

SCIENCE & FICTION

Le fantasma de l'invisibilité

Pour être invisible, un objet ou un organisme vivant doit être transparent et ne pas réfléchir la lumière. Différentes techniques sont à l'étude, mais aucune n'est parfaite.

Ce qui n'empêche pas certains cinéastes de jouer avec l'invisibilité de leurs personnages.

Roland LEHOUCQ et J. Sébastien STEYER

Pourquoi le désir d'invisibilité est-il si fort et si présent dans l'inconscient collectif, dans la littérature et dans les films ? Vraisemblablement parce que l'invisibilité fait disparaître les contraintes sociales et morales. Pouvant échapper à tout châtement, l'homme invisible devient un danger pour la société.

C'est d'ailleurs le sujet de la fable de Gygès, contée par Platon au début du II^e livre de *La République*. Gygès, simple berger de Lydie, découvre par hasard un anneau qui lui permet de se rendre invisible tout en conservant la faculté de voir et d'entendre ce qui se passe autour de lui. Grâce à ce pouvoir, il se rend au palais royal, séduit la reine, complot avec elle et assassine le roi pour s'emparer du pouvoir. Cette expérience de pensée permet à Platon de discuter de ce qu'est un homme juste et des motivations de la moralité.

C'est une histoire voisine que raconte H. G. Wells dans son roman *L'Homme invisible* (1897), où le chimiste Jack Griffin découvre un sérum d'invisibilité et le teste sur lui. Jouissant de ce pouvoir, il commet vols et crimes, s'enfermant dans une spirale infernale qui le conduira à la mort. Souvent, l'invisibilité est un superpouvoir qui se paie cher, comme l'apprendront aussi Bilbo, puis son neveu Frodon, en utilisant l'Anneau Unique de Sauron dans les œuvres de J. R. R. Tolkien (*Bilbo le Hobbit*, 1937, et *Le Seigneur des Anneaux*, 1954-55).

Quant aux méthodes conférant l'invisibilité, elles varient de la magie jusqu'aux

procédés techniques les plus élaborés. Côté magie, Harry Potter et sa cape d'invisibilité viennent immédiatement à l'esprit. Pour le reste, les exemples foisonnent. Ainsi, Jane Storm, membre des *Quatre Fantastiques* (Marvel Comics, 1961), peut se rendre invisible à volonté après avoir été irradiée accidentellement par des rayons cosmiques durant une expédition spatiale. Dans la série américaine *L'homme invisible*, datant de 1975, le savant Daniel Westin met au point une « machine à rayons » capable de rendre les objets invisibles et qu'il s'applique à lui-même. Plus près du mimétisme, le major Kusanagi est une cyborg du manga *Ghost in the shell* dotée d'un camouflage « thermo-optique » qui n'est pas sans rapport avec l'armure de l'affreux extraterrestre du film *Predator*, qui renvoie la lumière pour annuler le contraste avec son environnement.

Des solutions pour se rendre invisible

Quittons le domaine de la fiction pour nous poser la question de l'invisibilité sur Terre. Nous constatons que de nombreux animaux (céphalopodes, arthropodes ou caméléons) disposent de différents types de camouflages ou autres mimétismes, qui ont été sélectionnés au cours de l'évolution. En effet, ils leur confèrent un avantage lors de la chasse ou pour passer inaperçus aux yeux de leurs prédateurs. Ces stratégies sont rendues possibles notamment grâce à des cellules pigmentaires de la peau (les chromatophores



1. L'HOMME INVISIBLE a été le héros de très nombreux romans, films, séries télévisées ou bandes dessinées !

et les iridophores) qui réfléchissent différemment la lumière. Par ailleurs, l'imagerie médicale rend le corps quasi transparent, et les physiciens fabriquent des capes d'invisibilité.

La première solution pour disparaître aux yeux des humains consiste à ne pas absorber la lumière visible : l'objet est transparent. Mais la transparence ne garantit pas l'invisibilité. Bien qu'une faible épaisseur d'eau ou de verre n'absorbe quasiment pas la lumière visible, nous voyons la surface d'une goutte d'eau ou celle d'une vitre parce qu'elles réfléchissent une partie de la lumière incidente. Cette réflexion est inévitable, car elle est due à la différence entre l'indice optique du milieu (ici l'eau ou le verre) et celui de l'air. L'indice optique de la matière biologique étant plus proche de celui de l'eau que de celui de l'air, il est plus facile de limiter les réflexions – et donc de devenir invisible – dans l'eau que dans l'air.

