

CARTE  
BLANCHELa vaccination  
sous l'œil  
des mathématiques

Par ÉTIENNE GHYS

La plupart des scientifiques se désolent qu'une partie de la population soit hostile aux vaccinations, dans le pays de Pasteur. Deux idées mathématiques simples permettront peut-être d'éclairer un peu mieux le problème.

Le premier concept est celui de seuil. Imaginons une maladie contagieuse au point que chaque malade contamine en moyenne 10 personnes. Si l'on n'y a pas de vaccination, ces 10 personnes en contaminent 100, qui en contaminent 1000, etc. L'épidémie se propage à vitesse exponentielle. Supposons maintenant que 80% de la population soit immunisée, si bien que seulement 20% de ces 10 personnes sont contaminées, en moyenne. Chaque malade ne contamine plus que 2 personnes, mais l'épidémie se propage encore, car les puissances de 2 croissent très vite (2, 4, 8, 16...), même si c'est moins rapide que les puissances de 10. En revanche, si 95% de la population est immunisée, un malade ne contamine plus que 5% de 10, c'est-à-dire 0,5 personne (en moyenne!). Cette fois, le nombre de malades diminue et il n'y a plus d'épidémie.

Il y a donc un seuil (qui est de 95% dans notre exemple). Si la proportion de personnes immunisées est inférieure à ce seuil, l'épidémie sévit et seules les personnes immunisées sont protégées : c'est la vaccination égoïste dans laquelle chacun se protège. En revanche, si la proportion est supérieure au seuil, la maladie disparaît et tout le monde est protégé, même ceux qui ne sont pas vaccinés (peut-être pour de bonnes raisons). Voilà pourquoi il ne faut pas conclure que le problème est réglé parce qu'une très large proportion de la population est déjà vaccinée. Très large, peut-être, mais est-elle supérieure au seuil ? Ce sont les épidémiologistes qui le déterminent.

## Égoïste ou altruiste ?

Le second concept vient de la théorie des jeux. Imaginons la situation suivante. Je suis face à un groupe de 100 personnes qui ne se connaissent pas et je leur demande d'écrire « égoïste » ou « altruiste » sur une feuille de papier sans se concerter. J'annonce que je donnerai 50 euros à chaque égoïste, et que pour tout altruiste, je donnerai 1 euro à chacun des 99 autres. Si tout le monde a un comportement altruiste, chacun recevra 99 euros. Au contraire, si tout le monde est égoïste chacun ne recevra que 50 euros. Comment croyez-vous que les gens réagissent lorsque des psychologues réalisent l'expérience ? Le choix altruiste est le choix qu'on peut qualifier de social, pour le bien commun. Et le choix égoïste est rationnel car personne n'a intérêt à en changer sous peine de perdre 50 euros : on appelle cela un équilibre de Nash.

C'est un peu la même chose pour la vaccination. Le choix égoïste consiste à ne pas vacciner son enfant parce que l'on pense qu'il y a un petit risque d'effet secondaire, mais surtout parce qu'on est persuadé qu'il y aura suffisamment d'autres enfants qui seront vaccinés, au-dessus du seuil, pour que la maladie ne se développe pas et que son enfant ne soit pas malade. Ce choix égoïste est rationnel... si la proportion des altruistes est supérieure au seuil.

Alors, faut-il rendre certaines vaccinations obligatoires ? Après tout, la loi nous oblige à nous arrêter au feu rouge pour le bien commun, même si nous sommes parfois tentés par le comportement égoïste. La *Déclaration des droits de l'homme et du citoyen* de 1789 affirme que « la loi est l'expression de la volonté générale ». Mais cela penche-t-il du côté rationnel et égoïste, à la Nash, ou du côté social et altruiste ? C'est aux politiques de décider, au nom du peuple, mais en expliquant pourquoi ils font ce choix. Aristote affirmait que l'Homme est politique par nature. Thomas d'Aquin, traduisant du grec au latin, écrivit « homo est naturaliter politicus, id est socialis ». La politique et le social ne seraient-ils pas synonymes ? ■

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

La recherche académique  
a tout à gagner à se passer des brevets

TRIBUNE - L'Open Science devrait aussi s'appliquer à la propriété intellectuelle afin de faire de la connaissance un bien commun, explique Lionel Maurel, conservateur de bibliothèques et blogueur

Progressivement, le concept d'Open Science tend à devenir le nouveau paradigme de référence pour la diffusion des résultats de la recherche scientifique. Il est notamment poussé par l'Union européenne dans le cadre du programme « Horizon 2020 » et, en avril 2016, un appel solennel a été lancé depuis Amsterdam pour inciter les États membres à engager des actions en ce sens. La notion rencontre aussi de plus en plus d'échos en France : en 2016, le CNRS lui a consacré un Livre blanc intitulé « Une science ouverte dans une république numérique », comportant de nombreuses propositions en faveur de l'ouverture.

