



**HAL**  
open science

## Modélisation du comportement bistable d'un micro-anneau

Yannick Dumeige, Carole Arnaud, Patrice Feron

► **To cite this version:**

Yannick Dumeige, Carole Arnaud, Patrice Feron. Modélisation du comportement bistable d'un micro-anneau. 23èmes Journées Nationales d'Optique Guidée (JNOG 2004), Oct 2004, Paris, France. pp.197-199. hal-00198696

**HAL Id: hal-00198696**

**<https://hal.science/hal-00198696>**

Submitted on 17 Dec 2007

**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.

# MODELISATION DU COMPORTEMENT BISTABLE D'UN MICRO ANNEAU

Yannick Dumeige, Carole Arnaud, Patrice Féron

Laboratoire d'Optronique – ENSSAT – CNRS UMR 6082 « FOTON »  
BP 447, 6 rue de Kerampont,  
22305 Lannion CEDEX

yannick.dumeige@enssat.fr

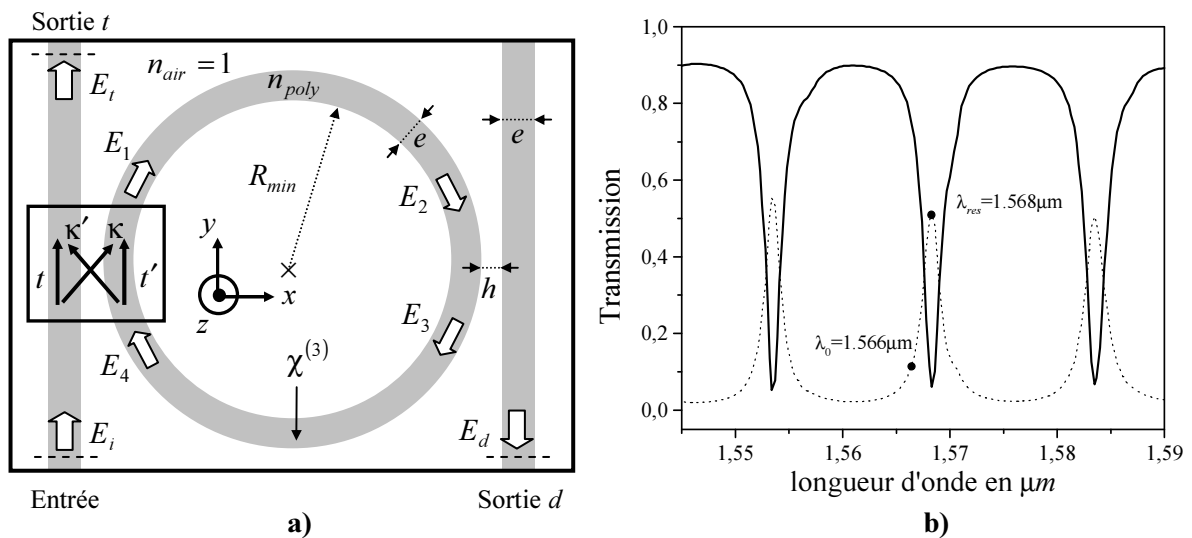
## RESUME

Les micro résonateurs à modes de galerie peuvent être utilisés pour réaliser l'intégration de fonctions bistables utiles pour le traitement optique du signal. Dans cette perspective, il est important de pouvoir simuler précisément leur comportement non linéaire. Nous présentons ici une étude numérique et analytique de la bistabilité dispersive d'un micro anneau en polymère couplé à deux guides d'onde.

**MOTS-CLEFS :** *Micro résonateur, Bistabilité, FDTD.*

## 1. INTRODUCTION

Le couplage d'un micro anneau et de deux guides d'onde permet de réaliser l'intégration d'une fonction insertion/extraction. L'utilisation de l'indice non linéaire associé à l'absorption à deux photons dans les semi-conducteurs III-V a permis de réaliser de telles fonctions contrôlées optiquement [1]. Nous avons étudié, à l'aide de la méthode FDTD (Finite Difference Time Domain) et d'un modèle analytique simple la réponse non linéaire d'un micro anneau en matériau polymère.



