

CARTE
BLANCHEMathématiques
éternelles

Par ÉTIENNE GHYS

Un article publié dans la lettre d'information de la Société mathématique européenne vient de démontrer, si c'était encore nécessaire, que les mathématiques sont éternelles. Bien sûr, on le savait déjà puisqu'un théorème, une fois démontré, reste vrai pour l'éternité. Le théorème de Pythagore a été établi il y a plus de deux mille ans et personne ne le remettra jamais en question. La situation est différente dans les autres sciences qui ne progressent pas de la même façon. Les physiciens ont dû se débarrasser de l'éther qui remplissait l'espace jusqu'à la fin du XIX^e siècle. Quant aux biologistes, ils ont abandonné la théorie vitaliste il y a bien longtemps.

Les théorèmes du passé sont-ils oubliés par les chercheurs contemporains ? Pour le savoir, Adam Bannister et Olaf Teschke ont étudié les immenses bases de données dont on dispose aujourd'hui, soit des millions de publications mathématiques. Ils ont observé la manière dont les mathématiciens y font référence à leurs prédécesseurs. Tout d'abord, ils ont constaté qu'au fil des années les chercheurs citent des articles de plus en plus vieux, passant d'une moyenne de 5 ans d'ancienneté au début du XX^e siècle à 17 ans aujourd'hui. La même évolution se produit également dans les autres sciences mais à un rythme moins soutenu.

En revanche, un phénomène plus surprenant semble caractéristique des mathématiques. En moyenne, tout se passe comme si les articles dans ce domaine avaient une espérance de vie infinie. Prenez par exemple un texte publié il y a un demi-siècle et observez le nombre de fois où il a été cité, année par année, depuis sa publication. Eh bien, ce nombre ne cesse d'augmenter. Ainsi, un article est beaucoup plus cité cinquante ans après sa publication qu'après vingt-cinq ans : les mathématiciens n'oublient pas leurs anciens. Bien entendu, il ne s'agit que d'une moyenne et beaucoup de résultats sans intérêt tombent (heureusement) dans l'oubli. Il faut aussi rappeler que le nombre total de publications croît exponentiellement, si bien que les articles anciens, même s'ils ne sont pas oubliés et sont de plus en plus cités, se noient dans une masse de nouveaux venus et sont donc moins visibles. Il n'empêche que cette pérennité des mathématiques est rafraîchissante dans notre monde actuel, fait d'immédiateté.

Un «facteur d'impact» inquiétant

La croissance d'une science est un phénomène complexe. Il ne s'agit certainement pas d'empiler des couches successives de connaissances, les unes au-dessus des autres comme des strates géologiques, chacune occultant la précédente. Parfois, certaines disciplines se scindent pour en créer de nouvelles, comme deux branches d'un arbre... mais cette analogie n'est pas non plus la bonne. Les plus beaux moments arrivent au contraire lorsque deux branches fusionnent pour n'en faire qu'une. C'est ce qui s'est passé par exemple lorsque Descartes inventa les coordonnées qui permirent le rapprochement de la géométrie et de l'algèbre, donnant ainsi naissance à la géométrie algébrique. Ou encore lorsque la géométrie et l'arithmétique se rencontrèrent, progressivement, tout au long du XX^e siècle. Comprendre l'évolution des mathématiques nécessite beaucoup de recul.

Hélas, on voudrait nier ce long processus évolutif et nous faire croire aujourd'hui que la qualité d'une revue scientifique ne dépend que de son passé très récent. On appelle «facteur d'impact» d'un journal le nombre moyen de citations de l'un de ses articles sur une période de deux ans après sa publication. L'usage systématique de cet indicateur par les agences d'évaluation se répand de plus en plus et inquiète les chercheurs, tout particulièrement les mathématiciens attachés au temps long. Deux ans, ce n'est pas beaucoup pour se faire une idée de l'éternité. ■

Etienne Ghys
mathématicien, directeur de recherche (CNRS) à l'École normale supérieure de Lyon
etienne.ghys@ens-lyon.fr

Lobbying industriel sur le forçage génétique

TRIBUNE - Pour le chercheur Christophe Boëte, il est urgent qu'une expertise indépendante contrecarre les stratégies de communication des biotechs, qui entendent mettre en application des outils génétiques de contrôle ou d'éradication de certaines espèces

Rapide, «puissant», «prometteur», «disruptif». Tels sont les qualificatifs souvent attribués à *gene drive*, ou «forçage génétique», une technique qui vise à favoriser l'héritage d'un gène particulier. Avouons-le, cette innovation a quelque chose du couteau suisse biotechnologique version 2.0.

Qu'il s'agisse de protéger des récoltes agricoles contre des ravageurs, de supprimer des espèces invasives, d'éradiquer des moustiques vecteurs de maladies infectieuses ou encore de les empêcher de les transmettre, ses applications potentielles semblent constituer un arsenal à bien des maux pour lesquels les remèdes nous manquent.

