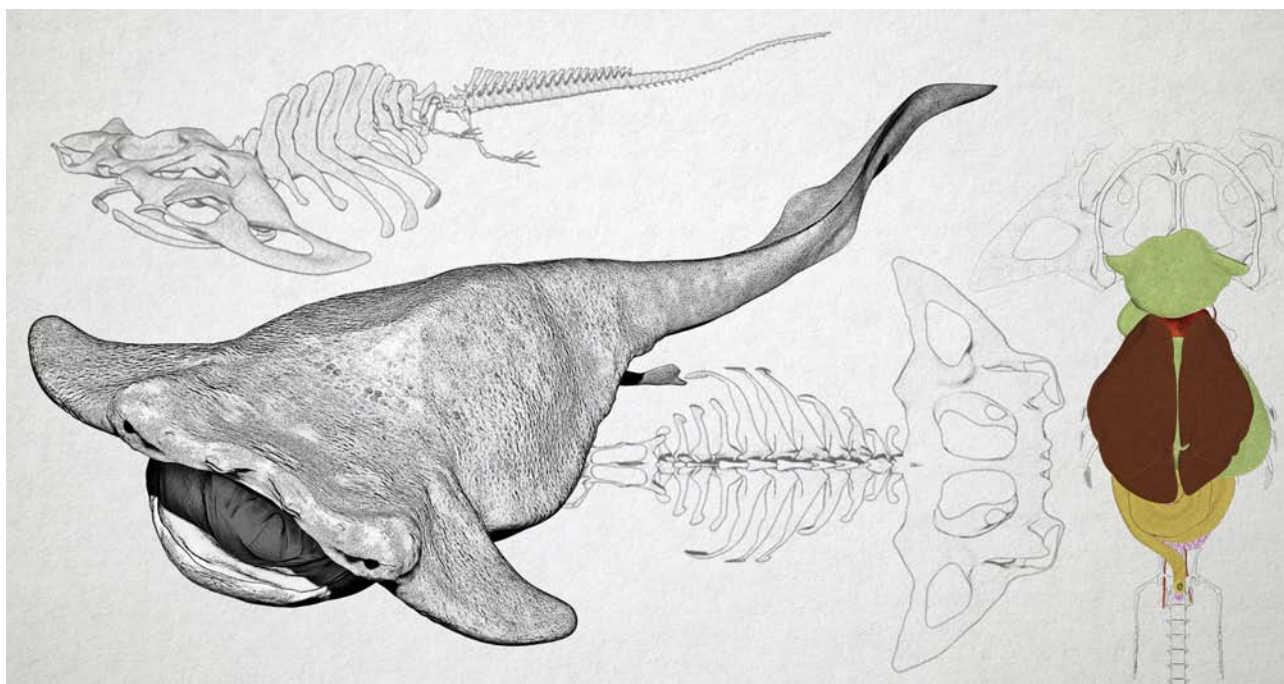




ET SI YODA ÉTAIT APPARENTÉ À *BENTHOGYRINUS*, un amphibien géant et imaginaire, présenté ici sous forme de planche anatomique ?

bouche munie de dents. Yoda possède donc tous les caractères (anthropomorphisés, certes !) du tétrapode, c'est-à-dire du vertébré muni de membres chiridiens (en l'occurrence des doigts).

Sur Terre, les tétrapodes regroupent les amphibiens, les reptiles (oiseaux inclus) et les mammifères, soit 30 000 espèces environ. Aquatiques, amphibies, terrestres ou volants, ils occupent des écosystèmes variés. L'habitat de Yoda peut-il nous renseigner sur son identité ? À défaut de connaître son monde d'origine, penchons-nous sur Dagobah, sa planète d'adoption : c'est une planète tellurique dont l'atmosphère est assez riche en dioxygène pour que Luke Skywalker puisse respirer et dont la pression et la température permettent à l'eau d'y être présente à l'état liquide. Dagobah est recouverte de marécages brumeux. Les formes de vie les plus visibles sont végétales, sans doute des plantes dont la structuration semble assez complexe. Yoda paraît bien adapté au climat chaud et humide de Dagobah ainsi qu'à son écosystème marécageux.

Sur Terre, les tétrapodes adaptés à de tels environnements d'eau douce et de climat tropical sont notamment les amphibiens, représentés aujourd'hui par les anoures (grenouilles, crapauds), les urodèles (salamandres, tritons) et, plus discrets, les gymnophiones (ou « apodes » car ils ont perdu leurs pattes), soit environ

5 500 espèces. La plupart des amphibiens adultes sont munis de poumons, mais respirent aussi grâce à leur peau lisse et visqueuse. Yoda a des poumons (il a des narines et une cage thoracique), mais il ne semble pas respirer par la peau, sinon il ne serait que rarement vêtu !