## 2. MODELE NUMERIQUE TEMPOREL : LA FDTD BIDIMENSIONNELLE

L'optimisation numérique (en FDTD) d'un micro anneau polymère comme fonction insertion/extraction est décrite dans la référence [2]. Dans le présent travail nous avons pris en compte la susceptibilité non linéaire du troisième ordre instantanée du matériau polymère en propageant non

pas le champ électrique  $\mathbf{E}$  mais le vecteur déplacement  $\mathbf{D}$  [3]. A chaque itération, le champ électrique est calculé en résolvant, par la méthode du point fixe, l'équation :

$$\mathbf{D} = \epsilon_0 \epsilon_R(x,y) \cdot \mathbf{E} + \epsilon_0 \chi^{(3)}(x,y) \cdot \mathbf{E}^3 \quad (1)$$

$\epsilon_R$  est la constante diélectrique relative au point de calcul considéré. On obtient alors la propagation non linéaire du champ électromagnétique sans aucune approximation. Dans le cas traité par la suite, le champ est polarisé TE (selon Oz). Les valeurs utilisées des paramètres décrits sur la figure 1.a) sont :  $e = 1 \mu\text{m}$ ,  $n_{poly} = 1.6$ ,  $h = 0.15 \mu\text{m}$ , et  $R_{min} = 15 \mu\text{m}$ . Le pas de discrétisation spatiale est  $\Delta = \Delta x = \Delta y = 80 \text{ nm}$ , le pas de discrétisation temporelle vérifie la relation :  $\Delta t = \Delta / 2c$ . Dans ces conditions la réponse linéaire est donnée sur la figure 1.b). Le facteur de qualité de la structure vaut  $Q = 900$ . La longueur d'onde de travail  $\lambda_0$  (fig. 1.b) est choisie de telle manière que  $\delta = |\lambda_0 - \lambda_{res}| > \Delta \lambda \sqrt{3}$  où  $\Delta \lambda$  est la demi-largeur à mi-hauteur de la résonance considérée. La figure 2 présente le caractère bistable de la structure pour des intensités incidentes croissantes puis décroissantes, une fois le régime stationnaire atteint. En utilisant la valeur de l'indice non linéaire intrinsèque  $n_2 = -6.2 \times 10^{-13} \text{ cm}^2/\text{W}$  du PMMA/DR1 [4], on obtient un seuil de bistabilité voisin de  $50 \text{ W}$  pour un guide de  $1 \mu\text{m}^2$ , une optimisation du facteur de qualité du micro résonateur permettrait d'abaisser sensiblement ce seuil. La FDTD permet d'étudier la réponse temporelle de la structure. Pour les différents points de la figure 2 et des puissances supérieures au seuil de bistabilité, le temps d'établissement du régime stationnaire peut atteindre environ  $\tau_{max} = 10 \text{ ps}$  à comparer avec la durée de vie des photons dans la cavité :  $\tau = 15 \text{ ps}$ . Le temps d'établissement du régime stationnaire n'est donc pas simplement limité par le filtrage de la cavité. L'utilisation de non linéarités dont la dynamique est de l'ordre de la dizaine de picosecondes semble donc également adaptée à ce type de microcavité. Ceci permet d'envisager l'utilisation d'effets non linéaires résonants possédant une valeur de  $n_2$  beaucoup plus importante ce qui aurait pour conséquence une utilisation de puissances nettement plus faibles.

### 3. MODELE ANALYTIQUE

Nous avons utilisé un modèle analytique [5, 6] du couplage micro anneau - guide d'onde conjointement à une formulation paramétrique de la bistabilité [7]. La combinaison de ces approches conduit aux expressions suivantes (2-6) pour les divers champs électriques, le paramètre étant ici le champ  $E_1$  (fig. 1.a).  $L$  est la longueur effective de propagation du mode de galerie sur un demi tour d'anneau, la quantité  $a = e^{-\alpha L}$  représente les pertes sur le champ associées à la propagation dans l'anneau sur un tour d'anneau, enfin  $n^{eff}$  est l'indice effectif du mode du guide d'onde rectiligne :

$$E_3 = t' \sqrt{a} E_1 e^{j(\phi_{NL}^{1 \rightarrow 2} + \varphi)} \quad (2)$$

$$E_i = \frac{E_1 - t' \sqrt{a} E_3 e^{j(\phi_{NL}^{3 \rightarrow 4} + \varphi)}}{j\kappa} \quad (3)$$

$$E_t = t E_i + j\kappa' \sqrt{a} E_3 e^{j(\phi_{NL}^{3 \rightarrow 4} + \varphi)} \quad (4)$$

$$E_d = j\kappa' \sqrt{a} E_1 e^{j(\phi_{NL}^{1 \rightarrow 2} + \varphi)} \quad (5)$$

$$\varphi = \frac{2\pi n^{eff}}{\lambda_0} L \text{ et } \phi_{NL}^{m \rightarrow m+1} = \frac{\pi n_2 \epsilon_0 c n^{eff}}{\lambda_0} |E_m|^2 \frac{1 - e^{-\alpha L}}{\alpha} \text{ avec } m \in \{1,3\} \quad (6)$$

L'indice non linéaire  $n_2$  d'un matériau d'indice  $n_0$  est lié à la susceptibilité non linéaire  $\chi^{(3)}$  par :

