

dont une partie pousse à la rénovation de leurs enseignements, en particulier pour y inclure la simulation numérique.

PLS

Des modèles plus réalistes empêcheraient-ils des crises financières ou économiques de survenir ?

J.-P.B. : D'une part, il faut avoir conscience que les réglementations comptables, par exemple celle sur la valorisation des portefeuilles, sont calées sur les modèles actuels, qui ne prennent pas en compte les effets de rétroaction. Ainsi, quand le prix des actifs baisse, la valeur du portefeuille diminue, ce qui incite à la vente des actifs, d'où une baisse supplémentaire des prix, et ainsi de suite. On a là un mécanisme d'instabilité qui explique en partie la crise de 2008 et contre lequel la réglementation ne prévoit pas de parades. Si les modèles étaient plus réalistes, les réglementations seraient mieux adaptées... D'autre part, les modèles actuels, en attribuant aux crises des causes exogènes et en supposant qu'il y a toujours retour spontané vers l'équilibre, sont tellement tranquilisants qu'ils font baisser la garde. Avec de meilleurs modèles, prenant en compte la possibilité de crises endogènes, le secteur économique et financier serait plus prudent. De toute façon, ça ne pourra pas être pire que maintenant.

PLS

Dans quelle mesure les modèles influent-ils sur le marché ?

J.-P.B. : Il est clair que les modèles influent sur le marché puisque, comme je l'ai expliqué, les réglementations (et, plus largement, la politique économique) en dépendent. Par exemple, les modèles classiques utilisés par les banques centrales pour déterminer leurs taux directeurs prédisent qu'une banque centrale doit réagir fortement à une fluctuation de l'inflation ou du taux de chômage. Or avec un modèle simplifié fondé sur les agents, nos simulations ont montré au contraire qu'une surréaction déstabilise l'économie ! Un autre exemple est le krach de 1987, pour lequel il est aujourd'hui clair qu'il a été provoqué par une rétroaction du modèle de Black-Scholes-Merton sur les cours. L'un des principaux objectifs de la recherche actuelle en économie et en finance est

de comprendre les rétroactions, qu'elles soient ou non dues aux modèles.

PLS

Quelle place ont les « éconophysiciens » comme vous dans le monde financier et économique ?

J.-P.B. : Les physiciens qui font des recherches économiques ou financières sont encore peu nombreux, bien que ce soit difficile à quantifier. Mais surtout, leur place dans ces domaines est marginale. En partie pour des raisons institutionnelles, puisque ces chercheurs sont à la frontière entre deux disciplines bien établies, et que l'interdisciplinarité,

Le physicien accorde la primauté aux données, alors que l'économiste préfère souvent un modèle préconçu.

en théorie souhaitée par les institutions, est peu établie dans les faits. Et il y a des obstacles d'ordre psychologique, la démarche des physiciens étant très différente. Au lieu de calibrer des modèles sur les données disponibles, comme le font les économistes et ce qu'il est toujours possible de faire (« Avec suffisamment de paramètres, on peut modéliser un éléphant »), les physiciens sont bien entraînés à examiner des données et à les analyser sans *a priori* sur les outils requis. En d'autres termes, le physicien accorde la primauté aux données d'observation, alors que l'économiste préfère souvent un modèle préconçu. De plus, le physicien est habitué à essayer de comprendre un système macroscopique à partir d'une analyse de ses constituants microscopiques, ce qui n'est pas dans la culture de l'économiste.

PLS

Après la crise financière de 2008, certains, par exemple l'ancien Premier ministre Michel Rocard, ont publiquement pointé du doigt les mathématiques financières. Trouvez-vous cela justifié ?

J.-P.B. : Les spécialistes de mathématiques financières ont contribué à la crise, mais marginalement. De façon générale, on ne se préoccupait ni des données d'observation ni des impacts

des modèles. Vendre des produits financiers « toxiques » en croyant qu'ils sont peu risqués, c'était une conséquence des modèles rassurants qui constituaient la norme à cette époque. Il faut plus d'esprit critique vis-à-vis des modèles utilisés, et en cela les experts de mathématiques financières ont une responsabilité. Mais ils ne sont pas du tout les seuls, loin de là.

PLS

Il y a quelques années, les médias ont relayé de vives critiques contre le caractère trop mathématique de l'école française d'économie. Qu'en pensez-vous ?

J.-P.B. : De ce point de vue, l'école française d'économie n'est pas du tout la pire, comme l'illustrent des contre-exemples tels que Thomas Piketty ou Esther Dufo. En fait, c'est l'école mondiale d'économie qui est trop mathématisée et axiomatisée, la pire étant celle de Chicago, laquelle a tenu le haut du pavé depuis 50 ans. Par ailleurs, les critiques ne sont pas spécifiques à l'école française : ainsi, à l'université de Manchester, en Grande-Bretagne, un mouvement étudiant, « The Post-Crash Economics Society », tente d'y faire rénover l'enseignement des sciences économiques, accusé d'orthodoxie et de formalisme outrancier, sans lien avec les données du monde réel.

