



HAL
open science

Propagation non-linéaire de champs partiellement incohérents mais avec une cohérence mutuelle contrôlée

Frédéric Audo, Hervé Rigneault, Christophe Finot

► To cite this version:

Frédéric Audo, Hervé Rigneault, Christophe Finot. Propagation non-linéaire de champs partiellement incohérents mais avec une cohérence mutuelle contrôlée. COLOQ (CONFérence sur les Lasers et l'Optique Quantique), Optique Dijon 2021, Jul 2021, Dijon, France. hal-03247325

HAL Id: hal-03247325

<https://hal.science/hal-03247325>

Submitted on 18 Jun 2021

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.

Frédéric Audo¹, Hervé Rigneault² et Christophe Finot¹

¹ Laboratoire Interdisciplinaire Carnot de Bourgogne, UMR 6303 CNRS-Université de Bourgogne Franche-Comté, 9 avenue, Alain Savary, Dijon
² Aix Marseille Université, CNRS, Centrale Marseille, Institut Fresnel UMR 7249, 13397 Marseille

christophe.finot@u-bourgogne.fr

INTRODUCTION

L'analogie puissante entre les évolutions spatiales et temporelles des ondes optiques a récemment stimulé un nombre important de recherches [1]. En effet, les conséquences temporelles de la dispersion sont formellement identiques à l'évolution spatiale d'un faisceau 1D soumis à la diffraction. Grâce à cette dualité, des analogues temporels aux systèmes bien connus de l'optique cohérente sont exploités.

Le façonnage d'ondes partiellement cohérentes a également été exploré [1], notamment avec quelques études sur l'imagerie temporelle incohérente ou l'imagerie fantôme. En comparaison, la diffraction a attiré beaucoup plus d'attention avec les innombrables travaux étudiant le phénomène de tavelures optiques et la diffusion dans des milieux aléatoires. Récemment, il a été démontré que les propriétés statistiques d'un speckle pouvaient être aisément manipulées en exploitant des singularités [2], grâce à des masques de phase en spirale placés avant la propagation dans un milieu aléatoire. Les masques de phase utilisés (saut de phase de π entre deux points opposés du plan de la pupille) de différentes orientations conduisent alors à des motifs de speckle complémentaires, i.e. les maxima et minima d'intensité sont échangés.

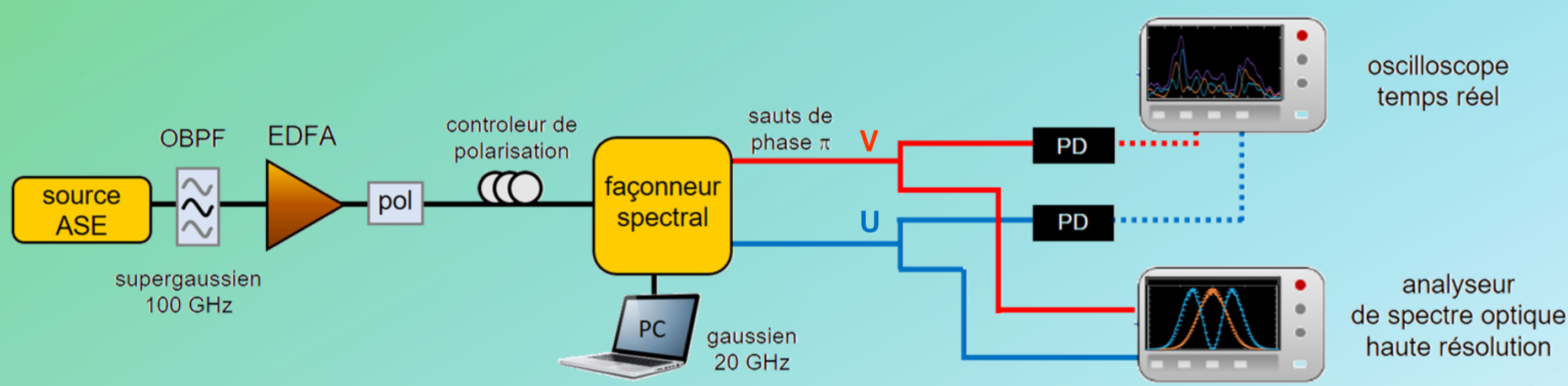
Nous étudions ici théoriquement et expérimentalement une situation similaire dans le domaine temporel en exploitant un façonnage spectral capable de générer deux champs stochastiques avec des propriétés complémentaires grâce à une opération de dérivation tout optique. En mettant en œuvre un multiplexage en polarisation, nous confirmons que la corrélation mutuelle entre les deux signaux aléatoires se maintient au cours d'une propagation dispersive dans une fibre optique. En présence de non-linéarité Kerr, des changements significatifs interviennent en raison notamment de la modulation de phase croisée [3].