Revers de la médaille, la maîtrise toute relative des aspects moléculaires et l'efficacité envisagée de la méthode vont de pair avec de grandes incertitudes et un manque de contrôle évident du système, une fois passé un éventuel lâcher dans les populations naturelles.

Si les aspects biologiques de cette technologie suscitent la controverse, jusqu'à des demandes de moratoire, les questions éthiques, sociales et légales de son utilisation restent entières. Elles conduisent aussi à des débats sur la communication et l'engagement du public. Plusieurs réunions ont d'ailleurs déjà été mises en place par deux organisations états-uniennes, l'ILSI (International Life Sciences Institute) et la FNHI (Foundation for the National Institutes of Health), et le Nepad (Nouveau Partenariat pour le développement de l'Afrique) en Afrique sub-saharienne, avec une attention toute particulière portée à la lutte contre les maladies transmises par les

moustiques. S'il semble louable que les nouvelles technologies soient présentées et discutées là où elles sont susceptibles d'être testées, voire déployées, l'implication de l'ILSI dans l'organisation de ces ateliers sur le forçage génétique peut être questionnable, voire problématique, si l'on se réfère à ses financements et à son histoire.

En effet, l'ILSI se décrit comme une organisation à but non lucratif qui anime la science afin d'améliorer la santé humaine et de protéger l'environnement. Or, une part considérable de son budget provient d'industries comme Coca-Cola, Nestlé ou encore CropLife International, ce dernier regroupant la plupart des industriels du secteur de l'agriculture et des biotechnologies agricoles dans le monde tels que BASF, DuPont, Monsanto ou encore Syngenta.

Difficile de ne pas y voir des risques de conflit d'intérêts sachant justement que Bayer, DuPont et Monsanto ont d'ores et déjà signé des accords de licence pour utiliser la technologie de réécriture du matériel génétique (*gene editing*) par le système CRISPR/Cas-9, avec toutefois des restrictions quant à l'usage même du forçage génétique.

L'image de l'ILSI a aussi été ternie après que l'OMS (Organisation mondiale de la santé) l'eût banni, en 2006, de toute implication directe dans ses activités. Image écornée à nouveau en 2012, quand la présidente du conseil d'administration de l'Autorité européenne de sécurité des aliments (EFSA), Diana Banati, a été contrainte à la démission à la suite de conflits d'intérêts révélés par l'eurodéputé José Bové, deux ans plus tôt (*Le Monde* du 30 septembre 2010). Elle n'avait pas fait

L'INTÉRÊT DU PUBLIC ET LA MESURE DES CONSÉQUENCES À LONG TERME DEVRAIENT PASSER AVANT LES INTÉRÊTS PRIVÉS ET LEUR LOGIQUE COURT-TERMISTE ET EXTRACTIVISTE

mention de son siège au conseil de direction de la branche européenne de l'ILSI, alors que cette organisation faisait du lobbying en faveur des plantes OGM en Europe.

Entretien des liens avec l'ILSI n'est donc finalement pas susceptible de susciter la confiance dans une quelconque diffusion scientifique qui risque d'avoir le sulfureux parfum du lobbying. Ainsi, vu ses liens avec les industriels de l'agro-business et des biotechnologies, le rôle de l'ILSI dans la coordination d'ateliers sur le forçage génétique soulève aujourd'hui des questions de conflits d'intérêts.

Cette situation souligne également le besoin d'une plus grande implication des institutions publiques indépendantes et universitaires dans ce débat, hors de la mainmise des intérêts privés. Il y a un risque de voir cette communication en faveur du forçage génétique à visée de santé publique comme le cheval de Troie des industries de l'agro-

business sur le continent africain. Face au développement de ces nouveaux outils et à leurs implications potentielles, les intérêts du public, le bien commun, la mesure des conséquences à long terme devraient passer avant les intérêts privés et leur logique court-termiste et extractiviste. Par ailleurs, la valeur du conseil scientifique est intrinsèquement liée à la confiance du public dans la science académique et dans ses institutions.

Au vu des positions contraires concernant la poursuite des recherches sur le forçage génétique ou ses applications au sein du monde académique, entre les ONG de protection de l'environnement et les financeurs comme la Fondation Gates ou l'agence de recherche de l'armée américaine, il est essentiel d'assurer une transparence sur les liens entre organismes de recherche, financeurs et industriels. La mise en place de stratégies de communication orchestrées pour orienter les débats et fabriquer du consentement, comme révélé récemment par les «Gene Drive Files», est particulièrement dommageable (supplément «Science & médecine» du 13 décembre 2017). L'indépendance et l'intégrité sont un petit prix à payer pour s'assurer que l'engagement du public et la communication ne se réduisent pas à de la propagande. ■

Christophe Boëte est chargé de recherche à l'Institut de recherche pour le développement (IRD) à l'Institut des sciences de l'évolution de Montpellier (ISEM), unité mixte université de Montpellier, CNRS, IRD et EPHE

Le supplément «Science & médecine» publie chaque semaine une tribune libre. Si vous souhaitez soumettre un texte, prière de l'adresser à sciences@lemonde.fr