PLS

Le formalisme des sciences économiques n'occulte-t-il pas les présupposés politiques ou idéologiques des économistes eux-mêmes ?

J.-P.B. : Si, certainement. Il y a d'ailleurs une coïncidence très frappante entre la période de la guerre froide et celle où s'est développée la théorie des marchés efficients. L'école de Chicago s'est épanouie à cette époque et le contexte de guerre froide a probablement joué un rôle. L'antagonisme entre les pays occidentaux, à économie libérale, et les pays communistes, à économie dirigiste, a influencé, inconsciemment ou non, les économistes américains. Plus largement, les présupposés idéologiques font que les spécialistes conçoivent souvent leurs modèles en fonction de ce qu'ils veulent démontrer, et non à partir d'une analyse aussi impartiale que possible de la réalité. ■

Propos recueillis par Maurice MASHAAL

HOMO SAPIENS INFORMATICUS chronique de Gilles Dowek

La technique, sans les mains

Les activités techniques faisant de plus en plus appel à des objets informatiques, l'habileté d'un technicien devient conceptuelle plutôt que manuelle.



Les démarches scientifique et technique se distinguent habituellement par leur finalité : la première cherche à établir que des propositions sont vraies, la seconde à fabriquer des objets. Cette différence de finalité induit, par exemple, une différence dans la valorisation des résultats négatifs.

Ainsi, quand un mathématicien découvre qu'il est impossible de construire, à la règle et au compas, un disque et un carré de même aire (impossibilité de la quadrature du cercle, Ferdinand von Lindemann, 1882), nous considérons qu'il s'agit d'une grande avancée de la science. Si, en revanche, un luthier découvrait qu'il est impossible de fabriquer un violoncelle avec de la ficelle et du papier, loin de considérer cette découverte comme une grande avancée de la technique, nous lui demanderions plutôt quels matériaux il compte alors utiliser à la place.

Les qualités que, traditionnellement, nous associons à ces démarches sont aussi très différentes : un bon scientifique doit avoir une grande habileté conceptuelle, car la science est constituée de concepts abstraits. Un bon technicien, en revanche, doit avoir une grande habileté manuelle, car c'est avec sa main qu'un luthier fabrique un violon, un orfèvre un bijou, un potier une amphore. Cette association entre la main et la technique nous semble si évidente que, parmi les cours dispensés au collège, a un temps figuré un cours d'« Éducation manuelle et technique ». Elle repose cependant sur un présupposé : que les objets techniques sont des objets matériels.

L'informatique est à la fois une science et une technique, car les informaticiens établissent que certaines propositions sont vraies, par exemple qu'il n'existe pas d'algorithme de tri en temps linéaire, et fabriquent aussi des objets, par exemple des programmes. Cependant, contrairement aux violons, aux bijoux et aux amphores, les programmes ne sont pas des objets maté-



riels, et leur fabrication ne demande donc pas d'habileté manuelle. Elle nécessite, en revanche, une certaine habileté conceptuelle, pour exprimer des algorithmes dans des langages de programmation, structurer, abstraire, traduire, etc.

Toutefois, comme de plus en plus d'activités techniques font intervenir un objet informatique, cette évolution des compétences techniques concerne aussi la fabrication d'objets matériels. Une certaine habileté manuelle était nécessaire pour souder des transistors sur un circuit

imprimé ou pour fabriquer une pièce de métal avec une forge. Elle n'est plus si utile pour fabriquer un circuit intégré rassemblant un milliard de transistors ou une pièce de métal usinée avec une machine-outil à commande numérique. Fabriquer ces objets demande désormais surtout une grande habileté conceptuelle, pour spécifier le circuit intégré dans un langage de description de matériel ou pour commander la machine-outil dans un langage de programmation adapté.

Cette évolution des compétences techniques, induite par l'évolution des techniques elles-mêmes, cette dissociation de la main et de la technique, perturbe nos repères plus qu'il ne paraît. La science était associée au langage, au concept, à l'abstrait ; la technique était associée à la main, au geste, au concret. Désormais, ces activités exigent avant tout, l'une comme l'autre, de l'habileté conceptuelle. Nos hiérarchies sociales valorisaient la science davantage que la technique, mais nous voyons désormais apparaître des techniciens qui ont fait dix ans d'études et gagnent des millions en valorisant une idée abstraite. Les scientifiques portaient un costume de ville, les techniciens un bleu de travail. Leurs tenues sont désormais interchangeables.

