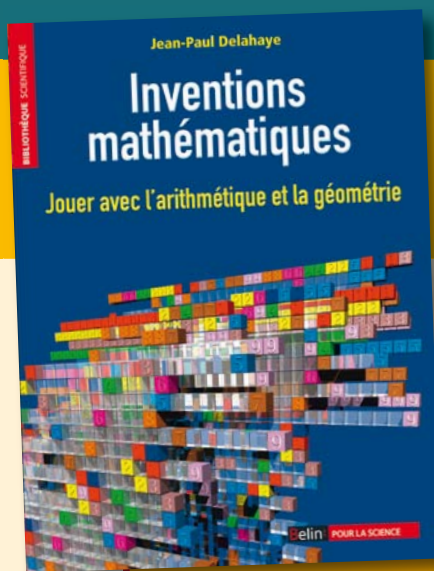


L'univers mathématique

de Jean-Paul Delahaye



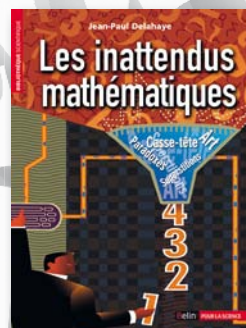
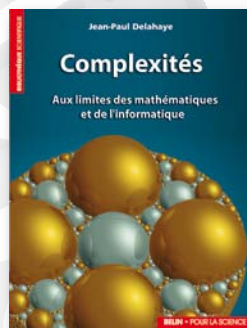
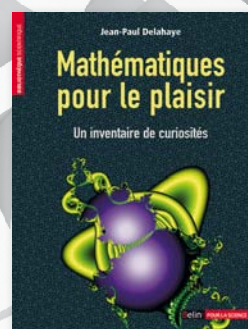
NOUVEAU !

Inventions mathématiques

Jouer avec l'arithmétique
et la géométrie

Les mathématiques sont vivantes et l'imagination des chercheurs et des amateurs n'est jamais en repos. Sans cesse, de nouvelles idées conduisent à des inventions qui réjouissent, étonnent et instruisent. Dans ce livre, vous trouverez des figures paradoxales, des jeux classiques comme le Tangram et le cube de Rubik, des problèmes du quotidien tels le découpage d'une pizza ou l'accrochage d'un tableau, des énigmes élémentaires ou complexes, ou encore des images grises où la cryptographie cache des visages et des animaux. Vous serez étonné... à chaque page !

À l'occasion de la parution de son nouveau livre **Inventions Mathématiques**, redécouvrez l'ensemble de ses ouvrages parus dans la collection Bibliothèque scientifique.



**Retrouvez
Jean-Paul Delahaye
chaque mois**

dans la rubrique
"Logique et calcul"
de *Pour la Science* !

Jean-Paul Delahaye est professeur d'informatique à l'Université des sciences et technologies de Lille et chercheur au Laboratoire d'informatique fondamentale du CNRS, à Lille.

POINT DE VUE

Pour une économie morale des gènes

Aux États-Unis, un jugement récent a décidé que les gènes non modifiés par l'homme ne sont pas brevetables. Pour des raisons qui tiennent tant à l'économie qu'à l'éthique, l'Europe devrait elle aussi revenir sur sa position autorisant la brevetabilité des gènes.

Maurice Cassier

En juin 2013, huit des neuf juges de la Cour suprême des États-Unis décidaient que les gènes isolés de leur environnement naturel ne sont pas brevetables. Ce faisant, la Cour remettait en question 30 années de pratique de l'Office américain des brevets, issus de la recherche privée ou de la recherche publique, au point qu'on estime qu'aujourd'hui 5 000 gènes humains (soit 1/5 du total) ont été soumis à des brevets. Ce jugement suivait la position du Gouvernement des États-Unis, publiée en octobre 2010 et pour qui les gènes isolés par des biologistes, et n'ayant subi aucune modification, ne sont pas brevetables, tandis que les gènes modifiés en laboratoire, les séquences d'ADN complémentaire construites par les chercheurs, peuvent l'être. Il s'agissait bien d'une révision fondamentale de la politique des brevets des gènes suivie jusqu'alors aux États-Unis.

D'où vient un tel revirement ? Qu'en est-il de la situation européenne ? Il apparaît une singulière asymétrie, entre les États-Unis, où les gènes naturels sont dans le domaine public, et la France et l'Europe, où ils demeurent appropriables par brevet. De surcroît, la question de la brevetabilité des gènes, qui a agité la communauté médicale européenne il y a quelques années, inquiète aujourd'hui celle des semenciers et des agriculteurs.

