

concentrées et compactes, mais aussi une matière exotique dotée d'une énergie de masse négative. Problème, on n'en connaît aucune. La situation est tout autre en électromagnétisme: la cape d'invisibilité nécessite des matériaux à indice optique positif et d'autres à indice optique négatif. Cette fois, pas de difficulté théorique, car les métamatériaux sont précisément des matériaux à indice optique négatif, c'est-à-dire dans lesquels la réfraction ne suit pas les lois de Descartes.

De tels matériaux à indice optique négatif ont été théorisés à la fin des années 1960 par le physicien russe Victor Veselago. John Pendry, de l'Imperial College, à Londres, fut le premier à en fabriquer en 2006. Il s'agissait de structures périodiques formées d'anneaux et de fils métalliques. Les métamatériaux, dont la caractéristique essentielle est la périodicité, étaient nés.

Quels sont leurs avantages ?

D'abord, ils fonctionnent dans toutes les directions ! Par rapport à divers stratagèmes d'optique géométrique développés par des magiciens à partir de jeux de miroirs pour escamoter des parties d'une scène, c'est un progrès. Par contre, ils ne sont efficaces que pour une gamme étroite de longueurs d'onde, définie par la périodicité de la structure: ils sont assez monochromatiques. Par exemple, les premiers métamatériaux ont été conçus pour les microondes, et aucune autre onde électromagnétique. C'est quand même un peu embêtant... bien que dans le domaine des ondes acoustiques, des structures similaires métamatériaux ont fait la preuve de leur intérêt pour protéger un bâtiment des séismes.

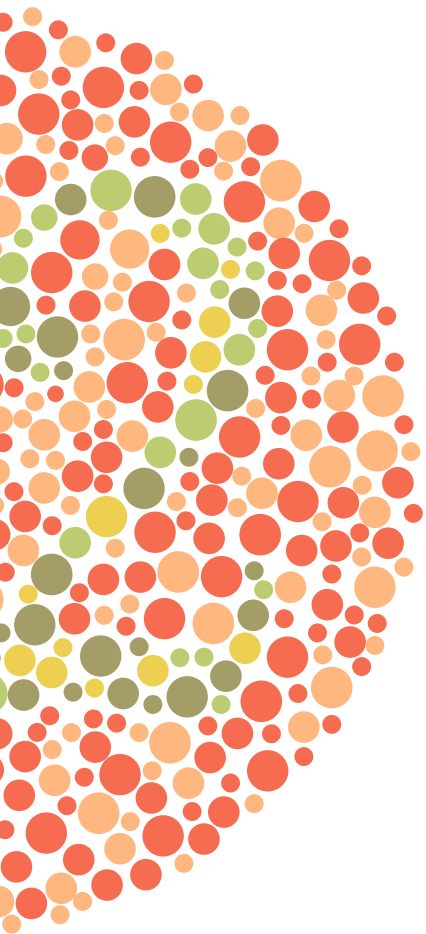
En admettant que l'on puisse concevoir des métamatériaux à maille de plus en plus fine, et donc se rapprocher des longueurs d'onde de la lumière visible, une difficulté théorique subsistera: un objet invisible en bleu ne le sera plus dans le rouge. On ne peut pas vraiment parler d'invisibilité totale, même si le gain possible en discrétion et en furtivité présente des avantages.

Sont-ce toujours des invisibilités ?

Oui, mais d'un autre ordre, car outre l'invisibilité concrète et complète, on peut aussi évoquer l'invisibilité liée à un contraste

affaibli. Ainsi, le caméléon est difficilement visible, car il se fond dans le décor et diminue au maximum le contraste de son corps avec la jungle ambiante. Ici, émetteur et récepteur jouent à parts égales dans l'invisibilité. Celle liée au daltonisme ne relève quant à elle que du récepteur. En effet, les daltoniens, qui n'ont que deux types de photorécepteurs aux couleurs au lieu de trois chez les individus normaux, ne voient pas les chiffres colorés se détacher du fond d'une autre couleur sur les planches du test d'Ishihara (*voir la figure ci-dessus*). De même, un tigre, pourtant d'un orange soutenu, n'apparaîtra pas clairement aux yeux d'une proie, comme un cervidé, car ses yeux ne sont pas sensibles aux mêmes couleurs que nous. Ici, les rayures du fauve ajoutent à la confusion en créant des effets de moirés au milieu de la végétation.