Si cette évolution se poursuit, les meilleurs élèves se battront sans doute demain pour intégrer les lycées technologiques, afin d'y développer leur habileté conceptuelle et leur maîtrise des idées abstraites. ■

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

CABINET DE CURIOSITÉS SOCIOLOGIQUES par Gérald Bronner



Une rentrée apocalyptique ?

Septembre 2015 s'annonce catastrophique, à en croire diverses « prophéties » qu'Internet propage à tout-va.

Des prédictions souvent fondées sur des procédés ineptes.

Les prêcheurs d'apocalypse semblent s'être donné rendez-vous en cette rentrée 2015. Internet bruisse de prédictions effrayantes. L'exercice militaire américain *Jade Helm*, par exemple, qui devait se dérouler jusqu'à la mi-septembre dans cinq États du pays, suscite toutes sortes de commentaires apocalyptico-conspirationnistes. À tel point que trois hommes s'étaient mis en tête d'assassiner des soldats impliqués dans cet exercice – mais ils ont été arrêtés en Caroline du Nord avant qu'ils ne mettent en œuvre leur funeste projet. Dans l'esprit de certains, en effet, *Jade Helm* constituerait le coup d'envoi d'une reprise en main despotique du pays et d'une série de catastrophes dignes de l'Armageddon.

Ce n'est pas tout. D'autres, comme le sulfureux économiste Martin Armstrong, qui prédit l'avenir grâce à un modèle fondé sur l'idée de cycle et le nombre π , considèrent que nous allons connaître une nouvelle crise économique dont l'ampleur dépassera les précédentes et conduira à des révolutions qui renverseront les démocraties.

D'autres encore s'entendent sur la date, mais mobilisent des techniques prédictives différentes, telle la guématrie, interprétation arithmétique des textes bibliques visant à en trouver le sens caché. En tâtonnant un peu, on peut faire dire beaucoup de choses à la Bible, par exemple que la Terre risque d'être frappée par un astéroïde ce mois de septembre. C'est justement la dernière prévision guématrique en date.

Ce n'est pas la première fois que certains trouvent un « code secret » dans ce livre.

Le journaliste et écrivain américain Michael Drosnin en a même tiré un *best-seller* mondial. Selon lui, pour peu qu'on connaisse ce code, on peut trouver d'incroyables prophéties qui annoncent aussi bien l'arrivée d'Hitler au pouvoir que l'assassinat de John Kennedy.

La technique est assez simple. Il suffit, par exemple, de ne retenir qu'une lettre toutes les cinq lettres du texte, pour voir de nouvelles combinaisons apparaître. Le



LA CHUTE D'UN ASTÉROÏDE : c'est l'une des prédictions fondées sur un procédé arithmétique de « décodage » de la Bible.

chercheur en guématrie retiendra celles qui lui permettront de glaner les messages les plus spectaculaires. Évidemment, il y a un énorme déchet de lettres ne formant pas de mots ; mais en ne gardant que les phrases ayant du sens, on a vite l'impression que ce ne peut être une coïncidence.

C'est bien entendu la conviction de Michael Drosnin. Lors de la controverse qui suivit la publication de son livre *La Bible : le code secret*, il affirma qu'il est impossible de trouver de tels messages codés dans d'autres livres.

Il n'en fallait pas plus pour mettre des sceptiques au travail. En respectant les règles guématriques, le mathématicien australien Brendan McKay a montré qu'on trouvait aussi des messages prophétiques dans *Moby Dick*. En réalité, en appliquant une méthode de décryptage arbitraire à n'importe quel texte assez long, on finit toujours par trouver des mots, voire des phrases cohérentes. Ce que cache cette méthode, c'est le nombre considérablement plus grand de groupes de lettres sans aucune signification : un immense déchet de non-sens.

L'expérience de Brendan McKay suffirait à elle seule à clore le dossier, mais d'autres mathématiciens se sont employés à montrer la fragilité des thèses guématriques. En appliquant la même technique de lecture des lettres équidistantes, certains ont réussi à trouver dans la Bible elle-même des messages tels que « Dieu est détestable », « Haissez Jésus », ainsi que des phrases contradictoires telles « Il y a un Dieu » et « Il n'y a pas de Dieu ».

Avant de craindre l'apocalypse annoncée pour septembre, il est bon de se souvenir que Michael Drosnin lui-même prédisait une guerre nucléaire au Proche-Orient... pour l'année 2006. Je fais donc le pari que le monde ne s'effondrera pas en cette rentrée et que vous pourrez lire ces lignes – ce qui n'est pas bien téméraire car, dans le cas contraire, il ne restera plus personne pour me démentir. ■

Gérald BRONNER est professeur de sociologie à l'université Paris-Diderot.

