



## Transfert de moment angulaire orbital d'une onde EM à un objet macroscopique dans la bande UHF

Ronan Niemiec, Christian Brousseau, Olivier Emile, Kouroch Mahdjoubi

### ► To cite this version:

Ronan Niemiec, Christian Brousseau, Olivier Emile, Kouroch Mahdjoubi. Transfert de moment angulaire orbital d'une onde EM à un objet macroscopique dans la bande UHF. Journées Scientifiques 2013 d'URSI-France " L'Electromagnétisme, une science en pleine action ! ", Mar 2013, Paris, France. pp.1, 2013. <hal-00876444>

**HAL Id: hal-00876444**

**<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00876444>**

Submitted on 24 Oct 2013

**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.

## **Transfert de moment angulaire orbital d'une onde EM à un objet macroscopique dans la bande UHF**

### **Transfer of orbital angular momentum on a macroscopic object in the UHF frequency band**

*R. Niemiec<sup>\*,\*\*</sup>, C. Brousseau<sup>\*</sup>, O.Emile<sup>\*\*</sup> and K.Mahdjoubi<sup>\*</sup>*

*<sup>\*</sup>IETR – Institut d'Electronique et de Télécommunications de Rennes, UMR 6164, Université de Rennes 1, France*

*<sup>\*\*</sup>LPL – Laboratoire de Physique des Lasers, URU 435, Université de Rennes 1, France  
ronan.niemiec@univ-rennes1.fr*

Mots clés : Moment angulaire orbital; transfert mécanique; UHF  
Keywords: Orbital angular momentum; mechanical transfer; UHF

#### **Introduction**

Un échange de moment angulaire mène généralement à la création d'un couple mécanique. Une onde électromagnétique (EM) pouvant porter un tel moment, elle peut donc induire un couple. Ce phénomène a déjà été observé, dans le cas de la polarisation (moment angulaire de spin), que ce soit à l'échelle macroscopique en optique [1,2] et en micro-ondes [3], ou à l'échelle microscopique en optique uniquement [4]. Dans le cas du moment angulaire orbital (OAM), cet échange n'a été jusqu'à présent mis en évidence qu'en optique, et à l'échelle microscopique [5]. Le but de cette étude est donc de quantifier les échanges entre une onde EM portant de l'OAM et un objet macroscopique, en micro-ondes, à la fréquence  $f = 870$  MHz.

#### **1. Préparations théoriques**

La source est une antenne dite « tourniquet » constituée de deux dipôles croisés et déphasés de  $+\pi/2$  ou  $-\pi/2$ , et le récepteur est un anneau de cuivre suspendu, comme illustré sur la Figure 1 et proposé par Vul'fson [6]. Le champ rayonné dans le plan des antennes s'écrit, en champ lointain :

$$E_{\theta} = e^{-j\theta} \cdot \frac{L}{4\epsilon_0 c \lambda} \cdot \frac{1}{r} \cdot I_0 \cdot e^{j(\omega t - kr)}, \quad (1)$$

avec  $L$ , la longueur du dipôle,  $\epsilon_0$ , la constante diélectrique,  $c$ , la vitesse de la lumière,  $\omega$ , la pulsation de l'onde,  $l$ , la longueur d'onde,  $I_0$ , l'amplitude,  $(r; \theta)$ , les coordonnées polaires, et  $k$ , le nombre d'onde.

Le moment angulaire orbital transporté par le champ électrique dans le plan de l'antenne est alors de  $\hbar$  par photon. Il a été vérifié numériquement que cela reste vrai dans les conditions de l'expérience, au niveau de l'anneau de cuivre, à la fois par le calcul et grâce au logiciel de simulation numérique CST.

L'équation (1), et plus particulièrement l'exponentielle  $e^{j\theta}$ , indique une dépendance linéaire de la phase en fonction de l'angle  $\theta$ , et donc la présence d'OAM avec un ordre  $|l| = l$ . Le signe de  $l$  est directement lié au signe du déphasage entre les deux composantes de l'antenne.

#### **2. Résultats expérimentaux**

L'antenne est alimentée avec un signal de puissance variable. Comme le montre la Figure 2a, le mouvement observé est une accélération de la rotation quasi-uniforme. Il s'agit de la première observation directe d'un transfert d'OAM à un objet macroscopique en radiofréquence. Lorsque la puissance alimentant l'antenne augmente, l'accélération angulaire augmente également. Le signe du déphasage entre les deux composantes de l'antenne a lui aussi été inversé, faisant disparaître le signe moins devant  $\theta$  dans l'équation (1) et faisant passer l'OAM porté par un photon de  $\hbar$  à  $-\hbar$ . Comme attendu, le sens de rotation c'est lui aussi inversé. De plus, pour une puissance donnée, la symétrie entre les deux sens de rotation est quasi-parfaite. Finalement, lorsque les deux composantes sont en phase aucune rotation n'est observée, ce qui confirme que les effets parasites sont négligeables dans les conditions de l'expérimentation. L'accélération angulaire induite par le champ électrique en fonction de la puissance est représentée à la Figure 2b. Une dépendance quasi-linéaire avec la puissance d'excitation est visible. Cette dépendance linéaire est aussi en accord avec la valeur

théorique du couple calculée à partir des paramètres expérimentaux. De plus, elle reste valide pour plus d'un ordre de magnitude, de 1,5 W à 25 W. La symétrie entre les deux sens de rotation est elle aussi retrouvée.

### Conclusion

Un transfert de moment angulaire orbital d'une onde électromagnétique à un objet macroscopique a pu être observé. L'accélération de l'anneau et la direction de la rotation ont pu être contrôlés, respectivement par la puissance du signal transmis aux antennes et le signe du déphasage entre les deux composantes de l'antenne.