GENERATION ET CARACTERISATION

PRINCIPE

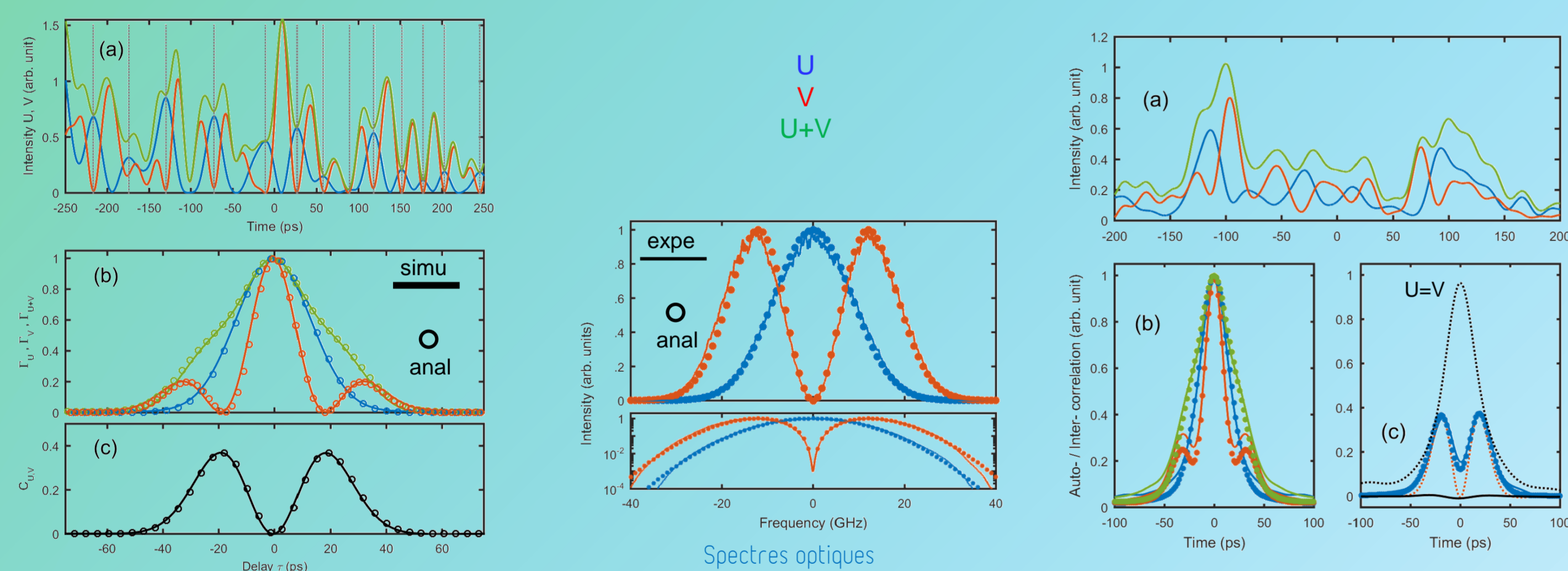
- On cherche à générer un champ corrélé à $\psi(t)$ en réalisant une opération de dérivation optique.
- La dérivation se traduit dans le domaine fréquentiel par une multiplication du champ spectral par $i\omega$.
- Cette opération est effectuée en appliquant un filtre spectral en intensité de forme parabolique combiné avec un saut de phase de π à la fréquence centrale.

MONTAGE EXPERIMENTAL



- Le montage repose uniquement sur des éléments typiques des télécommunications optiques.
- Le façonnage linéaire est spectral grâce à une technologie à cristaux liquides sur silicium.
- Les deux champs aléatoires générés sont évalués à travers leurs spectres optiques et leurs signaux d'auto- et d'inter- corrélations en intensité mesurés à partir d'une mesure sur une photodiode rapide.