C'est le cas de certains organismes marins, tels que les méduses ou les poissons des abysses : ils passent *incognito*, d'une part, car leurs tissus sont transparents et, d'autre part, car la lumière est faible à grande profondeur. D'autres espèces – manchots, cétaqués ou requins – ont le dos beaucoup plus sombre que le ventre, de sorte que leur corps se confond soit avec la surface de l'océan quand ils sont observés de dessus, soit avec le ciel quand on les voit de dessous.

Les réflexions étant évitées, il reste à se prémunir contre la diffusion de la lumière. Pour qu'un tissu biologique évite au mieux la diffusion, il doit être organisé de façon homogène sur des distances comparables aux longueurs d'onde de la lumière visible. C'est possible, comme l'illustre la cornée de l'œil qui est transparente grâce à un arrangement parfaitement régulier des fibres de collagène qui la composent. Mais c'est également rare, car les proportions et les propriétés optiques des composants des tissus biologiques varient notablement.

Pour étudier un squelette ou des tissus, la technique classique consiste à tremper l'animal dans différents bains (contenant notamment des enzymes, de l'alcool et des colorants), afin de rendre les chairs invisibles et de colorer les tissus que l'on souhaite observer (par exemple, le cartilage et les os). Une équipe américaine de l'Université Stanford a récemment réussi à rendre transparent le cerveau d'une souris en le plongeant dans un bain d'hydrogel, une substance similaire à celle dont sont



2. L'ARTISTE peut rendre un être humain transparent. Dans la réalité, même si diverses techniques sont aujourd'hui à l'étude, l'invisibilité reste un mythe.

constituées les lentilles jetables. Les molécules de ce gel ont pénétré dans les tissus, formant une armature souple et transparente ; les lipides cellulaires opaques à la lumière ont été éliminés. Cette technique a permis d'obtenir des clichés incroyablement précis de l'architecture moléculaire du cerveau.

Du naturel à l'artificiel

Il existe d'autres façons de créer l'invisibilité. Si vous branchez une *webcam* qui filme très précisément l'arrière-plan de votre écran d'ordinateur, et si vous adaptez précisément l'image à la taille de votre écran, vous aurez l'impression que votre écran est devenu invisible ! Malheureusement, ce procédé ne fonctionne que selon la direction perpendiculaire à l'écran. Un étudiant japonais de l'Université de Tokyo, Kazutoshi Obana, a perfectionné cette idée. Une caméra filme l'arrière-plan d'une personne et l'image obtenue est projetée sur l'avant de l'individu. Pour que l'illusion soit parfaite, il faut que le sujet porte un manteau couvert de milliers de minuscules réflecteurs sphériques dont la partie postérieure est réfléchissante. En renvoyant chaque rayon lumineux dans sa direction d'arrivée, ce manteau *high-tech* donne l'illusion que celui qui le porte est transparent. Comme pour l'écran d'ordinateur, le seul défaut de ce spectaculaire procédé de camouflage optique est qu'il n'est efficace que dans une seule direction.

En octobre 2006, David Smith et ses collègues de l'Université Duke, en Caroline du Nord, ont réussi à rendre un objet réellement invisible. Pas invisible à la lumière du Soleil, mais dans la gamme des micro-ondes. D'habitude, les engins furtifs absorbent l'énergie électromagnétique incidente ou la renvoient grâce à la forme particulière de leur fuselage. Les Américains ont utilisé des métamatériaux (dont l'indice de réfraction est négatif) pour construire un dispositif capable de forcer les rayons lumineux à contourner un objet, un peu comme l'eau s'écoule autour d'un galet. Les rayons ne sont ni absorbés ni renvoyés par l'objet, de sorte qu'il devient invisible. En raison des contraintes de fabrication, l'équipe américaine a dû utiliser des micro-ondes. Mais, en principe, ce qu'ils ont réalisé pour les micro-ondes pourrait l'être pour les ondes visibles. Les recherches s'orientent aujourd'hui vers des matériaux invisibles dans la partie visible du spectre lumineux.

On le voit, la science rattrape une fois encore la fiction, et la voiture invisible de James Bond sera peut-être un jour accessible à tous. Mais cela ne deviendrait intéressant que si son conducteur était, lui aussi, invisible ! ■

J.-S. STEYER est paléontologue au CNRS-MNHN, à Paris. R. LEHOUCQ est astrophysicien au CEA, à Saclay.