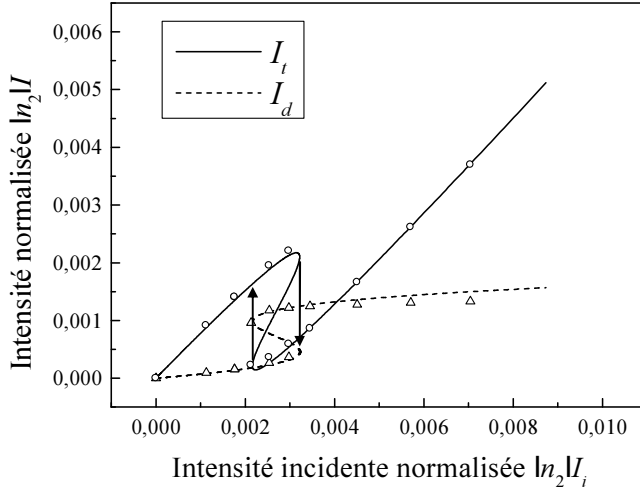
$$\chi^{(3)} = \epsilon_0 c n_0^2 n_2 \quad (7)$$

Le lien entre les champs électriques et les intensités est donné par :

$$I_m = \frac{1}{2} \epsilon_0 c n_0 |E_m|^2 \text{ avec } m \in \{i, t, d\} \quad (8)$$

L'intensité lumineuse considérée dans les guides d'onde est l'intensité maximale obtenue au centre du guide, l'indice utilisé étant l'indice effectif  $n^{eff}$ . Les coefficients de couplage  $\kappa$ ,  $\kappa'$ ,  $t$ ,  $t'$  et  $\alpha$  sont calculés par la méthode FDTD en régime linéaire. Les valeurs sont données dans le tableau 1. La longueur effective  $L$  est également évaluée par la méthode FDTD. Figure 2, les courbes en traits plein

et pointillé correspondent aux calculs analytiques. L'accord entre les deux méthodes est acceptable après ajustement des paramètres  $\kappa$ ,  $\kappa'$ ,  $t$ ,  $t'$ ,  $\lambda_0$  et  $R$ , il subsiste un écart pour les fortes intensités incidentes. La méthode analytique permet quant à elle une optimisation rapide des propriétés bistables du micro anneau.



**Figure 2.**

**Figure 2.** Intensité transmise en fonction de l'intensité incidente. Les cercles et les triangles correspondent aux simulations FDTD. Les courbes en traits plein et pointillé aux calculs analytiques. **Tableau 1.** Valeurs des différents paramètres utilisés pour l'ajustement.  $R$  représente le rayon effectif de l'anneau déduit du calcul de  $L$ .

Paramètres	Obtenus par FDTD linéaire	Ajustement FDTD non linéaire
$\kappa$	0.53	0.52
$\kappa'$	0.52	0.535
$t$	0.85	0.795
$t'$	0.81	0.82
$\alpha$	$16.8 \text{ cm}^{-1}$	$16.8 \text{ cm}^{-1}$
$\lambda_0$	$1.566 \mu\text{m}$	$1.5653 \mu\text{m}$
$R$	$17.065 \mu\text{m}$	$17.140 \mu\text{m}$

**Tableau 1.**

## CONCLUSION

Nous avons modélisé la dynamique de la réponse non linéaire d'un micro anneau polymère. La méthode FDTD permet l'étude de la dynamique du régime bistable. En régime stationnaire, les résultats numériques ont été comparés avec un modèle analytique et un bon accord est observé.

## RÉFÉRENCES

- [1] T. A. Ibrahim, V. Van, P.-T. Ho, « All optical time-division demultiplexing and spatial pulse routing with GaAs/AlGaAs microring resonator », *Opt. Lett.* **27** 803-805 (2002).
- [2] C. Arnaud, P. Féron, M. Boustimi, P. Grosso, D. Bosc, P. Guignard, « FDTD simulation of  $30 \mu\text{m}$  diameter polymer micro-ring », *Electron. Lett.* **39** 1249-1250 (2003).
- [3] P. Tran, « Optical switching with a nonlinear photonic crystal : a numerical study », *Opt. Lett.* **21** 1138-1140 (1997).
- [4] L. Brozozowsky, E.H. Sargent, « Azobenzenes for photonic network applications : third order nonlinear optical properties », *J. Mater. Sci. : Materials in Electronics*, **12** 483-489 (2001).
- [5] A. Yariv, « Universal relations for coupling of optical power between microresonators and dielectric waveguides », *Electron. Lett.* **36** 321-322 (2000).
- [6] C. Arnaud, P. Féron, P. Grosso, D. Bosc, « Fonction insertion/extraction à base d'un micro-anneau : complémentarité de la FDTD et d'une approche analytique », *JNOG* 2003.
- [7] F. Sanchez, « Optical bistability in a  $2 \times 2$  coupler fiber ring resonator : parametric formulation », *Opt. Comm.* **142** 211-214 (1997).