La décision américaine de 2013 clôturait un procès de plusieurs plaignants contre les Laboratoires *Myriad* qui commercialisaient

un test de dépistage des gènes BRCA1 et BRCA2 de prédisposition au cancer du sein. Ces gènes ont été séquencés en 1994, et plusieurs brevets pour des tests de dépistage ont été déposés par divers laboratoires privés, tel *Myriad*, mais aussi publics. Ainsi, entre 1994 et 1998, des tests ont été proposés aux Américaines, avant même l'obtention des brevets. Mais, en 1998, ce sont les Laboratoires *Myriad* qui ont décroché le brevet, face à tous leurs concurrents, s'imposant sur le marché nord-américain du dépistage de la prédisposition au cancer du sein.

LE PARLEMENT ET LE CONSEIL EUROPÉENS devraient placer les entités biologiques et les gènes simplement isolés de leur environnement dans le domaine commun de la science et de l'innovation.

Lors du procès de 2013, les grandes associations de patients et de médecins ont fait valoir que les brevets de gènes, compte tenu de l'étendue du monopole qu'ils autorisaient, étaient susceptibles de contrarier l'éthique médicale : des généticiens pourraient être sommés par ceux qui détenaient les brevets de cesser de proposer leurs tests sous peine d'être poursuivis pour contrefaçon. Les associations de patientes ont soutenu que de tels brevets, qui empêchent une libre concurrence, renchérissent les tests génétiques, lesquels deviennent inabordables pour les femmes aux revenus modestes.

La récente décision de la Cour suprême a changé la donne, puisque tous les gènes isolés en laboratoire sont tombés dans le

domaine public, si bien que tout laboratoire clinique ou entreprise peut les utiliser librement pour développer des tests génétiques ou des technologies médicales.

L'invalidation des brevets de gènes par la Cour suprême reposerait sur des justifications qui tiennent à l'économie de l'innovation et à une morale de la non-appropriation des « produits de la nature », inscrite dans la jurisprudence des brevets depuis plus d'un siècle aux États-Unis. Il existerait deux types de gènes : les gènes « simplement isolés » de la nature, qui ne doivent pas être brevetés,

et les gènes « construits en laboratoire » qui pourraient l'être. Ainsi, le jugement de la Cour suprême a restauré une conception du droit des brevets qui sépare les produits de la nature, considérés

comme un bien commun, et les produits créés par l'homme, sur lesquels on peut instaurer un monopole temporaire. C'était notamment la position de John Locke, philosophe anglais du XVII^e siècle, pour qui l'homme s'approprie les biens de la nature dès lors qu'il y mêle son travail.

En outre, par leur décision, les juges de la Cour suprême entendaient stimuler l'innovation des sociétés de biotechnologie qui testent simultanément un grand nombre de gènes et seraient entravées par la fragmentation de la propriété.

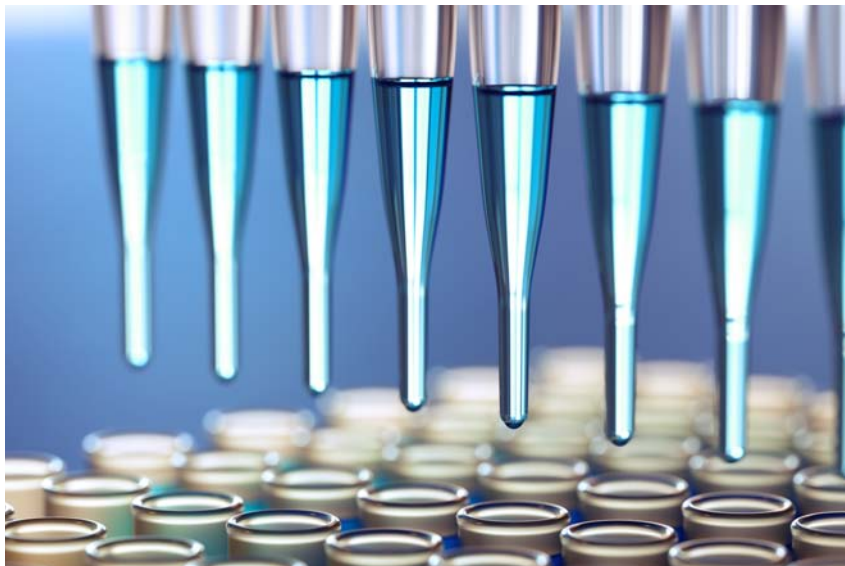
Quelle était la situation en Europe au moment où les Laboratoires *Myriad* obtenaient leur brevet ? Les aspects éthiques et économiques y étaient également au cœur

des débats sur la brevetabilité des gènes. Une directive européenne sur la protection juridique des biotechnologies datant de juillet 1998 visait à rendre les gènes brevetables pour favoriser le développement de l'industrie biotechnologique en Europe et éviter que les généticiens ne partent s'installer aux États-Unis. Un autre facteur jouait en faveur d'un droit à la brevetabilité des gènes : on pensait alors qu'on pourrait guérir les personnes atteintes d'une maladie génétique en leur injectant le « gène médicament », compensant le gène anormal.