Retrouvez les articles de J.-S. Steyer et R. Lehoucq sur www.pourlascience.fr



ART & SCIENCE

Entre le vivant et l'inerte

Plusieurs designers s'inspirent de la biologie pour concevoir des objets, réalistes ou provocants, qui transformeront – peut-être – notre quotidien. Leur motivation est de repenser notre relation à la nature.

Loïc MANGIN

Le biomimétisme a le vent en poupe depuis plusieurs siècles. Chimistes, physiciens, ingénieurs et biologistes s'associent pour observer et décrypter les phénomènes vivants afin de s'en inspirer pour créer de nouveaux matériaux ou processus. C'est d'autant plus vrai aujourd'hui que certains y voient un moyen de faire face aux enjeux environnementaux. Le biomimétisme serait un moyen, parmi d'autres, de passer d'une économie fondée sur le carbone (polluante et gourmande en énergie et en ressources naturelles) à une économie plus « verte ». En d'autres termes, l'observation du vivant aiderait à protéger... le vivant, y compris l'humanité.

Les exemples de biomimétisme sont légion. L'un des plus connus est la tentative de Léonard de Vinci d'imiter le vol des oiseaux pour concevoir une machine volante. Le velcro est inspiré des crochets de la bardane. Des pare-brise sont rendus autonettoyants grâce à la compréhension des propriétés hydrophobes des feuilles de lotus.

L'art n'est pas en reste, et notamment le design – cet art appliqué dont le but est de résoudre un problème lié à l'usage, la forme d'un objet, la technique mise en œuvre pour le fabriquer... La Fondation EDF propose une exposition consacrée aux œuvres de designers qui travaillent avec des matériaux et des techniques issus du vivant. En voici quelques pièces représentatives.

La Britannique Elaine Ng Yan Ling, dans le cadre de son projet *Techno Naturology*, a

conçu des textiles fondés sur les matériaux à mémoire de forme associés à du bois et à des fibres naturelles (voir la figure a). Le résultat est un tissu qui imite le comportement d'une pomme de pin : il est sensible aux écarts de température et à l'humidité. On peut alors imaginer des revêtements qui laissent passer la lumière l'hiver et protègent du soleil l'été. Autre exemple, des vêtements et des accessoires qui changent de forme selon l'environnement.

Pour pallier le manque de matériaux, sable pour le béton ou bois, Philip Ross a une solution : utiliser des champignons !

Le Français Vincent Fournier s'est placé dans un futur imaginaire où la biologie de synthèse aurait conquis notre quotidien. Il a imaginé un drone en forme de méduse (voir la figure b). Ce robot, mi-vivant, mi-machine, serait immergé dans les rivières et en sortirait pour survoler des zones victimes de sécheresses localisées et y larguer l'eau qu'il contient. Activé par des températures supérieures à 30 °C, il serait guidé à partir des informations recueillies par des satellites de surveillance.

Le 29 mai 2013, l'Assemblée nationale a été alertée d'une possible pénurie de sable, indispensable à la confection du béton. Certaines essences de bois se font rares. Pour pallier ces manques et continuer à construire des meubles ainsi que des bâtiments, l'Américain Philip Ross

propose d'utiliser les champignons ! L'idée consiste à cultiver sur de la sciure ces organismes qui, en consommant la cellulose du substrat, le solidifie. On obtient alors, après séchage, un matériau léger et résistant dont on peut faire, par exemple, une chaise (voir la figure c) ou des briques.

Le Français Émile de Visscher a élaboré une méthode, nommée *Pearling*, pour faire pousser chez soi des perles. La nacre est un empilement régulier de couches de cristaux d'aragonite (un carbonate de calcium) autour d'un germe, par exemple un grain de sable. Le principe mis au point par le designer est calqué sur cette structure : un objet est plongé et retiré de façon périodique dans un bain de matières polarisées dispersées dans de l'eau (voir la figure d). À chaque cycle, une mince couche se dépose, et l'on peut imaginer transformer ainsi n'importe quel objet en bijou.

Enfin, dernier projet, celui de la Britannique Shamees Aden. Il s'agit d'une chaussure qui s'adapte automatiquement à la surface du terrain (voir la figure e). Son secret ? Elle est constituée de protocellules, à la frontière du vivant et de l'inerte, qui réagiraient à l'activité du coureur.

