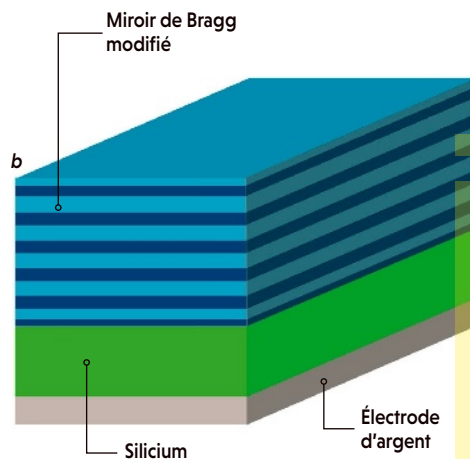
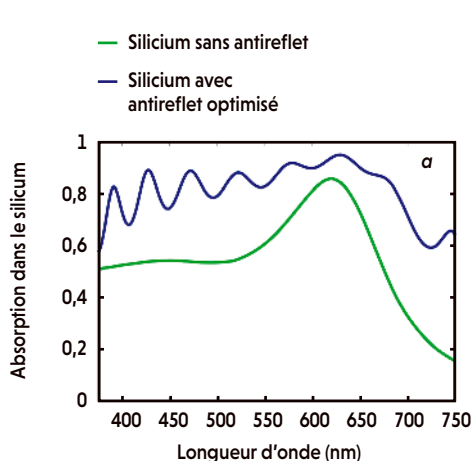




PANNEAU SOLAIRE

Pour améliorer l'efficacité d'un panneau solaire photovoltaïque, les auteurs et leurs collègues ont utilisé un algorithme évolutionnaire afin de trouver une structure antireflet à appliquer sur la surface. Ils ont obtenu un miroir de Bragg légèrement modifié (b) qui réfléchit bien les grandes longueurs d'onde (l'infrarouge) et laisse passer la lumière visible (a). Cette dernière est alors absorbée de façon maximale dans la couche de silicium pour être convertie en électricité.

➤ rencontrer quand on cherche à concevoir un système photonique. Par exemple, nous avons voulu identifier une structure multicouche qui améliorerait la conversion de la lumière en électricité dans un panneau photovoltaïque, en lui imposant les mêmes contraintes, en termes d'indices optiques, que celles trouvées dans les structures naturelles. Bref, nous avons cherché à deviner ce que la nature aurait fait si elle avait eu à fabriquer un antireflet pour une cellule photovoltaïque.

Le résultat semble paradoxal en apparence : nous avons obtenu un miroir de Bragg légèrement modifié. C'est paradoxal parce qu'un miroir de Bragg réfléchit très bien la lumière ; il ne vient donc pas spontanément à l'idée de l'utiliser comme antireflet. Ici, cependant, les caractéristiques de la structure sont telles qu'elle réfléchit efficacement la lumière infrarouge et laisse passer le rayonnement visible, affichant une absorption par le silicium plus élevée qu'avec un antireflet standard. Nous avons fabriqué cette structure et vérifié qu'elle était bien efficace (le rendement théorique passe de 56% sans antireflet à 74% avec un antireflet simple et 80% avec notre antireflet). Néanmoins, cette structure est complexe et plus coûteuse à produire qu'un antireflet usuel, et son utilité réelle est donc soumise à débat. La conclusion de cette expérience est que l'optimisation est un outil d'exploration riche, qui produit des structures analysables *a posteriori* et utilisables comme source d'inspiration.

Actuellement, une limite de l'optimisation globale est qu'elle demande beaucoup plus de temps de calcul qu'une descente de gradient et n'est donc pas encore en mesure de s'attaquer aux dispositifs photoniques complexes recherchés pour améliorer les processeurs. Mais les progrès vont vite dans ce domaine et nous avons bon espoir d'y parvenir un jour.

La nature nous a fourni des exemples de systèmes photoniques qui nous ont servi de guides et de modèles pour nos programmes d'optimisation. Une constatation intéressante

est que l'algorithme le plus efficace pour produire des structures régulières et élégantes est celui de l'évolution différentielle. Cet algorithme s'inspire de l'évolution sexuée, en procédant à de l'échange d'information entre les individus pour créer les générations suivantes. Il est bien adapté pour des problèmes modulaires, comme on en retrouve souvent en photonique, parce qu'il est conçu pour combiner des éléments de différentes structures et les optimiser de façon presque indépendante.

L'EFFICACITÉ DE LA REPRODUCTION SEXUÉE

Bien sûr, une optimisation par un algorithme évolutionnaire n'est pas strictement la reproduction fidèle de l'évolution naturelle. Mais nos résultats montrent que l'évolution a parfois eu le même rôle qu'une procédure d'optimisation. Elle a en effet mené à de véritables solutions optimales au sens mathématique, comme le miroir de Bragg. Ces observations permettent donc de mieux comprendre comment des structures si extraordinaires ont émergé. Pour finir, ces résultats dans le domaine de la photonique offrent peut-être un éclairage original sur un problème en biologie qui n'est toujours pas tranché : on ne saisit pas à l'heure actuelle la raison d'être de la reproduction sexuée, un processus en apparence très coûteux comparé aux autres modes de reproduction.

Une hypothèse, avancée notamment dans les années 1930 par Ronald Fisher et Hermann Muller, semble aller dans le sens de ce que l'on constate dans l'optimisation en photonique : les populations ayant une reproduction sexuée évoluent plus vite. En permettant un échange de gènes entre individus, ce mode de reproduction accélère l'évolution des problèmes modulaires que sont tous les animaux, jusqu'à mener, entre autres, aux solutions photoniques si extraordinaires observées sur le dos des mouches vertes, de la casside dorée ou encore sur les ailes du papillon morpho. ■

BIBLIOGRAPHIE

P. Bennet et al., **Analysis and fabrication of antireflective coating for photovoltaics based on a photonic-crystal concept and generated by evolutionary optimization**, *Physical Review B*, vol. 103, article 125135, 2021.

M. A. Barry et al., **Evolutionary algorithms converge towards evolved biological photonic structures**, *Scientific Reports*, vol. 10, article 12024, 2020.

S. Molesky et al., **Inverse design in nanophotonics**, *Nature Photonics*, vol. 12, pp. 659-670, 2018.

S. Berthier, **Des insectes à la photonique**, *Pour la Science*, n° 401, pp. 32-39, mars 2011.

A. Gondarenko, **Spontaneous emergence of periodic patterns in a biologically inspired simulation of photonic structures**, *Physical Review Letters*, vol. 96, article 143904, 2006.