



m'est invisible si je n'ai aucun détecteur adapté à ce type de lumière ou bien si ce rayonnement est intercepté par un obstacle qui s'interpose. Autre exemple, les avions dits «furtifs» aux formes anguleuses sont difficilement détectables, car soit ils renvoient les ondes radars dans diverses directions sauf celle de l'observateur, soit ils les absorbent. Dans certains cas sur lesquels nous reviendrons, le signal est amené à contourner un objet et à reprendre sa course comme si de rien n'était. Là encore, pas d'interaction, pas de «visibilité».

### **L'invisibilité est donc autant une affaire d'émetteur que de récepteur ?**

Exactement. En les plaçant dans une sorte de matrice, un tableau à double entrée, avec d'un côté, l'émetteur émet ou pas, et de l'autre, le récepteur reçoit ou pas, on constate que parmi les quatre configurations possibles, une seule («le premier émet, le second reçoit») correspond à la visibilité, les trois autres conduisant à l'invisibilité.

De là, plusieurs situations donnent à... réfléchir. Ainsi, avec la lumière visible, par exemple, le principe du retour inverse s'applique: si la lumière va d'un point A à un point B, elle peut tout autant faire le trajet inverse. Conséquence: si vous voyez, vous pouvez être vu. Et un humain complètement invisible, rétines comprises, serait aveugle. C'est pour cette raison que chez les animaux marins transparents et du coup quasi invisibles, comme les méduses, l'œil (au moins) ne l'est pas.

### **Quelle est d'ailleurs la différence entre invisible et transparent ?**

Un objet ou un animal transparent est traversé par la lumière, mais pas forcément avec un coefficient de transmission égal à 1. En d'autres termes, une partie, souvent minime, de la lumière est absorbée et surtout réfléchi. Une vitre bien propre transmet jusqu'à 95 % de la lumière, mais les 5 % restants qui rebondissent sur la surface suffisent à trahir le verre. L'invisibilité correspondrait à une transparence idéale: 100 % de transmission, 0 % de réflexion et d'absorption. Cela revient à dire que la lumière se propage dans l'objet exactement comme elle le fait dans le milieu où il se trouve: ils ont le même indice optique (ou indice de réfraction).

Les méduses dont nous parlions ne sont pas complètement transparentes, car leur indice optique n'est pas exactement égal à celui de l'eau: elles réfléchissent un peu la lumière. Et pour reprendre l'idée d'alliance entre émetteur et récepteur, certains prédateurs, notamment

les poulpes, repèrent plutôt les méduses par la modification de la polarisation de la lumière qui les traverse, une information à laquelle nous humains sommes complètement insensibles. [La polarisation correspond à l'évolution de l'angle du plan de propagation des champs électrique et magnétique d'une onde lumineuse le long de sa trajectoire, ndlr.]

Chez les méduses et chez l'«homme invisible», outre les yeux, d'autres organes ne peuvent rester invisibles, ce sont ceux dédiés à la digestion. Un estomac invisible, mais plein, ça se voit!

## **Une solution serait alors de s'entourer de métamatériaux. Pouvez-vous rappeler ce dont il s'agit ?**

Le principe, assez astucieux, consiste à dévier la lumière, ou d'autres types d'ondes, et à faire en sorte qu'elles évitent un certain volume. C'est une sorte de mirage! Imaginons dans ce volume une boîte, et à l'extérieur deux individus, l'un d'un côté qui l'éclaire et l'autre, à l'opposé, qui regarde le précédent. Avec une boîte normale, les deux observateurs la repèrent facilement, que ce soit par la réflexion, la diffusion ou l'obstruction des rayons lumineux. Avec une boîte cernée de métamatériaux: celui qui éclaire voit son faisceau lumineux partir éclairer l'observateur, et celui-ci ne voit qu'un faisceau lumineux émis par une lampe exactement comme s'il avait été tout droit. Les deux personnages ne peuvent que conclure à l'absence d'objet entre eux deux. Une telle boîte est idéale pour jouer à cache-cache!

## **Est-ce absurde de comparer cette déviation de la lumière au phénomène des lentilles gravitationnelles ?**

Même si l'histoire a emprunté d'autres chemins, le rapprochement entre gravitation et électromagnétisme est pertinent. En relativité générale, la géométrie de l'espace-temps est imposée par la distribution de masse et d'énergie. Le mouvement naturel suit une géodésique de l'espace-temps: c'est une ligne droite en l'absence de toute masse et une orbite dans le voisinage du Soleil par exemple. À partir des équations d'Einstein, on peut ainsi, connaissant les caractéristiques de notre étoile, calculer les orbites des planètes. L'inverse est tout aussi possible: déterminer la distribution de masses de façon à obtenir une géométrie particulière, par exemple celle correspondant à un trou de ver, c'est-à-dire un «tunnel» entre deux régions distinctes de l'espace-temps.

Transposées à la lumière, les équations d'Einstein deviennent celles de Maxwell et la relativité générale, la théorie de l'électromagnétisme. La question du trou de ver est alors: dans un milieu, non homogène et non isotrope, peut-on imaginer une distribution d'indices optiques de façon que tous les rayons lumineux évitent totalement une zone de l'espace? En un mot, une cape d'invisibilité est-elle possible? C'est l'objet de l'électromagnétisme transformationnel.

Pour le trou de ver, les solutions, compatibles avec les équations de la relativité générale, requièrent des masses «classiques»,