Le Maître Jedi serait-il un amphibien ? Le fait qu'il porte des griffes n'est pas incompatible avec cette idée : de nombreux amphibiens actuels, tels le crapaud *Xenopus laevis* ou la grenouille *Astyloternus perreti*, sont munis de griffes qui leur permettent de creuser, de se défendre ou de saisir la femelle pendant l'accouplement. Les griffes d'*Astyloternus perreti* sont même rétractiles et constituées d'os pointus qui sortent en transperçant parfois la peau, un peu comme chez Wolverine dans *X-men*.

Des doigts de grenouille

Le nombre de doigts de Yoda pourrait nous aider à l'identifier. Le nombre d'orteils varie selon les films (trois dans l'*Épisode I*, quatre dans les autres), mais le Jedi a toujours trois doigts aux membres antérieurs, comme les oiseaux, les rhinocéros ou encore le cheval (qui, même s'il se déplace sur un gros doigt, en a deux autres sur les côtés, très régressés). Signalons que les rhinocéros et chevaux sont des mammifères périssodactyles, c'est-à-dire caractérisés par un nombre impair de doigts à l'arrière terminés par des

sabots. Yoda présente-t-il des sabots ? Non. Des ailes ? Non plus. Notons que certains dinosaures, proches justement des oiseaux, présentaient eux aussi trois doigts à l'avant. C'est le cas d'*Allosaurus fragilis*, théropode du Jurassique, mais aussi de certains amphibiens, encore eux ! *Brachycephalus tridactylus*, comme son nom l'indique, est une petite grenouille du Brésil dont chacune des quatre pattes est dotée de trois doigts.

Yoda serait donc un amphibien. Il devrait alors pondre et se reproduire dans l'eau. George Lucas, producteur des deux premières trilogies *Star Wars*, est hélas resté très pudique sur la sexualité du vieux sage. Dans *La Menace Fantôme* (Épisode I), où de nombreuses espèces extraterrestres sont présentes au Sénat galactique (avec un clin d'œil à E. T. de Spielberg), on distingue tout de même Yaddle qui n'est autre qu'une Yoda version femelle. Nous en déduisons donc que l'espèce se propage bien par reproduction sexuée.

Amphibien ou pas, espérons que le prochain opus nous éclairera sur ce sujet. En attendant, dans le documentaire *From Puppets to Pixels*, George Lucas, grand fan du *Muppet Show*, donne peut-être la solution sur l'origine de Yoda : « c'est une grenouille, le fils illégitime de Peggy la cochonne et de Kermit » ! ■

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

ART & SCIENCE

Dans la tête d'un requin-marteau

Grâce à des casques-sculptures, deux artistes irlandais proposent d'adopter la vision du monde d'un requin-marteau, d'un caméléon, d'une girafe... ou encore d'Alice regardant le chat du Cheshire, dont seuls les yeux et la bouche restent visibles.

Loïc MANGIN

Quel effet cela fait-il d'être une chauve-souris ? Cette interrogation est le titre d'un article du philosophe américain Thomas Nagel paru en 1974. Il dénonce les hypothèses dominantes à l'époque selon lesquelles les états mentaux ne relèveraient que de processus neurobiologiques. Selon Th. Nagel, ces théories négligent l'expérience phénoménale, c'est-à-dire ce que l'on ressent quand on perçoit quelque chose. Cette expérience prend en compte les stimulus sensoriels, mais aussi les sensations corporelles (faim, fatigue...), les émotions, les sentiments, etc.

Ces idées sont à rapprocher du concept de *Umwelt*, ou « monde propre », développé au début du XX^e siècle par le biologiste allemand Jacob von Uexküll : chaque espèce est dotée d'un environnement sensoriel caractéristique, une sorte d'expérience personnelle de ce qui l'entoure. En fin de compte, Th. Nagel affirme que le seul moyen de savoir ce que c'est d'être une chauve-souris serait d'être soi-même... une chauve-souris.

Eh bien soit ! C'est probablement ce que se sont dit Anne Cleary et Denis Connolly, artistes en résidence au Centre culturel irlandais, à Paris. Dans le cadre de leur exposition *The Meta-perception Club*, ils présentent une série de sculptures interactives — des casques — qui offrent aux visiteurs la possibilité d'explorer les mystères de la perception visuelle en se mettant dans la tête de diverses espèces : un cheval, une girafe, un caméléon, un requin-

marteau et même d'Alice, le personnage de Lewis Carroll, face au chat du Cheshire, qui a l'habitude de disparaître partiellement !

