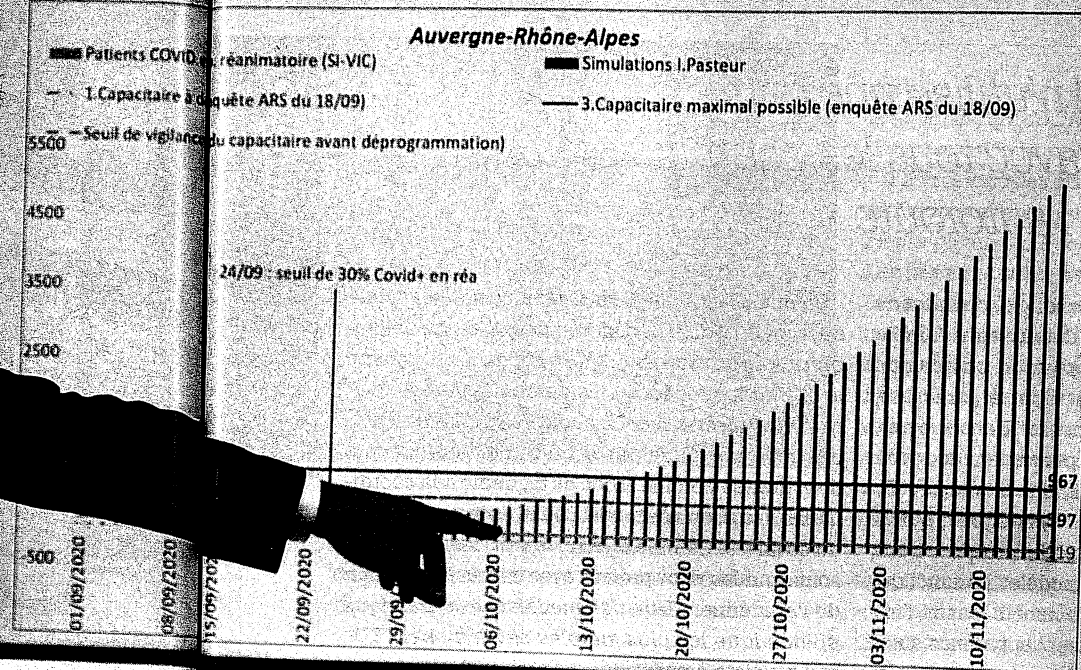


# Modélisation L'omniscience du futur

Devenus indispensables pour anticiper les vagues de Covid-19, les modèles ne sont pas l'apanage de l'épidémiologie. De l'astrophysique aux sciences sociales, l'effort de modélisation est soutenu dans toutes les disciplines, mais reste un outil intrinsèquement imparfait. **PAR ADRIEN DENÈLE**



En septembre 2020, lors d'une conférence de presse hebdomadaire, le ministre de la Santé Olivier Véran présentait sous forme de modélisation statistique l'évolution prévisionnelle des hospitalisations dues au Covid-19.

Spécialiste mondial des modèles épidémiologiques, il nous explique ce qu'est la fonction exponentielle.

© ELIOT BLONDET/POOL/AFP

“ **T**ous les modèles sont faux, mais certains sont utiles.” Voilà le résumé que faisait le statisticien George Box en 1976. La phrase se veut bien entendu provocante, mais porte une part de vérité : le rôle d'un modèle n'est pas de coller parfaitement à la réalité, mais de la décrire, avec une large part de simplification. Un modèle doit permettre d'effectuer une comparaison et l'origine latine du mot renvoie d'ailleurs à l'idée de mesure. Si les modèles sont omniprésents, ils n'ont jamais engendré autant de confusion : en économie, ils nous promettent à la fois le retour de la croissance et la récession ; dans le domaine de la santé, la crise épidémique nous montre combien il est difficile de prévoir l'évolution d'une pandémie ; tandis que les modèles climatiques sont sans cesse modifiés en fonction de nouvelles données. Faut-il en déduire qu'un modèle n'est bon que du point de vue de son modélisateur ?

Prenons l'exemple d'un modèle astrophysique, avec l'astrophysicienne Aurélie Guilbert-Lepoutre. Son travail au sein du Laboratoire de géologie de Lyon consiste à concevoir un modèle de comète, dans le cadre d'une future mission européenne nommée *Comet Interceptor*, “intercepteur de comète”.