COLLECTION ARCHÉOLOGIE

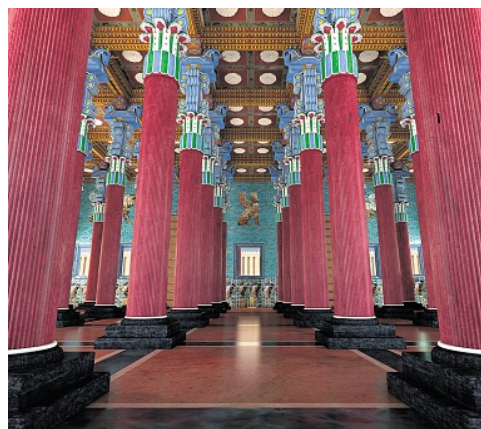
Quand Persépolis copiait Babylone

A Persépolis en Iran, comme à Angkor au Cambodge ou à Pétra en Jordanie, les archéologues traquent les vestiges urbains après avoir privilégié le monumental et sa sauvegarde. La construction de la capitale perse du grand roi achéménide Darius I^{er}, adossée au flanc du Kuh-e Rahmat (la «montagne de la Miséricorde»), face à une plaine sans fin, commença autour de 515 av. J.-C. et se prolongea deux siècles durant, jusqu'à l'incendie que les troupes d'Alexandre le Grand auraient allumé en 330 av. J.-C., qui ravagea la cité.

La démesure de la ville royale était à l'égal de l'empire de Darius, qui embrassait trois continents, de l'Indus à la mer Egée, du Caucase à la Nubie. Une terrasse artificielle monumentale – 450 mètres sur 300 mètres –, surélevée de 15 mètres, portait les palais et espaces administratifs, dont la Salle des cent colonnes, les magasins du Trésor et les casernes. Le long des escaliers accédant à la grande salle d'audience de l'Apadana court une frise de bas-reliefs toujours visible. Celle-ci représente l'interminable procession des sujets de l'empire, en file indienne par satrapies – les provinces assujetties –, portant au souverain les tributs qui lui étaient dus. Scènes de propagande célébrant la puissance du roi.

A visiter l'été prochain

À l'université de Téhéran, la traduction des milliers de tablettes d'argile crue, en écriture cunéiforme majoritairement élamite, trouvées sur place, se poursuit. Des jardins urbains étaient aménagés pour le campement royal lorsque le souverain séjournait à Persépolis avec sa suite de dix mille personnes. Retrouver



Reconstitution de la Salle des cent colonnes. (NATIONAL GEOGRAPHIC)

les quartiers habités par les ouvriers, les artisans, les paysans, comme les résidences des dignitaires, tel est l'objet du projet irano-italien «Du palais à la ville», lancé en 2008. À 3,5 km à l'ouest de la terrasse, depuis 2011, la fouille est dirigée par Ali-reza Askari Chaverdi, codirecteur du Centre iranien pour la recherche archéologique (université de Chiraz), et Pierfrancesco Callieri (université de Bologne).

La cartographie du quartier résidentiel de Firuzi, par les archéologues Kourosh Mohammadkhani (de l'université de

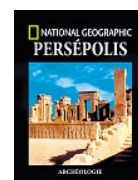
Shahid Beheshti, Téhéran) et Sébastien Gondet (CNRS-université Lyon-II), est maintenant en partie aboutie. Les prospections et les photos aériennes ont révélé ce que recouvraient les champs de blé et de maïs labourés depuis des siècles. «On a retrouvé le grand quadrillage de la période achéménide, le canevass d'une occupation en mosaïque de jardins, de zones artisanales et résidentielles», se réjouit Sébastien Gondet.

Dragon-serpent

Dans ce quartier de la noblesse achéménide, une découverte majeure occupe les archéologues. Il s'agit de la fouille de Tol-e Ajori (la «colline de briques»). Un monument exceptionnel par sa taille – 40 mètres sur 30 – a été identifié comme la réplique de la porte d'Ishtar de Babylone, en Mésopotamie (actuel Irak). «Le roi en voulait une copie plus belle et plus grande d'un tiers. Elle est bâtie en briques cuites, fabriquées en argile très solide, couvertes d'une glaçure», explique Pierfrancesco Callieri. Les motifs décoratifs et figuratifs reproduisent fidèlement ceux de Babylone, jusqu'à Mushkhushu, le dragon-serpent, à pattes de lions et de rapaces, représentant le dieu Marduk. «Une inscription en babylonien et en élamite, sous des formes non utilisées à l'époque de Darius I^{er}, révèle que cet édifice serait antérieur à son règne», ajoute l'archéologue.

Le commanditaire de ce monument pourrait être Cyrus le Grand, en 539 av. J.-C., après sa conquête de Babylone, ou Cambyse son fils. Une protection est en cours d'installation pour accueillir les visiteurs dès l'été prochain. ■

FLORENCE EVIN



9,99 euros, en vente en kiosque dès le 7 mars