GENERATION DES PROFILS : THEORIE ET EXPERIENCE



SIMULATION NUMERIQUES : (a) Evolution temporelle de U, V et U+V. (b) Signaux d'auto-corrélation (c) Signal d'inter-corrélation

EXPERIENCES : (a) Evolution temporelle de U, V et U+V. (b) Signaux d'auto-corrélation. (c) Signaux d'inter-corrélation

- Les expériences reproduisent les attentes théoriques au niveau temporel et spectral.
- La bande passante de la détection doit être prise en compte pour un accord quantitatif.
- Les caractéristiques des signaux peuvent être prédites analytiquement.

champs impliqués :

$$u(\omega) \propto \exp\left[-2\ln(2)\frac{\omega^2}{\Omega^2}\right] \exp(i\varphi(\omega)).$$

$$v(\omega) \propto \omega^2 \exp\left[-4\ln(2)\frac{\omega^2}{\Omega^2}\right] \exp[i\varphi(\omega) + \pi H(-\omega)].$$

auto-corrélation :

$$\Gamma_U(\tau) = \Gamma_V(\tau) \left[1 - 2\ln(2)\frac{\tau^2}{T^2}\right]^2$$

$$\Gamma_V(\tau) = \exp\left[-2\ln(2)\frac{\tau^2}{T^2}\right]$$

inter-corrélation :

$$\Gamma_{U+V}(\tau) = \Gamma_U(\tau) \left[1 + 2\ln(2)\frac{\tau^2}{T^2}\right]^2$$

$$C_{U,V} = 2\ln(2)\frac{\tau^2}{T^2} \Gamma_U(\tau)$$

REFERENCES

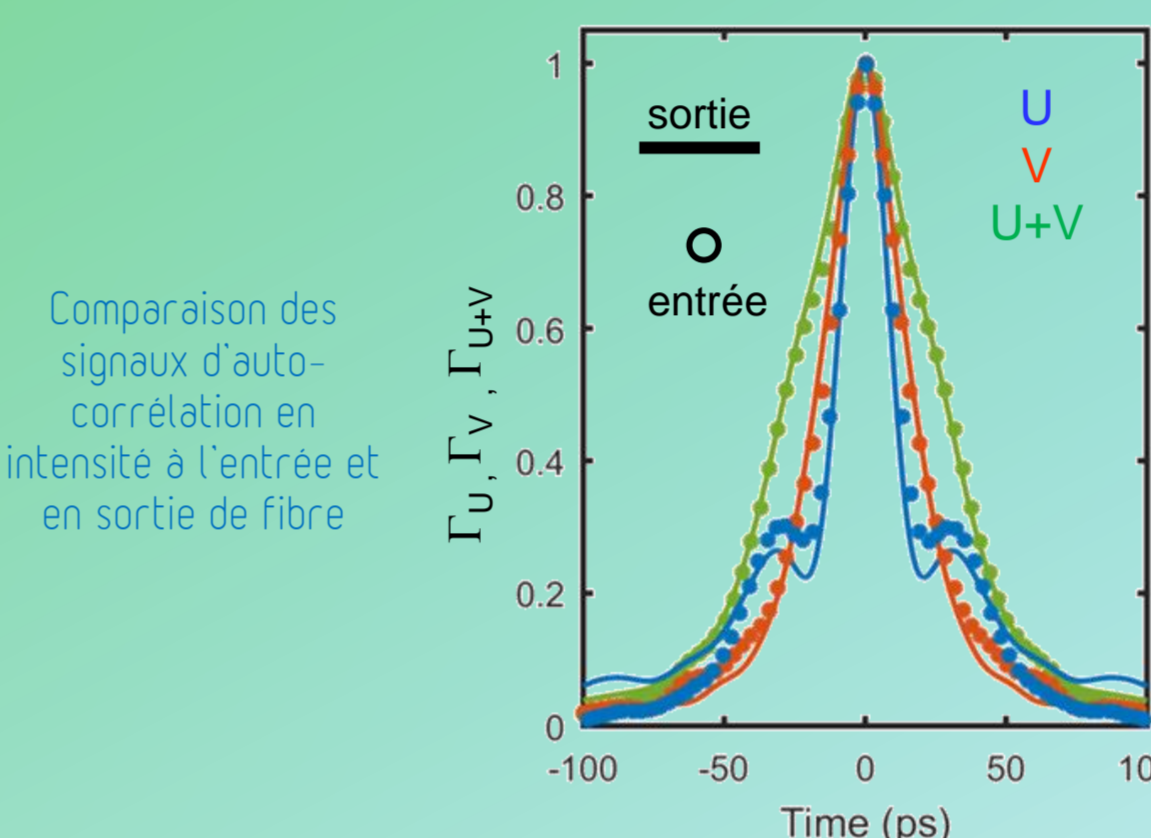
- [1] V. Torres-Company, J. Lancis, and P. Andrés, "Chapter 1 - Space-Time Analogies in Optics," in Progress in Optics, E. Wolf, ed. (Elsevier, 2011), pp. 1-80.
- [2] J. Gateau, H. Rigneault, and M. Guillon, "Complementary speckle patterns: deterministic interchange of intrinsic vortices and maxima through scattering media," Phys. Rev. Lett. 118, 043903 (2017).
- [3] F. Audo, H. Rigneault, and C. Finot, "Linear and nonlinear fiber propagation of partially coherent fields exhibiting temporal correlations," Ann. Phys. (Berl.), 1900597 (2020).
- [4] M. Gilles, P. Y. Bony, J. Garnier, A. Picozzi, M. Guasoni, and J. Fatome, "Polarization domain walls in optical fibres as topological bits for data transmission," Nat. Photon. 11, 102 (2017).



