

disposer au minimum de la profondeur d'eau affichée sur la carte.

PLS

Hormis la cartographie par sonar, qui reste la technique la plus précise mais qui est lente à mettre en œuvre, existe-t-il des méthodes aériennes, voire satellitaires ?

T. S. : La difficulté majeure pour cartographier le fond des océans est que la lumière visible ne pénètre qu'à 60 mètres au mieux et cela dépend aussi de la turbidité des eaux. Si les conditions sont optimales, en Polynésie française par exemple, où l'eau est peu profonde et assez limpide, on peut utiliser des images aériennes pour estimer la profondeur. Mais cette approche est peu précise.

Une autre possibilité est d'utiliser un lidar aéroporté, un faisceau laser, que l'on oriente et dont on mesure le temps d'aller-retour. Cette méthode est utilisée en topographie terrestre. Dans le cas des océans, on utilise deux lasers ; l'un est réfléchi à la surface et l'autre pénètre dans l'eau. Mais cette technique ne permet pas d'explorer de grandes profondeurs, la lumière du laser étant vite absorbée.

Les satellites peuvent effectuer des mesures de gravimétrie, ce qui permet de dresser des cartes bathymétriques globales, mais de faible résolution, de l'ordre de quelques kilomètres. Cette approche est néanmoins un bon complément au sonar. Le principe est d'abord une mesure altimétrique, où l'on détermine la forme de la surface des océans. En effet, cette surface n'est pas sphérique mais présente des irrégularités du fait des variations locales du champ gravitationnel. Ces variations sont liées à la masse des roches situées sous l'océan. En analysant les mesures altimétriques, on peut déterminer si le relief sous-jacent est une plaine abyssale ou une dorsale. Le satellite TOPEX/Poseidon de la Nasa et du Cnes a été précurseur dans ce type de relevés. Récemment, David Sandwell, de l'Institut d'océanographie Scripps, aux États-Unis, et son équipe ont utilisé les données des satellites *CryoSat-2* et *Jason-1*. Ils ont cartographié avec une précision de quelques kilomètres les fonds marins. Ils ont ainsi découvert des structures géologiques jusque-là inconnues.

Cela me permet d'ailleurs de revenir sur l'intérêt de la bathymétrie pour les géosciences. Nous pouvons par exemple observer les traces de glaciation et de déglaciation sur le fond marin.

Cartographier avec des petits sous-marins

Les AUV (*Autonomous Underwater Vehicle*) sont des sous-marins robotisés et autonomes. Ils peuvent descendre à de grandes profondeurs pour examiner de près une structure géologique ou de potentiels débris, comme dans le cas de l'avion de la *Malaysian Airlines*. Une flottille de tels sous-marins pourrait contribuer à la cartographie du fond des océans.

■ SUR LE WEB

Le SHOM (Service hydrographique et océanographique de la Marine) met à disposition les données de bathymétrie sur son portail <http://data.shom.fr>

■ BIBLIOGRAPHIE

D. T. Sandwell *et al.*, *New global marine gravity model from CryoSat-2 and Jason-1 reveals buried tectonic structure*, *Science*, vol. 346, pp. 65-67, 2014.

X. Lurton *et al.*, *La cartographie acoustique sous-marine*, *Dossier Pour la Science*, n° 32, juillet-octobre 2001.

Nous voyons très nettement les limites d'extension de certains glaciers et apportons ainsi des éléments à nos collègues pour reconstruire l'histoire climatique de la planète.

PLS

Y a-t-il d'autres méthodes bathymétriques en cours de développement ?

T. S. : On peut mentionner deux approches. La première consiste à étudier le déferlement des vagues sur la côte. Cela nous donne une information sur la profondeur de la mer à proximité immédiate du rivage.

Une autre idée relève de la science participative. Chacun peut contribuer à une base de données en apportant ses propres relevés de profondeur. Le SHOM ne peut pas utiliser ce type de sources pour des cartes de navigation, car il doit garantir l'étalonnage des appareils de mesure pour certifier les données. En revanche, pour l'océanographie, ces données sont parfois les seules disponibles. Cependant, avec cette approche, on récupère des données dans les zones fréquentées et rien ailleurs.

PLS

En mars 2014, un avion de la *Malaysian Airlines* a disparu ; il se serait abîmé dans l'océan. Le manque de données bathymétriques est-il un obstacle pour retrouver l'appareil ?

