



HAL
open science

Les mauvais réseaux font de bons atomes froids

Romain Calviac, Antoine Monmayrant, Pascal Dubreuil, Laurent Mazenq, Samuel Charlot, Alexandre Gauguet, Baptiste Allard, Olivier Gauthier-Lafaye

► **To cite this version:**

Romain Calviac, Antoine Monmayrant, Pascal Dubreuil, Laurent Mazenq, Samuel Charlot, et al.. Les mauvais réseaux font de bons atomes froids. Optique Normandie 2024 (Nanophotonique), SFO, Jul 2024, Rouen, France. hal-04682189

HAL Id: hal-04682189

<https://laas.hal.science/hal-04682189v1>

Submitted on 30 Aug 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 mauvais réseaux font de bons atomes froids

Romain Calviac^{1, 2}, Antoine Monmayrant², Pascal Dubreuil², Laurent Mazonq², Samuel Charlot², Alexandre Gauguet¹, Baptiste Allard¹, Olivier Gauthier-Lafaye²

¹ *LCAR, Université Toulouse III - Paul Sabatier, Toulouse, France*

² *LAAS-CNRS, Université de Toulouse, CNRS, Toulouse, France*

calviac@irsamc.ups-tlse.fr

RESUME

Nous présentons une méthodologie de conception, basée sur une modélisation exacte de la diffraction par des réseaux, qui vise à concevoir des réseaux de diffraction qui satisfont aux exigences du piégeage atomique tout en tenant compte des contraintes et des tolérances de fabrication. Nos résultats montrent que des réseaux pertinents peuvent être facilement conçus à l'aide de cette méthode, et nous identifions des conceptions avec des tolérances de fabrication accrues et une meilleure résistance à l'imprécision, ce qui simplifie et augmente les chances de réaliser des pièges atomiques magnéto-optiques à réseaux (GMOTs) efficaces.

MOTS-CLEFS : *réseaux optiques, diffraction, systèmes d'atomes froids*

Les atomes ultrafroids sont très prometteurs pour l'amélioration des capteurs inertiels et des horloges utilisés dans la navigation et l'observation de la Terre. Toutefois, les applications réelles nécessitent une fiabilité accrue et la réalisation de plates-formes compactes d'atomes froids. Les pièges magnéto-optiques (MOT) standard utilisent trois paires orthogonales de faisceaux laser contra-propagateurs qui sont désaccordés dans le rouge de quelques largeurs de raies naturelles à partir de la transition de refroidissement laser. Les faisceaux se croisent au centre d'un champ magnétique quadripolaire, et la polarisation optique de chaque faisceau est ajustée pour induire un dédoublement Zeeman des états atomiques dépendant de la position. Cette configuration entraîne le refroidissement du laser et le piégeage au centre du champ quadripolaire.

La configuration MOT tétraédrique [1] permet des dispositifs qui minimisent le nombre de faisceaux optiques, augmentant ainsi la robustesse de l'alignement optique et la compacité. Cette géométrie peut être encore améliorée en utilisant un MOT à réseau (GMOT) [2,3] ne nécessitant qu'un seul faisceau laser. Le GMOT génère les trois faisceaux manquant grâce à des réseaux planaires microfabriqués, fournissant une structure auto-alignée qui piège les atomes froids au-dessus de sa surface avec un grand volume de chevauchement de faisceaux. Les premières études ont clairement identifié les conditions optiques requises pour un piégeage efficace et un refroidissement sub-Doppler, à savoir l'équilibre de la pression de radiation et la polarisation des faisceaux diffractés.

Par rapport aux contraintes usuelles de conception de réseaux, les objectifs de performances sont étonnants : il faut concevoir des réseaux à fortes pertes, fonctionnant en polarisation circulaire et avec de fortes contraintes de polarisation. Enfin, la validation finale des performances doit être réalisée en environnement contraint (chambre UHV....) sur des réseaux de relativement grande surface ($\sim\text{cm}^2$), limitant la possibilité d'approche paramétrique expérimentale.

Paradoxalement, peu d'études se sont penchées sur la conception de tels réseaux de diffraction [4,5], et encore moins en se basant sur l'utilisation des méthodes exactes de conception [6].

