



**HAL**  
open science

## Réseau temporel dispersif dans une fibre optique

Christophe Finot, Hervé Rigneault

► **To cite this version:**

Christophe Finot, Hervé Rigneault. Réseau temporel dispersif dans une fibre optique. Optique Bretagne 2015, 35ième Journées Nationales de l'Optique Guidée, SFO, Jul 2015, Rennes, France. hal-01576335

**HAL Id: hal-01576335**

**<https://hal.science/hal-01576335>**

Submitted on 22 Aug 2017

**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.

# RÉSEAU TEMPOREL DISPERSIF DANS UNE FIBRE OPTIQUE

Christophe Finot<sup>1</sup> et Hervé Rigneault<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Laboratoire Interdisciplinaire Carnot Bourgogne, UMR 6303, 2178 Dijon, France*

<sup>2</sup> *Aix-Marseille Université, CNRS, Ecole Centrale de Marseille, Institut Fresnel, UMR 6133, 13397  
Marseille Cedex 20, France*

[christophe.finot@u-bourgogne.fr](mailto:christophe.finot@u-bourgogne.fr)

## RÉSUMÉ

Nous exploitons l'analogie entre les domaines temporels et spectraux pour démontrer la génération de l'équivalent temporel d'un réseau de diffraction. En combinant une modulation de phase périodique et une propagation dispersive, nous observons en effet l'émergence de répliques temporelles de l'impulsion initiale correspondant aux ordres +1 et -1 d'un réseau de diffraction traditionnel.

**MOTS-CLEFS :** *analogie propagation temporelle/spatiale, diffraction et dispersion, fibre optique.*

## 1. INTRODUCTION

Les analogies qui peuvent être dressées entre les propagations dans les domaines temporels et spatiaux se sont révélées extrêmement fructueuses [1; 2]. Ainsi, l'évolution temporelle d'une impulsion gaussienne dans une fibre dispersive se rapproche formellement de la diffraction en champ lointain d'un faisceau gaussien. En exploitant cette analogie dans des fibres optiques, le concept de lentille temporelle a été suggéré [3] et l'existence d'un saut de phase spectral caractéristique similaire à la phase de Gouy a été expérimentalement démontrée [4].

Nous étendons ici cette analogie en proposant l'équivalent d'un réseau de diffraction. Après avoir rappelé les fondements de cette analogie, nous présentons le montage expérimental que nous avons mis en œuvre pour observer dans le domaine temporel les ordres +1 et -1 de diffraction. Les résultats obtenus confirment toute la pertinence de cette analogie.

## 2. PRINCIPE DE L'ANALOGIE TEMPOREL - SPATIAL

La diffraction à une seule dimension transverse en champ lointain peut s'exprimer dans le formalisme introduit par Fraunhofer où la propagation spatiale s'applique dans le domaine fréquentiel par un terme de phase parabolique. Un parallèle est alors réalisable avec l'action de la dispersion sur une impulsion se propageant dans une fibre optique où une phase spectrale parabolique se développe.

Ainsi, tirant profit de cette analogie développée sur la figure 1, l'équivalent d'une lentille traditionnelle revient à imposer une phase temporelle parabolique. Dans ce contexte, un réseau de diffraction en transmission basé sur une modulation périodique sinusoïdale transverse de la phase pourra alors naturellement être mimé par une modulation périodique temporelle de la phase optique d'une impulsion. La dispersion permettra ensuite aux différents ordres de diffraction temporelle de se séparer.

Domaine spatial		Domaine temporel	
$\frac{\partial A(x, z)}{\partial z} = -\frac{i}{2k} \left[ \frac{\partial^2 A(x, z)}{\partial x^2} \right]$		$\frac{\partial A(t, z)}{\partial z} = \frac{i\beta_2}{2} \left[ \frac{\partial^2 A(t, z)}{\partial t^2} \right]$	
z coordonnée spatiale longitudinale		t coordonnée temporelle	
x coordonnée spatiale transverse		$\omega$ coordonnée fréquentielle	
$k_x$ coordonnée fréquence spatiale			
diffraction	$e^{-i \frac{z}{2k} k_x^2}$		dispersion
	$e^{-i K x^2}$	lentille	$e^{-i L t^2}$
	$e^{-i K \sin(x)}$	réseau diffraction	$e^{-i L \sin(t)}$

