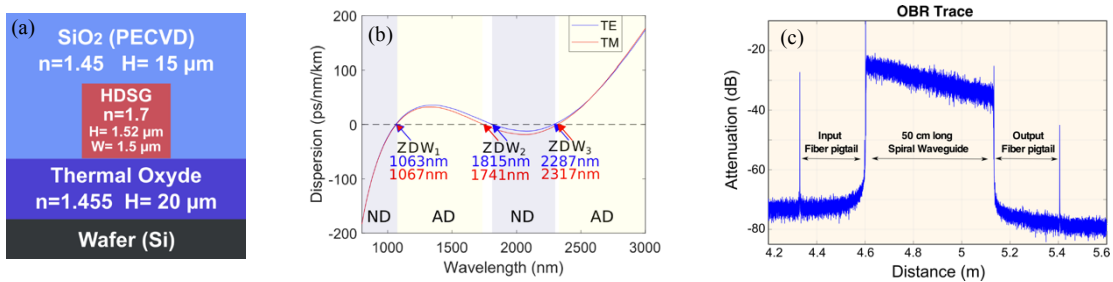


Figure 1 : (a) Section transverse du guide d'ondes en verre de silice fortement dopée (HDSG). (b) Dispersion de vitesse de groupe des 2 modes TE et TM fondamentaux en bleu et rouge avec les longueurs d'onde de dispersion nulle (ZDW) ; ND/AD : dispersion normale/anormale. (c) Trace d'atténuation (OBR) du guide de  $50 \text{ cm}$ .

## 2. RESULTATS EXPERIMENTAUX

La figure 2 présente les spectres SC générés en pompant le guide intégré avec un oscillateur paramétrique optique (OPO) femtoseconde (durée d'impulsion de  $200 \text{ fs}$ ), à un taux de répétition de  $80 \text{ MHz}$ , et dont la longueur d'onde est accordable de  $1 \mu\text{m}$  à  $1.6 \mu\text{m}$  pour le signal, avec des puissances de sortie allant jusqu'à  $1 \text{ W}$ . Pour la caractérisation du supercontinuum, nous avons utilisé deux spectromètres différents : un spectromètre Agilent couvrant la plage de  $600$  à  $2000 \text{ nm}$ , ainsi qu'un spectromètre FTIR Thorlabs couvrant la plage de  $1000$  à  $5600 \text{ nm}$ . Ces instruments nous ont permis d'obtenir une analyse détaillée des spectres sur une large gamme spectrale.

Les figures 2(a) et 2(b) montrent les spectres SC obtenus en pompant le guide à  $1550 \text{ nm}$  dans le régime de dispersion anormale, avec les 2 différents spectromètres. Le SC généré à haute puissance s'étend sur plus d'une octave, de  $700 \text{ nm}$  à presque  $2500 \text{ nm}$ . La dynamique non linéaire dans ce cas fait intervenir des solitons décalés vers l'IR par effet Raman, et des ondes dispersives émises par ces solitons dans le visible. Sur la figure 2(c), nous montrons l'impact de l'angle de polarisation initiale du laser sur la génération de SC. On peut remarquer une différence notable liée principalement aux axes TE/TM du guide. Les figures 2(d-e) montrent l'évolution du spectre SC en pompant respectivement à  $1200 \text{ nm}$  et  $1300 \text{ nm}$ , toujours en dispersion anormale. On obtient dans ces 2 régimes un SC plus plat avec la présence du pic d'absorption  $\text{OH}^-$  à  $1380 \text{ nm}$ , intrinsèque à la puce photonique. Enfin, la figure 2(f) correspond à une longueur d'onde de pompe de  $1000 \text{ nm}$  en régime de dispersion normale, proche de la dispersion nulle  $\text{ZDW}_1$ . Dans ce cas, le SC est beaucoup moins étendu spectralement, puisqu'il est généré uniquement par des effets d'auto-modulation de phase et

de brisure d'ondes (chocs). L'asymétrie spectrale, observée autour de 1100-1200 nm, est la signature de la génération d'ondes dispersives émises par le choc et corrélée à la pente de dispersion du guide.