Versions numériques
OFFERTES*
sur www.pourlascience.fr



Offre DÉCOUVERTE

POUR LA
SCIENCE

Le magazine mensuel
***Pour la Science* (12 n°s)**

+

Le hors-série trimestriel
***Dossier Pour la Science* (4 n°s)**

59€ seulement
1 AN - 12n°s

* des numéros reçus pendant la durée de votre contrat en cours uniquement

**VOS AVANTAGES
ABONNÉ**

- ✓ 24 % d'économie et plus par rapport au prix en kiosque
- ✓ L'envoi des magazines en avant-première
- ✓ La garantie de ne manquer aucun numéro



BULLETIN D'ABONNEMENT

À compléter et à retourner, accompagné de votre règlement,
dans une enveloppe **non** affranchie à : Groupe Pour la Science
Service abonnements - Libre réponse 90 382- 75 281 Paris cedex 06

POUR LA
SCIENCE

OUI, je m'abonne à *Pour la Science* (12 n°s/an) + *Dossier Pour la Science* (4 n°s/an) :

☐ (S1A) **1 an • 12 numéros • 59€** au lieu de 78,50€

Tarif valable uniquement en France métropolitaine et d'outre-mer. Pour l'étranger, participation aux frais de port à ajouter : Europe 12€ - autres pays 25€.

☐ (S2A) **2 ans • 24 numéros • 110€** au lieu de 157€

Tarif valable uniquement en France métropolitaine et d'outre-mer. Pour l'étranger, participation aux frais de port à ajouter : Europe 25€ - autres pays 51€.



Le mensuel

Le trimestriel

J'indique mes coordonnées :

Nom : _____

Prénom : _____

Adresse : _____

CP : _____ Ville : _____

Pays : _____ Tél. : _____

Pour le suivi client (facultatif)

Je choisis mon mode de règlement :

☐ Par chèque à l'ordre de *Pour la Science*

☐ Par carte bancaire

Numéro de carte _____

Date d'expiration _____

Clé _____
(les 3 chiffres au dos de votre CB)

Signature obligatoire

Mon e-mail pour recevoir la newsletter *Pour la Science* (à remplir en majuscule).

_____ @ _____

En application de l'article 27 de la loi du 6 janvier 1978, les informations ci-dessus sont indispensables au traitement de votre commande. Elles peuvent donner lieu à l'exercice du droit d'accès et de rectification auprès du groupe *Pour la Science*. **Par notre intermédiaire, vous pouvez être amené à recevoir des propositions d'organismes partenaires. En cas de refus de votre part, merci de cocher cette case.**

CRISPR-Cas9

l'outil qui révolutionne la génétique

Emmanuelle Charpentier et Pierre Kaldy

Un système de défense immunitaire bactérien, CRISPR-Cas9, est devenu un outil précis, simple et universel pour modifier les gènes de n'importe quelle cellule à volonté. Un frein majeur de la génétique est levé.

Depuis 2012, un rêve des généticiens s'accomplit. Un mécanisme a été découvert chez les bactéries, qui permet de modifier à volonté le patrimoine génétique des organismes vivants. Jusqu'à présent, les chercheurs restaient assez démunis pour agir directement sur la séquence d'ADN, cette longue molécule qui code le développement et le fonctionnement des cellules et des organismes. C'était d'autant plus frustrant que, grâce aux progrès fulgurants des techniques de séquençage des génomes, le patrimoine génétique de dizaines d'espèces animales et végétales avait été décrypté. Pour obtenir une souris portant une mutation responsable d'une maladie génétique humaine, par exemple, il fallait des mois, voire des années. Avec le mécanisme bactérien CRISPR-Cas9, ce délai se trouve raccourci à quelques semaines. Pour la première fois, un accès direct, facile et précis à l'ADN contenu dans les cellules vivantes devient possible à un grand nombre de laboratoires. Pour découvrir ce nouvel outil, il suffisait de se pencher sur les bactéries, expertes en manipulation de l'ADN depuis des milliards d'années.

Les bactéries peuvent-elles être vaccinées ? Cette question peut paraître futile, mais elle a une grande importance pour l'industrie alimentaire, celle qui utilise des quantités massives de bactéries pour faire du fromage ou du yaourt. Les virus de bactéries – les bactériophages – sont nombreux, et beaucoup peuvent compromettre la production d'une usine en infectant

L'ESSENTIEL

- En s'inspirant d'un mécanisme de défense bactérien, des biologistes ont mis au point un outil pour modifier avec précision l'ADN de n'importe quelle cellule.
- Seuls deux ingrédients sont nécessaires pour couper l'ADN à l'endroit voulu : une enzyme, Cas9, et un petit ARN spécifique de la séquence à modifier.
- Recherche fondamentale, thérapie génique, agriculture, cette technique ouvre des horizons dans de nombreux domaines.

Ben Voldman