Dernier exemple, le crotale peut difficilement chasser en plein jour dans les déserts arides qu'il habite, car ses capteurs sensibles aux infrarouges ne distinguent pas ceux (avec des longueurs d'onde de l'ordre de 10 micromètres) émis par les animaux à sang chaud qu'il traque de ceux renvoyés par le décor chauffé



par le Soleil. Mais une fois la nuit venue, la température des rochers diminue, mais pas celle des petits rongeurs qui finiront au menu du serpent grâce à un meilleur contraste de leurs infrarouges. Notons aussi que le crotale est un animal à « sang froid », ce qui lui évite d'être ébloui par ses propres infrarouges !

L'invisibilité liée au récepteur ne peut-elle pas aussi résulter d'un éblouissement ?

C'est effectivement le cas des exoplanètes. Elles sont invisibles, car nos instruments sont éblouis. Ces astres diffusent bien la lumière de leur étoile, mais elle est noyée dans celle un milliard de fois plus intense qui en vient directement.

Plus largement, l'astronomie et l'astrophysique sont un peu le domaine de l'invisible par excellence. Une partie des neutrinos solaires sont restés des particules invisibles, et néanmoins postulées par la théorie, jusqu'à ce qu'on les détecte finalement. La matière noire qui explique notamment la dynamique des galaxies devrait s'appeler la « matière

invisible ». L'énergie sombre, à l'origine de l'accélération de l'expansion de l'Univers, est tout aussi invisible.

De même, le paradoxe de la nuit noire n'est un paradoxe uniquement parce que nos yeux sont aveugles à l'incandescence refroidie des premiers temps de l'Univers, c'est-à-dire le fond diffus cosmologique.

Pouvez-vous détailler cet exemple ?

L'idée, simplifiée, est qu'avec un Univers uniformément rempli d'étoiles éternelles, le ciel devrait apparaître incandescent dans toutes les directions. Ce n'est manifestement pas le cas... La solution est d'abord fondée sur le fait que les étoiles n'ont pas toujours existé et que leur lumière a une vitesse finie. Mais le ciel a bel et bien été uniformément lumineux, à une époque où, bien avant la formation des étoiles, la matière très chaude (à environ 3000 kelvins, soit plus de 2700 °C) et ionisée s'est recombinaisonnée en atomes neutres. La lumière libérée à ce moment est toujours là, mais sous l'effet de l'expansion de l'Univers, elle a rougi et s'est diluée. De fait, le ciel est toujours incandescent, mais seuls des capteurs comme ceux du satellite Planck y sont sensibles. Comme le disait René Barjavel : « La nuit n'est nuit que pour nous, ce sont nos yeux qui sont obscurs. »

Au-delà du récepteur, l'analyse et le traitement du signal ne sont-ils pas parfois impliqués dans l'invisibilité ?

Ça commence par notre propre cerveau ! La célèbre expérience de Christopher Chabris et Daniel Simons, de l'université Harvard, en 1999, le montre. Des participants sont invités à regarder un match de basket et à compter les passes. Trop occupés par cette tâche, environ la moitié des participants ne voient pas un comparse déguisé en gorille traverser le terrain en gesticulant ! Les yeux fonctionnent bien, le contraste est assurément fort, mais le gorille reste invisible.

Si l'on n'y prend garde, cette « cécité attentionnelle » se retrouve aussi dans des algorithmes d'intelligence dite « artificielle » pour lesquels certaines choses sont littéralement invisibles, car pas prévues par le programmeur, involontairement ou non... Là encore, l'invisibilité est-elle souhaitable dans de telles conditions ?