



Univ. Grenoble Alpes
Université de l'innovation

COMMUNIQUÉ DE PRESSE

Grenoble, le 6 décembre 2018

Des composants optiques capables d'optimiser le transport de l'énergie lumineuse

Des chercheurs du Laboratoire Jean Kuntzmann (CNRS / Grenoble INP / Inria / Université Grenoble Alpes) et du Laboratoire de mathématiques d'Orsay (Université Paris-Sud / CNRS) ont développé un algorithme permettant de concevoir et construire toute une famille de composants optiques, lentilles ou miroirs, permettant de transporter l'énergie lumineuse de manière optimale et précise. Leurs travaux, publiés dans la revue scientifique *Transactions on Graphics*, sont présentés à Tokyo lors de la conférence internationale SIGGRAPH Asia du 4 au 7 décembre 2018. Leur technique a également fait l'objet d'un dépôt de brevet¹.

L'optique non imageante

L'optique non imageante, ou optique anidolique, est une branche de l'optique qui vise à concevoir des dispositifs tels que lentilles ou miroirs, réfléchissant ou réfractant la lumière émise depuis une source. Il ne s'agit donc pas de reconstituer l'image de la source mais bien d'orienter la lumière sur des trajets choisis. « *En appliquant les lois d'optique de Descartes, le défi est de calculer la forme d'une lentille ou d'un miroir de façon à concentrer la lumière exactement là où l'on veut* » explique Boris Thibert, chercheur au Laboratoire Jean Kuntzmann de Grenoble.

Les applications principales concernent la conception de fours solaires, de lampadaires, de phares de voitures, et plus généralement l'optimisation de zones d'éclairage et la réduction de la pollution lumineuse.

Optimiser le transport de la lumière : un problème mathématique

Il existe plusieurs variantes des problèmes inverses de modélisation de miroirs ou de lentilles, en fonction de la géométrie de la source lumineuse et de la cible à éclairer. L'équation principale qui régit ces problèmes d'optique non imageante est une équation de conservation d'énergie qui est une équation de type Monge-Ampère. C'est une équation aux dérivées partielles non linéaire, beaucoup étudiée en géométrie, mais difficile à résoudre numériquement. Dans un certain nombre de cas, cette équation se ramène à un problème de

¹ Brevet n°1871709

transport optimal.

Le transport optimal est un domaine très actif des mathématiques depuis les années 1990, et a été notamment au cœur des recherches de Cédric Villani et Alessio Figalli, des mathématiciens récompensés récemment par des médailles Fields.

Le transport optimal intervient en mathématiques fondamentales, mais est aussi utilisé pour formuler des problèmes venant de domaines très variés, de la chimie quantique au *machine learning* en passant aussi par l'optique.

De la théorie à la fabrication

Ces dernières années, des méthodes géométriques, appelées semi-discrètes, ont été utilisées pour discrétiser et résoudre numériquement des problèmes de transport optimal. Les premières mises en œuvre algorithmiques nécessitaient malheureusement un temps de calcul absolument prohibitif.

Dans un travail récent, qui sera publié prochainement dans le *Journal of the European Mathematical Society*, Jun Kitagawa (Université du Michigan), Quentin Mérigot (Université Paris-Sud) et Boris Thibert (Université Grenoble Alpes) ont développé et analysé mathématiquement un algorithme permettant en principe de résoudre des problèmes de transport optimal de très grandes tailles.

« *Le transport optimal est un problème qui nous intéresse depuis de nombreuses années, Quentin Mérigot et moi* » raconte Boris Thibert « *Nous avons, avec Jun Kitagawa, proposé et analysé un algorithme qui permet de résoudre des problèmes de transport optimal dans un cadre général. Il s'agissait d'un travail théorique. Le travail avec Jocelyn Meyron a consisté à adapter cet algorithme pour construire des miroirs et des lentilles. Ce n'est pas si fréquent en mathématiques de produire des objets. Là, nous sommes allés jusqu'à la réalisation de lentilles et de miroirs.* »

Un algorithme générique

Et c'est l'aboutissement de ce travail qui fait l'objet de la publication des chercheurs dans la revue *Transactions on Graphics*. Leur méthode permet de traiter plusieurs problèmes d'optique anidolique (sources ponctuelles ou parallèles, miroirs ou lentilles, composants convexes ou concaves, champs proches ou lointains) de manière unifiée, précise et complètement automatique. Les résultats ont été validés par des expériences numériques mais aussi par la création de prototypes physiques.