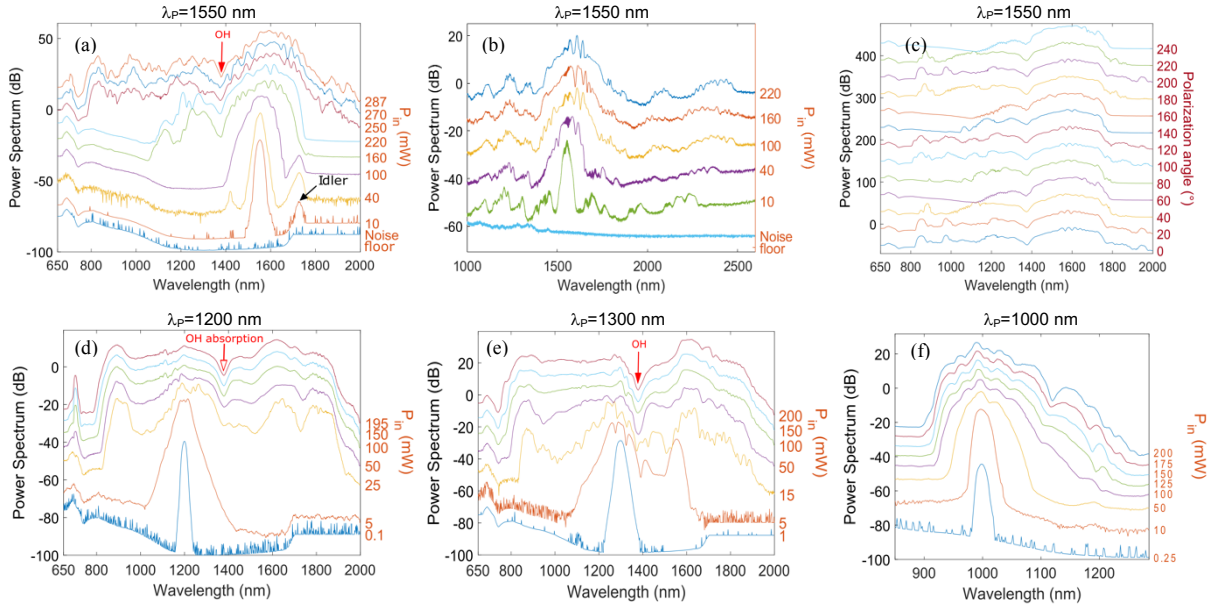


Figure 1 : Spectres optiques SC générés dans le guide intégré de silice à haut indice ( $n=1.7$ ,  $L=50$  cm), en fonction de la puissance moyenne et pour différentes longueurs d'onde de pompe : (a)  $\lambda_p=1550$  nm (spectro Agilent) ; (b)  $\lambda_p=1550$  nm (spectro Thorlabs) ; (c)  $\lambda_p=1550$  nm et différents angles de polarisation linéaire ; (d)  $\lambda_p=1200$  nm ; (e)  $\lambda_p=1300$  nm ; (f)  $\lambda_p=1000$  nm.

## CONCLUSION

Nous avons étudié en détail la génération de supercontinuum dans un guide intégré de silice dopée à haut indice ( $n=1.7$ ,  $L=50$  cm), pompé par un OPO femtoseconde. Différents régimes ont été observés en fonction des longueurs d'onde de pompe et des angles de polarisation. Des simulations numériques de l'équation de Schrödinger non linéaire seront également présentées pour expliquer ces différents régimes. Grâce à leurs propriétés optiques et leur simplicité de fabrication, ces guides intégrés pourraient à terme facilement remplacer les fibres optiques non linéaires dans le développement de sources supercontinuum plus compactes.

## REFERENCES

1. T. Sylvestre et al., "Recent advances in supercontinuum generation in specialty optical fibers [Invited]", JOSA. B 38, 12, F90-F103 (2021).
2. C.-S. Brès et al. "Supercontinuum in integrated photonics: generation, applications, challenges, and perspectives" Nanophotonics 12, no. 7, 1199-1244 (2023).
3. D. Duchesne et al., "Supercontinuum generation in a high index doped silica glass spiral waveguide," Opt. Express 18, 923-930 (2010).
4. D. Moss, R. Morandotti, A. Gaeta, M. Lipson, "New CMOS-compatible platforms based on silicon nitride and Hydex for nonlinear optics," Nature Photon 7, 597-607 (2013).
5. G. Li, et al., "Supercontinuum Generation in Dispersion Engineered Highly Doped Silica Glass Waveguides," Laser Photonics Rev. 17, 2200754 (2023).