L'idée leur a été inspirée par une expérience de l'Américain George Stratton, un pionnier de la psychologie expérimentale et de l'étude de la vision. Au début du XX^e siècle, il porta pendant plusieurs jours des lunettes qui inversaient le haut et le bas ainsi que la droite et la gauche. Au début déboussolé, il s'adapta en une semaine à cette nouvelle façon de voir et affirma même que son cerveau avait rétabli son environnement dans le sens original. Cette dernière assertion a été

Le seul moyen de savoir ce que c'est d'être une chauve-souris serait d'être soi-même... une chauve-souris.

contestée, par exemple par David Linden et ses collègues de l'Institut Max Planck pour les neurosciences, à Francfort, en Allemagne.

Toutefois, ces expériences montraient que la vision est une porte d'entrée pour explorer, au moins de façon partielle, le *Umwelt* de l'être humain. Pouvaient-ils faire de même avec d'autres espèces animales ? C'est ce à quoi se sont attelés A. Cleary et D. Connolly, avec l'aide de Patrick Cavanagh, du Laboratoire Psychologie de la perception, à l'Université Paris Descartes. Pour ce faire, ils ont construit des casques équipés d'un dispositif optique (des lentilles, des miroirs, des tubes...) qui offrent à celui

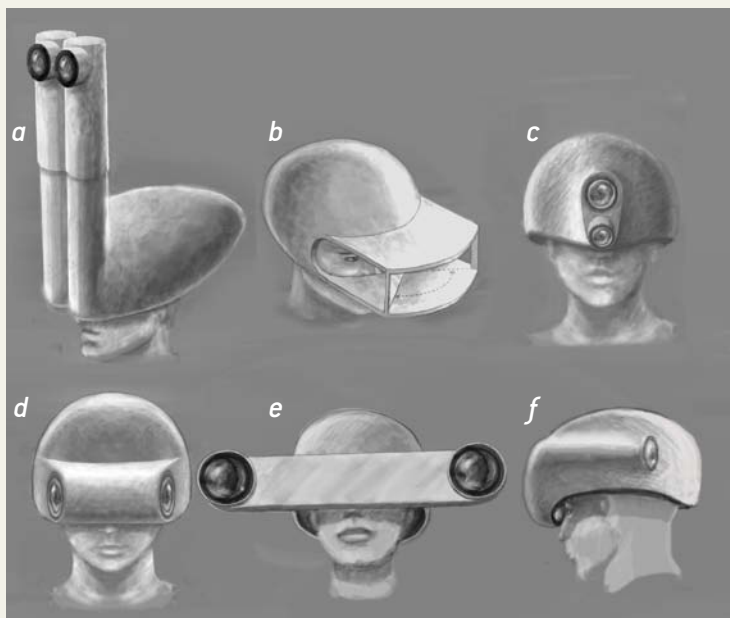
qui les coiffe une nouvelle vue sur le monde (voir page ci-contre). Ainsi, pour un requin-marteau, les « yeux » sont très espacés ; pour un cheval, les champs de vision, latéraux, ne se recouvrent quasiment pas ; pour un caméléon, ils s'ouvrent dans des directions opposées ; pour une girafe, ils sont haut perchés.

Le casque du chat du Cheshire, inspiré des travaux de Sally Duensing, en 1978, au Musée de l'Exploratorium, à San Francisco, est plus complexe. En le portant face à un individu, vous voyez, d'une part, son visage et, d'autre part, votre main lorsque vous l'agitez sur le côté. Votre cerveau mêle les deux images, ce qui se traduit souvent par l'effacement de votre vis-à-vis, à l'exception... de ses yeux et de sa bouche.

Les objets conçus par les deux artistes ont été élaborés comme des sculptures. De belle facture, ils ont été façonnés à la main en aluminium par Niall McKenzie, un carrossier installé sur l'île de Jersey. Ils sont à la disposition des visiteurs, les créateurs tenant à la participation du public — une constante dans leur œuvre. Allez donc bousculer votre *Umwelt* !