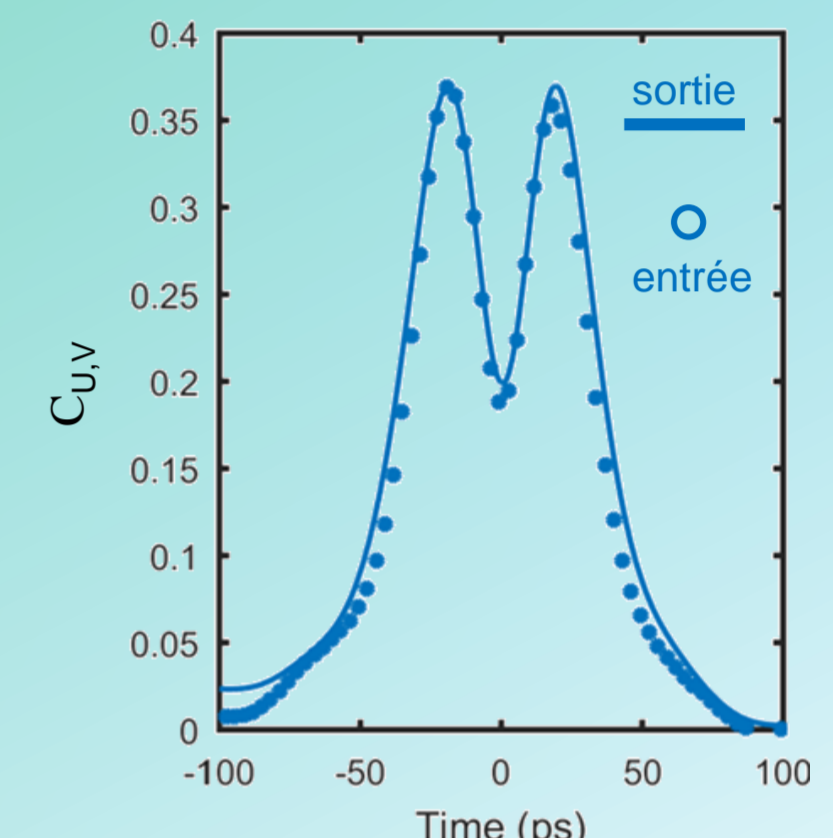
PROPAGATION LINEAIRE ET NON-LINEAIRE

RESULTATS APRES PROPAGATION DISPERSIVE DANS UNE FIBRE

- Une fibre optique hautement dispersive de longueur 13 km est utilisée.
- Un multiplexage / démultiplexage en polarisation permet d'avoir exactement la même distance de propagation.



Comparaison des signaux d'auto-corrélation en intensité à l'entrée et en sortie de fibre



Comparaison des signaux d'inter-corrélation en intensité à l'entrée et en sortie de fibre