Fig. 1 : Principe de l'analogie entre les domaines temporels et spatiaux

### 3. MONTAGE EXPÉRIMENTAL

Pour confirmer ce que laisse penser cette analogie, nous avons mis en œuvre le montage expérimental représenté figure 2 qui bénéficie d'éléments disponibles commercialement aux longueurs d'onde des télécommunications optiques. À partir d'un signal continu, nous découpons des impulsions longues (250 ps, typiques d'un signal télécom cadencé à 6 GHz) séparées de 5.33 ns. Ce signal est ensuite modulé en phase de manière sinusoïdale à une fréquence de 24 GHz. Cette étape tient le rôle du réseau en transmission. Pour émuler l'action de la diffraction, le signal ainsi formé va se propager sur une grande distance de fibre à compensation de la dispersion (plus de 30 km de fibres à forte dispersion normale avec à mi-chemin une réamplification optique du signal pour compenser les pertes de propagation). Cela permet d'accumuler jusqu'à 3670 ps/nm de dispersion. Les détails du signal après propagation sont enregistrés dans le domaine temporel grâce à une photodiode à grande passante (70 GHz) couplée à un oscilloscope à temps réel d'une bande passante excédent 50 GHz. Le profil spectral est lui enregistré sur un analyseur de spectre optique haute résolution (APEX).

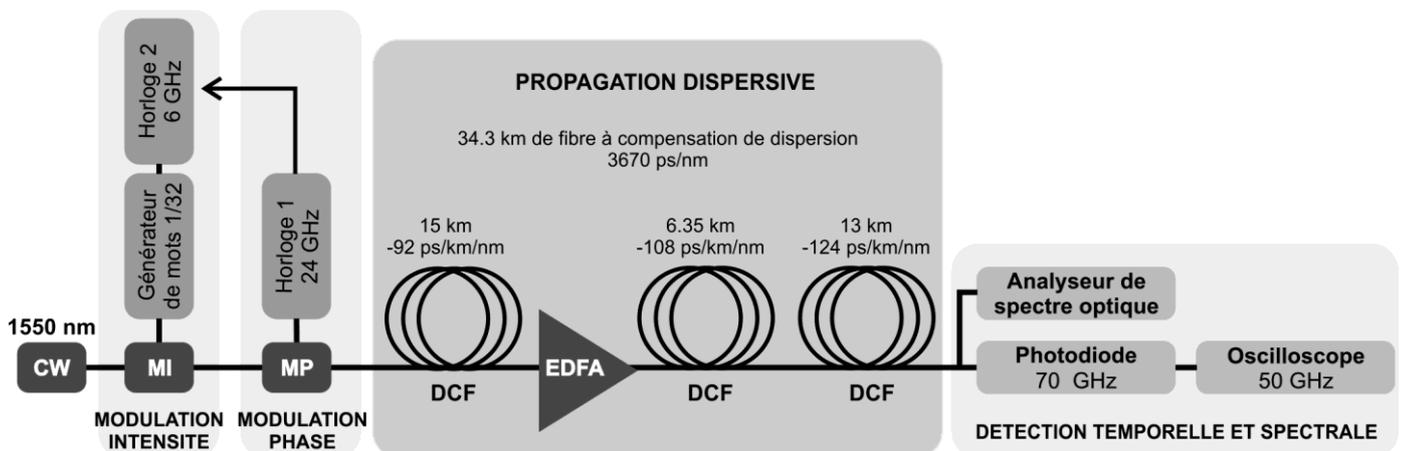


Fig. 2 : Dispositif expérimental mis en œuvre

### 4. RÉSULTATS EXPÉRIMENTAUX

Les résultats expérimentaux sont résumés figure 3. Nous constatons qu'après application de la modulation de phase optique, le spectre de l'impulsion présente désormais deux répliques

symétriques décalées de 24 GHz de part et d'autre du spectre initial (figure 3(a)). L'accumulation d'une dispersion importante permet ensuite de séparer temporellement ces répliques de plus de 700 ps (figure 3(b)) : l'impulsion initiale s'est diffractée temporellement en donnant naissance à deux répliques (ordre 1 et -1) situées symétriquement de part et d'autre de la partie non-diffractée. La fonction optique recherchée est donc bien démontrée.