Sa mission sera d'attendre en orbite autour de la Terre qu'une nouvelle comète passe à sa portée, pour la rejoindre et l'étudier. Les astrophysiciens espèrent ainsi analyser une comète vierge de toute interaction avec le Soleil, car celles étudiées jusqu'à présent se sont vues modifiées lors de leur passage au plus près de notre astre. Seul problème : il va falloir choisir la meilleure candidate avec un minimum d'informations. Aurélie Guilbert-Lepoutre doit donc concevoir un modèle de comète afin d'orienter sa sélection. “Concrètement, faire un modèle, c'est d'abord écrire des équations physiques, ce qui implique une partie de maths, détaille l'astrophysicienne. Ensuite, il faut les discrétiser”, c'est-à-dire transformer des données abstraites et continues en chiffres compréhensibles par l'ordinateur. “Cela devient alors un ensemble de milliers de lignes qui donnent des ordres à l'ordinateur”, précise-t-elle. C'est ici que les mathématiques prennent le relais : “Il faut ajouter une couche de mathématiques afin de faire des approximations discrètes de phénomènes continus. Par exemple, des intégrales que l'on transforme en séries.” S'en suit un “ping-pong” permanent entre le modèle et la simulation elle-même. “On entre des conditions initiales, on fait

## Personne n'utilise une carte de randonnée avec tous les chemins piétons lorsqu'il prend l'autoroute

tourner le modèle, on regarde ce que ça donne et on compare aux données réelles, détaille ainsi Aurélie Guilbert-Lepoutre. Si ce n'est pas bon, on refait un run de simulation en changeant tel ou tel paramètre, ce qui demande de l'expérience..." Dans son cas, quinze années de pratique lui permettent de savoir quels paramètres faire varier. En fin de compte, elle obtient un modèle de comète "sphérique", qui va même "devenir un cube numériquement". Nous sommes loin de l'image d'un modèle "parfait", qui reproduirait avec précision une comète. Car ici, l'important n'est pas d'en modéliser l'apparence, mais de prédire sa distribution de température, la présence de poussières gelées... bref, son activité. Dès lors, pas besoin d'un modèle d'une haute précision. "Personne n'utilise une carte de randonnée avec tous les chemins piétons lorsqu'il prend l'autoroute, compare la modélisatrice. Pour un modèle, c'est la même chose, il faut le bâtir selon ses besoins."

On touche ici à une caractéristique fondamentale du modèle : il doit "répondre à une question précise qui doit être aussi générique que possible", comme le définit la modélisatrice en épidémiologie des maladies infectieuses Elisabeta Vergu. Elle est chercheuse Inrae et fait partie du comité scientifique d'un groupe nommé ModCov19, dédié à la coordination des efforts de modélisation de la propagation du covid-19. Comme chacun le sait, les difficultés sont grandes pour prévoir avec succès l'évolution de l'épidémie. "L'un des modèles de dynamique épidémique les plus simples est le modèle SIR, qui consiste à partitionner la population en trois catégories, explique l'épidémiologiste. D'abord les individus sains, S, en tout cas pour la maladie étudiée ; puis les infectés, I, au sens de contaminés et infectieux ; et enfin, ceux qui ont déjà été infectés et ne sont plus contagieux, R." Ensuite, on définit des "transitions" entre chaque catégorie, telle qu'une

## Infuser le génie mathématique partout

En mai dernier est né l'Institut des mathématiques pour la planète Terre (IMPT). "L'idée est de cerner ce que les mathématiques peuvent apporter aux grands enjeux sociétaux", expose la mathématicienne Laure Saint-Raymond, directrice de l'institut. Climat, physique, géologie, biologie, sciences sociales... c'est l'ensemble des disciplines qui peuvent en bénéficier. "Il est important de signaler que toutes ne sont pas au même niveau de modélisation", avance la mathématicienne. La physique serait ainsi la plus développée, du fait de son histoire qui lui permet d'avoir des modèles mathématiques complexes.

Le Tweetoscope climatique est un dispositif qui analyse le lien entre les articles scientifiques sur le climat et le traitement de la thématique par les médias et le grand public, à l'aune des publications sur Twitter.

Chaque année, plusieurs comètes entrent dans le système solaire, comme ici C/2020 F8 (SWAN), le 28 avril 2020. La mission européenne *Comet Interceptor* lancera, en 2028, 3 sondes qui partiront à la rencontre de l'un de ces corps célestes. Le choix d'une telle comète passe par une modélisation préalable.

position à l'inverse des modèles dits "phénoménologiques, qui décrivent des relations sans tenter d'expliquer", résume Elisabeta Vergu.