C'est dans l'espoir de hâter l'avènement des thérapies géniques que beaucoup étaient, en Europe, à la fin des années 1990, favorables à la brevetabilité des gènes. L'industrie pharmaceutique demanda même le soutien des associations de patients pour faire admettre les brevets de gènes au nom du « droit à la vie ». Malheureusement, dans les années qui ont suivi, on a découvert les difficultés que pose la thérapie génique.

À la même époque, le Parlement européen faisait valoir les principes de non-appropriation des éléments du corps humain et l'éthique du partage des connaissances. Le Parlement européen refusa d'abord la brevetabilité des gènes en 1995, mais finit par l'accepter en 1998. La controverse réapparut au début des années 2000, après l'obtention par *Myriad* de son brevet. Voulant préserver l'accessibilité des tests génétiques en Europe au nom de l'intérêt public et de l'éthique médicale, un consortium de généticiens et de médecins européens s'opposa à ces brevets devant l'Office européen des brevets. Plusieurs ministères de la Santé et des associations de malades les rejoignirent dans ce que la revue *Science* appela la « rébellion » des généticiens européens pour faire valoir le « droit à la santé » des patientes.

Aujourd'hui, en Europe, non seulement la question n'est pas tranchée en génétique humaine, mais le débat s'étend à la biologie végétale, où semenciers et agriculteurs européens s'opposent aux brevets qui voudraient les empêcher de disposer librement des gènes naturels de plantes obtenues par croisement classique, sans modification génétique. Les agriculteurs sont inquiets, craignant d'être poursuivis en contrefaçon



LES DISPOSITIFS DES BIOTECHNOLOGIES permettent de tester des échantillons et des gènes en grand nombre. Les brevets sur les gènes compliquent les recherches et augmentent les coûts.

pour l'usage des semences issues de récoltes qui sont pourtant le fruit de leur travail.

Dans le domaine médical, les laboratoires publics, tel l'Institut national du cancer, entendent diffuser les nouvelles générations de diagnostic génétique. Testant simultanément un grand nombre de gènes, voire le génome entier, ils auraient tout à gagner à la non-brevetabilité des gènes, qui éliminerait tout risque de contrefaçon et les coûts supplémentaires liés aux redevances sur les brevets.

Selon moi, le Parlement et le Conseil européens devraient se saisir à nouveau de la question pour aller dans le sens de la décision de la Cour suprême des États-Unis en plaçant les entités biologiques et les gènes simplement isolés de leur environnement dans le domaine commun de la science et de l'innovation. Une telle mesure favoriserait l'invention et un meilleur usage des technologies médicales disponibles aujourd'hui. Le libre usage des génomes des virus pathogènes favoriserait le développement de nouveaux vaccins à des prix plus accessibles aux populations les plus pauvres, et garantirait la viabilité de nos assurances santé. Une telle décision permettrait en outre de s'émanciper d'une morale de l'accaparement de la nature au profit d'une morale de la coopération avec la nature. Ce faisant, on

ne pourrait pas revendiquer de droit exclusif sur des entités que l'on n'a pas créées ou transformées de façon substantielle.

Cette décision serait applicable aux végétaux, et renouerait avec l'esprit des législateurs qui, dans les années 1960, inventèrent un système d'appropriation relativement équilibré pour les variétés végétales, afin de tenir compte de la contribution de la nature aux inventions. Ainsi, un semencier peut recevoir un certificat d'obtention végétale pour une mise en forme spécifique du patrimoine génétique d'une plante, nouvelle et originale, mais l'ensemble des gènes de la plante reste dans le domaine public. Ce système s'étendrait aux animaux ou aux micro-organismes. Quant aux humains, la non-brevetabilité des gènes respecterait le principe de non-appropriation du corps humain et de ses éléments, les utilisations d'embryons humains à des fins industrielles ou commerciales étant déjà exclues de la brevetabilité par le droit européen. ■

Maurice CASSIER est directeur de recherche au CNRS, Centre médecine, sciences, santé, santé mentale et société, à Villejuif.