Nous avons complété cette étude en évaluant expérimentalement l'impact de la fréquence de modulation de la phase temporelle (figure 3(c)). En variant cette fréquence entre 14 et 40 GHz, nous vérifions qu'une relation de proportionnalité existe entre la fréquence de modulation et la séparation des structures temporelles attribuées aux ordres +1 et -1. Ceci est totalement en accord avec les relations connues entre la fréquence spatiale d'un réseau de diffraction et l'écart spatial entre les différents ordres de diffraction.

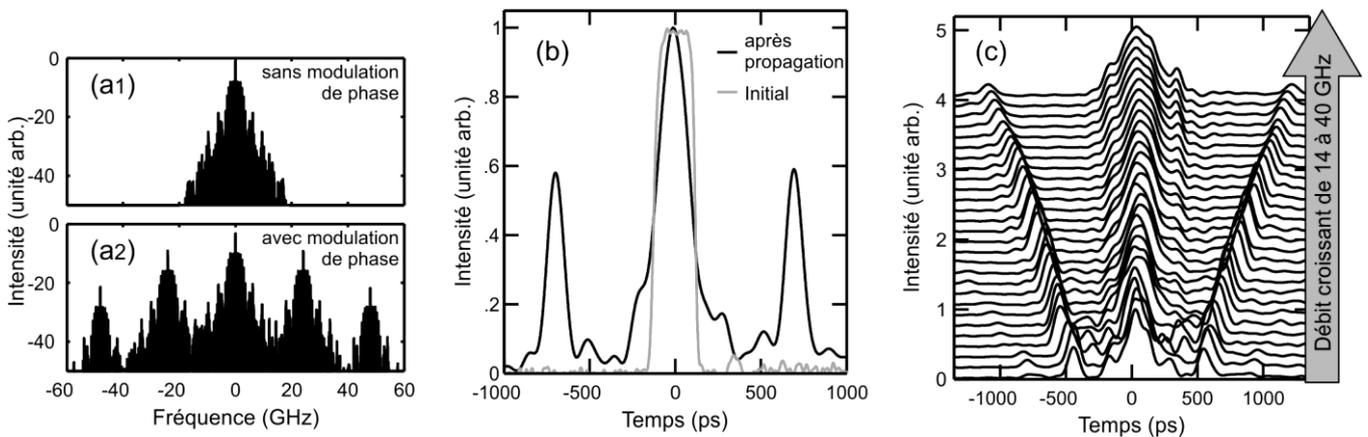


Fig. 3 : Résultats expérimentaux. (a) Comparaison du profil spectral enregistré avant et après modulation de phase (panneaux a1 et a1 respectivement). (b) Comparaison du profil temporel d'intensité avant et après propagation dans les fibres dispersives (courbes grises et noires respectivement). (c) Évolution du profil d'intensité temporel en fonction de la fréquence de modulation de la phase. Les résultats des figures (b) et (c) ont été corrigés par l'élimination numérique d'une interférence parasite avec un fond continu résiduel.

## CONCLUSION

Nous avons démontré à partir d'une modulation périodique de la phase temporelle d'une impulsion suivie d'une propagation dispersive, qu'il était possible de générer un équivalent temporel à un réseau de diffraction en transmission. Des répliques temporelles correspondant aux ordres +1 et -1 d'un réseau dispersif sont ainsi clairement observées.

## RÉFÉRENCES

- [1] J. van Howe, and C. Xu, Ultrafast optical signal processing based upon space-time dualities. *J. Lightw. Technol.* 24 (2006) 2649-2662.
- [2] B.H. Kolner, Space-time duality and the theory of temporal imaging. *IEEE J. Quantum Electron.* 30 (1994) 1951-1963.
- [3] B.H. Kolner, and M. Nazarathy, Temporal imaging with a time lens. *Opt. Lett.* 14 (1989) 630-632.
- [4] E.R. Andresen, C. Finot, D. Oron, and H. Rigneault, Spectral Analog of the Gouy Phase Shift. *Phys. Rev. Lett.* 110 (2013) 143902.