La définition de l'Open Science est fluctuante, mais elle renvoie à une volonté de systématiser la libre diffusion et la libre réutilisation des résultats de la recherche, en tirant notamment parti d'Internet et des outils numériques. Plusieurs dimensions de l'activité de recherche sont concernées, comme la publication des écrits scientifiques (Open Access), les logiciels utilisés (Open Source), les données de recherche (Open Data), l'évaluation des résultats (Open Peer Review), les ressources éducatives (Open Educational Resources), etc.

Mais il est un aspect presque toujours passé sous silence dans ces énumérations : celui des brevets que les universités et instituts de recherche sont amenés à déposer sur les inventions produites par les chercheurs. Alors que la réflexion progresse dans tous les autres domaines en faveur de la libre diffusion, tout se passe comme si une sorte de tabou persistait à propos des

brevets. Pourtant, l'université d'Aarhus au Danemark vient de lancer une initiative qui montre que l'Open Science n'est pas condamnée à s'arrêter ainsi à la porte de la propriété industrielle.

Baptisé justement « Open Science », ce programme vise à modifier les rapports entre les laboratoires de recherche et les entreprises privées. Traditionnellement, les entreprises participent au financement de travaux de recherche avec, en contrepartie, un partage des résultats avec les universités et des dépôts de brevets venant sécuriser les droits de propriété intellectuelle sur les inventions obtenues. L'université d'Aarhus a décidé de changer les règles de ces partenariats, en prévoyant que ni l'université ni les entreprises impliquées dans les projets ne pourront déposer de brevets. Le but est de pouvoir diffuser les résultats sur une plateforme et d'en permettre la libre réutilisation. Plusieurs grandes entreprises, dont la société danoise Lego, collaborent déjà à ce programme qui associe également d'autres établissements de recherche dans le pays.

On peut se demander pourquoi des entreprises accepteraient de contribuer à des projets de recherche si elles ne peuvent sécuriser l'acquisition d'exclusivités par le biais de brevets. C'est ignorer que les mentalités évoluent graduellement, à mesure qu'une prise de conscience s'opère à propos du caractère parfois néfaste de l'accumulation des droits de propriété intellectuelle. Les « guerres des brevets » qui ont fait rage dans certains secteurs, comme celui des smartphones, incitent aujourd'hui des acteurs indus-

SEULE UNE FAIBLE  
PROPORTION  
DES BREVETS ISSUS  
DE LA RECHERCHE  
PUBLIQUE GÉNÈRENT  
DES REVENUS,  
TANDIS QUE LA  
MAJORITÉ DEMEURE  
INEXPLOITÉE

triels, tels que Tesla ou Toyota, à renoncer à certains de leurs brevets pour mettre en partage des technologies. C'est sur ce terrain de l'Open Innovation que de nouvelles formes de relations entre universités et entreprises peuvent se nouer.

Reste l'argument financier, les brevets étant réputés participer à la « valorisation » de la recherche en générant des recettes à travers des redevances versées aux établissements. En réalité, les études montrent que seule une faible proportion des brevets issus de la recherche publique génèrent des revenus, tandis que la majorité demeure inexploitée. Ce n'est pourtant pas que ces inventions soient sans intérêt, mais les « frictions » liées à l'obtention des licences agissent comme une puissante barrière à la réutilisation. Laisser les inventions dans le domaine public en renonçant aux brevets constitue un moyen de « dégeler » ces résultats pour qu'ils réalisent immédiatement leur plein potentiel. Si les brevets sont

autant utilisés dans le secteur de la recherche, ce n'est pas tant pour leur rentabilité économique que parce qu'ils ont été dévoyés de leur fonction d'origine pour devenir un mode de publication et d'évaluation de la recherche. L'initiative de l'université d'Aarhus montre néanmoins qu'un autre fonctionnement est possible, à condition de mettre en place des infrastructures adaptées en faveur de l'Open Science.

L'histoire témoigne que l'association entre brevets et universités est récente. Elle remonte en réalité aux années 1980, lorsque les États-Unis ont autorisés leurs universités à déposer des brevets avec le Bayh-Dole Act, bientôt imités par de nombreux pays à mesure que se mettait en place l'« économie de la connaissance ». Pour certains observateurs, cette emprise de la propriété intellectuelle sur la recherche participe du « second mouvement d'enclosure des communs » qui, après avoir frappé les biens fonciers à la fin du XVIII<sup>e</sup> siècle, s'est étendu aux productions de l'esprit humain. Les brevets constituent en réalité un instrument de privatisation et de marchandisation du savoir, et les institutions publiques de recherche sont devenues l'un des rouages de ce phénomène. Mais ce processus est réversible, et c'est le but de l'Open Science de faire à nouveau de la connaissance un bien commun, à condition d'oser aller jusqu'au bout de la démarche. ■