Réagissez au
Point de vue sur
www.pourlascience.fr

QUESTIONS OUVERTES

Qu'est-ce que la chimie verte ?

Le concept est apparu dans les années 1990 pour promouvoir une chimie plus soucieuse de l'environnement et de la santé. Il nécessite de prévoir les propriétés potentiellement toxiques des nouvelles molécules, ce que l'on ne sait pas encore bien faire.

Laura MAXIM

Chimie verte, chimie durable, chimie biosourcée, propre, environnementale... Depuis quelques années, tant dans les médias que dans les appels à projets de recherche, la chimie se retrouve associée à de multiples qualificatifs très en vogue par ailleurs dans les discours politiques. Qu'entend-on par chimie verte ? Comment ce concept est-il apparu et quels en sont les enjeux ? La chimie verte est-elle vraiment verte ? C'est ce que nous allons examiner ici.

La chimie verte est née d'une prise de conscience : les chimistes peuvent influencer sur la pollution que produisent les substances synthétisées. Dans la chaîne qui relie le chercheur, l'industriel, le consommateur et le politique, la recherche en laboratoire – susceptible d'aboutir à des innovations et à des produits commercialisés – doit se préoccuper très en amont des effets sanitaires et environnementaux de la chimie. Comment ? En multipliant les collaborations avec d'autres disciplines en prise directe avec ces questions, telles que les sciences de l'environnement et la toxicologie.

Les premières références au terme « chimie verte » sont américaines et remontent aux années 1990. Cette époque est caractérisée par un changement dans les politiques environnementales aux États-Unis. L'industrie est appelée à remplacer le traitement des déchets en aval par la prévention de la pollution à la source : dans un contexte de controverses, vives et nombreuses, autour des effets toxiques

des déchets et, plus généralement, de la chimie, une loi, le *Pollution Prevention Act*, impose la démarche de prévention de la pollution au niveau fédéral. Le mauvais contexte économique de l'époque a joué un rôle important dans l'adoption de cette loi en 1990, sous la présidence de George Bush : les coûts du contrôle de la pollution étaient tels que les industriels y ont vite vu leur intérêt.

En 1991, en réponse à cette loi, l'Agence américaine pour la protection de l'environne-

LA CHIMIE VERTE SERAIT AINSI le serment d'Hippocrate du chimiste : avant tout, ne pas nuire.

ment (EPA) lance un programme de « chimie verte », notion qu'elle définit ainsi : « La chimie verte a pour but de concevoir des produits et des procédés chimiques permettant de réduire ou d'éliminer l'utilisation et la synthèse de substances dangereuses. » Le danger est ici pris au sens large : physique (substance inflammable, explosive...), toxicologique (cancérogène, mutagène...) ou global (destruction de la couche d'ozone, pollution environnementale...).

À ses débuts, le concept de chimie verte est interchangeable avec ceux de chimie environnementale, chimie propre et chimie bénigne par conception. La chimie environnementale était déjà un domaine installé dans le paysage scientifique des années 1980, mais elle se focalisait sur l'étude de la pollution, pour mesurer et contrôler les émissions.

L'un des premiers chimistes à avoir promu le terme de chimie verte, sans le définir avec précision, est un ancien directeur de la division chimie de la Fondation américaine pour la science (NSF), Kenneth Hancock. Il a donné son nom à un prix américain décerné aux étudiants qui se distinguent par leurs travaux en chimie verte. En 1993, il expliquait dans la revue *Science* : « Dès que vous parlez de marées noires, de déchets, de trou dans la couche d'ozone... ou de tout autre problème environnemental inconnu auparavant... c'est la chimie qui est tenue pour responsable. » Mais, poursuivait-il, les chimistes peuvent remédier aux problèmes qu'ils ont contribué à créer : « Toute solution que vous imaginerez viendra de la chimie. »

Il concrétise ces déclarations en lançant des programmes de financement des recherches en chimie verte à la NSF, le premier en 1992, de l'ordre de 950 000 dollars, suivi en 1993 d'un cofinancement en partenariat avec l'EPA. Il s'agit d'encourager des projets de synthèse chimique qui accordent une attention particulière à l'impact sur la santé et sur l'environnement.

C'est d'ailleurs un chimiste de l'EPA qui est le père reconnu de la chimie verte. Paul Anastas – coauteur d'un des premiers livres sur le sujet en 1994 – a d'abord proposé le terme de « chimie bénigne par conception ». Dès cet ouvrage, le ton est donné. Pour P. Anastas, la prévention de la pollution n'est plus une préoccupation d'une communauté minoritaire en chimie – celle de la chimie analytique et atmosphérique –, mais une