Un premier travail de reformulation mathématique et surtout de développement informatique conséquent permet de traiter des cibles lumineuses lointaines. L'article introduit également une approche itérative permettant de traiter des cibles plus réalistes, dites en champ proche, en partant de la solution du champ lointain.

Les chercheurs ont ainsi réussi à fabriquer une lentille qui, éclairée par une lumière parallèle uniforme comme celle du soleil, projette sur un mur l'image du caractère japonais Hikari, qui signifie lumière.

Des composants optiques d'une précision étonnante

Le même algorithme permet en réalité de définir la forme d'une lentille ou d'un miroir capable de transformer une lumière parallèle et uniforme en n'importe quelle image.

« *Au départ, en 2010, une entreprise nous avait contactés pour travailler sur l'automatisation de la construction des phares de voiture. Nous avons collaboré avec eux plusieurs années et travaillé en parallèle sur des problèmes de transport optimal et d'optique non-imageante. Nous sommes finalement arrivés à un résultat très précis, au-delà des attentes initiales* » conclut Boris Thibert.

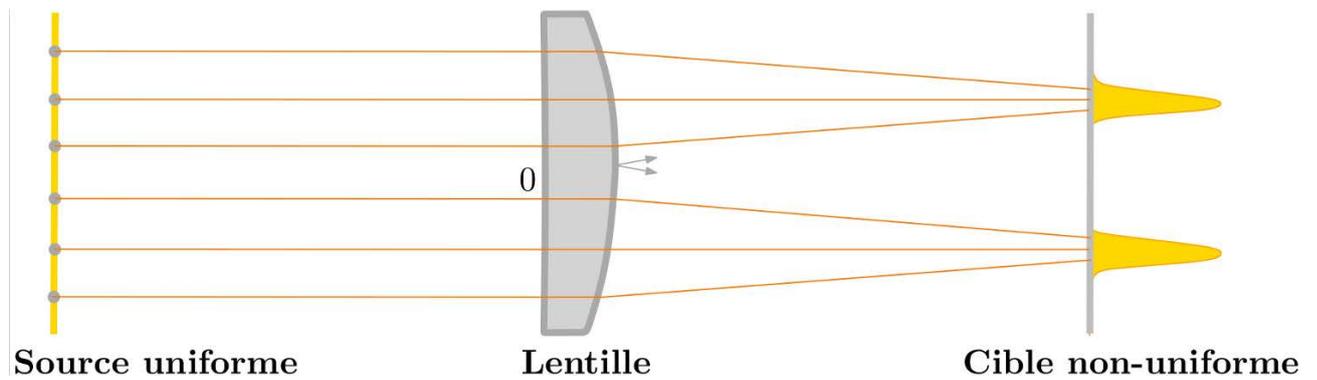


Figure 1 : Exemple de problème d'optique non imageante. La source de lumière est composée de rayons horizontaux issus d'un plan vertical. Le but est de construire la lentille qui après réfraction, va créer la distribution de lumière souhaitée en sortie. (crédit : Mériqot / Meyron / Thibert)



Figure 2 : Prototype physique. La lumière parallèle uniforme (comme les rayons du soleil) se projette sur un mur après réfraction à travers la lentille. La lentille a été conçue de telle manière à ce que l'image projetée forme le caractère japonais Hikari. (Photo issue de la l'article paru dans *ACM Transactions on Graphics*. Crédit : Mériqot / Meyron / Thibert)

