



HAL
open science

Les fibres optiques : une plateforme accessible pour aborder la photonique non-linéaire ultra-rapide

Christophe Finot

► **To cite this version:**

Christophe Finot. Les fibres optiques : une plateforme accessible pour aborder la photonique non-linéaire ultra-rapide. Congrès Général de la Société Française d'Optique - Optique Normandie 2024, session pédagogique, Jul 2024, Rouen, France. hal-04637416

HAL Id: hal-04637416

<https://hal.science/hal-04637416v1>

Submitted on 6 Jul 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.

Les fibres optiques : une plateforme accessible pour aborder la photonique non-linéaire ultra-rapide

Christophe FINOT

Laboratoire Interdisciplinaire Carnot Bourgogne, UMR 6303 CNRS – Université de Bourgogne, Dijon, France

* christophe.finot@u-bourgogne.fr

RESUME

La fibre optique monomode est un milieu quasi-idéal pour étudier les effets non-linéaires d'ordre 3. Grâce à une très grande distance d'interaction et un confinement élevé, l'auto-modulation de phase y est facilement observable. L'interaction avec la dispersion permet l'observation dans le domaine temporel d'une large gamme de solutions de la physique non-linéaire. Ainsi, assez facilement abordable conceptuellement, la dynamique des impulsions picosecondes se révèle néanmoins extrêmement riche et permet d'aborder de nombreuses analogies.

MOTS-CLEFS : *fibres optiques, optique non-linéaire, concepts fondamentaux.*

Avec l'invention du laser, les fibres optiques constituent l'autre brique essentielle du succès des télécommunications optiques. Jouissant d'un très faible niveau de pertes, elles permettent à la lumière de se propager sur une distance considérable. Si la silice est un matériau centrosymétrique ne présentant pas de χ^2 , son coefficient χ^3 est beaucoup plus faible que celui d'autres verres. Néanmoins, la lumière pouvant être fortement confinée sur plusieurs dizaines de kilomètres, l'effet cumulatif devient loin d'être négligeable dès que la puissance crête dépasse quelques centaines de mW seulement, conduisant à la modulation de la phase de l'impulsion. Cette dispersion se combinant avec la dispersion du matériau et du guide, les changements temporels et spectraux deviennent significatifs.

Cette combinaison de non-linéarité de type Kerr avec de la dispersion peut se modéliser pour les impulsions picosecondes à l'aide d'une seule équation différentielle très utilisée dans la physique : l'équation de Schrödinger non-linéaire [1]. L'impact des effets linéaires et non-linéaires s'interprètent alors respectivement dans le domaine spectral et temporel par une modification de la phase correspondante. Dans le premier cas, une phase spectrale quadratique est introduite alors que pour le second effet, une phase proportionnelle au profil d'intensité de l'impulsion est ajoutée. Il est donc nécessaire pour se former une image simple de jongler entre le domaine temporel direct et le domaine des fréquences. Cette gymnastique est très riche d'un point de vue pédagogique, permettant également de casser certains réflexes acquis lors de l'étude des impulsions simples (dites en limite de Fourier). Elle conduit aussi naturellement à considérer une représentation temps-fréquence, extrêmement utile pour interpréter certains comportements et qui peut être très visuelle quand assemblée sous forme de vidéo. La bonne maîtrise de ces différentes caractérisations permet également de revenir sur la différence mal maîtrisée entre le spectre RF et le spectre optique, ainsi que diverses propriétés de la transformée de Fourier [2, 3].

En écrivant les effets de la dispersion et de la non-linéarité, il est également possible de révéler des analogies simples avec l'optique ondulatoire traditionnelle telle que généralement enseignée au niveau licence. La dispersion dans la fibre optique est ainsi

l'équivalent temporel du phénomène de la diffraction et l'auto-modulation de phase qui agit dans le domaine direct s'apparente à une lentille. Les régimes de focalisation et défocalisation prennent alors un sens plus simple et tous les concepts de l'imagerie optique peuvent être transposés dans le domaine temporel [4]. Cela mène à un analogue temporel de la tâche d'Arago [5] ou bien des systèmes interférométriques [6]. L'optique ondulatoire usuelle comme le concept d'interférence offre également des clefs pour comprendre la structure du spectre d'auto-modulation de phase [7].

Des analogies supplémentaires d'autres domaines de la physique peuvent être établies, que ce soit avec le domaine des plasmas, avec le domaine des condensats de Bose-Einstein. Regarder dans le rétroviseur des structures non-linéaires et de leur impact permet aussi de comprendre tout le chemin parcouru depuis la première observation expérimentale contestée de John S. Russel dans un canal, observation nécessitant une remise en cause des modèles acceptés à l'époque. L'étude des solitons est aussi intrinsèquement liée aux premières expériences numériques menées dans les laboratoires de Los Alamos. Nous venons de fêter les 50 ans du soliton dans les fibres optiques [8], grand espoir des télécommunications qui entrevoyait la solution idéale pour s'affranchir simultanément des effets dispersifs et non-linéaires. Si ses promesses ne se sont finalement pas concrétisées sur le terrain industriel, le soliton reste plus que jamais d'actualité grâce à ses succès dans le monde des lasers, de la génération de supercontinuum ou bien encore dans les cavités. D'autres structures non-linéaires plus récemment mises sur le devant de la scène comme les solitons à respiration ont pu fournir des explications claires aux dynamiques océaniques de vagues extrêmes.

Pour conclure, les fibres optiques sont une plateforme conceptuelle extrêmement intéressante, désormais abordable financièrement, pour un enseignement d'introduction aux dynamiques non-linéaires temporelles. Pour clore cette présentation, je ferai un retour d'expérience sur une chaîne youtube mettant à disposition un certain nombre de vidéos depuis plusieurs années.

RÉFÉRENCES

1. G. P. Agrawal, *Nonlinear Fiber Optics, Sixth Edition* (Academic Press, San Francisco, CA, 2019).
2. K. Hammani, J. Fatome, and C. Finot, "Applications of sinusoidal phase modulation in temporal optics to highlight some properties of the Fourier transform," *Eur. J. Phys.* **40**, 055301 (2019).
3. C. Finot, F. Chaussard, and S. Boscolo, "Impact of a temporal sinusoidal phase modulation on the optical spectrum," *Eur. J. Phys.* **39**, 055303 (2018).
4. 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.
5. C. Finot and H. Rigneault, "Arago spot formation in the time domain," *J. Opt* **21**, 105504 (2019).
6. F. Chaussard, H. Rigneault, and C. Finot, "Two-wave interferences space-time duality: Young slits, Fresnel biprism and Billet bilens," *Opt. Commun.* **397**, 31-38 (2017).
7. C. Finot, F. Chaussard, and S. Boscolo, "Simple guidelines to predict self-phase modulation patterns," *J. Opt. Soc. Am. B* **35**, 3143-3152 (2018).
8. J. M. Dudley, C. Finot, G. Genty, and R. Taylor, "50 years of fiber solitons," *Optics and Photonics News* **34**, 26 (2023).