

Les modélisateurs de l'épidémie de la Covid-19

Par Fabrizio LI VIGNI

Sociologue du numérique, docteur en sociologie et chargé de recherche
au CNRS, Centre Internet et Société (CIS), CNRS UPR 2000 / GDR 2091

L'apparition de l'« épidémiologie computationnelle » dès le début des années 2000 a renouvelé l'activité de modélisation des maladies infectieuses, par des outils numériques. Pendant la crise de Covid-19, les gouvernements de certains pays ont pris leurs décisions en fonction des modélisations de ces chercheurs issus des sciences de la nature et de l'ingénieur. Toutefois, ces derniers n'ont pas été les seuls modélisateurs à être sollicités par les autorités afin d'anticiper la diffusion de la maladie, et à se mobiliser pour en expliquer les ressorts au grand public. Des *outsiders* – issus des sciences naturelles et sociales – ont ainsi contribué à la recherche sur la Covid-19 alors qu'ils ne s'étaient jamais occupés d'épidémies auparavant. L'article revient sur ces communautés et sur les raisons pour lesquelles elles se sont rendues disponibles en contexte d'urgence sanitaire.

INTRODUCTION

Les modèles épidémiologiques mathématiques existent depuis les années 1920 (Hethcote, 2000), mais l'apparition de l'« épidémiologie computationnelle » a renouvelé l'activité de modélisation des maladies infectieuses, par des outils issus de l'informatique et de la physique (Li Vigni, 2021). Des techniques sophistiquées comme les « modèles à base d'agent » et la « théorie des réseaux » permettent en effet de modéliser des systèmes composés de nombreux éléments hétérogènes en interaction réciproque et dynamique : leur avantage par rapport aux modèles déterministes du siècle dernier réside dans le fait qu'ils permettent de tester *in silico* et d'évaluer de manière probabiliste différents scénarios de l'évolution d'une épidémie.

On compte aujourd'hui une vingtaine d'équipes d'épidémiologistes computationnels dans les pays du Nord au sein d'universités, centres de recherche et agences de santé publique. Ces équipes collaborent de manière ponctuelle dans plusieurs cadres depuis la deuxième moitié des années 2000. Mais avec la pandémie de la Covid-19, certains d'entre eux ont été propulsés sur le devant de la scène politique et médiatique du fait de leurs anticipations des pics épidémiques et de leur travail d'expertise dans la gestion de la crise sanitaire. Toutefois, ils n'ont pas été les seuls modélisateurs à être sollicités par les autorités publiques ou à se mobiliser spontanément afin d'anticiper la diffusion de la maladie, et à l'expliquer au grand public. Des *outsiders* – issus des sciences naturelles et sociales – ont ainsi contribué à la recherche sur la Covid-19 alors qu'ils ne s'étaient jamais occupés d'épidémies auparavant.

Dans cet article, nous nous proposons, dans la première partie, de revenir sur les fondateurs de l'épidémiologie computationnelle *stricto sensu*, et sur les stratégies scientifiques et institutionnelles par lesquelles ils ont réussi à s'implanter dans le paysage de la santé publique occidentale ; la deuxième partie présente ensuite quelques hypothèses pour expliquer ce qui a pu mener des modélisateurs sans expérience épidémiologique préalable à contribuer à l'étude de la Covid-19, à la faveur des décideurs politiques et de la population.

LES FONDATEURS DE L'ÉPIDÉMIOLOGIE COMPUTATIONNELLE

Dans une précédente étude de l'épidémiologie computationnelle (Li Vigni, 2021), un paradoxe nous posait question : comment des spécialistes des réseaux issus des mathématiques, de la physique et de l'informatique ont-ils réussi à devenir des experts d'épidémies vis-à-vis des décideurs politiques, sans afficher un parcours professionnel en santé publique ? Fondée dans les années 2000 par un petit nombre de physiciens-statisticiens (Pastor-Satorras et Vespignani, 2001), cette nouvelle spécialité vise, depuis l'épidémie de H1N1, à enrichir la modélisation des maladies par des outils numériques, et à offrir aux pouvoirs publics une aide à la décision afin d'évaluer les risques de contagion, les populations vulnérables et l'effet des mesures d'intervention pour endiguer la propagation des pathogènes (Marathé et Vullikanti, 2013).