À PROPOS

L'Université Grenoble Alpes – UGA

Fruit de la fusion en 2016 des universités Joseph Fourier, Pierre-Mendès-France et Stendhal, l'Université Grenoble Alpes représente un acteur majeur de l'enseignement supérieur et de la recherche en France. Dans un monde de plus en plus compétitif, l'UGA a pour ambition de mieux répondre à l'ensemble des défis posés aux universités par le monde d'aujourd'hui et de demain, et d'être encore plus visible et attractif à l'international. Grâce à ses 80 laboratoires, en partenariat avec les organismes de recherche et les grandes écoles du site, la recherche à l'UGA gagne en interdisciplinarité pour être à la pointe de l'innovation. Son offre de formation couvre également l'ensemble des champs disciplinaires. L'UGA est aujourd'hui en mesure de proposer à ses 45 000 étudiants des formations transversales et de faciliter les passerelles entre les diplômes.

www.univ-grenoble-alpes.fr

L'Université Paris-Sud

L'Université Paris-Sud est un acteur majeur de l'Université Paris-Saclay. Pluridisciplinaire et à forte dominante scientifique et de santé, l'excellence de sa recherche est marquée par de nombreux prix internationaux, notamment dans le domaine des mathématiques (quatre médailles Fields entre 1994 et 2010) et de la physique (trois prix Nobel). L'Université Paris-Sud est l'une des plus prestigieuses universités en Europe sur le plan de la recherche, elle se classe au Top 50 des universités de recherche dans le monde. L'Université Paris-Sud rassemble 82 laboratoires reconnus internationalement et propose 30 plateformes technologiques. Son offre de formation est caractérisée par une forte intégration de la recherche dans ses cursus, de la Licence au Doctorat. L'Université Paris-Sud accueille 32 000 étudiants dont 2 600 doctorants et 5 200 étudiants étrangers, compte 4 300 enseignants, chercheurs et enseignants-chercheurs ainsi que 2 500 personnels ingénieurs, techniques et administratifs.

www.u-psud.fr

CNRS

Le Centre national de la recherche scientifique est le principal organisme public de recherche en France et en Europe. Il produit du savoir et met ce savoir au service de la société. Avec 31 612 personnes, un budget pour 2017 de plus de 3,5 milliards d'euros dont 787 millions d'euros de ressources propres, et une implantation sur l'ensemble du territoire national, le CNRS exerce son activité dans tous les champs de la connaissance, en s'appuyant sur plus de 1 100 laboratoires. Avec 21 lauréats du prix Nobel et 12 de la Médaille Fields, le CNRS a une longue tradition d'excellence. Le CNRS mène des recherches dans l'ensemble des domaines scientifiques, technologiques et sociétaux : mathématiques, physique, sciences et technologies de l'information et de la communication, physique nucléaire et des hautes énergies, sciences de la planète et de l'Univers, chimie, sciences du vivant, sciences humaines et sociales, environnement et ingénierie.

www.cnrs.fr

Univ. Grenoble Alpes, université de l'innovation

Univ. Grenoble Alpes, l'université intégrée rassemblant les acteurs de l'enseignement supérieur et de la recherche de Grenoble, correspond à un des principaux sites scientifiques français de renommée mondiale : 60 000 étudiants dont 9 000 internationaux, 5 500 enseignants-chercheurs et chercheurs, 3 700 doctorants, plus de 8 000 chercheurs accueillis chaque année, issus de tous les horizons. Univ. Grenoble Alpes s'appuie sur un écosystème innovant et dynamique, situé au cœur des montagnes, qui allie qualité de vie, audace et ouverture au monde.

<http://edu.univ-grenoble-alpes.fr>

Référence

Light in Power: A General and Parameter-free Algorithm for Caustic Design

J. Meyron, Q. Mérigot, B. Thibert.

ACM Transactions on Graphics, 2018

Contact presse

Muriel Jakobiak-Fontana

Directrice adjointe de la communication UGA

Tél. : 06 71 06 92 26 muriel.jakobiak@univ-grenoble-alpes.fr

Contacts chercheurs

Quentin Mérigot, Laboratoire de mathématiques d'Orsay / quentin.merigot@u-psud.fr

Boris Thibert, Laboratoire Jean Kuntzmann / Boris.Thibert@univ-grenoble-alpes.fr