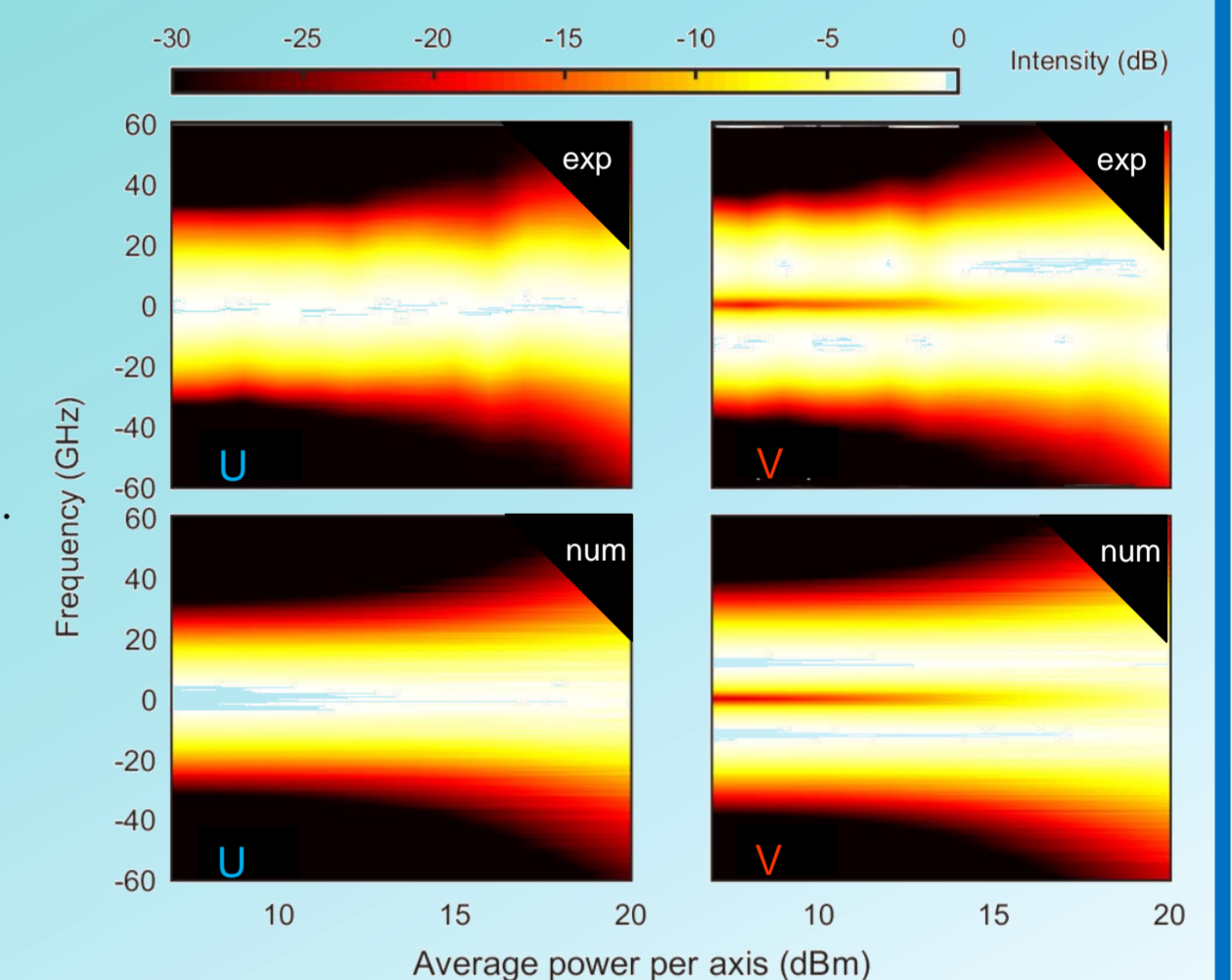
- La propagation dispersive ne modifie pas les propriétés statistiques des deux champs.

PROPAGATION NON-LINEAIRE : MODELISATION ET ASPECT SPECTRAL

- Propagation dans une fibre à dispersion décalée normale de 10 km avec une dispersion normale $\beta_2 = 18.2 \text{ ps}^2/\text{km}$, une non-linéarité γ de 2.2 /W/km et des pertes α de 0.2 dB/km.