Pour justifier leur migration disciplinaire et la généralisation de leurs outils à des objets inédits, les fondateurs de l'épidémiologie computationnelle expliquent que tous les systèmes naturels et humains réticulaires peuvent être étudiés par la même boîte à outils théorique et méthodologique. La plupart des membres de cette communauté partagent le même type de carrière, avec un début disciplinaire, une phase de transition interdisciplinaire et un atterrissage de spécialisation. Pour certains d'entre eux, les épidémies n'étaient au début qu'un objet d'étude parmi d'autres. Au tournant des années 2010, certains pionniers eurent la possibilité de se dédier à temps plein à la modélisation épidémiologique et constituèrent, au sein d'universités et de centres de recherche, des équipes spécialisées dans le but de répondre aux appels à projet européens et américains sur l'étude des épidémies en cours. La vie de ces chercheurs a été littéralement rythmée par les « tempêtes microbiennes » (Zylberman, 2013) de l'histoire récente (H1N1, H5N1, MERS-CoV, Ebola, dengue, Zika, zoonoses, gripes saisonnières...).

Avant de devenir un point de passage obligé des comités scientifiques gouvernementaux pendant la dernière crise sanitaire, les épidémiologistes computationnels ont dû passer par plusieurs épreuves scientifiques et institutionnelles pour gagner en légitimité. Le premier argument que nos interviewés donnent pour expliquer la croissante crédibilité de leur spécialité concerne l'acquisition du langage propre à l'épidémiologie. Deuxièmement, les résultats scientifiques pour convaincre les professionnels de la santé publique, aussi bien que les décideurs politiques, ne sont pas, ou pas principalement, l'exactitude, l'élégance et la nouveauté d'une équation ou d'une ligne de code. La crédibilité est venue plutôt du fait d'avoir pris des risques et gagné des paris en publiant des articles contenant des anticipations sur des épidémies en cours. Cela s'est accompagné, en troisième lieu, de la création de liens de confiance avec les professionnels de santé des agences et des ministères, et ce en temps d'alerte sanitaire majeure (Ebola, MERS-CoV...) comme en temps de paix (grippe saisonnière, zoonoses...). En quatrième et dernier lieu, la consécration est passée par un rite de passage institutionnel : être embauchés en tant qu'épidémiologistes par un hôpital ou un centre de recherche sanitaire.

Lorsque la Covid-19 est arrivée en Occident début 2020, la communauté d'épidémiologistes computationnels était déjà implantée dans le paysage de la santé publique européenne et américaine. C'est alors que les gouvernements occidentaux ont pu prendre certaines de leurs décisions (dont le confinement) en fonction des modélisations de ces nouveaux acteurs¹.

¹ https://www.lemonde.fr/sciences/article/2020/03/30/neil-ferguson-l-epidemiologiste-qui-murmure-a-l-oreille-de-downing-street_6034945_1650684.html (consulté le 16.12.22).

LA MONTÉE DES *OUTSIDERS* DE LA MODÉLISATION ÉPIDÉMIOLOGIQUE

Parfois péjorativement qualifiés d'« épidémiologistes amateurs »², un certain nombre de mathématiciens, physiciens, biologistes, informaticiens, écologues, ingénieurs, économistes, géographes et sociologues ont contribué à la modélisation de la Covid-19, et ce de manière plus ou moins encadrée institutionnellement. Comment expliquer leur apparition dans le paysage, alors que de leur propre aveu ils manquaient de toute expérience en matière d'épidémies ? Autant la sollicitation des épidémiologistes computationnels était prévisible par les initiés, autant l'arrivée de ces nouveaux modélisateurs était plus difficile à anticiper. Des recherches sont en cours pour mettre au jour leurs raisons et leurs pratiques de recherche et de conseil, mais nous pouvons d'ores et déjà avancer au moins quatre explications d'ordre contextuel et d'ordre épistémologique. Passons-les en revue.