Ce travail a pu être réalisé grâce au soutien financier de l'Université de Rennes 1 (subvention défi émergent), de la Direction Générale de l'Armement (DGA) et de la Région Bretagne.

### Références bibliographiques

- [1] R.A. Beth, « Mechanical detection and measurement of the angular momentum of light, » Phys. Rev., Vol. 50, 115–125, 1936.
- [2] G. Delannoy, O. Emile et A. Le Floch, « Direct observation of a photon spin-induced constant acceleration in macroscopic systems, » Appl. Phys. Lett., Vol. 86, 1064-1076, 2005.
- [3] N. Carrara, « Torque and angular momentum of centimeter electromagnetic waves, » Nature, Vol. 164, 882-884, 1949.
- [4] M.E.J. Friese, T.A. Nieminen, N.R. Heckenberg et H. Rubinsztein-Dunlop, « Optical alignment and spinning of laser-trapped microscopic particles, » Nature, Vol. 394, 348-350, 1998.
- [5] H. He, M.E.J. Friese, N.R. Heckenberg et H. Rubinsztein-Dunlop, « Direct observation of transfer of angular momentum to absorptive particles from a laser beam with a phase singularity, » Phys. Rev. Lett., Vol 75, 826-829, 1995.
- [6] K.S. Vul'fson, « Angular momentum of electromagnetic waves, » Sov. Phys. Usp., Vol. 30, 8, 724-728, 1987

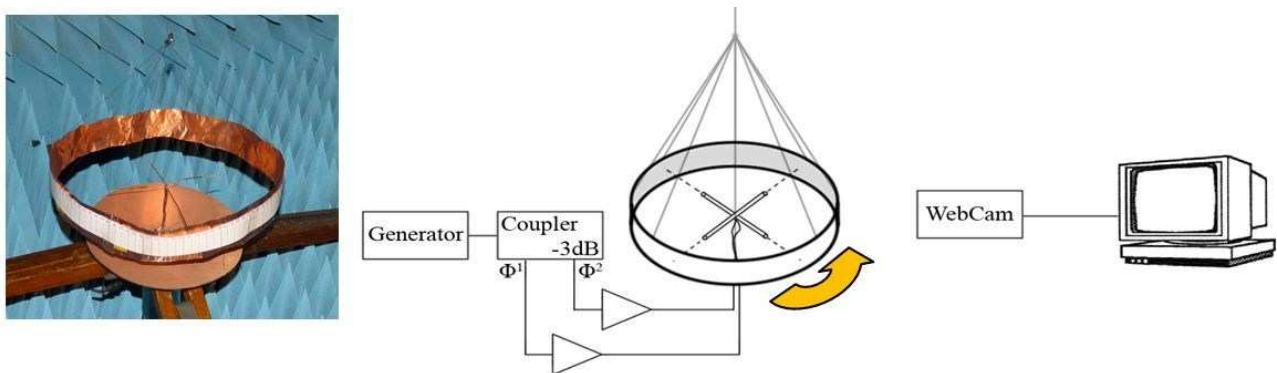
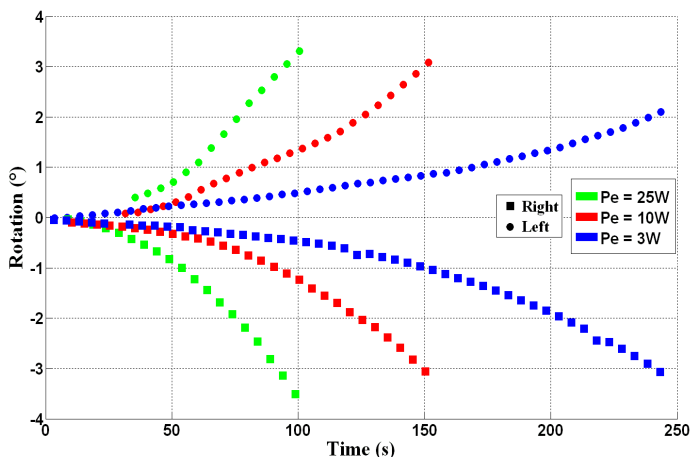
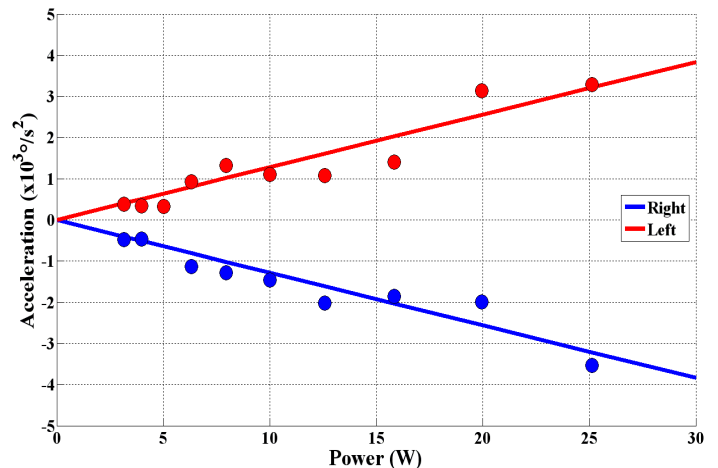


Figure 1 : Montage expérimental. L'anneau de cuivre est placé dans le plan des antennes et est suspendu par huit fils de coton.



(a)



(b)

Figure 2 : Mesures de la mise en rotation de l'anneau.

(a) : Rotation angulaire en fonction du temps.

(b) : Accélération en fonction de la puissance d'alimentation des antennes.