



direction (rappelez-vous quand vous vous êtes cognés contre une porte en verre), mais un objet ne peut être invisible pour toutes les directions d'éclairage.

La question semblait donc définitivement réglée, jusqu'à ce que, en 2006, deux études théoriques soient publiées, l'une par Ulf Leonhardt, à l'université de Saint Andrews, en Écosse, et l'autre par John Pendry, de l'Imperial College de Londres, avec David Schurig et David Smith, de l'université Duke aux États-Unis. Ces deux articles proposaient des modèles théoriques de cape d'invisibilité fondés sur une technique nouvelle nommée «optique transformationnelle».

De quoi s'agit-il ? Quand de la lumière passe d'un milieu à un autre, par exemple de l'eau à l'air, elle change de direction – on parle de «réfraction». Cet effet est évident quand on observe une paille plongée dans un verre d'eau. L'idée clé de l'optique transformationnelle consiste à remarquer que, dans de nombreux cas, courber des ondes lumineuses équivaut mathématiquement à déformer la géométrie de l'espace. Le principe consiste donc à concevoir la déformation spatiale souhaitée, en l'occurrence celle qui force les rayons lumineux à contourner la région à dissimuler, puis à en déduire le type de matériaux nécessaires pour produire le dispositif de camouflage.

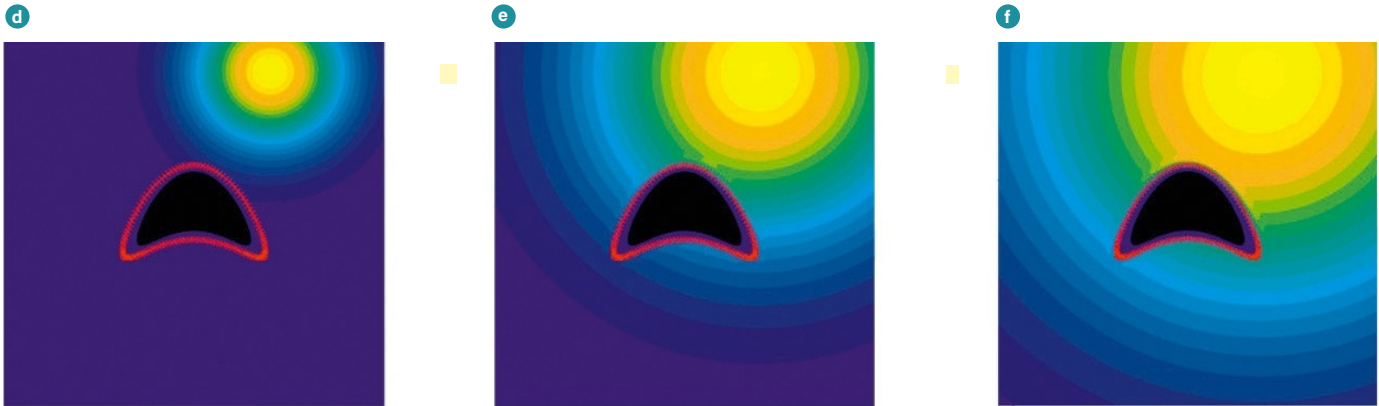
Comment est-ce possible alors que des recherches antérieures avaient apparemment prouvé l'impossibilité de l'invisibilité ? Les auteurs des deux études de 2006 résolvaient cette contradiction apparente de deux façons différentes. Ulf Leonhardt notait simplement

que la non-existence de l'invisibilité «parfaite» n'exclut pas la possibilité d'une quasi-invisibilité : un objet invisible à 99 %, par exemple, serait sans doute acceptable pour la plupart des applications. Quant à John Pendry et ses deux coauteurs, ils faisaient observer que les preuves de non-existence ne prennent pas en compte des milieux matériels très particuliers que l'on ne trouve pas dans la nature, mais que l'on peut fabriquer en laboratoire.