D'un point de vue contextuel, l'appel des autorités étatiques à mettre la communauté scientifique au service de l'urgence sanitaire, couplé à l'arrêt des activités habituelles, a encouragé de nombreux chercheurs à contribuer, comme ils le pouvaient, à l'avancement des connaissances sur l'épidémie en cours. Dès le 5 mars 2020, l'Élysée réunit des acteurs de la recherche publique et privée pour « conjug[er] les efforts [...] dans la lutte contre le Coronavirus »³. Un communiqué de presse publié par les principales institutions scientifiques françaises reporte qu'Emmanuel Macron, lors de son allocution du 12 mars 2020 annonçant le confinement général, « a rappelé sa « confiance dans la science » face à la pandémie de Covid-19 »⁴. Dans le but de « comprendre le virus et tenter d'en limiter sa propagation », mention est faite aussi de la nécessité de mobiliser la recherche pour unir les forces et partager les connaissances. Fin 2020, le ministère de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation annonce la création d'une nouvelle agence de recherche (nommée Maladies Infectieuses Émergentes) sous la houlette de l'Inserm, dans le but de coordonner les travaux sur l'épidémie en complémentarité avec l'Agence nationale de la Recherche⁵. Entre mars 2020 et avril 2021, cette dernière institution a financé 279 projets en matière de Covid-19 sur des thèmes divers, parmi lesquels figure l'immanquable « modélisation de la dissémination du virus »⁶. En avril 2020, l'Institut national des sciences mathématiques et de leurs interactions du CNRS lance la plateforme MODCOV19, pour coordonner les chercheurs qui veulent contribuer à la compréhension et à l'anticipation de l'épidémie. L'appel est délibérément large et ouvert : « [À] tous les scientifiques ayant des compétences en modélisation, quel que soit le domaine concerné, ils sont les bienvenus. Notre souhait est de travailler en complémentarité avec les équipes actuellement engagées en première ligne pour venir à bout de la pandémie et préparer l'avenir. Pour ce faire, toutes les forces sont nécessaires »⁷.

² <https://www.technologyreview.com/2021/10/15/1037195/engineering-epidemiology-pandemic-problem-solving/> (consulté le 16.12.22).

³ <https://www.elysee.fr/emmanuel-macron/2020/03/05/coronavirus-chercheurs-des-secteurs-public-et-privé-unissent-leurs-forces-dans-la-lutte-contre-le-covid-19> (consulté le 16.12.22).

⁴ <https://www.cnrs.fr/fr/en-temps-de-pandemie-la-recherche-fait-partie-de-la-reponse> (consulté le 16.12.22).

⁵ <https://www.enseignementsup-recherche.gouv.fr/fr/creation-d-une-nouvelle-agence-de-recherche-sur-les-maladies-infectieuses-et-emergentes-47114> (consulté le 16.12.22).

⁶ <https://anr.fr/fr/actualites-de-lanr/covid-19-les-actions-de-lanr-en-soutien-a-la-recherche/> (consulté le 16.12.22).

⁷ <https://www.cnrs.fr/fr/cnrsinfo/modcov19-la-modelisation-pour-mieux-lutter-contre-la-pandemie> (consulté le 16.12.22).

Dans ce contexte d'appel aux armes général et de déploiement financier important, il n'est pas étonnant que des chercheurs de tout bord aient souhaité contribuer à l'étude de la Covid-19. Les instituts de recherche⁸, les universités⁹ et les grandes écoles¹⁰ ont ainsi pu mobiliser de manière exceptionnelle leur personnel et leurs ressources dans une réorientation temporaire de leurs activités. En plaidant pour une diversité d'approches, les modélisateurs extérieurs au champ de la santé publique ont été décrits par la presse comme des chercheurs « de bonne volonté » et « altruiste[s] » souhaitant « apporter leur pierre à l'édifice »¹¹. Ces *outsiders* ont pu être actifs de deux manières différentes, soit en répondant à des appels les encadrant dans des dispositifs tel MODCOV19 : on les appellera *outsiders* institutionnalisés ; soit en participant de façon autonome dans l'espace public *via* des interventions médiatiques ou des sites internet tel CoVprehesion (une plateforme permettant aux internautes de poser des questions aux chercheurs) : on les appellera *outsiders* non institutionnalisés. L'équipe pluridisciplinaire derrière ce portail décrit ses membres comme étant « désireux de mobiliser leurs compétences pour répondre [aux] interrogations légitimes » des citoyens¹². Le site aborde, notamment, les questions de la propagation du virus et des actions individuelles et collectives à mettre en place pour l'endiguer, à travers la réalisation de plusieurs modèles simplifiés et pédagogiques.