T. S. : Absolument. L'avion se serait écrasé au Sud-Ouest de l'Australie dans une région d'environ 60 000 kilomètres carrés dans les 40° rugissants. Des navires australiens, chinois et ceux d'une firme privée participent aux recherches. Initialement, ils traquaient les émissions sonores des boîtes noires. Ils cherchent maintenant les débris avec des sonars. Cette région, de profondeur moyenne comprise entre 4 000 et 5 000 mètres, est très mal cartographiée. Il est donc difficile de distinguer les débris des éléments naturels du relief. Il serait possible d'envoyer un sous-marin autonome pour aller voir de plus près, mais sans informations sur la zone, cela revient à chercher une aiguille dans une botte de foin. Il est donc difficile de dire si on retrouvera un jour des fragments de l'appareil. ■

Propos recueillis par Sean BAILLY

Apprendre le hasard en observant le monde

par Nicolas Gauvrit, sur *Raison et psychologie*

Quand on demande à des mathématiciens si la suite de jets de dés « 66666666 » est moins aléatoire que la suite « 152635224 », ils répondent que non, puisque les deux ont exactement la même probabilité de se réaliser. Pourtant, on peut douter que ces mêmes mathématiciens se montrent impassibles s'ils obtiennent la première suite lors d'une partie de dés ! Nous avons tous une certaine intuition du hasard, qui nous dit qu'obtenir neuf fois de suite un 6 est plus étonnant qu'obtenir 1, puis 5, puis 2, etc. Les chercheurs essaient depuis longtemps de comprendre d'où vient cette intuition erronée et sur quoi elle se fonde.

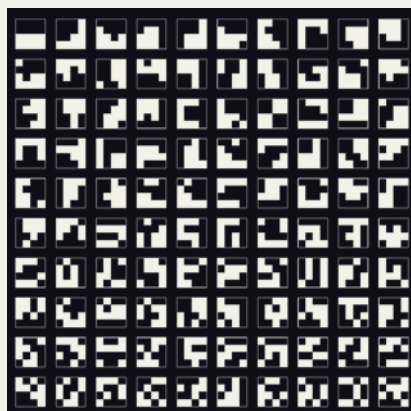
Imaginez des figures formées de grilles de 16 cases, dont certaines sont noires, d'autres blanches (*voir ci-contre*). Ces motifs sont-ils le fruit du hasard, ou bien leur construction obéit-elle à certaines règles ? Voilà la question que des psychologues ont posée à de nombreux participants depuis des décennies.

On a remarqué depuis longtemps que certaines figures semblent plus aléatoires que d'autres pour presque tout le monde. La première grille en haut à gauche, par exemple, vous paraît sans doute intuitivement peu aléatoire, tandis que celle en bas à droite paraît être le fruit du hasard. Les psychologues ont d'abord cherché des indices permettant de prédire cette intuition. Sur quoi les participants se fondent-ils pour juger du degré d'aléa ? Plusieurs indices ont été avancés, tels le nombre de cases de chaque couleur ou l'étalement des cases noires, mais cela n'expliquait pas tout.

L'idée de beaucoup de chercheurs à l'époque était que la question est simplement absurde. D'un point de vue mathématique, chacune de ces figures a exactement la même probabilité. Aussi, si l'une d'elles

semble plus « aléatoire » qu'une autre pour presque tout le monde, c'est que nous avons une vision biaisée du hasard.

Une autre idée a pourtant émergé plus récemment : il y a peut-être quelque chose de rationnel derrière cette perception du hasard.



Certaines de ces figures vous semblent sans doute plus aléatoires que d'autres. Elles sont pourtant équiprobables. D'où vient ce biais de perception du hasard ?

Lorsque vous vous demandez si une figure est aléatoire, vous ne cherchez pas à estimer la probabilité de l'obtenir par hasard, mais plutôt à déterminer la probabilité que cette figure ait été produite par un processus aléatoire. Bien que les deux énoncés se ressemblent, ils ne signifient pas la même chose. Au sens mathématique, la seconde question fait appel à la notion de complexité algorithmique. Brièvement dit, une figure est « complexe » s'il n'existe pas de procédure simple pour la produire.

Il est effectivement apparu que nous avons tendance à considérer une figure comme d'autant plus aléatoire qu'elle est complexe au sens mathématique. Nous avons donc un sens intuitif de la complexité. D'où provient-il ?

Pour le savoir, Anne Hsu, de l'Université Queen Mary à Londres, et ses collaborateurs ont étudié en 2010 la fréquence d'apparition des différents motifs ci-contre dans des photos de scènes naturelles (à l'échelle *une case = un pixel*). Les photographies présentant souvent de grandes zones sombres et de grandes zones claires, les grilles entièrement noires ou blanches, par exemple, apparaissent fréquemment. Les chercheurs ont ainsi montré que la perception du caractère aléatoire d'un motif est corrélée à sa fréquence d'apparition : les grilles qui apparaissent le moins dans les scènes naturelles sont celles jugées les plus aléatoires. À l'inverse, les grilles uniformes, qui apparaissent souvent, sont jugées peu aléatoires... Or elles ont une faible complexité.