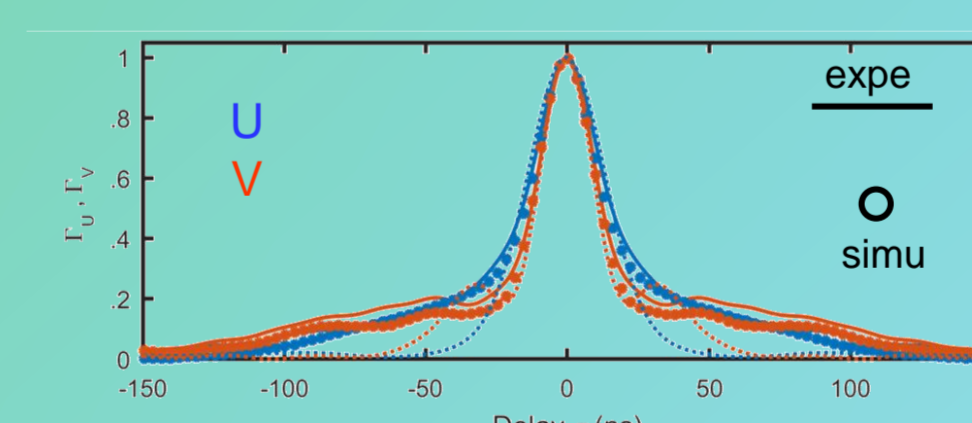
- La propagation non-linéaire suivant les deux polarisations est régie par l'équation de Manakov, i.e. 2 équations de Schrödinger non-linéaires couplées.

$$\begin{cases} i\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\beta_2}{2}\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} + \frac{8}{9}\gamma(|u|^2 + |v|^2)u + i\frac{\alpha}{2}u = 0, \\ i\frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\beta_2}{2}\frac{\partial^2 v}{\partial t^2} + \frac{8}{9}\gamma(|u|^2 + |v|^2)v + i\frac{\alpha}{2}v = 0 \end{cases}$$