Plusieurs de ces idées sont déjà mises en œuvre concrètement. D'autres n'existent que pour provoquer l'imagination. Mais n'est-ce pas ce dont nous avons besoin ? ■

En vie/Alive, aux frontières du design, Espace Fondation EDF, 6 rue Récamier, 75007 Paris



Elaine Ng Yan Ling



Vincent Fourrier



Philip Ross



Emile de Visscher



Sharmes Aden

IDÉES DE PHYSIQUE

Les mélodies du café soluble et de l'hélium

On peut modifier un bruit ou une voix en jouant sur les paramètres qui déterminent la vitesse de propagation du son.

Jean-Michel COURTY et Édouard KIERLIK

La voix d'un scaphandrier en plongée profonde, qui respire un mélange à base d'hélium, devient aiguë et nasillarde ; lors de la préparation d'une boisson instantanée, café ou chocolat, la hauteur du son émis par la cuillère qui frappe la tasse change progressivement. À quoi sont dues ces modifications sonores ? Elles ne proviennent pas du raccourcissement d'une corde, comme pour un violon, ou d'un changement de la longueur active d'un tuyau, comme pour une flûte. Tant pour le plongeur que pour la tasse, c'est le changement de la vitesse du son qui est à l'œuvre.

Un air d'effervescence

Allons en cuisine pour expérimenter cet effet et comprendre son origine. Prenons un verre cylindrique et tapotons le fond avec une petite cuillère alors qu'il est encore vide. Répétons l'expérience après avoir rempli le verre d'eau. Le son émis est plus aigu. Pourquoi ?

En tapotant le fond du verre, nous mettons en vibration à la fois le matériau constituant les parois du verre et le fluide – air ou eau – qu'il contient. Ce sont les vibrations de ce fluide qui vont nous intéresser.

Supposons le verre haut et étroit (ce n'est pas essentiel pour l'expérience, mais cela simplifie l'explication). On a alors un tuyau ouvert à une extrémité et fermé à l'autre, semblable à de nombreux instru-

ments de musique. Mise en mouvement par le choc de la petite cuillère contre le verre, la colonne de fluide ne vibre qu'à certaines fréquences, les fréquences de résonance. Dans notre cas d'un tube ouvert-fermé, il s'agit des multiples impairs de la fréquence fondamentale, égale au quotient de la vitesse du son dans le fluide sur quatre fois la hauteur du tube.

Pour un verre haut de dix centimètres et rempli d'air, la fréquence fondamentale est de l'ordre de 800 hertz. La vitesse du son dans l'eau, 1 500 mètres par seconde, étant près de cinq fois plus élevée que dans l'air

(330 mètres par seconde), les fréquences de vibration sont dans le même rapport. Ainsi, avec un verre plein d'eau, les vibrations ont une fréquence de 3,8 kilohertz et le son émis est plus aigu de plus de deux octaves.

Versons maintenant dans le verre plein d'eau un peu de poudre de pastille effervescente écrasée et agitions avec la petite cuillère en prenant soin de faire tinter le verre en même temps. Lorsque les premières bulles apparaissent, le son émis devient plus grave, bien plus grave même qu'avec le verre vide. Puis, à mesure que les bulles disparaissent, le son remonte progressivement dans les

aigus jusqu'à rejoindre le son du verre plein (voir la figure 1).

Qualitativement, on comprend que la présence des bulles a modifié la vitesse du son dans le fluide, et donc la fréquence de vibration de celui-ci. Mais comment se fait-il que la note entendue soit plus grave que celle du verre plein d'air et que celle du verre plein d'eau ? La fréquence du son émis par le mélange ne devrait-elle pas être une sorte de moyenne des deux ?

Pour comprendre ce qui se passe, nous devons analyser plus en détail les paramètres qui influent sur la vitesse à laquelle se propage le son. Considérons un long ressort à boudin, modèle macroscopique qui aide à visualiser les phénomènes



1. LORSQU'ON AGITE LA CUILLÈRE dans un verre d'eau où l'on a immergé un cachet effervescent, la hauteur du son produit diminue avant d'augmenter. La présence des bulles modifie la compressibilité du liquide et, de ce fait, la vitesse du son dans ce milieu – d'où les changements de la hauteur du bruit créé par la cuillère.