Ainsi, la probabilité d'apparition d'un motif dans le monde réel, sa complexité algorithmique et l'impression de hasard qu'il fait naître en nous sont liées. Nous avons montré récemment que la fréquence d'apparition des motifs dans le monde réel permet d'expliquer une large part de notre perception de la complexité. C'est donc en partie par la confrontation au monde réel que nous développons une certaine idée du hasard, cohérente avec la notion mathématique. ■



Nicolas GAUVRIT est maître de conférences en mathématiques à l'Université d'Artois et psychologue du développement. Il est l'auteur

du blog *Raison et psychologie* (www.scilogs.fr/raisonetpsychologie/).



Retrouvez tous nos blogueurs sur www.scilogs.fr et suivez-les sur les réseaux sociaux.



CARTES & DONNÉES

LA PUISSANCE DE L'ANALYSE CARTOGRAPHIQUE

« [...] une gamme d'outils performants et adaptés à **une cartographie rapide, communicante et par-delà les frontières** ! Enseignant et chercheur en Géopolitique, les produits de la gamme Cartes & Données me permettent de tirer le meilleur parti des technologies de la cartographie automatique pour faciliter l'exploitation de données électorales ou démographiques. Cartes & Données permet une cartographie rapide et intelligente [...] »

Eric Auburtin
Centre de Recherche et d'Analyses Géopolitiques, Paris 8



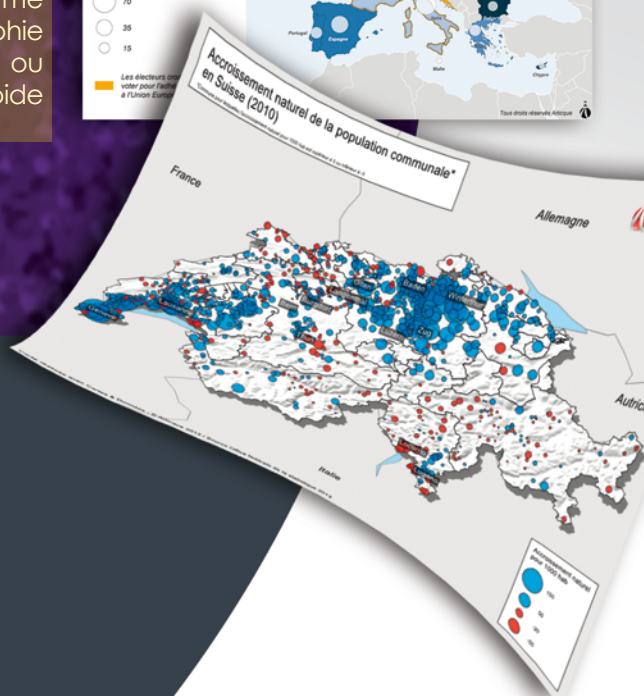
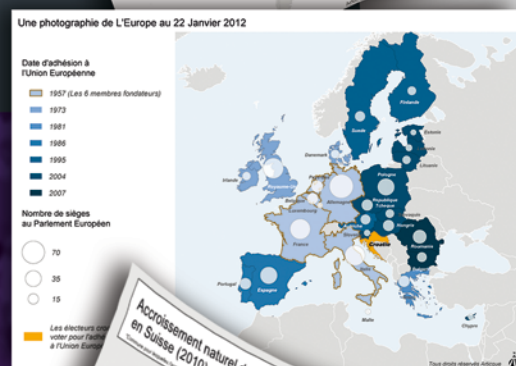
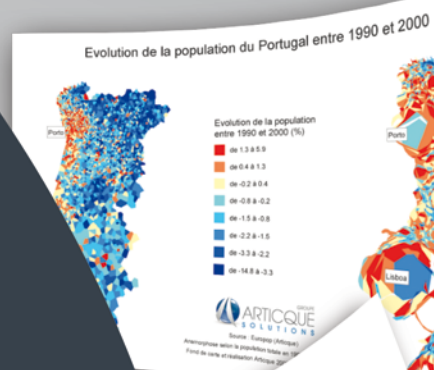
Disponible pour Windows



ritme.com/cartes-donnees

34 Bd Haussmann - 75009 Paris - France
+33 (0)1 42 46 00 42

© 2014 RITME. Cartes & Données est le logiciel de cartographie décisionnelle édité par le Groupe ARTICQUE. RITME est le distributeur officiel de Cartes & Données en France, Belgique et Luxembourg pour l'éducation et la recherche. SCIENTIFIC SOLUTIONS est le distributeur officiel de Cartes & Données en Suisse pour l'éducation et la recherche.