Au sein du collectif de CoVprehesion, on trouve aussi deux arguments d'ordre épistémologique invoqués par ces modélisateurs pour justifier leur contribution à l'épidémiologie de la Covid-19. Leur premier argument concerne l'ontologie des phénomènes de contagion en général : qu'ils soient informatiques, d'opinion, biologiques ou épidémiologiques, ceux-ci possèdent selon eux des propriétés communes ou universelles permettant aux scientifiques de les étudier par un même ensemble d'approches. À ce titre, le site de CoVprehesion insiste sur la notion de « systèmes complexes » pour caractériser l'épidémie de Sars-CoV-2. Dans un livre publié aux Éditions matériologiques par deux membres du collectif, les économistes Juliette Rouchier et Victorien Barbet expliquent que ce genre de systèmes fonctionnent grâce à des « transmissions dans les interactions » (Rouchier et Barbet, 2021, p. 22). Dans un même geste, ces auteurs invoquent la possibilité d'étudier les phénomènes de contagion par une seule et même catégorie d'outils du fait de leur flexibilité : « Les modèles agents de diffusion forment une classe de modèles qui est devenue populaire dès l'invention de la simulation agents dans les années 1990. [...] il n'y a pas qu'une maladie contagieuse que l'on peut voir se transmettre entre deux agents, mais aussi une opinion, une croyance, un désir d'achat ou un comportement » (*ibid.*, p. 24). Dans la conclusion de leur livre, en tâchant d'asseoir leur légitimité en tant qu'*outsiders* de l'épidémiologie, Rouchier et Barbet insistent de nouveau sur « le lien structurel fort entre tous les modèles de diffusion, qui permettent de transposer des questions en changeant certains éléments seulement » (*ibid.*, p. 130). Dans cette optique, l'homologie structurelle des phénomènes de diffusion rencontre et se concilie avec la flexibilité des méthodes numériques, ce qui a permis aux *outsiders* de la modélisation épidémiologique d'approcher des systèmes complexes qu'ils n'avaient pas l'habitude d'étudier. Au nom de ces arguments, l'équipe

⁸ Par exemple le CNRS, <https://www.cnrs.fr/fr/cnrsinfo/covid-19-un-apres-mobilisation-generale-au-cnrs> (consulté le 16.12.22).

⁹ Par exemple l'Université PSL, <https://psl.eu/covid-19-initiatives-de-recherche-de-psl> (consulté le 16.12.22).

¹⁰ Par exemple l'École polytechnique, <https://portail.polytechnique.edu/fxconseil/fr/covid-19-les-laboratoires-multiplient-les-initiatives> (consulté le 16.12.22).

¹¹ https://www.lemonde.fr/sciences/article/2021/01/05/covid-19-enquete-sur-ces-modelisateurs-qui-anticipent-la-pandemie_6065204_1650684.html (consulté le 16.12.22).

¹² <https://covprehesion.org/2020/03/24/q0.html> (consulté le 16.12.22).

de CoVprehension, comme d'autres *outsiders* non institutionnalisés, a pu proposer des analyses critiques et des suggestions d'amélioration aux modélisateurs institutionnalisés, ainsi que des activités de vulgarisation au bénéfice d'un public plus large.

CONCLUSION

Dans cet article, nous avons montré, dans un premier temps, que les experts des réseaux inscrits dans l'épidémiologie computationnelle, et à l'origine du confinement, avaient un projet de migration disciplinaire assumé depuis le début des années 2000. Nous avons montré ensuite que les *outsiders* ayant contribué à la modélisation de la Covid-19 se sont retrouvés à s'occuper d'épidémies pour au moins deux genres de raisons : d'abord, le contexte institutionnel propice à une reconversion temporaire de leurs sujets de recherche et l'envie de contribuer ; ensuite, l'approche « systèmes complexes » leur permettant de voir et de traiter les phénomènes de contagion avec leurs outils de modélisation habituels. En conclusion, il est possible de tirer de cette brève analyse trois considérations d'ordre normatif pour les crises à venir.