Nous présenterons ici une méthodologie de conception, basée sur une modélisation vectorielle complète de la diffraction, qui vise à concevoir des réseaux qui satisfont aux exigences de piégeage tout en tenant compte des contraintes et des tolérances de fabrication. Nous montrerons comment nous avons pu concevoir des réseaux de diffraction répondant aux objectifs de performances, et comment les choix de configuration finale ont pu être guidés par l'étude des tolérances face aux dérives potentielles de fabrication. Nous montrerons comment les réseaux finaux fabriqués ont été intégrés dans un dispositif expérimental (figure 1, gauche) et ont permis la réalisation de MOT Rb (figure 1, droite) présentant des performances (nombres d'atomes et température) au niveau de l'état de l'art.

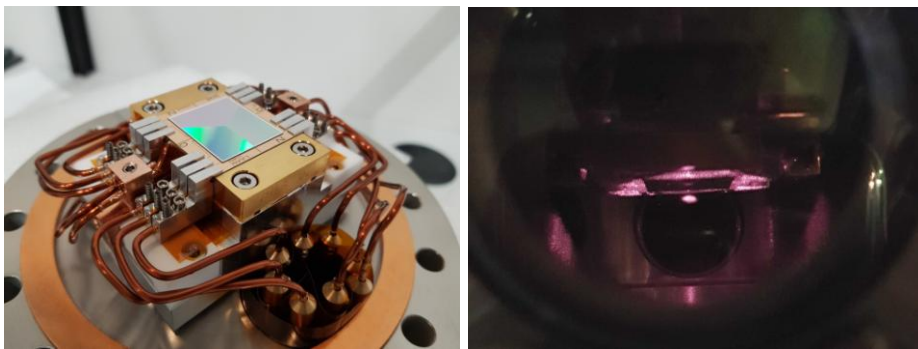


Figure 1 : Gauche : puce tri-réseaux reportée sur son embase de test. Droite : image du nuage d'atomes froids obtenu après piégeage MOT sur la puce tri-réseaux.

Nos résultats montrent que des réseaux efficaces peuvent être facilement conçus à l'aide de cette méthode, et nous identifions des conceptions avec de larges tolérances de fabrication, ce qui simplifie et dérisque la fabrication de MOTs à réseaux (GMOTs).

REMERCIEMENTS

Les résultats présentés ont été obtenus avec le soutien de la plateforme technologique du LAAS-CNRS, membre du réseaux Renatech, réseau académique français des équipements de pointe dans le domaine des micro et nanotechnologies piloté par le CNRS.

REFERENCES

1. F. Shimizu, K. Shimizu, and H. Takuma, "Four-beam laser trap of neutral atoms," *Opt Lett* **16**, 339 (1991).
2. M. Vangeleyn, P. F. Griffin, E. Riis, and A. S. Arnold, "Laser cooling with a single laser beam and a planar diffractor," *Opt Lett* **35**, 3453–3455 (2010).
3. C. C. Nshii, M. Vangeleyn, J. P. Cotter, P. F. Griffin, E. A. Hinds, C. N. Ironside, P. See, A. G. Sinclair, E. Riis, and A. S. Arnold, "A surface-patterned chip as a strong source of ultracold atoms for quantum technologies," *Nat. Nanotechnol.* **8**, 321–324 (2013).
4. J. P. Cotter, J. P. McGilligan, P. F. Griffin, I. M. Rabey, K. Docherty, E. Riis, A. S. Arnold, and E. A. Hinds, "Design and fabrication of diffractive atom chips for laser cooling and trapping," *Appl. Phys. B* **122**, 172 (2016).
5. J. P. McGilligan, P. F. Griffin, E. Riis, and A. S. Arnold, "Diffraction-grating characterization for cold-atom experiments," *J. Opt. Soc. Am. B* **33**, 1271 (2016).
6. S. Bondza, C. Lisdat, S. Kroker, and T. Leopold, "Two-Color Grating Magneto-Optical Trap for Narrow-Line Laser Cooling," *Phys. Rev. Appl.* **17**, 044002 (2022).