RITME
NOTRE MÉTIER : FACILITER LE VÔTRE

HOMO SAPIENS INFORMATICUS chronique de Gilles Dowek



Quand le corps devient réseau

La caméra d'un drone est une extension de l'œil de celui qui le télécommande. Cet exemple illustre que, de plus en plus, le corps éclate en un réseau d'organes distants.

Un drone de surveillance, comme ceux qu'utilisent les militaires et les pompiers, est un avion sans pilote, équipé d'une caméra. Cette caméra filme la zone survolée et envoie par ondes radio les images à un ordinateur resté au sol. Ces images s'affichent alors sur un écran et sont ainsi vues par l'œil du soldat ou du pompier qui commande l'appareil.

Toutefois, les roboticiens et les informaticiens utilisent souvent une description plus imagée d'un tel dispositif : un drone de surveillance est, disent-ils, l'« œil déporté » du soldat ou du pompier qui commande l'avion. Bien entendu, le dispositif, décrit de façon plus ou moins métaphorique, est *in fine* le même ; mais cette expression est révélatrice de la manière dont notre perception du corps change sous les effets conjoints des développements de la biologie et de l'informatique.

L'opposition de la plupart des chercheurs aux coûteux vols spatiaux « habités » s'explique en grande partie par le fait que, pour un scientifique qui veut observer la planète Mars, il importe d'y envoyer un œil. Mais y envoyer aussi un tube digestif, un foie et une rate est superflu. En revanche, pour les commanditaires des vols habités – tel John Kennedy pour le programme *Apollo* – et pour une partie du grand public, il y a une grande différence entre voir le sol lunaire « en vrai », comme l'ont fait Neil Armstrong et Buzz Aldrin, et en voir une photo ou une vidéo, de même qu'il y a une différence

entre assister à un concert et en écouter un enregistrement.

Cependant, la biologie conduit à relativiser cette distinction. Outre le fait qu'Armstrong et Aldrin n'ont vu le sol lunaire qu'à travers la visière de leur casque et ne l'ont touché qu'à travers le gant de leur scaphandre, leur œil, comme une caméra, a transformé les signaux lumineux en un train d'informations véhiculées jusqu'au cerveau par le nerf optique. Il n'existe pas de vision sans médiation, car il y a toujours entre l'objet vu et le cerveau de celui qui

Cette distance crée un corps éclaté, formé d'organes situés à des kilomètres les uns des autres, connectés par un système nerveux étendu : un réseau radio.

le voit une caméra biologique : un œil. Et introduire une seconde caméra complique le dispositif, mais n'en change pas la nature.

Bien entendu, il y a encore de grandes différences, notamment sur le plan éthique, entre une caméra et un œil : casser une caméra est ainsi beaucoup moins grave que blesser un œil. C'est d'ailleurs pourquoi les vols habités sont si dangereux et si coûteux.

Mais la construction de prolongements de nos organes sensoriels et la meilleure compréhension de leur fonctionnement brouillent la frontière, peut-être artificielle, que nous percevons entre ce qui fait partie de notre corps et ce qui n'en fait pas partie. Un implant cochléaire, par

exemple, n'est pas un tympan, mais ce n'est pas non plus un sonotone.

Si cette frontière est mouvante depuis que, il y a deux millions d'années, des espèces du genre *Homo* ont commencé à prolonger leurs organes par des outils, une nouveauté réside peut-être dans cette notion de déport.

Géométriquement, un tympan, un sonotone et un implant cochléaire se situent *grosso modo* au même endroit : autour de notre oreille. Mais l'« œil déporté » du soldat ou du pompier est souvent à des

kilomètres du reste de son corps, et celui d'un spationaute en liaison avec une sonde robotisée, à des millions de kilomètres. Cette distance crée un corps éclaté, formé d'organes situés à des kilomètres les uns des autres, connectés par un système nerveux étendu : un réseau

radio. S'il n'est en effet pas possible de relier par un câble la caméra d'un drone de surveillance à l'ordinateur resté au sol, les réseaux radio n'imposent aucune limite à la distance entre les organes.

Cette nouvelle géométrie du corps n'est pas une utopie transhumaniste. Avec les drones de surveillance, avec les vols spatiaux non habités, mais aussi avec nos mémoires externes que sont les bibliothèques auxquelles nous restons connectés, c'est déjà partiellement la nôtre. ■

Gilles DOWEK est chercheur à l'Inria et membre du conseil scientifique de la Société informatique de France.