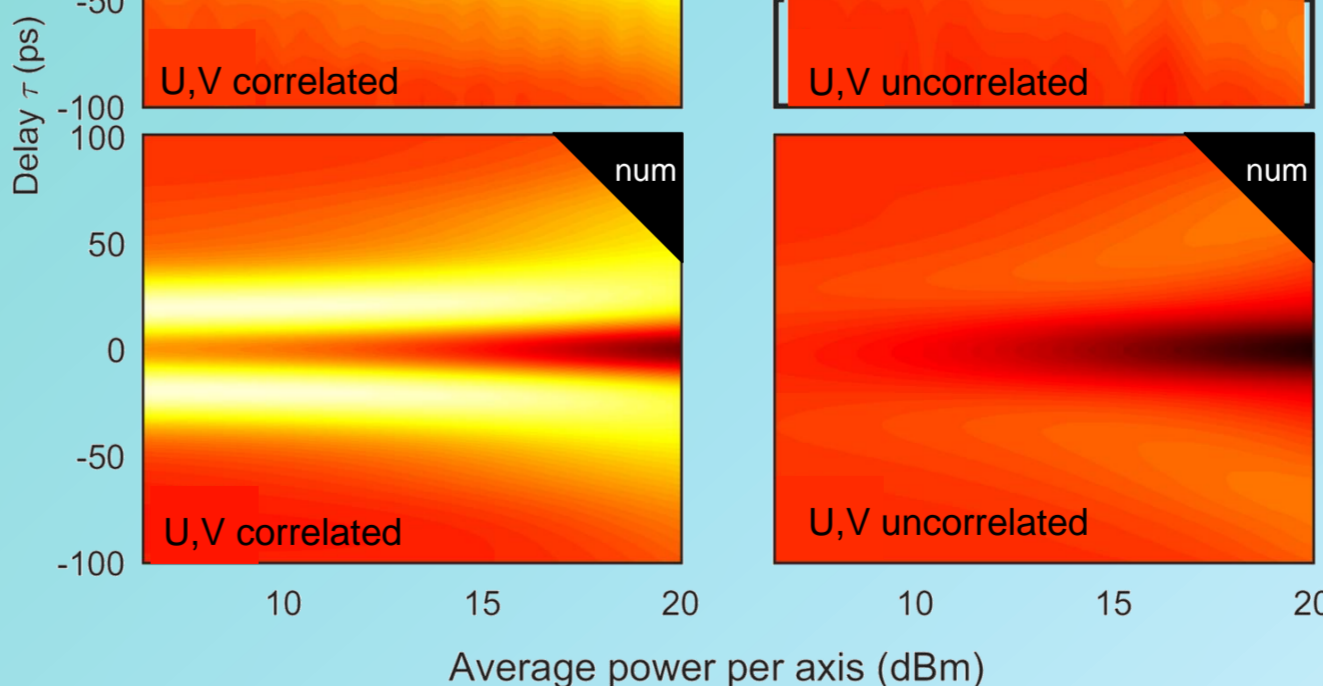
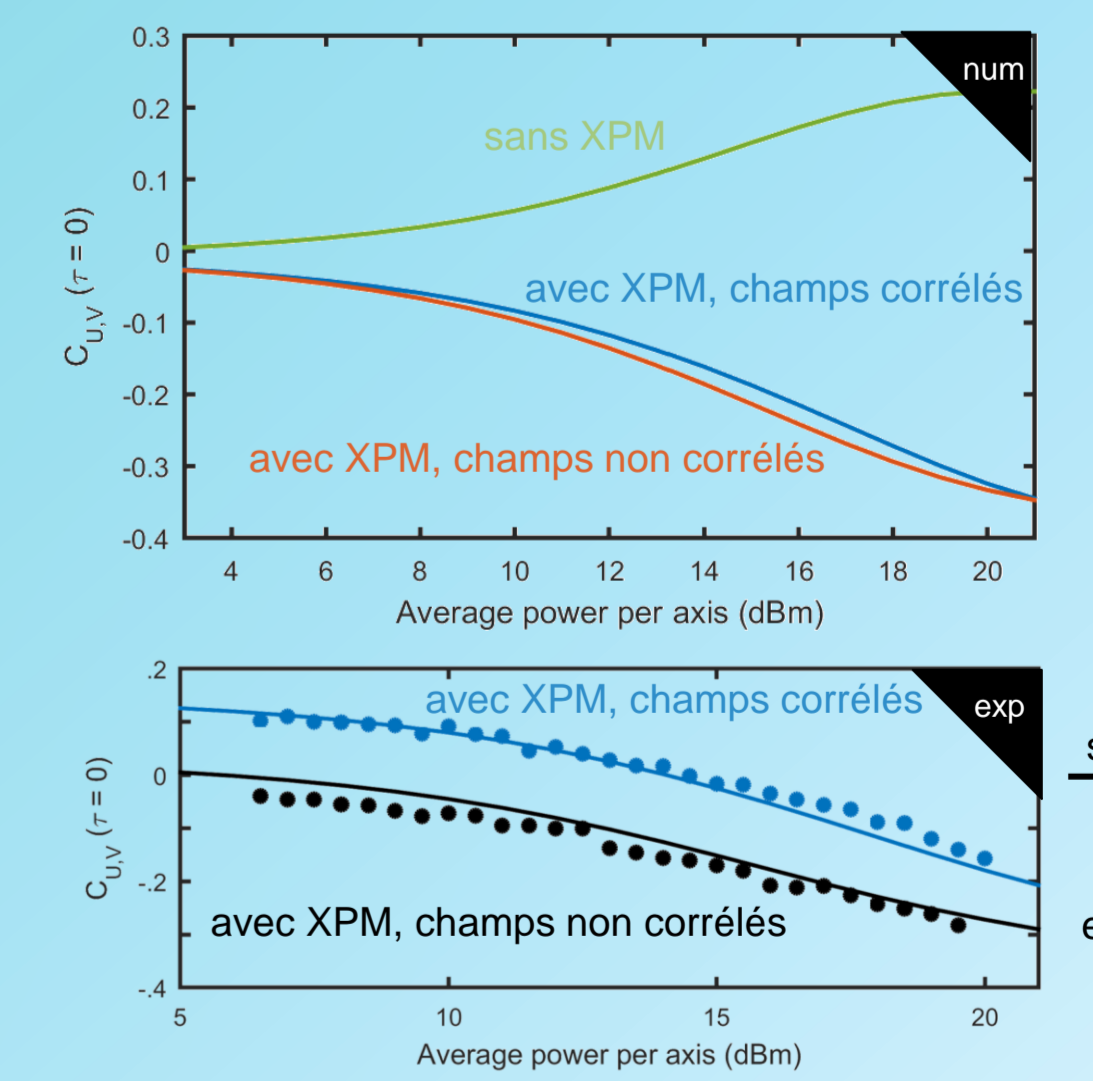
- L'auto-modulation de phase et la modulation de phase croisée contribuent à élargir le spectre.

PROPAGATION NON-LINEAIRE : ASPECTS TEMPORELS



- Les auto-corrélations de U et V sont modifiées après propagation non-linéaire.

- La corrélation croisée entre U et V est également affectée par la présence de non-linéarité.



- Très bon accord entre les mesures expérimentales et les prédictions numériques incluant les limites de la bande passante.

- Lien avec les solitons à parois de domaine [4].