D'autres modèles existent, par exemple ceux "dits individus-centrés, ou de métapopulation, où plusieurs populations connectées sont considérées". Les premiers sont particulièrement efficaces pour évaluer le suivi des cas contacts. Mais tous ces modèles présentent des failles inhérentes à leur construction. "On prend souvent l'hypothèse de populations homogènes, reconnaît Elisabeta Vergu, que ce soit du point de vue de l'âge, à l'échelle d'une ville ou d'un foyer d'individus", ce qui constitue un biais inhérent aux difficultés mathématiques encore rencontrées au sein du monde médical. "Il reste un défi à relever : confronter ces modèles aux données, ce qui appelle au développement de nouvelles méthodes d'estimation des paramètres. Heureusement, des progrès ont été faits depuis le début de la crise épidémique. Il y a un effort de mise en commun, se réjouit le spécialiste, et même s'il n'y a pas toujours d'effets immédiats, l'épidémiologie et les mathématiques communiquent de façon de plus en plus étroite." Épidémiologie, mais aussi climatologie, criminologie, cancérologie, économie... Chaque discipline est en besoin de mathématiques.

relation de proportionnalité entre le nombre de S et la fraction de I dans la population N. Cela aboutit dans le cas présent à un système d'équations non linéaire – car chaque paramètre peut varier selon le temps – de la forme :

$$dS/dt = -\beta(S \times I)/N$$

( $\beta$  étant une constante du taux de transmission, et  $dS/dt$  la dérivée de S selon le temps).

Cette formalisation permet d'obtenir une modélisation "mécaniste [du processus de contamination], c'est-à-dire que l'on traduit en équations les mécanismes capables d'expliquer le phénomène". Une

"La biologie l'est déjà moins, poursuit-elle, car c'est une interface plus récente. Cela commence tout de même à se développer avec l'idée de quantifier les choses, comme la propagation des tumeurs." Un champ à la traîne reste celui des sciences sociales, "dont les équations sont vieilles de quatre ou cinq siècles", déplore Laure Saint-Raymond. "Attention, cela ne veut pas dire que c'est plus simple, mais, au contraire, qu'il faut apprendre à en construire de nouvelles. C'est comme un Lego : on commence avec une brique, puis deux, et ainsi de suite jusqu'à former un nouveau modèle complexe." Son collègue Arnaud Guillin, mathématicien lui aussi et directeur exécutif de l'Institut, ajoute un point important : la distinction entre la mentalité du mathématicien et celle des autres scientifiques, surtout quand il s'agit de

modélisation. "Le mathématicien va essayer de s'amuser avec le modèle pour le comprendre, explique-t-il, le contourner, lui faire considérer des quantités qui n'intéressent pas forcément un physicien ou un biologiste." Laure Saint-Raymond renchérit : "Il ne faut pas oublier que le modèle n'est pas la réalité, alors qu'en mathématiques, c'est l'axiome, c'est de là qu'on part. Quand on est physicien, on écrit un modèle qui ne sera pertinent que jusqu'à ce qu'une observation le mette en défaut. Du point de vue des maths, c'est le point de départ, et on lui fait dire ce que l'on peut. Cela forme une boucle : le physicien essaie de décrire ce qu'il observe, et le mathématicien le décortique." "On l'amène à ses limites", résume Arnaud Guillin. Le rôle du mathématicien ne sera donc pas de dire si le modèle est bon ou non, mais uniquement d'en déterminer

les propriétés intrinsèques. Voilà pourquoi, au sein de leur nouvel Institut, les deux mathématiciens demandent que chaque projet "soit porté à la fois par un mathématicien et par un non-mathématicien, afin de toujours réajuster l'interface entre les disciplines". Avec l'espoir qu'un jour, chaque discipline soit dotée de modèles mathématiques aussi solides que ceux utilisés en physique. "On a l'idée que c'est possible pour toutes les disciplines", affirme Laure Saint-Raymond. Même en économie : "Je regardais des papiers d'économistes cette semaine, et, clairement, leurs modèles ne sont pas capables de rendre compte de certaines choses comme l'inhomogénéité spatiale, le fait que les gens ne se comportent pas partout de la même façon. Donc, oui, il y a matière à développer de nouveaux modèles, et pas seulement à cause du changement climatique."

© DAMIAN PEACH / CHILSCOPE/SCIENCE PHOTO LIBRARY