En premier lieu, nous avons besoin de mieux comprendre ce qu'il s'est réellement passé au sein des différentes communautés de modélisateurs, aussi bien qu'entre elles et les autres mondes sociaux impliqués dans l'épidémie. Des recherches sociologiques ultérieures sont, en effet, nécessaires pour décrire les pratiques des modélisateurs pendant la crise sanitaire, pour éclairer leurs modalités d'interfaçage avec les pouvoirs, les médias et les publics, mais aussi pour découvrir si la Covid-19 a modifié leurs intérêts de recherche pour les années à venir.

En deuxième lieu, le rapport de la « Mission Pittet »¹³ de mars 2021 a demandé plus de moyens dans le développement de la modélisation épidémiologique, et une meilleure coordination des équipes dans le but d'éviter la dispersion des compétences dans les différentes institutions de recherche. Mais ces recommandations ne doivent pas amener à une centralisation homogénéisatrice en matière de modèles. Tout comme dans le domaine météorologique et climatique, l'épidémiologie est d'autant plus pertinente que le pluralisme des modèles est garanti : celui-ci permet non seulement la complémentarité dans la divergence (ce qui échappe à un modèle est capturé par un autre), mais aussi la robustesse dans la convergence (lorsque plusieurs modèles anticipent le même phénomène).

En troisième et dernier lieu, en considérant les impensés qui accompagnent les modèles épidémiologiques, des chercheurs en sciences sociales ont réitéré leurs plaidoyers en faveur d'une interdisciplinarité accrue dans le domaine de la recherche et de l'aide à la décision en matière sanitaire (Gaudillière *et al.*, 2020). En effet, bien que les agents de santé et les responsables politiques aient insisté sur l'importance de la pluridisciplinarité des comités scientifiques gouvernementaux, la prise en compte des cultures et des pratiques sociales des populations dans les modèles est restée marginale, à commencer par les équipes d'épidémiologie computationnelle qui n'affichent pas de chercheurs en sciences sociales en leur sein. En d'autres mots, les différentes sciences naturelles et sociales ne doivent pas être représentées que dans le déploiement des capacités de modélisation numérique, mais aussi dans la pluralité des approches de recherche – quantitatives aussi bien que qualitatives.

¹³ Rapport final de la Mission indépendante nationale sur l'évaluation de la gestion de la crise de Covid-19 et sur l'anticipation des risques pandémiques, rédigé par Didier PITTET, Laurence BOONE, Anne-Marie MOULIN, Raoul BRIET et Pierre PARNEIX, <https://www.vie-publique.fr/rapport/279851-gestion-crise-covid-et-anticipation-de-risques-pandemiques-rapport-final> (consulté le 18.12.22).

BIBLIOGRAPHIE

GAUDILLIERE J.-P., KECK F. & RASMUSSEN A. (2020), « Des virus, des humains, des savoirs, des épidémies : construction sociale de quoi ? », *Carnet de l'EHESS*, 13/05/2020, <https://www.ehess.fr/fr/carnet/coronavirus/virus-humains-savoirs-%C3%A9pid%C3%A9mies-construction-sociale-quoi>

HETHCOTE H. W. (2000), “The mathematics of infectious diseases”, *SIAM Review*, 42(4).

LI VIGNI F. (2021), « L'épidémiologie computationnelle à l'ère de la Covid-19. Enjeux disciplinaires et politiques d'une spécialité fondée sur l'étude des réseaux », *Réseaux*, 4(228).

MARATHÉ M. & VULLIKANTI A. K. S. (2013), “Computational epidemiology”, *Communications of the ACM*, 56(7).

PASTOR-SATORRAS R. & VESPIGNANI A. (2001), “Epidemic dynamics and endemic states in complex networks”, *Physical Review E*, 63(6).

ROUCHIER J. & BARBET V. (2020), *La diffusion de la Covid-19. Que peuvent les modèles ?*, Paris, Éditions matériologiques.

ZYLBERMAN P. (2013), *Tempêtes microbiennes. Essai sur la politique de sécurité sanitaire dans le monde transatlantique*, Paris, Gallimard.