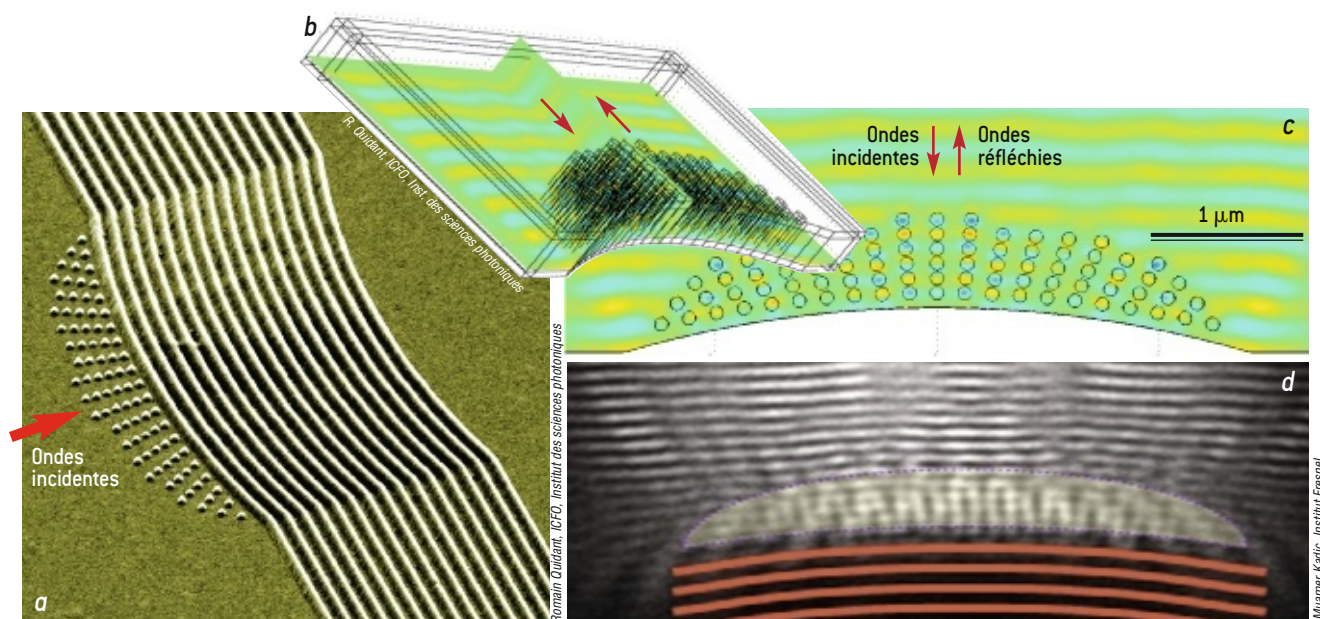




8. UN RÉSEAU PLASMONIQUE constitué de points gravés sur une surface métallique (a) fournit un autre exemple d'invisibilité par réaction. L'arrivée d'ondes électromagnétiques [flèche rouge] crée des ondes électroniques de surface nommées plasmons. Comme le montrent la

simulation numérique (b et c) et les mesures (d), ces plasmons absorbent l'onde incidente et, grâce aux stries gravées à l'arrière qui font office de miroir, la restituent intacte – malgré la courbure du miroir qui, en l'absence du réseau plasmonique, l'aurait déformée.

est dû à sa courbure : comme avec une lentille convexe, une image virtuelle agrandie est créée en avant de la lentille. Et elle a montré que le dispositif fonctionne aussi comme une cape d'invisibilité : sous certaines conditions (pour certaines longueurs d'onde), il réagit à la présence des champs magnétiques et des dipôles électriques atomiques d'un objet et efface ainsi le champ électromagnétique associé à ce dernier (voir la figure 7). Le principe fonctionne aussi avec tout grand ensemble de dipôles atomiques, mais à une longueur d'onde précise et pour une cape homogène de permittivité négative ou d'indice de réfraction égal à -1 .

Invisibilité par réaction

Pour comprendre cette forme d'invisibilité, on peut là encore utiliser la méthode géométrique de J. Pendry. Comme ce dernier l'a fait remarquer, considérer un indice négatif revient à replier une portion de l'espace pour la faire disparaître. Dans le cas présent, le repliement se fait vers l'extérieur, de sorte que le dipôle électrique ou la myriade de dipôles atomiques dont est formé un objet disparaissent non pas derrière cette cape d'invisibilité, mais devant... Le dispositif n'a pas encore été réalisé, mais il pourrait en principe rendre presque invisible tout objet dont la réponse électromagnétique serait analogue à celle d'un ensemble de dipôles. Sa réalisation, qui

demande un indice de réfraction proche de -1 , reste pour le moment un défi technique.

Quels types d'invisibilité avons-nous présenté à ce stade ? La cape d'invisibilité de J. Pendry et la lentille de V. Veselago sont deux cas d'invisibilité par réfraction. La première a pour effet de créer un indice de réfraction anisotrope positif (produit de la permittivité et de la perméabilité, qui sont ici deux ensembles de neuf nombres positifs) et la seconde un indice de réfraction isotrope négatif. Quant à la lentille parfaite cylindrique, supposée être caractérisée par un indice de réfraction proche de -1 , elle crée une invisibilité par réaction. Ce type d'invisibilité par réaction peut aussi être réalisé par des structures en échiquier dont les cases alternent des indices positifs et négatifs : la réaction consiste alors en la création de plasmons (des ondes électroniques de surface) qui vont absorber l'onde électromagnétique incidente, puis la restituer en arrière du dispositif, les cases d'indice négatif permettant un repliement de l'espace sur lui-même.

Nous voyons que les types d'invisibilité tendent à se multiplier et s'étendent à tous les types d'ondes. D'une manière générale, c'est l'art de la conformation à volonté du champ électromagnétique qui ne cesse de s'enrichir d'année en année. Il se fonde sur l'invariance de forme des équations fondamentales de la physique, et définit un nouveau modèle en physique des ondes : celui de la physique transformationnelle.

BIBLIOGRAPHIE

A. Nicolet, *Les capes d'invisibilité et l'optique transformationnelle*, Images de la Physique 2010, CNRS, 2010.

S. Guenneau et al., *Negative refraction in 2-D checkerboards by mirror anti-symmetry and 3-D corner lenses*, New Journal of Physics, vol. 7, p. 164, 2005.

F. Zolla et al., *Electromagnetic analysis of cylindrical invisibility cloaks and the mirage effect*, Optics Letters, vol. 32, pp. 1069-1072, 2007.

J. Pendry et al., *Controlling electromagnetic fields*, Science, vol. 312, pp. 1780-1782, 2006.

Ulf Leonhardt et Thomas Philbin, *Geometry and Light : The Science of Invisibility*, Dover publication, 2010.

A. Alu et N. Engheta, *Achieving transparency with plasmonic and metamaterial coatings*, Physical Review E, vol. 72, 016623, 2005.