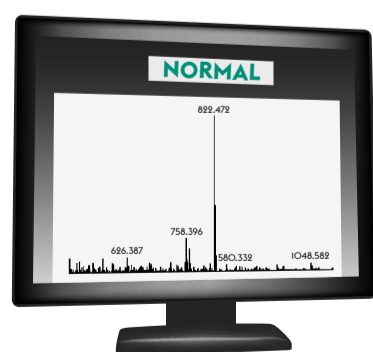
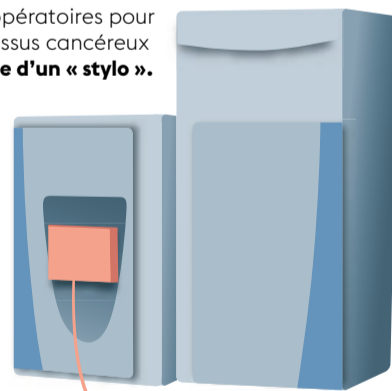
Lionel Maurel, conservateur des bibliothèques, auteur du blog S.I.Lex et cofondateur du collectif SavoirsCom1

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

## UN STYLO POUR IDENTIFIER LES TISSUS CANCÉREUX

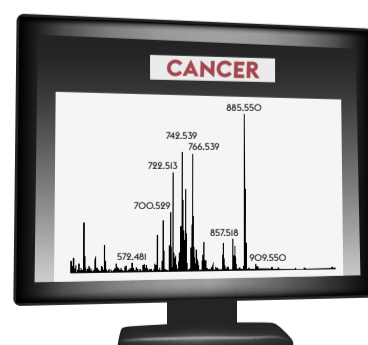
## 1 SPECTROMÈTRE DE MASSE

Cet outil permet d'identifier des molécules par la mesure de leur masse. Des chercheurs texans veulent le faire entrer dans les blocs opératoires pour distinguer des tissus cancéreux à exciser, à l'aide d'un « stylo ».

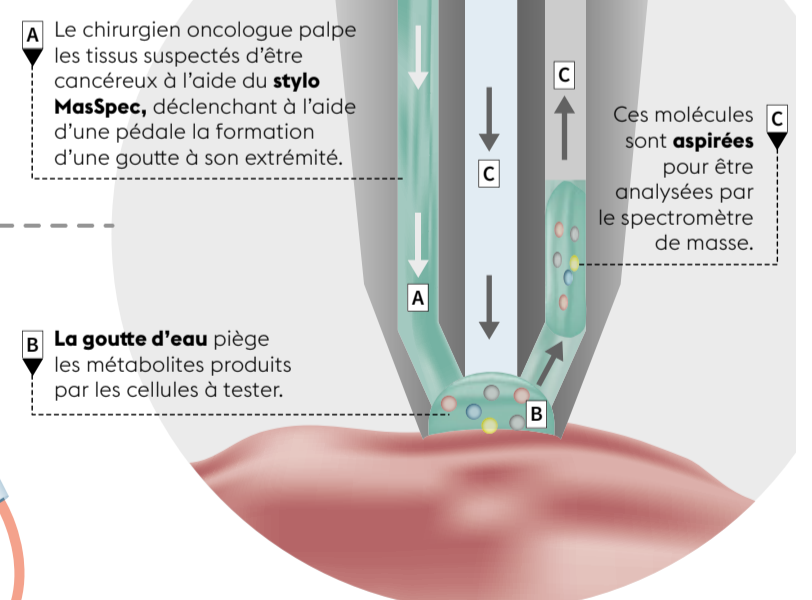


## 3 UNE ANALYSE QUASI INSTANTANÉE

Dix secondes suffisent pour voir si les molécules piégées constituent un cocktail représentatif des métabolites produits par des cellules cancéreuses. Si c'est le cas, le chirurgien peut immédiatement les retirer.



INFOGRAPHIE : PHILIPPE DA SILVA



## 2 UN STYLO « PALPEUR »

Le principe du **MasSpec Pen** est d'aider à l'excision des tissus tumoraux en identifiant plus précisément les limites de ceux-ci. Il permet d'aspirer les molécules qui entourent les cellules dans une bulle liquide, pour les analyser en spectrométrie de masse.

SOURCE : UNIVERSITÉ DU TEXAS À AUSTIN

L'un des défis de la chirurgie oncologique est de parvenir à exciser toute tumeur sans laisser de cellules qui pourraient récidiver, tout en évitant de léser les tissus sains. Une équipe texane propose dans le *Science Trans-*

*lational Medicine* du 6 septembre une technique d'analyse par spectrométrie de masse qui pourrait aider les chirurgiens : le stylo MasSpec dépose sur les tissus une goutte d'eau aspirée vers un analyseur capable de détecter en

dix secondes la « signature » de cellules cancéreuses. « Les essais chez la souris semblent prometteurs », commente André Pèlerin (Institut de recherche en cancérologie de Montpellier), dont l'équipe développe une approche

alternative de chirurgie guidée par fluorescence : des molécules ciblant les tumeurs rendent celles-ci détectables en lumière infrarouge, y compris des nodules invisibles à l'œil nu. ■

HERVÉ MORIN