Selon Oscar Wilde, un autre Irlandais : « La beauté (d'une œuvre d'art par exemple) se situe dans l'œil de celui qui regarde. » Les casques vont encore plus loin, car cette fois, l'œuvre devient l'œil de celui qui regarde. ■

The Meta-perception club, du 6 janvier au 20 février 2015, au Centre culturel irlandais, 5 rue des Irlandais, 75005 Paris. <http://www.centreculturelirlandais.com>



CES CASQUES AIDENT À SE METTRE DANS LA PEAU d'une girafe (a), d'Alice face au chat du Cheshire (b), d'un cyclope (c, *celui-ci n'a pas été construit*), d'un cheval (d), d'un requin-marteau (e), d'un caméléon (f)...



À QUOI RESSEMBLERAIT PARIS vu par un hypothétique requin-marteau installé en haut de la butte Montmartre ?



Anne Cleary et Denis Connolly

LE CASQUE DU CHAT DU CHESHIRE, du nom du personnage de Lewis Carroll, ne laisse apparaître que les yeux et la bouche d'un individu situé en face de vous.

IDÉES DE PHYSIQUE

Refroidir avec des aimants

Certains matériaux s'échauffent quand on les plonge dans un champ magnétique. Des réfrigérateurs de nouvelle génération utilisent cet effet magnétocalorique.

Jean-Michel COURTY et Édouard KIERLIK

Le temps des réfrigérateurs fonctionnant avec des compresseurs, des hautes pressions et des gaz nocifs à la couche d'ozone est-il révolu ? La société alsacienne *Cooltech* est la première au monde à industrialiser et à commercialiser une alternative crédible à ces dispositifs classiques : un système de réfrigération constitué d'aimants ! Il est fondé sur l'effet magnétocalorique, découvert en 1881 sur le fer par le physicien allemand Emil Warburg. Plongez un matériau magnétique dans un champ magnétique et il s'échauffera légèrement ; retirez-le et il se refroidira. Nous donnerons plus loin une explication de ce phénomène. Commençons par le plus facile : comment, à partir de ces variations de température, réaliser un réfrigérateur ?

Un cycle thermique avec un matériau magnétique

Le principe est simple (voir la figure de gauche page 87) et ressemble au cycle suivi par le fluide frigorigène dans un réfrigérateur classique. Lorsqu'on plonge le matériau magnétique à température ambiante dans le champ d'un aimant, il s'échauffe. Au moyen d'un échangeur thermique, on évacue partiellement la chaleur produite. Il suffit alors de retirer le matériau du champ

pour le refroidir à une température inférieure à la température ambiante, puis refroidir l'espace à réfrigérer grâce à un second échangeur thermique.

Comment optimiser le dispositif ? D'abord en réalisant des champs magnétiques puissants, ce qui est possible aujourd'hui avec des aimants au néodyme en U. Le champ qu'ils créent peut atteindre une intensité de un tesla, soit plus de 10 000 fois l'intensité du champ magnétique terrestre.

Vient à présent le choix du matériau magnétocalorique. Dans un réfrigérateur classique, pour plus d'efficacité, le cycle met en jeu l'évaporation et la condensation d'un fluide, c'est-à-dire le passage entre le liquide, une phase ordonnée, et le gaz, une

phase non ordonnée. De façon analogue, pour un réfrigérateur magnétique, on met à profit la transition entre un état magnétique ordonné, où les aimants élémentaires – ou spins – du matériau sont alignés, et un état non ordonné, où les orientations des spins sont quelconques.

Cette transition se produit à une température nommée température de Curie. Le fer, par exemple, perd son aimantation (état magnétique ordonné) à 770 °C. Autour de cette température, l'aimantation varie considérablement avec la température et est très sensible au champ magnétique ; les variations d'énergie y sont donc importantes.

Cependant, la température de Curie du fer est trop élevée pour des applications. Le gadolinium, avec une température de Curie de 18 °C, est un bien meilleur candidat. Il a été utilisé dans le prototype de réfrigérateur réalisé par les laboratoires américains Ames en 1997, mais les performances de cet appareil sont demeurées modestes, avec un écart de température de 10 °C pour un champ de 10 teslas.

Aujourd'hui, de nouveaux alliages, d'utilisation plus souple et présentant un effet magnétocalorique plus marqué, ont fait leur apparition. Comme l'élévation de température demeure limitée à quelques degrés, il faut envisager des séries de cycles de magnétisation-démagnétisation de ces alliages pour cumuler l'effet et obtenir des différences de température utiles.



DES RÉFRIGÉRATEURS fondés sur l'effet magnétocalorique commencent à être commercialisés, pour des applications encore surtout industrielles (à gauche, le dispositif réfrigérant).