L'HEURE DES MÉTAMATÉRIAUX

Ces chercheurs pensaient à ce qu'on appelle à présent des «métamatériaux», des milieux formés par un assemblage de structures artificielles. Alors que la plupart des matériaux naturels ne réagissent qu'au champ électrique des ondes lumineuses, on pourrait mettre au point des métamatériaux présentant aussi une réponse magnétique. En outre, la plupart des matériaux naturels sont isotropes, c'est-à-dire que la lumière s'y propage à la même vitesse quelle que soit sa direction. Les matériaux anisotropes, où la vitesse de la lumière dépend de la direction considérée, offrent une liberté supplémentaire pour concevoir de véritables dispositifs de dissimulation.

Fin 2006, les chercheurs de l'Imperial College et de l'université Duke ont construit et testé un dispositif rudimentaire capable de cacher un objet vis-à-vis de microondes. Depuis, divers concepts de dispositif de dissimulation ont été proposés, et un certain nombre d'entre eux ont été testés. Notamment, en 2014, l'équipe de l'université Duke a fait la



démonstration d'une cape d'invisibilité aux ondes acoustiques. Bien que ces dispositifs soient loin de pouvoir prétendre à une véritable invisibilité, ils illustrent la validité des concepts théoriques.

La dissimulation parfaite vis-à-vis des rayons lumineux se heurte cependant à un certain nombre d'obstacles majeurs. Côté pratique, la construction de métamatériaux suppose de manipuler la structure de la matière à des échelles du même ordre que la longueur d'onde de la lumière (condition d'une forte influence sur l'onde), en l'occurrence le millionième de mètre : c'est encore hors de notre portée.

← Les courbes isothermes (du bleu au jaune, la température augmente) qui diffusent à partir d'une source de chaleur ponctuelle sont déformées par un objet dont la température est maintenue à zéro degré (a, b et c, à différents pas de temps) : ce comportement rend l'objet repérable, par exemple par une caméra thermique. Quand l'objet est entouré de sources de chaleur judicieusement choisies (en rouge), ces courbes isothermes redeviennent concentriques (d, e et f). En d'autres termes, on a rendu l'objet

27

UN OBSTACLE TEMPOREL

Il y a par ailleurs, du côté théorique, un défi encore plus difficile à relever. Pour que la cape soit vraiment indétectable, la lumière doit mettre le même temps à traverser la cape qu'à passer à côté. Or la lumière passant à l'intérieur de la cape doit parcourir une distance supérieure pour éviter la région masquée, ce qui signifie qu'elle doit se propager plus vite que la lumière extérieure. Par conséquent, la lumière à l'intérieur de la cape doit voyager à une vitesse supérieure à celle de la lumière dans l'air, qui est presque identique à la vitesse de la lumière dans le vide, c . Il est possible de réaliser cet exploit pour une plage très étroite de fréquences sans dépasser c et violer la théorie de la relativité d'Einstein, mais il semble impossible de le faire pour tout le spectre visible simultanément. En d'autres termes, on pourrait masquer une nuance donnée de

rouge, mais l'objet resterait bien visible pour la lumière de toutes les autres couleurs.

Si l'on ne réalisera probablement pas de capes d'invisibilité optique parfaites, ou juste raisonnablement bonnes, et de taille correcte, de nombreux obstacles à la dissimulation vis-à-vis de la lumière visible disparaissent pour d'autres types d'ondes que la lumière. La vitesse de ces ondes, très inférieure, n'a pas, en pratique, de limite supérieure ; de plus, les longueurs d'onde en jeu sont beaucoup plus grandes, ce qui les rend plus aisées à manipuler. Et si ce qui nous intéresse est de concevoir des dispositifs pour se protéger d'ondes destructrices, nous n'avons pas besoin d'atteindre la perfection. Une « cape d'invisibilité » réduisant l'impact d'une onde sismique sur un bâtiment ne serait-ce que d'un ordre de grandeur pourrait empêcher l'effondrement de ce dernier.